

Н. К. Гомоюнов, М. Ф. Кесамаңлы,  
Ф. П. Кесамаңлы, А. И. Сурыгин

# ФИЗИКА

## ТОЛКОВЫЙ СЛОВАРЬ ШКОЛЬНИКА И СТУДЕНТА

Под редакцией Н. К. Гомоюнова, В. Н. Козлова

2-е издание

$I = \frac{U}{R}$	$V = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$	$\sigma = \frac{G \cdot L}{S}$
-------------------	-----------------------------------	--------------------------------



**И. К. Гомоюнов, М. Ф. Косаманлы,  
Ф. В. Косаманлы, А. Н. Сурыгин**

# **Ф И З И К А**

## **ТОЛКОВЫЙ СЛОВАРЬ ШКОЛЬНИКА И СТУДЕНТА**

---

**Под редакцией И. К. Гомоюнова, В. И. Козлова**

**Издание второе,  
переработанное и дополненное**



• ПРОСПЕКТ •

Москва  
2010

УДК 53(035)(075.8)  
ББК 22.3я2  
Ф50

*Авторы:*

К. К. Гомоюнов, М. Ф. Кесамаңлы,  
Ф. П. Кесамаңлы, А. И. Сурыгин.

*Под редакцией* К. К. Гомоюнова и В. Н. Козлова.

*Рецензенты:*

А. И. Мамкин — заведующий кафедрой физики СПбГЭТУ (ЛЭТИ),  
доктор физико-математических наук, профессор;  
В. Е. Фридкин — заведующий кабинетом физики СПбАППО,  
кандидат педагогических наук.

Физика. Толковый словарь школьника и студента:  
Ф50 учеб. пособие / К. К. Гомоюнов, М. Ф. Кесамаңлы,  
Ф. П. Кесамаңлы, А. И. Сурыгин. Под ред. К. К. Гомою-  
нова и В. Н. Козлова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. :  
Проспект, 2010. — 496 с.

ISBN 978-5-392-00912-1

Словарь содержит более тысячи терминов. Преобладаю-  
щее большинство из них встречается в основных разделах курса физики  
средней и высшей школы: в механике, электродинамике и термоди-  
намике, электричестве и магнетизме, гравитационной, волновой и кванто-  
вой оптике, атомной и ядерной физике, физике элементарных частиц.  
В словарь включены толкования неспециальных терминов из психо-  
логии, логики, лингвистики, знание которых необходимо учащимся для  
понимания изучаемого в курсе физики материала.

Для физических явлений, моделей, физических величин и единицы  
физических величин, имеющих собственные названия, приведены  
полные определения, построенные по единому плану.

Словарь оставлен по алфавитному принципу, снабжен иллюстра-  
циями.

Для школьников, абитуриентов, студентов средних специальных и  
высших учебных заведений, а также учителей, родителей школьников и роди-  
телей, которые стараются помочь своим детям учиться.

УДК 53(035)(075.8)  
ББК 22.3я2



9785392009121

© К. К. Гомоюнов, М. Ф. Кесамаңлы,  
Ф. П. Кесамаңлы, А. И. Сурыгин, 2007  
© ООО «Проспект», 2010

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Уважаемые читатели! Предлагаемый вашему вниманию толковый словарь содержит более тысячи четырехсот терминов. Преобладающее большинство из них — термины, используемые в различных разделах курса физики: механике, молекулярной физике и термодинамике, электричестве и магнетизме, геометрической, волновой и квантовой оптике, атомной и ядерной физике, физике элементарных частиц. В словарь включены толкования нескольких десятков терминов из психологии, диалектики, логики, теории определений, семиотики (теории знаковых систем), лингвистики и терминоведения, знание которых необходимо учащимся для осознанного (научного) понимания изучаемого в курсе физики материала. В нем также описаны обобщенные планы изучения отдельных элементов научных знаний по физике (явлений, моделей, величин, единиц физических величины, имеющих собственное наименование, законов, теорий, приборов и опытов) и единые схемы построения определений одноклассных понятий (явлений, моделей, величин, единиц физических величин, имеющих собственное наименование). Там, где необходимо, словарь снабжен иллюстрациями.

Словарь рассчитан на широкий круг читателей: учащихся (школьников, абитуриентов, студентов средних и высших специальных учебных заведений), учителей, авторов учебников, студентов педагогических вузов, репетиторов, родителей, которые стараются помогать своим детям учиться. Поэтому в нем имеются два введения: для учащихся и для тех, кто учит.

Термины в словаре расположены в алфавитном порядке. Чтобы получить интересующие вас сведения, отыщите в словаре нужный термин. Если термин состоит из одного слова, то это очень просто. Например:

**АМПЕР, БЕККЕРЕЛЬ, ВОЛЬТ, ГЕНРИ, ДЖОУЛЬ.**

Если термин состоит из двух и более слов, то он расположен по первому слову с учетом обычного (естественного) порядка слов в этом термине. Например:

**ЗАКОН АРХИМЕДА, ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ, ПЕРВАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ, ЕДИНАЯ СХЕМА ПОСТРОЕНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЙ МОДЕЛЕЙ, ОБОБЩЕННЫЙ ПЛАН ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ, ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ** и т. д.

Если термин многозначен, то об этом сразу сказано и его значения разделены арабскими цифрами. Например:

**ТЕМПЕРАТУРА КЮРИ.** Термин используют в трех значениях. 1. Общее название температуры фазового перехода второго рода. 2. Температура, выше которой ферромагнетики теряют свои ферромагнитные свойства и превращаются в парамагнетики. 3. Температура, выше которой сегнетоэлектрики теряют свои сегнетоэлектрические свойства и превращаются в диэлектрики с полярными молекулами.

При использовании многозначного термина в тех случаях, когда, как нам кажется, возможно неверное понимание, мы указываем в скобках номер соответствующего значения. Например: "К телу приложена сила (4)".

Синонимы в словаре приведены с отсылкой на более распространенный термин. Например:

**ТОКИ ФУКО.** То же, что *Вихревые токи*.

**ТОЧКА ПЛАВЛЕНИЯ.** То же, что *Температура плавления*.

Для установления связи между отдельными частями словаря приняты отсылки (см.), (см. также) и (ср.). Названия статей, на которые сделаны отсылки, выделены курсивом.

Отсылки используются в случаях, когда в статьях дано толкование более узкого термина и целесообразно, чтобы учащийся познакомился с более общим термином, и наоборот, а также в случаях, когда в тексте одной статьи имеется ссылка на другую статью. Например:

**ВЗВЕШИВАНИЕ.** Процедура измерения массы тела (см. *Измерение*).

**ТЕПЛОЕМКОСТЬ, С.** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания тепловых свойств тел и равная отношению количества теплоты  $\Delta Q$ , полученного телом, к произведению при этом изменению температуры  $\Delta T$ :  $C = \Delta Q / \Delta T$ . Единица измерения в СИ — Дж/К. Прибор для измерения теплоемкости называют *калориметром*. (См. также *Удельная теплоемкость*.)

**ВОЛЬТАМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА (ВАХ).** *Математическая модель ненакапливающего двухполюсника (источника электропитания, резистора, диода и т. п.).* Представляет собой взаимосвязь электрического напряжения и силы тока, измеренных на выводах двухполюсника. Обычно выражена в графической форме.

Отсылки (ср.) мы используем в случаях, когда в статье дано толкование термина, обозначающего одно из равнопорядковых понятий, и нужно, чтобы учащийся для более глубокого понимания смысла рассматриваемого понятия познакомился с другими однопорядковыми понятиями. Например:

**ВЕКТОРНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ.** Физические величины, характеризующиеся значением и направлением и складываемые по правилу параллелограмма (см. *Правило параллелограмма*). Значение векторной величины называют ее модулем. Модуль векторной величины всегда скаляр, причем всегда положительный (неотрицательный). Векторными физическими величинами являются радиус-вектор, перемещение, скорость, ускорение, сила, напряженность электрического поля и др. Обозначают векторные величины жирными латинскими буквами. (Ср. *Скалярные физические величины*).

**ВТОРАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ.** Минимальная скорость, необходимая для того, чтобы космический летательный аппарат превратился в искусственный спутник Солнца. Вторая космическая скорость  $v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$ , где  $G$  — гравитационная постоянная,  $M$  — масса Земли,  $R$  — расстояние от центра Земли до космического корабля. У поверхности Земли  $v_2 = 11,186$  км/с (ср. *Первая космическая скорость*, *Третья космическая скорость*).

Формулу мы приводим мало, причем не с целью применить их в вычислениях (для этого есть справочники), а в тех случаях, когда они либо способствуют пониманию, либо без них понимание вообще невозможно.

Чтобы не отвлекать внимание читателей от содержания статей на основные различия их формы, мы унифицировали построение однотипных формулировок (см., например, *Единые схемы построения определений... и Обобщенные планы изучения...*).

Мы используем следующие типографские выделения.

1. Жирным шрифтом выделяем слова или предложения, на которые читателю следует обратить особое внимание (например: Чтобы ток стал почти постоянным, используют так называемые **главизирующие фильтры**).

2. Кавычки ("...") мы применяем для обозначения: цитаты (например: "Сила совершает работу"); принятого употребления данного слова или словосочетания (например: При повышении

давления ртути в трубке поднимается — “барометр поднимается”); иносказательного выражения (например: “птичий язык”).

3. Курсив мы используем в двух случаях: 1) для обозначения тех слов или словосочетаний, толкование которых приведено в нашем словаре, и 2) в обычном смысле — для обозначения имен (слов, в том числе терминов).

4. Кроме того, мы ввели одиночные кавычки (“...”). Дело в том, что термины могут служить именами вещей, именами идей и именованиями (см. *Предмет мысли*). Общепринято имена вещей не выделять, имена имен выделять кавычками или курсивом (мы используем курсив), а имена идей либо не выделять, либо выделять кавычками. В первом случае их легко спутать с именами вещей, во втором — с именами имен. Чтобы этого избежать, в необходимых случаях мы выделяем имена идей одиночными кавычками и курсивом (например: Это касается категории ‘*мыслимы*’, то ей явно не повезло).

Названия статей, в которых отражены гуманитарные знания и особо важные методологические идеи, необходимые для научного понимания, напечатаны в предметном указателе прописными буквами. В именной указателе приведены годы жизни ученых, упомянутых в словаре.

Авторы благодарят доцента кафедры экспериментальной физики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета Владимира Николаевича Белова и заведующего кафедрой физики Военного инженерно-технического университета Виктора Ивановича Комарова за интерес, проявленный к Толкованию словаря, и написанные ими статьи: Линейаризация зависимостей, Метод парных точек, Обработка результатов измерений, Случайные погрешности с точки зрения теории вероятностей (В.М. Белов) и Каноническое распределение Гиббса, Квантовая статистическая физика (квантовая статистика), Классическая статистическая физика (классическая статистика), Распределение бозонов на квантовых состояниях (распределение Бозе-Эйнштейна), Распределение Максвелла-Больцмана, Распределение фермионов на квантовых состояниях (распределение Ферми-Дирака), Статистическая физика (В.И. Комаров).

Настоящий словарь является первым опытом подобного рода, и авторы будут признательны читателям за замечания, направленные на его совершенствование.

Авторы выражают глубокую признательность президенту Санкт-Петербургского государственного политехнического университета академику РАН Юрию Сергеевичу Васильеву за многолетнюю поддержку их педагогических исканий.

Авторы выражают благодарность рецензентам, взявшим на себя нелегкий труд внимательного и заинтересованного чтения рукописи.

## ВВЕДЕНИЕ ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ И СТУДЕНТОВ

В овладении каждой дисциплиной важнейшее значение имеет усвоение ее терминологии и системы понятий. Термины — слова, используемые в научных текстах. Их, конечно, надо запоминать, равно как и типичные обороты речи. Однако этого совершенно недостаточно. Надо понять, что ими обозначают, т. е. уяснить связь между терминами и понятиями, а также взаимосвязи между понятиями в каждом изучаемом разделе и между разделами. Более 60 лет назад выдающийся советский психолог Л.С. Выготский, заслуги которого признаны во всем мире, описал, что происходит при неправильном изучении, направленном только на запоминание. Школьники научаются произносить или писать связные тексты, так что создается впечатление, будто они понимают. Однако за словами у них нет понятий. Это — имитация, симуляция понимания.

Имейте в виду, что овладеть способностью научного понимания — важная задача при обучении. От этого в значительной мере зависят ваши успехи и в учении, и в работе, и в общественной жизни.

Достижение понимания при обучении зависит от нескольких обстоятельств. Во-первых, это качество учебных текстов. К сожалению, они не свободны от существенных ошибок, противоречий и пробелов, а также неправильных формулировок при изложении мыслей. Во-вторых, методическое искусство преподавателей и авторов учебников. В-третьих, важна способность к рефлексии, т. е. самоанализу, самоконтролю, самопознанию и самообучению. Надо научиться анализировать свои успехи и неудачи и делать из этого правильные выводы.

Остановимся на основных недостатках учебных текстов общего характера. Большая часть материала, который вы изучаете, была создана в XIX в. и ранее, когда научная картина мира и мировоззрение были иными, чем сейчас. Над их совершенствованием ученые-физики, развивающие новые научные направления, не работают — им это неинтересно. В результате в учебниках сохранилось много архаичных представлений. Например, в учебнике для 8 класса закон Ома назван «одним из основных физических законов». По современным представлениям, закон Ома для участка цепи — это простейшая математическая модель одного из элементов электрической цепи — резистора. Повсеместно формулу, выражающую увеличение энергии молекулярного движения при протекании тока в резисторе, называют законом Джоуля-Ленца, а формулы, выражающие энергию других элементов электрической цепи — конденсатора и индуктивной катушки — никак не называют.



Вообще часто материал о законах преподнесен так, что создается впечатление, будто законы — нечто абсолютное, неизбежное. В действительности утверждений, которые можно признать элементами абсолютной истины, очень немного. Это — законы сохранения энергии, импульса, момента импульса, электрического заряда, второе начало термодинамики, принцип наименьшего действия, методологические принципы. Все остальное — не более чем мысленные модели объектов, справедливые в определенных пределах.

Многое ошибок в текстах связано с физическими величинами. Например, можно прочитать, что “тела обладают массой, и поэтому притягиваются друг к другу”. Масса — одна из физических величин. Все физические величины — абстрактные понятия, введенные людьми для количественного оценивания свойств и отношений вещей. В природе их не существует, поэтому тело не может “обладать” массой. В действительности дело обстоит так. Всем телам свойственно притягиваться друг к другу. Для оценивания интенсивности проявления этого свойства у разных тел люди ввели физическую величину, именуемую массой. Лишено физического смысла также утверждение “сила совершает работу”. И сила, и работа определены как физические величины. Но между физическими величинами не существует отношения, обозначаемого словом “совершать”. К тому же рядом с этим предложением можно прочитать, что работу совершает человек, машина, ветер, падающая вода и т. п.

Чтобы помочь вам научиться разбираться в текстах, мы, во-первых, даем формулировки, соответствующие современной научной картине мира, и, во-вторых, снабжаем статьи примечаниями, в которых объясняем недостатки, если они имеются. Кроме того, чтобы облегчить вам овладение рефлексией, мы помещаем не только упомянутые замечания, но и специальные статьи о культуре мышления и языка. Дело в том, что понимание достигается в процессе оперирования понятиями. Сущность понятий раскрывается в форме множества суждений, в которых данное понятие связано с другими понятиями. Выражены же они в языковой форме в виде предложений (вспомним: “предложение есть мысль, выраженная словами”). Поэтому формированию способности к научному пониманию помогает ознакомление с результатами тех гуманитарных наук, которые изучают мышление и язык человека. Это — психология, диалектика, логика, теория определений, семиотика (теория знаковых систем), лингвистика (языкознание), терминоведение (языка о терминах и системах терминов). Поэтому советуем вам, приступая к работе со словарем, прочитать статьи, названия которых в Предметном указателе, приведенном в конце книги, напечатаны прописными буквами.

*Желаем успеха!*

## ВВЕДЕНИЕ

для учителей и преподавателей,  
а также студентов педагогических вузов

Уважаемые коллеги! Мы обращаемся к вам с длинным введением в надежде обрести единомышленников.

По нашему мнению, один из важнейших результатов образования — сформированность в сознании учащихся способности и стремления к научному пониманию. Это необходимое условие выработки научной картины мира, основ профессиональной компетентности, рационального мировоззрения и стремления к последипломному образованию.

Способность к научному пониманию складывается в процессе многократного достижения понимания при обучении в школах всех уровней. Определяющую роль в этом процессе должна играть физика. Во-первых, по той причине, что ее результаты, в конечном счете, находят практическое применение и, следовательно, проверяются на истинность. Во-вторых, потому что физика считается образцом строгости среди других естественных, а также технических наук. В-третьих, потому что на ее изучение отводится много времени и в общеобразовательной, и в высшей школе.

Однако, как показывает практика, эту роль физика выполняет не полностью: неоднократно писали, что многие учащиеся ее не понимают. Почему это происходит? С нашей точки зрения, сказываются главным образом два фактора. Первый — недостатки учебников, второй — слабое владение учащимися «технологией» понимания.

Основными недостатками учебников являются: существенные (концептуальные) ошибки, противоречия и пробелы в изложении материала, а также несоответствие языка отображаемой объективной реальности. Что касается категории «понимание», то ей явно не повезло. Очень часто авторы публикаций на педагогические темы пишут об обучении знаниям, умениям, навыкам и творчеству и очень редко — об обучении пониманию. Поэтому учащиеся о феномене понимания тем более ничего не знают. Разумеется, важнейшую роль в понимании материала учащимися играет способность преподающих продуктивно взаимодействовать с учащимися (авторов учебников — заочно), т. е. педагогическое мастерство. Но оно бессильно, если в учебных текстах содержатся разного

рода ошибки. А их много. Чтобы не быть голословными, приведем некоторые типичные примеры.<sup>1</sup>

Впечатляющим примером суверенной ошибки является объяснение причины самодвижения (пешехода, автомобиля, локомотива). Почти во всех учебниках и научно-популярных книгах (нам известно только три исключения) причиной названа сила трения, приложенная к подошвам или колесам со стороны полотна дороги. Это утверждение присутствует даже в книгах таких известных механиков, как В.Л. Кирпичев и С.Э. Хайкин, а Нобелевский лауреат Л. Купер считает, что причиной ускорения человека при прыжке с места является реакция опоры на его толчок (ошибочность этих объяснений, причины их появления и живучести проанализированы в статье *Самодвижение*).

Примером противоречивости могут служить рассуждения, связанные с центробежной силой, в учебнике для 9 класса. С одной стороны, говорится, что центробежная сила приложена к связи, удерживающей вращающееся тело на круговой орбите. С другой стороны, авторы утверждают, будто грязь слетает с колеса автомобиля под действием центробежной силы, а при центробежном литье она же заставляет расплавленный металл заполнять форму. Можно даже прочитать, будто искусственным спутник Земли удерживается на орбите благодаря тому, что центробежная сила уравновешивает силу тяготения. Между тем еще Ньютон писал, что Луна вращается вокруг Земли благодаря центростремительной силе.

Пробел обнаруживается, например, при описании процесса, возникающего после отключения источника питания в электрической цепи, содержащей индуктивную катушку и резистор. Авторы утверждают, что ток индуктивной катушки начинает спадать, но не объясняют почему. А объяснение необходимо, так как известно, что в сверхпроводящем кольце ток течет неограниченно долго, не уменьшаясь.

Неоспоримо, одним из наиболее выдающихся примеров несоответствия языка объективной реальности, т. е. "итачего языка" (А.И. Герцен, "Былое и думы"), является утверждение "сила

---

<sup>1</sup>Основные идеи упорядочения понятийных систем и анализ ошибок в учебниках тезисно изложены в работах: Гомолонов К.К. Совершенствование преподавания обязательных и технических дисциплин: Методологические аспекты анализа и построения учебных текстов. Изд. 2-е, перераб. и доп. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1993; Гомолонов К.К. Вращение знаний. По страницам учебников физики: Учеб. пособие. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1996.

совершает работу". Во-первых, и силу, и работу определяют как физические величины, и, следовательно, оказывается, что одна физическая величина "совершает" другую физическую величину. А во-вторых, рядом (иногда на той же странице) пишут, что работу совершает человек, машина, падающая вода, ветер, электрический ток и т. п.

Непонимание специфики мыслительных процессов хорошо видно из следующего примера. В автобиографических заметках отечественный физик академик Н.Н. Андреев (1880—1970) рассказывает, что, начав в 14 лет изучать геометрию и будучи одним из лучших учеников в классе, он не понял первую же теорему, даже заучив ее наизусть. Везде — и на прогулках, и за обедом, и на уроках по другим дисциплинам — он размышлял о ней. Наконец, на третий или четвертый день мучений, на прогулке он вдруг почувствовал, что ему все ясно. "До сих пор, — пишет Н.Н. Андреев, — не могу объяснить себе этого психологического поворота, в последующей моей научной жизни я несколько раз испытывал подобные же трудности и также не могу объяснить, как я их преодолел".<sup>2</sup>

Естественно, возникают вопросы: почему появились ошибки и каковы причины их живучести. Большая часть знаний, используемых в материальном производстве сегодня, — плод труда ученых, живших в прошлом веке и ранее. Хорошо известны их крупные заблуждения: теплород, флогистон, эфир и другие флюиды, неделимость атома, взаимная независимость пространства и времени и др. Г. Галилей, например, полагал, будто движение тела по окружности, так же, как по прямой, — свободное. Но были ошибки и мелкие. На крупные заблуждения последующие ученые обратили внимание, так как они касались самой природы вещей, а мелкие остались незамеченными. Обусловлено это, по-видимому, двумя обстоятельствами. Первое состоит в том, что одновременно с попытками качественно объяснить явление возникали методы количественной оценки. Нередко развитие методов вычислений опережало процесс понимания, и этот факт маскировал ошибки, создавая видимость, будто успешность вычислений свидетельствует о правильном понимании сути дела. Вторая причина живучести ошибок — импринтинг и стереотипность мышления. Импринтинг (запечатление) был обнаружен учеными, занимающимися психологией животных. Проще всего понять его смысл на следующем примере. Утенок, только что вылупившийся из яйца, принимает за

<sup>2</sup> Физики о себе. — Л.: 1990. С. 176—177.

“родителя” первый попавший ему на глаза движущийся предмет и следует за ним. Это может быть утка, курица, человек, заводная игрушка... Впоследствии выяснилось, что импринтинг свойствен и человеку. То, что сейчас принято называть национальным менталитетом, определяется почти исключительно детскими впечатлениями. У нас нет сомнения, например, в том, что Л. Купер неверно объясняет сущность прыжка только потому, что его так учили в школе (с большим педагогическим мастерством внушили ложную мысль). Стереотипность мышления проявляется в трудности для человека подвергнуть сомнению многократно использованное и, казалось бы, проверенное. Выдающийся ученый и инженер академик А.Н. Крылов, один из инициаторов и организаторов создания Санкт-Петербургского политехнического института (ныне политехнического университета), писал: “Затем долготелней практикой я убедился, что если какая-то нелепость стала рутинной, то чем эта нелепость абсурднее, тем труднее ее уничтожить”. Сказывается также конформность — свойство психики, состоящее в неспособности противостоять мнению большинства.

К тому же наблюдается спокойное отношение к ошибкам в учебниках. Нередко можно услышать, что ошибки в текстах — нормальное, естественное явление, бороться с которыми бесполезно. Что касается статей и монографий, с этим утверждением трудно не согласиться. Однако по происхождению и значимости ошибок учебники, особенно школьные, коренным образом отличаются от оригинальных работ. Ошибки в статьях и монографиях — плод “творчества” одного или нескольких человек. Касаются они узкого круга специалистов и, если значимы, быстро обнаруживаются и устраняются. Совсем иной характер носят ошибки в учебниках. Физику преподают не одно столетие. Преподаваемый материал многократно фильтруется и шлифуется. Над ним трудятся десятки авторов будущих учебников. Сотни специалистов участвуют в рецензировании рукописей, а потом учебников, представленных на конкурсы. Их изучают сотни преподавателей и тысячи студентов педагогических вузов. С ними работают десятки тысяч учителей. Сотни тысяч родителей помогают своим детям учиться. И, наконец, учатся миллионы школьников. Таким образом, дефекты учебников — результат “коллективного творчества”, общественное явление, имеющее далеко идущие последствия — несформированность у обучаемого опыта, стремления и способности к научному пониманию.

Все сказанное усугубляется слабым знакомством и авторов учебников, и учащихся с результатами тех гуманитарных наук,

предметом которых является мышление и язык человека. Это — психология, диалектика, логика, теория определений, семиотика (теория знаковых систем), лингвистика и терминоведение. Например, из написанного Н.Н. Андреевым ясно, что он не знал о существовании в голове человека *несознаваемой модели мира*.

Таким образом, одни авторы учебников и преподаватели по незнанию или непониманию, другие — из-за ограниченности объема учебных книг или времени занятий не обращают внимания ни на ошибки в учебниках, ни на необходимость обучать школьников их преодолению. Например, Д.Д. Зуса пишет, что перед школой “стоят две диалектически единые задачи: 1) обеспечить усвоение определенного уровня знаний, без которых невозможно существование нормальной личности в современном обществе; 2) научить ребенка мыслить..., превратив тем самым процесс познания в стремление к “любомудрию”. Первую задачу, считает автор, “можно решить формально..., и для этого годится любая учебная книга, в которой будут грамотно изложены необходимые знания” (выделено нами. — *Авт.*)<sup>3</sup> (весь остальной текст статьи посвящен решению второй задачи).

Ученым же, продуктивно занимающимся разработкой современных проблем физики, анализировать школьные (да и вузовские) учебники неинтересно (с научной точки зрения все это “давно прошедшее”). Вот любопытное свидетельство. Г. Тарасевич в “Учительской газете” сообщает, что по инициативе и под руководством Ю.В. Рождественского, заведующего одной из филологических кафедр Московского государственного университета, при участии ученых других кафедр создается словарь-тезаурус школьных знаний (попредметно). Так вот, оказалось, что, “как это ни странно, гуманитарные дисциплины удалось систематизировать относительно легко. Некоторые задержки возникли с естественными предметами, особенно с физикой и химией. По мнению Юрия Рождественского, наука на уровне школы требует гораздо большей систематичности, чем наука на академическом уровне. Ученый может спокойно работать, оставаясь в рамках своей узкой темы, а бедолаге школьнику нужно не только запомнить колоссальное количество информации, но и структурировать ее в логическую систему. Именно поэтому возникли трудности у университетских профессоров, которые несмотря на свой высочайший уровень не смогли разработать некоторые разделы тезауруса”.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Педагогика. 1995. № 1. С. 3.

<sup>4</sup> Учительская газета. 1996. 9 апр. С. 18.

Несформированность способности к пониманию приводит к тяжелым последствиям как для индивида, так и для общества. Два десятилетия назад общественность западных стран осознала факт существования десятков миллионов функционально неграмотных среди коренного населения. В США их насчитывалось 23 млн (1983 г.), в Англии — 6 млн (1987 г.), в Канаде — 3,3 млн (1988 г.). 6,6 млрд долл. в год тратят США на содержание в тюрьмах 200 тыс. заключенных, осужденных за непреднамеренные преступления, вызванные функциональной неграмотностью. А общие потери на преодоление ее результатов составляют 20 млрд долл. ежегодно.<sup>5</sup> Функциональная неграмотность свойственна и жителям России.

Принимая во внимание все вышесказанное, мы пришли к убеждению, что учащимся необходимо помочь приобрести правильное представление о тех предметах, которые в учебниках изложены неверно, получить опыт анализа неудачных текстов, познакомиться с некоторым минимумом гуманитарных знаний, необходимых для выработки умения рефлексировать над своим мышлением и языком. С этой целью мы делаем следующее.

1. Предлагаем формулировки, свободные от обычных недостатков и, следовательно, в ряде случаев существенно отличающиеся от традиционных. Например, мы стараемся не применять термин *энергия* в значении “движение материи”. Поэтому пишем “движение передается”, а не “энергия передается”. Аналогично пишем “тела взаимодействуют с силой  $F$ ”, а не “на тело действует сила  $F$ ” и т. п.

2. Исходя из дидактического принципа “учить надо так, чтобы в дальнейшем приходилось доучивать, а не переучивать”; используем современные знания, полученные техническими науками после того, как физики перестали заниматься какой-либо проблемой. Так, при изложении материала об электрических цепях в учебниках сохранились давно устаревшие знания. Например, законы Кирхгофа формулируют настолько узко, что они неприменимы для анализа транзисторных цепей. К тому же толкуют их как “правила, облегчающие вычисление токов в разветвленных цепях”. По современным представлениям — это структурные законы теории электрических цепей.

3. Там, где считаем необходимым, снабжаем статьи примечаниями, разъясняющими ошибочность или неточность привычного изложения.

4. Включаем статьи по проблемам мышления, языка и познания, в которых изложены сведения, позволяющие сознательно

<sup>5</sup> Советская педагогика. 1990. № 1. С. 3–17.

воспринимать и анализировать содержание учебных текстов (например, о понимании, о материи и сознании, о предмете мысли, о понятии и термине и т. д.).

5. Поскольку «форма — содержительна», стремимся унифицировать формулировки однотипных определений, чтобы внимание читателя было сосредоточено на содержании мыслей, а не на необходимости разбираться в разных способах их представления.

6. В интересах тех учащихся, которые стремятся к углублению своих знаний, особенно физико-технических, мы помещаем больше по сравнению с другими статьи, так как любое понимание требует наличия «критической массы» знаний.

Таким образом, мы предприняли попытку синтеза физических, технических и гуманитарных знаний, полагая, что только на этом пути можно создать условия для действительного понимания материала и тем самым для формирования в сознании учащихся способности и стремления к научному пониманию.

С нашей точки зрения, чрезвычайно интересны мысли Макса Планка о школьном образовании. Они применимы и к общенаучному циклу дисциплин в вузах. Поэтому мы решили их привести:

«Не так важно, чему учат в школе, а важно, как учат... Функция школы не в том, чтобы дать специальный опыт, а в том, чтобы выработать последовательное методическое мышление. Могут возразить, что в конечном счете умение делать вещи важнее знания их. Конечно, знание без умения не имеет значения, так же как всякая теория получает свое значение в конце концов лишь благодаря ее применению. Но теория никогда не должна заменяться простым умением, которое будет беспомощным перед лицом необычных фактов. Поэтому первым условием хорошей работы в будущем является хорошее элементарное обучение. При этом важно заботиться не столько об изучении большого числа фактов, сколько о правильной их трактовке... Если это предварительное обучение не будет проводиться в школе, то его трудно будет получить впоследствии, так как специальные и высшие школы имеют другие задачи. Последней, самой высокой задачей воспитания является не знание и умение, а практическая деятельность. Но так же, как практической деятельности предшествует умение, необходимым условием для появления умения служат знание и понимание».



# А

**АБСОЛЮТНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА,  $P$ .** Скалярная физическая величина, введенная для оценивания количества водяного пара, содержащегося в воздухе. Ее принято выражать либо в форме *парциального давления*, либо в форме "парциальной плотности" — *плотности*, которая была бы, если бы воздух состоял из одного пара. В качестве единиц измерения в первом случае используют *давление*, во втором — *плотность* (ср. *Относительная влажность*, см. также *Гигрометр*, *Психрометр*).

**АБСОЛЮТНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ.** *Погрешность результата измерения*, выраженная в единицах измеряемой величины. Характеризует неопределенность результата измерения, т. е. интервал значений, в котором может находиться измеренное значение *физической величины*.

**АБСОЛЮТНАЯ СКОРОСТЬ,  $v_a$ .** Значение *скорости* тела, измеренное или рассчитанное относительно неподвижной системы отсчета (ср. *Относительная скорость*, *Переносная скорость*).

**АБСОЛЮТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА,  $T$ .** То же, что *температура*.

**АБСОЛЮТНОЕ УДЛИНЕНИЕ,  $\Delta l$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания деформации растяжения тела и равная разности значений его конечной  $l$  и начальной  $l_0$  длин:  $\Delta l = l - l_0$ . Выражается в единицах длины (ср. *Относительное удлинение*).

**АБСОЛЮТНО НЕУПРУГИЙ УДАР.** *Мысленная модель* соударения тел, введенная для решения задач об их взаимодействии при столкновении и построенная так, что механическая форма движения тел при взаимодействии частично или полностью переходит в тепловую форму движения молекул, их составляющих, и тела после взаимодействия движутся вместе с одинаковой скоростью.

**АБСОЛЮТНО ПЛАСТИЧНОЕ (НЕУПРУГОЕ) ТЕЛО.** Мысленная модель твердого тела, введенная для решения задач механики и построенная так, что она деформируется под внешним воздействием, а после его прекращения полностью сохраняет деформированное состояние, вызванное этим воздействием.

**АБСОЛЮТНО ТВЕРДОЕ ТЕЛО.** *Мысленная модель* твердого тела, введенная для решения задач о его движении и построенная так, что тело не деформируется при любых взаимодействиях с другими телами.

**АБСОЛЮТНО УПРУГОЕ ТЕЛО.** *Мысленная модель* твердого тела, введенная для решения задач механики и построенная так, что ее деформации пропорциональны внешним механическим действиям, а после прекращения действия она полностью восстанавливает свои первоначальные форму и размеры.

**АБСОЛЮТНО УПРУГИЙ УДАР.** *Мысленная модель* соударения тел, введенная для решения задач об их взаимодействии при столкновении и построенная так, что механическая форма движения тел при взаимодействии не переходит в другие формы движения.

**АБСОЛЮТНО ЧЕРНОЕ ТЕЛО.** *Мысленная модель* тела, введенная для решения задач об излучении и поглощении им света и построенная так, что тело при любой температуре полностью поглощает все падающее на него электромагнитное излучение независимо от частоты, поляризации и угла падения излучения.

**АБСОЛЮТНЫЙ** [от лат. *solvi* — свободный и *ab* — от; свободный от]. Безусловный, неограниченный, безотносительный, совершенный, полный.

**АБСОЛЮТНЫЙ НУЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ.** Значение температуры, при котором с точки зрения классической термодинамики прекращается *тепловое движение молекул*, и принятое за начало ее отсчета. В 1787 г. французский физик Жак Шарль обнаружил, что при снижении температуры газа на  $1^{\circ}\text{C}$  его объем уменьшается примерно на  $1/273$  часть своего первоначального значения (см. *Закон Гей-Люссака*). Он высказал предположение, что если далее снижать температуру газа ниже  $0^{\circ}\text{C}$  при постоянном давлении, то при температуре, равной примерно  $-273^{\circ}\text{C}$ , газ как бы исчезает (его объем обращается в нуль). На самом деле этого, конечно, не происходит: газ вначале превращается в жидкость, а затем вещество переходит в твердое состояние. В 1860-е годы английский физик Уильям Томсон (лорд Кельвин) развил идею Шарля. Он предположил, что при этой температуре должно прекратиться тепловое движение молекул; а поскольку это невозможно, то, во-первых,

ни при каком эксперименте нельзя получить такую температуру, а во-вторых, это значение температуры и есть ее абсолютный нуль. Это значение, по уточненным данным равно  $-273,15^{\circ}\text{C}$ , он и принят за начало отсчета температуры (см. также *Шкала Кельвина*).

**АБСТРАГИРОВАНИЕ.** Прием научного мышления. То же что и *идеализация*.

**Примечание.** Иногда абстрагирование определяют как "отвлечение" от несущественных свойств. Это неверно. Количество свойств любого объекта бесконечно велико. Поэтому перечислить те, от которых мы отвлечемся, невозможно. Единственная возможность — указывать учитываемые свойства.

**АБСТРАКТНЫЕ СУЩЕСТВИТЕЛЬНЫЕ.** То же, что *Отвлеченные существительные*.

**АВТОКОЛЕБАНИЯ.** Незатухающие колебания, обусловленные внутренними процессами в системе. Из личного опыта каждый знает, что вращение волчка и колебания маятника со временем прекращаются. Происходит это потому, что из-за трения упорядоченное механическое движение тела превращается в хаотическое тепловое движение молекул, а ничтожная вероятность обратного преобразования существует только в математическом выводе — практически она равна нулю. Вместе с тем мы видим, что маятник часов колеблется, не останавливаясь, пока не исчерпан завод пружины или гири. Нетрудно догадаться, что поддерживающие незатухающих колебаний как-то связано с ними. Сущность этой связи состоит в том, что в течение каждого периода есть малый промежуток времени, когда гиря, чуть-чуть опускаясь, или пружина, слегка раскручиваясь, подталкивает маятник, т. е. передает ему свое движение, компенсируя тем самым потери движения из-за трения. На рис. А.1 показаны временные диаграммы угла отклонения  $\varphi$  свободно колеблющегося маятника (а) и маятника в часах (б). Очевидно, что точки со стороны гири или пружины должны происходить одновременно. Этот эффект обеспечивается специальным механизмом, который управляется маятником. Функционирующую подобным образом систему называют системой с положительной обратной связью.

Аналогично работают электронные автогенераторы незатухающих колебаний, по форме близких к гармоническим. В их составе имеется аналогичная маятнику колебательная система, способная к свободным затухающим колебаниям (ее принято называть

резонатором), и усилитель. На вход усилителя сигнал поступает от резонатора, а "подпитку", компенсирующую потери, резонатор получает с выхода усилителя. Иными словами, в электронном автогенераторе также имеется положительная обратная связь. Потери энергии колебаний резонатора в нём обусловлены не только внутренними процессами. Автогенератор изобрели для того, чтобы воздействовать колебаниями на какое-то устройство (нагрузку) — иначе он был бы просто не нужен (в часах нагрузкой является шестереночный механизм, приводящий в движение стрелки). В качестве колебательной системы в электронном автогенераторе используют обычно либо кварцевый резонатор, либо так называемый LC-контур — систему, состоящую из индуктивной катушки и конденсатора.

Квазигармонические (почти гармонические) незатухающие колебания можно получить, используя не только резонаторы, но и трехконтурники, состоящие из резисторов и конденсаторов. Сами они колебательными системами не являются, но среди них имеются такие конфигурации, которые способны обеспечить положительную обратную связь на определенной частоте.

Наряду с генераторами квазигармонических колебаний существуют генераторы, форма колебаний которых сильно отличается от синусоидальной. Их называют релаксационными генераторами. Наиболее известными среди них мультивибраторы и блокинг-генераторы. Основу релаксационных генераторов составляют усилители с положительной обратной связью. Колебания происходят потому, что в контуре обратной связи использованы конденсаторы, токи зарядки и разрядки которых проходят по разным путям, что обеспечивается транзисторами.

Автоколебания возможны также в системе без усилителя с обратной связью, если в ней есть источник питания и присутствует элемент, на характеристике которого имеется так называемый падающий участок. Наиболее отчетливо он виден на вольтамперной характеристике *туннельного диода* (см. участок АВ на рис. Д.9). В пределах падающего участка характеристики дифференциальное сопротивление  $r_d = du/di$  отрицательно. Благодаря этому и возможны

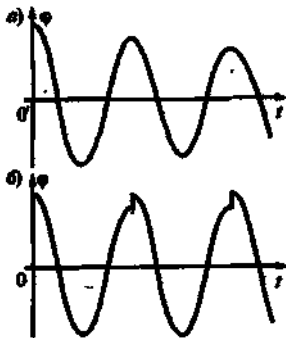


Рис. А.1. Колебания маятника: свободные (а) и затухающие (б)

колебания. В механике падающий участок свойствен характеристике элемента сухого трения (при переходе от покоя к движению сопротивление уменьшается). Всевозможные скрипы — не что иное, как автоколебания, обусловленные этим свойством. Возбуждение колебаний струн смычковых инструментов происходит по этой же причине.

**АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА** [от лат. *aggregatus* — присоединенный]. Твердое, жидкое и газообразное состояния одного и того же вещества, переходы между которыми сопровождаются скачкообразным изменением его физических свойств (см. также *Плавление, Отвердевание, Кипение и Конденсация*). Четвертым агрегатным состоянием часто называют *плазму*. Агрегатное состояние вещества зависит от физических условий, в которых оно находится, и прежде всего от его температуры и давления.

С другой стороны, переход из одного агрегатного состояния в другое может осуществляться непрерывно (см., например, *Аморфное состояние*), что указывает на некоторую условность выделения агрегатных состояний вещества. В связи с этим в общей физике вместо понятия 'агрегатные состояния' пользуются более широким понятием 'фаза'.

**АДДИТИВНОСТЬ** [от лат. *additivus* — прилагочный]. Свойство некоторых физических величин, состоящее в том, что значение величины, соответствующее целому объекту, равно сумме значений величин, соответствующих его частям при любом разбиении объекта на части. Свойством аддитивности обладают, например, объем, масса и вес тела.

**АДИАБАТА** [от греч. *adiabatos* — непроходимый]. *Историческая модель* теплового процесса, протекающего в газе при неизменной массе и без теплообмена с окружающей средой, введенная для его наглядного представления и построенная на *P-V* диаграмме как кривая, более круто изменяющаяся с изменением объема, чем изотерма, а на *S-T* диаграмме — как горизонтальная прямая, параллельная оси *T* (см. *Изоэнтропический процесс*).

**АДИАБАТИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС.** См. *Изоэнтропический процесс*.

**АККУМУЛЯТОР** [от лат. *accumulator* — собиратель]. Вторичный источник электропитания. Первый аккумулятор, названный в честь его создателя элементом Плянте, был построен в 1895 г. и состоял из двух свинцовых пластин (электродов), погруженных в раствор серной кислоты.

**АКСЕЛЕРОМЕТР** [от лат. *accelerare* — ускорять и греч. *μέτρον* — измерять]. Прибор, предназначенный для измерения ускорения движущихся тел. Простейший акселерометр состоит из маятника, установленного на движущемся теле, и стрелки. При ускоренном движении тела маятник отклоняется и приводит в движение стрелку, отклоняя ее на угол, пропорциональный ускорению тела. Конец стрелки перемещается по шкале, градуированной в единицах ускорения.

**АКСИОМА** [от греч. *αξίωμα* — значимое, принятое положение]. Утверждение, принимаемое за истинное без доказательства. Согласно *аксиоматическому методу* система аксиом составляет основание научной теории. То же, что *постулат* в естественных науках, в частности, в физике.

**АКСИОМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД.** Метод построения научной теории, согласно которому научная теория состоит из системы аксиом и теорем, причем теоремы имеют доказательства, основанные исключительно на аксиомах и теоремах, доказанных в рамках данной теории. Наиболее широко и последовательно применяют в *математике*.

**АКТИВНОСТЬ ИСТОЧНИКА РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ,  $A$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания быстроты превращения данного нуклида в другой и равная отношению числа распадов  $\Delta N$ , происходящих за интервал времени  $\Delta t$ , к этому интервалу времени:  $A = \Delta N / \Delta t$ .

**АКЦЕПТОРНАЯ ПРИМЕСЬ.** Примесь, валентность атомов которой на единицу меньше валентности атомов основного полупроводника. В подавляющем большинстве типов современных полупроводниковых приборов основным веществом является четырехвалентный кремний. Поэтому в качестве акцепторной примеси используют трехвалентные вещества (бор, алюминий, галлий, индий).

**АЛЛОТРОПИЯ** [от греч. *allos* — другой, иной и *τροπος* — поворот, свойство]. Явление, состоящее в существовании одного и того же химического элемента в виде двух или нескольких простых веществ, различающихся строением и свойствами, и обусловленное тем, что химический элемент может образовывать кристаллы либо разной формы, либо с различным числом атомов в молекуле. Их

называют аллотропическими формами, или модификациями. Для встречающихся в природе 82 элементов известно более 400 простых веществ.

Наиболее интересна аллотропия углерода. Давно известны две его модификации — графит и алмаз, резко различающиеся строением и свойствами. В алмазе атомы расположены на одинаковых расстояниях друг от друга. Это наиболее твердое природное вещество. Кристаллическая структура графита — слоистая. В каждом слое атомы расположены в вершинах шестиугольников на расстоянии  $1,42 \text{ \AA}$  друг от друга. Расстояние же между плоскостями  $3,35 \text{ \AA}$ . Ввиду этого связь между атомами в плоскостях очень сильная, а между плоскостями — слабая, и графит легко расщепляется на тончайшие чешуйки. Так же давно известен неупорядоченный (аморфный) углерод — сажа, древесный уголь.

Затем была обнаружена третья кристаллическая форма углерода — линейная, именуемая карбином. Длины молекул карбина колеблются от 50 до 250 нм (содержат они до 2000 атомов).

В 1985 г. были открыты удивительные углеродные молекулы  $C_{60}$ , содержащие по 60 атомов, образующих сферическую поверхность, аналогичную покрышке футбольного мяча, сшитого из 20 шестиугольных и 12 пятиугольных лоскутов кожи. Атомы углерода расположены в вершинах этих многоугольников. Диаметр такого “мячика” чуть больше  $10 \text{ \AA}$ . Одновременно были обнаружены более крупные молекулы, содержащие 70 и более атомов. Они похожи на цилиндрические баллоны, завершенные полусферами. Все многоатомные молекулы углерода называют фуллеренами. Из них образуются кристаллические вещества, именуемые фуллеритами или, с внедренными в них атомами металлов, — фуллеридами. И фуллериты, и фуллериды обладают уникальными свойствами и в настоящее время интенсивно исследуются во всем мире.

Как побочный продукт синтеза фуллеренов были получены графитовые нанотрубки, содержащие миллионы атомов и достигающие длины в десятки микрометров. Ожидают, что удастся производить нанотрубки произвольной длины. Нанотрубку можно представить себе как полоску из одного слоя графита, свернутую в трубку диаметром примерно 1 нм. Поскольку связи между атомами в графитовом листе самые сильные из всех известных, прочность нанотрубки на разрыв уникальна. Кроме того, электропроводность вдоль плоскости слоя графита самая высокая по сравнению с другими веществами. Поэтому ожидают, что из пучка нанотрубок можно будет изготавливать провода очень низкого сопротивления.

**АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ПРАВИЛО.** Правила правой и левой руки сугубо формальны. Поэтому полезно овладеть правилом, основанном на представлении Фарадея о силовых линиях магнитного поля и принципе Ленца. В этом случае необходимо использовать единственное общепринятое формальное правило — правую систему координат (см. *Правая и левая системы координат*). Состоит оно в следующей договоренности: направления тока и связанного с ним магнитного поля соответствуют правому венту (рис. А.2; крестиком обозначают направление тока от нас, точкой — к нам).



Рис. А.2. Условное соотношение направлений тока в проводе и связанного с ним магнитного поля

Движение провода с током в магнитном поле. На рис. А.3 показан провод без тока во внешнем магнитном поле (а) и провод с током, текущим от нас (б). Магнитное поле тока, складываясь с внешним магнитным полем, приводит к тому, что справа силовые линии сгущаются, а слева — разрежаются (рис. А.3, в). Сгущенные линии поля (образ: подобно натянутым резинкам) выталкивают провод влево (рис. А.3, г).



Рис. А.3. К определению направления движения провода с током во внешнем магнитном поле

Направление тока, вызванного движением провода. Предположим, направление внешнего магнитного поля и движения провода таковы, как показано на рис. А.4, а. Согласно принципу Ленца, ток должен иметь такое направление, чтобы препятствовать движению. Для этого линии магнитного поля должны сгуститься слева (рис. А.4, б). Значит, магнитное поле тока должно быть направлено против часовой



Рис. А.4. К определению направления тока в проводе, движущемся во внешнем магнитном поле



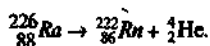
стрелки (рис. А.4, в). Поэтому, согласно правилу правого винта, ток должен течь к нам.

**АЛЬФА,  $\alpha$ .** Первая буква греческого алфавита. В переносном смысле используется как синоним слов *первый, начальный*.

**АЛЬФА-ИЗЛУЧЕНИЕ.** Термин используют в двух значениях. 1. Испускание радиоактивными ядрами *альфа-частиц*, сопровождающее радиоактивное превращение ядер. 2. Поток *альфа-частиц*, испускаемых радиоактивными ядрами.

**АЛЬФА-ЛУЧИ.** То же, что *альфа-излучение* (2).

**АЛЬФА-РАСПАД.** Распад *атомных ядер* с испусканием *альфа-частиц* (ядер гелия). При альфа-распаде *зарядовое число* уменьшается на две единицы, а *массовое число А* — на четыре единицы, например:



**АЛЬФА-ЧАСТИЦА.** Ядро атома гелия  ${}^4_2\text{He}$ , содержащее два протона и два нейтрона.

**АМОРФНОЕ СОСТОЯНИЕ** [от греч. amorphos — бесформенный]. Твердое состояние вещества, характеризующееся изотропией и отсутствием определенного значения температуры плавления. При повышении температуры аморфное вещество размягчается и постепенно переходит в жидкое состояние (ср. *Кристалл*).

**АМПЕР, А.** Единица силы электрического тока, одна из семи основных единиц в СИ. 1 ампер равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум прямолинейным параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную  $2 \cdot 10^{-7}$  Н.

**АМПЕРВОЛЬТОММЕТР, АВОМЕТР, ТЕСТЕР.** Комбинированный электроизмерительный прибор, предназначенный для измерения в широких пределах постоянного и переменного напряжения и силы тока, а также электрического сопротивления.

**АМПЕРМЕТР** [от *ампер* и греч. *metreo* — измеряю]. Прибор для измерения *силы электрического тока*. Пробразом современных амперметров был так называемый тангенс-гальванометр, состоящий из магнитной стрелки, установленной на острие и расположенной по оси свитого в катушку провода. При прохождении по проводнику электрического тока магнитная стрелка отклонялась на угол, приблизительно пропорциональный значению силы тока. Амперметр включают последовательно с участком электрической цепи, на котором производят измерения.

**АМПЛИТУДА** [от лат. *amplitudo* — пространственность, обширность]. Термин используют в двух значениях.

1. Модуль наибольшего отклонения от нуля физической величины, используемой для описания периодических колебательных процессов. Например, *математической моделью* колебания маятника в механических часах или тока колебательного контура в электронном генераторе является гармоническая функция:

$$x = X_m \sin(\omega t + \varphi),$$

где  $X_m$  — амплитуда (см. также *Гармонические колебания*).

2. Модуль наибольшего отклонения от нуля физической величины, колеблющейся не периодически. Например, свободные колебания, возбужденные в контуре состоящем из *конденсатора и индуктивной катушки (LC-контуре)*, постепенно затухают из-за потерь энергии. Математическая модель, удовлетворительно описывающая этот процесс:

$$x = X_m e^{-t/\tau} \sin(\omega t + \varphi),$$

где  $\tau \ll 1/\omega$  — постоянная времени. Амплитудой в этих случаях называют уменьшающуюся со временем величину  $X_m e^{-t/\tau}$ .

**АМПЛИТУДА ИМПУЛЬСА.** Модуль наибольшего отклонения от нуля напряжения (амплитуда импульса напряжения) или силы тока (амплитуда импульса тока) при периодическом или непериодическом процессе (включая одиночные импульсы).

**АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ.** См. *Модуляция*.

**АНАЛИЗ.** Прием *научного мышления*, состоящий в выводе закона поведения изучаемой системы посредством выявления ее элементарного (компонентного) состава и структуры на основе приращения к компонентным и структурным законам математических методов (ср. *Синтез*).

**АНАЛИЗАТОР** [от греч. *analysis* — разложение, разбор]. В оптике — устройство для обнаружения и исследования *поляризации света*. В первых опытах по поляризации света в качестве анализатора использовался кристалл турмалина в форме тонкой *плоскопараллельной пластинки*, вырезанной таким образом, чтобы одна из ее граней была параллельна оси кристалла. Вследствие *анизотропии турмалина* сильно поглощает электромагнитное излучение с колебаниями, происходящими в плоскости, перпендикулярной оси кристалла. Наоборот, электромагнитное излучение с колебаниями, происходящими в плоскости, параллельной оси кристалла, поглощается относительно слабо. При изучении поляризации свет пропускается через вращающийся анализатор. Если интенсивность света при этом изменяется, значит, свет поляризован, и наоборот. По углу поворота анализатора, при котором интенсивность прошедшего света минимальна, можно определить положение плоскости поляризации света (разумеется, в случае плоско поляризованного света).

**АНАЛОГИЯ**. Сходство функций различных объектов. Умозаключение по аналогии (*арием научного мышления*) позволяет выявлять неизвестные свойства или отношения объектов, принадлежащих к какой-то области объективного мира или зная их на основе сходства иных свойств и отношений с объектами другой области. Наиболее известный пример — *электромеханические аналогии*.

**АНГСТРЁМ, Å**. внесистемная единица *длины*, равная  $10^{-10}$  м. Название дано в честь шведского ученого Андреаса Йомаса Ангстрёма, который ввел ангстрём в употребление в 1868 г. Применяется главным образом в оптике, атомной и молекулярной физике.

**АНЕРОИД, БАРОМЕТР-АНЕРОИД** [от греч. *an* — полное отрицание, *petos* — влажный и *eidos* — вид]. Прибор для измерения *атмосферного давления*. Основная часть анероида — тонкостенная дискообразная металлическая коробочка, из которой откачан воздух. Под действием наружного воздуха крышка коробочки прогибается. Чем больше давление, тем больше прогибается крышка, и наоборот. Система рычагов увеличивает отклонение и сообщает его стрелке, которая перемещается по шкале, градуированной в единицах давления (см. также *Барометр*).

**АНИЗОТРОПИЯ** [от греч. *anisos* — неравный и *troros* — свойство]. Явление, состоящее в зависимости физических свойств от направления внутри монокристаллического тела и обусловленное

упорядоченным внутренним строением кристаллов. Наблюдается в явлениях тепло- и электропроводности, распространения и поглощения звука и света в монокристаллах. Анизотропия может быть свойственна и физическому пространству при наличии в нем электромагнитного, гравитационного полей (см. *Изоотропия*).

**АНИОН** [от греч. *ана* — вверх и *ион* — идущий]. Отрицательно заряженная *частица*, образующаяся из *атома* или *молекулы* в результате присоединения одного или нескольких *электронов*. Анионы могут существовать в растворах *электролитов*, *кристаллах* с ионной связью и в *газах*. Термин был введен в 1830 г. английским физиком Майклом Фарадеем для обозначения частиц вещества, осаждающихся при *электролизе* на *аноде*; отсюда и название — “идущий к аноду”.

**АННИГИЛЯЦИЯ** [от лат. *annihilatio* — ничто]. Явление, состоящее в превращении *частицы* и соответствующей ей *античастицы* при их столкновении в другие частицы, и обусловленное *электромагнитным* или *сильным взаимодействием*. Например, при аннигиляции *электрона* и *позитрона* возникают кванты электромагнитного поля — *фотоны*. Аннигиляция — не уничтожение материи, а переход ее из формы вещества в форму поля в полном соответствии с законами сохранения.

**АНОД** [от греч. *anodos* — путь вверх]. Положительный полюс *источника электричества* или *электрод* какого-либо прибора, присоединяемый к положительному полюсу источника. Термин введен в 1834 г. английским физиком Майклом Фарадеем.

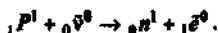
**АНТЕННА** [от лат. *antenna* — рея, мачта]. Устройство для *излучения* (*передающая антенна*) или *приема* (*приемная антенна*) *радиоволн*. Первая антенна была сконструирована в 1887 г. немецким физиком Генрихом Герцем и представляла собой два медных стержня с металлическими шарами на обращенных друг к другу концах, разделенных искровым промежутком и подключенных к *индукционной катушке*. Это устройство было названо в дальнейшем “*вibrator Герца*” (не путать с его мысленной моделью — *диполем Герца*). В разрядном промежутке возникали *электромагнитные колебания* частотой  $\nu = 5 \cdot 10^8$  Гц, что соответствует длине волны  $\lambda = 0,6$  м. Первые антенны, пригодные для практического использования, были построены в 1895—1896 гг. русским ученым А. С. Поповым и независимо от него итальянским инженером Г. Марconi.

**АНТИ...** [греч. anti]. Приставка, обозначающая противоположность или враждебность чему-либо (соответствует русскому "противо-").

**АНТИМИР** (см. *Анти...*). Мысленная модель строения некоторых космических объектов, введенная для решения задач космологии и построенная как совокупность *античастиц* (*антипротонов, антинейтронов и позитронов*), объединенных в антиатомы, которые, в свою очередь, образуют антивещество, из которого и построены эти объекты.

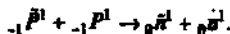
Несмотря на то, что в 1973 г. были искусственным путем получены ядра антигелия, состоящие из двух антипротонов и двух антинейтронов, представления об антимире остаются пока на уровне мысленной модели.

**АНТИНЕЙТРИНО**,  $\bar{\nu}$ . Электрически нейтральная элементарная частица; античастица по отношению к нейтрину. Существование антинейтрино было предсказано в 1930 г. физиком Вольфгангом Паули и экспериментально обнаружено в составе излучения ядерного реактора в 1956 г. американскими физиками Фредериком Райнесом и Клайдом Коуэном. В опыте наблюдался захват антинейтрино протоном с образованием нейтрона и позитрона, происходящий по реакции:



Наиболее важные процессы с участием антинейтрино: бета-распад ядер и электронный распад свободного нейтрона, обусловленные слабым взаимодействием, а также процессы, обусловленные электромагнитным и гравитационным взаимодействиями.

**АНТИНЕЙТРОН**,  $\bar{n}$ . Электрически нейтральная элементарная частица; античастица по отношению к нейтрону (см.). Антинейтрон был открыт в 1956 г. группой американских физиков (Б. Корк, Г. Ламбертсон, О. Пиччони и В. Венцель) в опытах по рассеянию лучка антипротонов на ядрах мишени, происходящему по схеме:

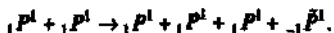


Подобно свободному нейтрону, антинейтрон — нестабильная элементарная частица; он распадается по схеме:



Однако гораздо более вероятна его аннигиляция с нейтроном с образованием нескольких заряженных пи-мезонов.

**АНТИПРОТОН,  $\bar{p}$** : Отрицательно заряженная элементарная частица; античастица по отношению к протону. Антипротон был открыт в 1955 г. группой американских физиков под руководством Эмилио Сегре и Оузена Чемберлена в опытах по рассеянию протонов, предварительно ускоренных на ускорителе, на ядрах медной мишени, происходящему по схеме:



При аннигиляции антипротона образуется несколько заряженных пи-мезонов.

**АНТИЧАСТИЦЫ** (см. Анти...). Элементарные частицы, способные к аннигиляции; имеют одинаковую с обычными частицами массу, спин и время жизни, однако различаются знаками электрического заряда и магнитного момента. Античастицей электрона является позитрон, протона — антипротон, нейтрона — антинейтрон.

**АППРОКСИМАЦИЯ**. Приближенное представление. Строго говоря, все наши знания приближенные (см. Модели в науке). Термин *аппроксимация* — математический. С математической точки зрения, аппроксимация состоит в замене сложной, трудной для анализа и вычислений математической модели упрощенной, более прозрачной для анализа и более легкой для вычислений. В основе аппроксимации лежит абстрагирование. Когда хотят указать, какая именно математическая зависимость применена для аппроксимации в конкретном случае, говорят о линейной аппроксимации, квадратичной аппроксимации и т. п. Естественно, что аппроксимирующая математическая модель является менее точной, чем исходная.

**АРЕОМЕТР** [от греч. *agalos* — неплотный, жидкий и *metreo* — измеряю]. Прибор для измерения плотности жидкости. Простейший ареометр представляет собой стеклянный сосуд с грузиком, снабженный длинным отростком, на который нанесена шкала. В жидкости ареометр погружается на большую или меньшую глубину в зависимости от плотности жидкости. Чем больше плотность жидкости, тем меньше погружается ареометр, и наоборот (см. Закон Архимеда). На шкале отмечены значения плотности жидкости, соответствующие погружению ареометра до данного деления.

**АТМОСФЕРА ЗЕМЛИ** [от греч. *atmos* — пар и *sphaia* — сфера]. Газообразная оболочка, окружающая Землю. Состоит из азота (78 %), кислорода (21 %), аргона, углекислого и других газов и паров воды.

**АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ.** *Давление*, которым оценивают интенсивность механического действия *атмосферы Земли* на находящиеся в ней предметы. Определяется весом вышележащего столба воздуха. Атмосферное давление убывает с высотой. Атмосферное давление впервые было измерено в опыте Торричелли (см. *Барометр*). В настоящее время для измерения атмосферного давления используют прибор *анероид*.

**АТОМ** [от греч. *атомос* — неделимый]. Наименьшая частица химического элемента, которая является носителем его свойств. Атом состоит из положительно заряженного ядра (см. *Атомное ядро*) и *электронов*. Размеры атома порядка  $10^{-10}$  м, энергия связи внешних электронов в атоме порядка 10 эВ (ср. *Молекула*).

**АТОМНАЯ ЕДИНИЦА МАССЫ**, а.е.м. внесистемная единица массы. Атомная единица массы —  $1/12$  массы атома изотопа углерода с массовым числом 12.  $1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27}$  кг.

**АТОМНАЯ ФИЗИКА.** Раздел физики, изучающий и описывающий строение и свойства атомов.

**АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ.** То же, что ядерная энергия (см. *Энергия*).

**АТОМНОЕ ЯДРО.** Центральная часть *атома*. Состоит из *протонов* и *нейтронов*, связанных *сильным взаимодействием* между ними (за исключением ядра атома водорода, состоящего только из одного протона). Существование атомных ядер было установлено в опытах английского физика Эрнеста Резерфорда (см. *Опыт Резерфорда*, *Планетарная модель атома*).

**АТОМНЫЕ СПЕКТРЫ.** Спектры поглощения или испускания света свободными атомами (см. *Поглощение и излучение света атомами*).

**АТРИБУТ.** *Неотъемлемое свойство вещи.*

Примечания. 1. Широко известна мысль о том, что материя не существует без движения, а движение — без материи, причем движение рассматривают широко — как всякое изменение. По-видимому, эту мысль следует расширить. Дело в том, что наряду с движением вещам присущи некоторые другие неотъемлемые особенности: конкретные свойства, отношения к другим вещам, взаимодействия с другими вещами, явления, процессы, события и состояния. Поэтому целесообразно

значение термина *атрибут* понимать более широко — как любую неотъемлемую особенность вещи.

2. Разберемся, к какому миру — миру вещей или миру идей — следует относить атрибуты (см. *Предмет мысли*). Бессмысленно рассуждать о какой-либо вещи, игнорируя ее конкретные атрибуты: только через них мы воспринимаем каждую вещь; без этого вещь для нас просто не существует. Поэтому, хотя конкретные атрибуты — не суть вещи, их необходимо исключить в мир вещей. Иными словами, мир вещей состоит из самих вещей и их конкретных атрибутов. Обобщающие же понятия '*атрибут вообще*', '*свойство вообще*', '*движение вообще*' и т. д. — абстракции, и они принадлежат миру идей.

АТТО..., а [от дат. atten — восемнадцать]. Приставка к наименованию единицы физической величины для образования дольной единицы, равной  $10^{-18}$  от исходной. Например, 1 ас (аттосекунда) =  $10^{-18}$  с.



# Б

**БАЗА** [от греч. *basis* — основание]. Средний слой *биполярного транзистора*. Носители заряда поступают в нее из наружного слоя, называемого *эмиттером*, и уходят в другой наружный слой — *коллектор*. Тип проводимости базы противоположен типу проводимости эмиттера и коллектора.

**БАЛЛИСТИЧЕСКАЯ КРИВАЯ** [от греч. *balio* — бросаю]. Траектория движения тела, брошенного под углом к горизонту. В первом приближении представляет собой кривую второго порядка, описываемую уравнением вида

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha},$$

где  $x, y$  — координаты тела,  $v_0$  — начальная скорость тела,  $\alpha$  — угол между вектором  $v_0$  и горизонтом,  $g$  — ускорение свободного падения. Впервые построена итальянским физиком Галилео Галилеем. При более точных расчетах необходимо учитывать сопротивление воздуха, уменьшение сопротивления воздуха с высотой и ряд других факторов.

**БАРОМЕТР** [от греч. *baros* — тяжесть и *metreo* — измеряю]. Прибор, предназначенный для измерения атмосферного давления. Первый барометр изготовил в 1643 г. итальянский физик Эванджелиста Торричелли. Он состоял из запаянной с одного конца стеклянной трубки длиной примерно 1 м и чашки с ртутью. Трубку наполняли ртутью и, плотно закрыв запаянный конец, погружали его в чашку с ртутью. Трубку устанавливали вертикально и освобождали отверстие. Под действием тяготения часть ртути выливается из трубки и уровень ртути в трубке над поверхностью ртути в чашке устанавливается на высоте, прямо пропорциональной измеряемому давлению. По результатам многолетних наблюдений нормальным принято считать атмосферное давление, соответствующее высоте столба ртути, равной 760 мм. При повышении давления ртути в трубке поднимается — «барометр поднимается», а при понижении — «барометр падает» (см. также *Анероид*).

**БАТАВСКИЕ СЛЕЗКИ**. Капельки застывшего стекла грушевидной формы с тонким хвостиком. Получают их, капая рас-

плавленное стекло в воду. В результате быстрого (и поэтому неравномерного) охлаждения поверхностного слоя и внутренних областей в батавской слезке возникают механические напряжения. Проявляются они следующим образом. Батавская слезка выдерживает, не разрушаясь, сильные удары по утолщенной части, но мгновенно рассыпается в порошок, если отломить хвостик. Энергия напряженного состояния столь значительна, что при отламывании хвостика в стакане с водой стакан обычно разбивается.

**БЕЗРАЗМЕРНАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА.** *Физическая величина*, в размерность которой основные физические величины входят в степенях, равных нулю. Например, коэффициент трения, коэффициент полезного действия, диэлектрическая проницаемость и вообще любая величина, равная отношению двух значений одной и той же величины.

**БЕККЕРЕЛЬ**, Бк. Единица активности источника радиоактивного излучения в СИ. Название дано в честь французского физика Антуана Анри Беккереля. Беккерель — активность источника радиоактивного излучения, в котором в 1 с происходит 1 акт радиоактивного распада.

**БЕЛ**, Б. Единица, равная десятичному логарифму отношения двух одноименных физических величин  $P_1$  и  $P_2$ :  $1 \text{ Б} = \lg(P_2/P_1)$  при  $P_2 = 10P_1$ . Названа в честь одного из изобретателей телефона — американского инженера Александра Грэхема Белла. Применяется в радиотехнике, акустике и др.

**БЕТА**,  $\beta$ . Вторая буква греческого алфавита. Иногда используют как синоним слова “второй”.

**БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЕ.** Термин используют в двух значениях. 1. Испускание радиоактивными ядрами *бета-частиц*. 2. Поток бета-частиц (*электронов* или *позитронов*), испущенных радиоактивными ядрами. В этом значении то же, что и бета-лучи.

**БЕТА-ЛУЧИ.** То же, что *Бета-излучение* (2).

**БЕТА-РАСПАД.** Термин используют в двух значениях.

1. Физическое явление, состоящее в превращении ядер одного химического элемента в ядра другого с испусканием бета-частиц

(электронов или позитронов), происходящее самопроизвольно и обусловленное слабым взаимодействием. Различают два вида бета-распада: а) электронный ( $\beta^-$ ), при котором образуется ядро с зарядовым числом на единицу больше, чем у исходного ядра, и происходит испускание электрона и антинейтрино:



и б) позитронный ( $\beta^+$ ), при котором образуется ядро с зарядовым числом на единицу меньше, чем у исходного ядра, и происходит испускание позитрона и нейтрино:



2. Физическое явление, состоящее в превращении нейтрона в протон и протона в нейтрон внутри ядер, а также превращении свободного нейтрона в протон, происходящем самопроизвольно и обусловленное слабым взаимодействием. В этом случае явление протекает по следующим схемам:



**· БЕТА-ЧАСТИЦА.** По современным представлениям то же, что и электрон или позитрон.

**БИ...** [от лат. bi — дву-, двух]. В сложных словах указывает на наличие двух предметов.

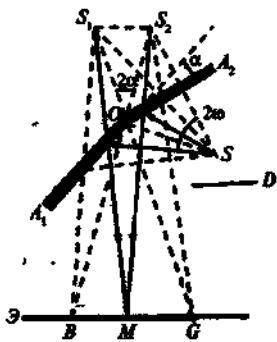


Рис. Б.1. Схема наблюдения интерференции света (бизеркало Френеля)

**БИЗЕРКАЛО.** Оптическое устройство, предназначенное для наблюдения интерференции света. Состоит из двух зеркал (рис. Б.1), образующих друг с другом угол, немного меньший  $180^\circ$ . Источник света S, отраженный в них, дает два близко расположенных друг к другу мнимых изображения  $S_1$  и  $S_2$ . Пучки света от этих изображений когерентны, так как образованы одним источником. Поэтому при их пересечении на экране Э образуется интерференционная картина, наблюдаемая визуально. Конструкция устройства предложена в 1816 г. французским физиком Огюстом Френелем.

**БИМЕТАЛЛИЧЕСКАЯ ПЛАСТИНКА.** Устройство, состоящее из двух слоев разнородных металлов, обычно сваренных друг с другом по всей поверхности соприкосновения. Действие устройства основано на различии коэффициентов теплового расширения материалов, из которых изготовлена пластинка: при нагревании или охлаждении она изгибается. В начале XX в. шведский инженер Нильс Густав Дален предложил использовать ее для автоматического заклинивания и гашения морских маяков. После захода солнца конструкция, представляющая собой биметаллическую пластинку с одним закрепленным концом, охлаждается, изгибается и приводит в действие устройство, включающее маяк. Это изобретение позволило построить множество маяков, работающих автоматически и не нуждающихся в обслуживающем персонале, что существенно повысило безопасность мореплавания. По этим соображениям в 1912 г. шведский изобретатель был удостоен Нобелевской премии по физике.<sup>2</sup>

**БИНОКЛЬ** [от лат. *binus* — два и *oculus* — глаз]. Прибор, предназначенный для визуального наблюдения удаленных предметов двумя глазами. Бинокль состоит из двух зрительных труб, расположенных так, что их оптические оси параллельны. В биноклях со зрительными трубами типа трубы Галилея создается прямое и увеличенное изображение наблюдаемого предмета. Для получения такого же изображения в бинокле, построенном на основе зрительных труб типа трубы Кеплера, между объективом и окуляром помещают оборачивающую систему, состоящую из двух прямоугольных призм с двумя отражающими гранями, расположенными под углом 90° друг к другу.

#### **БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЭКВИВАЛЕНТ РЕНТГЕНА (см. БЭР).**

**БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР.** *Триакстор*, процессы в котором обусловлены движением как основных, так и неосновных носителей (отсюда название “биполярный”). Представляет собой полупроводниковый кристалл, состоящий из трех слоев примесного полупроводника с металлическими выводами от каждого слоя. Два наружных слоя — одного типа проводимости, внутренний — противоположного. Один из наружных слоев называют эмиттером, другой — коллектором; внутренний слой — базой. Между слоями имеются два электронно-дырочных перехода, которые и определяют специфику протекания тока через транзистор.



Рис. Б.2. Схематическое изображение биполярного транзистора типа  $n-p-n$  в разрезе

От каждого слоя сделаны металлические выводы, которыми транзистор присоединяют к другим элементам электрической цепи.

Главное свойство транзистора благодаря которому он получил широчайшее распространение — способность работать в качестве управляющего элемента усилительного каскада (см. *Усиление, Усилительный каскад*). Свойство это проявляется в том, что влияние входа транзистора на его выход значительно сильнее, чем влияние выхода на вход.

Входом транзистора является пара выводов база-эмиттер, а выходом — пара выводов коллектор-эмиттер. В усилительный каскад транзистор включают так, что напряжение между коллектором и базой оказывается *обратным*

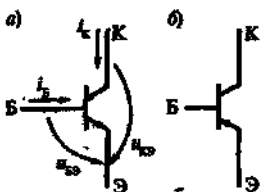


Рис. Б.3. Условные обозначения транзисторов типа  $n-p-n$  (а) и  $p-n-p$  (б)

Условное графическое обозначение транзистора  $n-p-n$  типа с направлениями отсчета напряжения и силы тока (см. *Правила знаков...*) показано на рис. Б.3, а, а транзистора  $p-n-p$  типа — на рис. Б.3, б. Вывод транзистора, обозначенный стрелкой, называют выводом эмиттера, напротив него — вывод коллектора, в сторону — вывод базы.

В соответствии с возможностями чередования слоев производят транзисторы типа  $n-p-n$  и типа  $p-n-p$ . На рис. Б.2 схематически изображен в разрезе транзистор типа  $n-p-n$ . Слой наименьшего размера — эмиттер (1), наибольшего — коллектор (2), между ними — база (3). От каждого слоя сделаны металлические выводы, которыми транзистор присоединяют к другим элементам электрической цепи.

Поэтому, если через эмиттерно-базовый переход ток не течет, коллекторный ток пренебрежимо мал. Если же через эмиттерно-базовый переход течет прямой ток, электроны, вошедшие в базу из эмиттера, достигают коллектора и появляется ток коллектора (он почти равен току эмиттера). От тока коллектора зависит ток нагрузки (приемника).<sup>1</sup>

<sup>1</sup> К сожалению, коротко и понятно объяснить все существенные особенности принципа действия транзистора как управляющего элемента усилительного каскада, по-видимому, невозможно.

Поведение транзистора в статическом режиме описывают парой зависимостей, например такой:

$$\begin{cases} u_{БЭ} = f_1(i_{Б}, u_{КЭ}) \\ i_{К} = f_2(i_{Б}, u_{КЭ}) \end{cases}$$

Так как эти зависимости существенно нелинейны, их представляют в графической форме и называют: первую — семейством (множеством) входных характе-

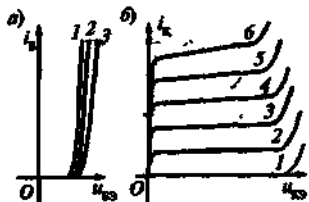


Рис. Б.4. Семейства входных (а) и выходных (б) характеристик транзистора

ристик, вторую — семейством выходных характеристик. Они показаны на рис. Б.4, а, б соответственно. Разные кривые на рис. Б.4, а соответствуют трем различным значениям напряжения  $u_{КЭ}$ :  $u_{КЭ1} < u_{КЭ2} < u_{КЭ3}$ . Разные кривые на рис. Б.4, б соответствуют разным значениям тока базы  $i_{Б}$ :  $i_{Б1} < i_{Б2} < i_{Б3} < i_{Б4} < i_{Б5} < i_{Б6}$ . Количественное различие влияния вход  $\rightarrow$  выход и выход  $\rightarrow$  вход можно оценить, введя величины:  $\Delta i_{К}/\Delta i_{Б}$  при  $u_{КЭ} = \text{const}$  и  $\Delta u_{БЭ}/\Delta u_{КЭ}$  при  $i_{Б} = \text{const}$ . У современных транзисторов значение первой величины примерно равно  $10^2$ , а второй —  $10^{-3}$ .

Характеристики транзистора типа *p-n-p* отличаются от характеристик транзистора типа *n-p-n* только противоположными знаками напряжений и токов.

**БЛИЗКОДЕЙСТВИЕ.** Теория взаимодействия тел, построенная на основе представления о том, что взаимодействие осуществляется посредством физического поля и распространяется с конечной скоростью. Основы современной теории близкого действия были заложены в работах английского физика Майкла Фарадея (ср. *Дальноедействие*).

**БЛИЗОРУКОСТЬ.** Недостаток зрения, при котором хорошо видны близкие предметы (отсюда и название), а изображение удаленных предметов получается расплывчатым. Близорукость — результат чрезмерно большой *оптической силы* глаза или слишком большой длины (глубины) глазного яблока (см. *Глаз*). Обе причины приводят к тому, что входящие в глаз лучи собираются не на сетчатке, а перед ней (рис. Б.5, а). Исправляют ношением очков с вогнутыми линзами (рис. Б.5, б) (ср. *Дальновидность*).

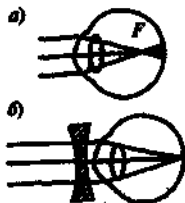


Рис. Б.5. Схематическое изображение близорукости (а) и способа ее исправления (б)

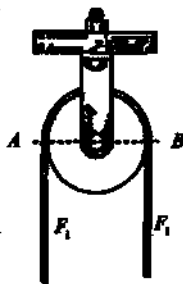


Рис. Б.б. Схема устройства простого блока

**БЛОК** (простой блок). Грузоподъемный механизм, представляющий собой диск с желобом, через который перекинут канат. Используется для изменения направления, в котором нужно прикладывать усилие для поднятия груза (рис. Б.б), и, в отличие от двойного блока, не дает «выигрыша в силе». Известен с глубокой древности.

**БОЗОНЫ.** Частицы и квазичастицы с нулевым или целочисленным спином, описываемые статистикой Бозе—Эйнштейна. К бозонам относятся фотоны, пи-мезоны и др. (ср. Фермионы).

**БОЛОМЕТР** [от греч. *bole* — бросок и *metreo* — измеряю]. Прибор, предназначенный для измерения мощности электромагнитного излучения в оптическом диапазоне. Действие болометра основано на изменении электрического сопротивления проводника при его нагревании вследствие поглощения им измеряемого потока излучения. Прибор состоит из двух тонких зачерненных металлических пластинок, включенных в два плеча мостовой схемы, с помощью которой измеряется изменение электрического сопротивления. Излучение направляется на одну из пластинок, а другая служит для компенсации изменения температуры окружающей среды и исключения других помех. Первый болометр был построен в 1884 г. американским физиком Сэмюэлем Ленгли.

**БРОУНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ.** Физическое явление, состоящее в беспорядочном движении мелких частиц, взвешенных в жидкости, и обусловленное случайным воздействием на них молекул жидкости. Впервые наблюдал в 1827 г. английский ученый Роберт Броун.

**БЭР** [сокр. от *Биологический эквивалент рентгена*]. Внесистемная единица дозы ионизирующего излучения, используемая для сведения биологического действия различного рода излучений к эквивалентному действию рентгеновского излучения. Обозначение — бэр. 1 бэр =  $10^{-2}$  Дж/кг.

# В

**ВАКУУМ** [от лат. *vacuus* — пустота]. Состояние газа в герметически замкнутом сосуде, при котором его давление значительно ниже атмосферного. В зависимости от соотношения *длины свободного пробега*  $l$  атомов или молекул газа и размеров  $d$  сосуда различают четыре степени вакуума: низкий ( $l < d$ ), средний ( $l = d$ ), высокий ( $l > d$ ) и сверхвысокий вакуум (область давлений ниже  $10^{-5}$  Па).

**ВАКУУММЕТР**. Прибор для измерения давления разреженных газов.

**ВАТЕРЛИНИЯ** [от голл. *water* — вода и *lijn* — линия]. Линия на корпусе судна, указывающая наибольший допустимый уровень его погружения при загрузке (см. *Закон Архимеда*). Обычно корпуса судов выше и ниже ватерлинии окрашивают в разные цвета.

**ВАТТ**. Единица мощности и потока излучения в СИ. Название дано в честь шотландского изобретателя, создателя универсального парового двигателя Джеймса Уатта (Ватта). 1 Ватт — мощность, соответствующая изменению энергии на 1 Дж за 1 с при равномерной передаче движения (равномерном совершении работы). Обозначение — Вт.

**ВАТТМЕТР**. Прибор для измерения активной мощности в электрических цепях.

**ВВЕДЕНИЕ АБСТРАКТНЫХ ВЫРАЖЕНИЙ**. Индуктивный метод введения абстракций высокого уровня. Состоит в следующем. *Операциональным определением* вводит имя (термин) абстракции первого уровня (см. *Понятие*). Затем путем обобщения, используя *определение через объем понятия*, вводит имя абстракции второго уровня, затем — третьего и т. д.

Применение этого метода продемонстрировано при определении понятия *Физические величины*.

Для установления соответствия ранее введенных абстракций объективной реальности применяют обратную процедуру — *исключение*. Состоит она в том, что конечным числом логических шагов конкретизации абстракция должна быть сведена к опера-



циональному определению. Если этого не удастся сделать, абстракцию следует изъять из теории как фиктивную, не отвечающую реальности. *Принцип наблюдаемости и принцип разрешимости* являются выражениями этой идеи.

**ВЕБЕР.** Единица магнитного потока в СИ. Название дано в честь немецкого физика Вильгельма Эдуарда Вебера. 1 Вебер — *магнитный поток* поля, при убывании которого до нуля в сплетенном с ним контуре сопротивлением в 1 Ом проходит заряд в 1 Кл. Обозначение — Вб.

**ВЕБЕРМЕТР.** Прибор для измерения *магнитного потока*.

**ВЕКТОР** [от лат. *vector* — ведущий, несущий]. Направленный отрезок, одна из граничных точек которого принята за начало, а другая — за конец. Имеет два существенных свойства: направление и длину (модуль). Векторы обычно обозначают буквами жирного шрифта (см. *Векторные физические величины*).

**ВЕКТОРНОЕ ПОЛЕ.** В теории поля — математическая модель области пространства, введенная для решения задач о его поведении и построенная так, что каждой точке пространства поставлен в соответствие некоторый *вектор* (например, вектор напряженности электрического поля в данной точке пространства). В общем случае при переходе от точки к точке модуль и направление вектора непрерывно изменяются. Теорию поля используют для количественного описания как физических полей (например, электрического или магнитного), так и в случаях, когда физического поля нет (например, течение жидкости может быть описано полем скоростей). Необходимо различать, когда термином *поле* обозначают объективную реальность, а когда — математическое понятие (авторы книг и учебников не всегда это оговаривают) (ср. *Скалярное поле, Силовое поле*).

**ВЕКТОРНОЕ ПРОИЗВЕДЕНИЕ ВЕКТОРОВ  $A$  и  $B$ .** Вектор, обозначаемый символом  $[A \cdot B]$  или  $A \times B$ , длина которого равна  $|A| \cdot |B| \cdot \sin(\angle AB)$  (т. е. площади параллелограмма, стороны которого — перемножаемые векторы) и который направлен перпендикулярно к  $A$  и  $B$  так, что  $A$ ,  $B$  и  $[A \cdot B]$  образуют правую тройку векторов (см. *Момент силы*, ср. *Скалярное произведение векторов*).

**ВЕКТОРНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ.** Физические величины, характеризуемые значением и направлением и складываемые по правилу параллелограмма (см. *Правило параллелограмма*). Значение векторной величины называют ее модулем. Модуль векторной величины всегда скаляр, причем всегда положительный (неотрицательный). Векторными физическими величинами являются *радиус-вектор, перемещение, скорость, ускорение, сила, напряженность электрического поля* и др. Обозначают векторные величины прямыми латинскими буквами жирного шрифта (ср. *Скалярные физические величины*). Математическая модель векторной физической величины — *вектор*, направление которого совпадает с направлением векторной физической величины, а длина (модуль) — с ее числовым значением.

**ВЕНТИЛЬНЫЙ ФОТОЭФФЕКТ.** Явление, состоящее в превращении полупроводника с электронно-дырочным переходом в источник тока под действием света, обусловленное разделением (перераспределением) электронов и дырок в нем.

**ВЕС ТЕЛА.** *Сила*, которой оценивают интенсивность действия тела (вследствие притяжения к Земле) на горизонтальную опору или подвес, удерживающие его от свободного падения.

**ВЕСЫ.** Средство измерений массы тела (см. *Измерения*). Термин неправильно ориентирующий. Прибор для измерения массы логично было бы называть "массометром" (по аналогии с термометром). Однако в давние времена массу и вес тела не различали, и соответствующий прибор называли весами, т. е. измерителем веса. Слово закрепилось в языке.

**ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ВТОРОГО РОДА.** Воображаемая, но неосуществимая машина, в которой работа совершается за счет теплоты, получаемой от одного резервуара, без передачи части ее холодильнику. Построение вечного двигателя второго рода противоречит *второму началу термодинамики*. Поэтому *2-й закон термодинамики* иногда формулируют так: нельзя построить вечный двигатель второго рода.

**ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ПЕРВОГО РОДА.** Воображаемая, но неосуществимая машина, в которой работа совершается без затраты энергии. Построение вечного двигателя первого рода противоречит *первому началу термодинамики*. Поэтому *1-й закон термодинамики* иногда формулируют так: нельзя построить вечный двигатель первого рода.

**ВЕЩЕСТВО.** Один из двух видов материи. Вещество характеризуется наличием массы покоя. Различают простые (химические элементы) и сложные (химические соединения, сплавы и др.) вещества. См. *Вещество и поле*.

Ввиду чрезвычайного многообразия веществ (всё, что нас окружает — вещества или поля) очень велико число их свойств и отношений, изучаемых естественными науками.

**ВЕЩЕСТВО И ПОЛЕ.** Представления людей о познаваемой нашей психикой объективной реальности (материи) в течение веков значительно изменялись. В настоящее время признано, что материя (см. *Материя и сознание*) существует в двух формах — вещества и поля. Различаются они прежде всего степенью локализации (сосредоточенности) в пространстве. Веществом называют объекты, имеющие более или менее определенные границы. Границ поля чаще всего указать невозможно — его интенсивность изменяется от точки к точке непрерывно, убывая или возрастая.

Представителями вещества являются атомы, молекулы, группы молекул, тела в различных агрегатных состояниях (твердом, жидком, газообразном, плазменном). Наиболее известные поля — электромагнитное и гравитационное. Принято говорить, что электроны и протоны являются частицами вещества, служащими “источниками” электромагнитного поля. Формулировка неудачна тем, что создает впечатление, будто электромагнитное поле “выделяется” из этих частиц, становясь самостоятельной сущностью. В действительности поле является неотъемлемой частью электрона или протона. Логично говорить, что электрон содержит внутреннюю (центральную) часть, более или менее локализованную в пространстве, и периферийную — окружающее ее электромагнитное поле. Срединной части электрона присущи инертность и гравитационность, количественно оцениваемые массой, а также свойства, оцениваемые спином — *моментом импульса* (количества движения) — и магнитным моментом. Способность электрона взаимодействовать на расстоянии с электронами и с другими “заряженными” частицами обусловлена его периферийной областью — электромагнитным полем.

Электромагнитное поле может существовать автономно в форме электромагнитных волн, движущихся относительно вещественных объектов со скоростью света.

**Примечание.** Довольно часто вещество называют материей. Это нехорошо, так как термин *материя* закреплен за объективной реальностью, включающей в себя и вещество, и поле.

## **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ.** См. *Движение и взаимодействие.*

**ВЗВЕШИВАНИЕ.** Процедура измерения массы тела (см. *Измерение*).

**ВИБРАТОР** [от лат. *vibro* — колеблю(сь)]. Любая система, в которой могут возникнуть колебания (механические, электромагнитные). Вибратор в технике — устройство для получения механических колебаний.

**ВИБРАТОР ГЕРЦА.** Открытый колебательный контур, которым пользовался Герц для опытов по обнаружению электромагнитных волн. Представляет собой прямой провод с разрезом посередине (так называемый искровой промежуток) (См. *Антенна*).

**ВИБРАЦИЯ** [от лат. *vibratio* — колебание, дрожание]. Механические колебания. В технике вибрация возникает в машинах, механизмах, сооружениях, конструкциях и т. п. Вибрация бывает полезная и вредная. Например, в строительстве, дорожных и других машинах вибрация полезна и возбуждается преднамеренно вибраторами (см. *Вибратор*), а в работе транспортных средств, двигателей, турбин и других машин вибрация вредна, так как приводит к нарушению режима работы и даже разрушению устройства. Для подавления вредной вибрации и снижения ее действия применяют различные меры защиты.

**ВИДИМОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.** Электромагнитное излучение в диапазоне длин волн 380—770 нм, вызывающее у человека зрительное ощущение.

**ВИНТОВОЕ ДВИЖЕНИЕ.** Сложное движение частицы (тела), состоящее из вращения вокруг некоторой оси и поступательного движения вдоль этой оси, называемой винтовой осью.

**ВИСКОЗИМЕТР.** Прибор для измерения коэффициента вязкости жидкостей и газов.

**ВИХРЕВОЕ ДВИЖЕНИЕ.** Движение жидкости или газа, сопровождающееся вращением элементарных объемов (частиц). Вихревое движение свойственно подавляющему большинству течений жидкости и газа в природе и технике. Природные вихревые движения в атмосфере наблюдаются в виде циклонов и смерчей.

**ВИХРЕВОЕ ПОЛЕ.** Векторное поле, циркуляция вектора напряженности которого по какому-либо замкнутому контуру отлична от нуля. Например, магнитное поле тока.

**ВИХРЕВЫЕ ТОКИ** (токи Фуко). Явление, состоящее в том, что под влиянием переменного магнитного поля электрический ток индуцируется не только в специально для этого предназначенных обмотках (см. *Электромагнитная индукция*), но и в любой проводящей среде. Открыто французским физиком Жаном Бернаром Леоном Фуко. Вихревые токи, возникающие в магнитопроводах (сердечниках) трансформаторов, электродвигателей, электромашинных генераторов и т. п., вредны, так как приводят к их нагреванию и понижают коэффициент полезного действия. Для уменьшения вихревых токов магнитопроводы делают не сплошными, а составляют (набирают) из тонких изолированных друг от друга листов специальной стали, называемой трансформаторной, удельное сопротивление которой повышено специально вводимыми примесями.

Вместе с тем вихревые токи нашли применение в ряде технологических процессов — индукционном нагреве и плавке металлов, перекачке расплавленного металла в трубах, бестиглевой плавке металлов (плавящийся металл висит в воздухе в результате взаимодействия внешнего и индуцированного в нем магнитного поля) и др.

**ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА.** См. *Абсолютная влажность воздуха* и *Относительная влажность воздуха*.

**ВНЕСИСТЕМНАЯ ЕДИНИЦА ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ** (внесистемная единица). Единица физической величины, не входящая в принятую систему единиц. По отношению к СИ внесистемные единицы разделяются на четыре группы: 1) допускаемые наравне с единицами СИ (например: тонна, минута, час, сутки, литр, гектар, электрон-вольт); 2) допускаемые к применению в специальных областях; 3) временно допускаемые; 4) недопускаемые.

**ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ.** Открыт в 1887 г. немецким физиком Генрихом Герцем. В 1888 г. переоткрыт независимо немецким физиком Вильгельмом Гальваксом, итальянским физиком Аугусто Риги и русским физиком Александром Григорьевичем Столетовым. Эффект состоит в возникновении в разрядном промежутке в пространстве между катодом и анодом электрического тока при облучении катода светом (электромагнитным излучением).

Подробное и систематическое исследование внешнего фотоэффекта провел А.Г. Столетов в 1888—1890 гг. Схема его опыта изображена на рис. В.1. Между обкладками конденсатора, состоящего из цинковой пластинки  $C_1$  и металлической сетки  $C_2$ , с помощью батарей  $V$  создавалось электрическое поле. Ток, возникающий при облучении отрицательно заряженной пластинки  $C_1$  излучением дугового разряда  $S$ , измерялся гальванометром  $G$ .

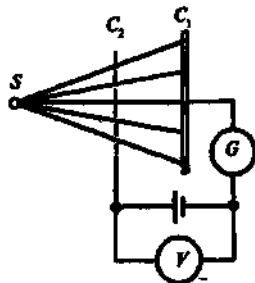


Рис. В.1. Схема установки по исследованию внешнего фотоэффекта в опытах Столетова

На основании своих опытов Столетов установил следующие закономерности протекания внешнего фотоэффекта: а) под действием света вещество теряет только отрицательный заряд; б) внешний фотоэффект вызывается преимущественно ультрафиолетовыми лучами; в) разряжающее действие лучей (сила фототока) пропорционально мощности падающего излучения; г) разряжающее действие лучей обнаруживается даже при весьма кратковременном облучении, причем между моментом облучения и началом разряда не протекает заметного времени, т. е. внешний фотоэффект практически безынерционен.

Впоследствии было показано, что для каждого вещества существует вполне определенная длина волны  $\lambda_{\text{макс}}$  (частота  $\nu_{\text{мин}}$ ), при которой еще возможен фотоэффект. При длинах волн  $\lambda > \lambda_{\text{макс}}$  ( $\nu < \nu_{\text{мин}}$ ) фотоэффект в данном веществе отсутствует. Значение  $\lambda_{\text{макс}}$  ( $\nu_{\text{мин}}$ ) называют длинноволновой, или красной, границей фотоэффекта.

Волновая электромагнитная теория света не смогла объяснить закономерности протекания внешнего фотоэффекта.

После открытия электрона в 1897 г. и фотона в 1905 г. оказалось, что внешний фотоэффект обусловлен выбиванием из катода электронов фотонами. Теорию внешнего фотоэффекта создал

Альберт Эйнштейн. Его формула  $h\nu = A + \frac{mV_M^2}{2}$  (где  $h\nu$  — энергия

фотона,  $A$  — работа выхода электрона,  $\frac{mV_M^2}{2}$  — максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов) несмотря на свою простоту объясняет основные закономерности протекания внешнего фотоэффекта. За работы по созданию теории внешнего фотоэффекта А. Эйнштейн в 1922 г. был удостоен Нобелевской премии по физике.

**Внешний фотоэффект** широко применяют в электронике.

На основании описанных признаков внешнего фотоэффекта построим полное определение. Внешний фотоэффект — явление, состоящее в возникновении в разрядном промежутке (в пространстве между анодом и катодом) электрического тока при облучении катода светом и обусловленное выбиванием из катода электронов фотонами.

**ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ В ГАЗАХ.** Явление, состоящее в возникновении сопротивления (сила трения) между двумя смежными слоями газа, движущимися параллельно друг другу, и обусловленное нарушением полной хаотичности теплового движения его молекул.

**ВОЗГОНКА (сублимация).** Явление, состоящее в непосредственном (без плавления) переходе вещества из твердого состояния в газообразное при его изобарическом нагревании ниже давления тройной точки этого вещества и обусловленное наличием в веществе атомов (молекул), кинетическая энергия которых превышает энергию связи атомов (молекул) в веществе. Явление происходит с поглощением тепла.

**ВОЛНА.** Процесс распространения колебаний в пространстве с течением времени. Основная особенность волны состоит в том, что они осуществляют перенос движения (*энергии* (2)) без переноса вещества.

**ВОЛНОВАЯ ОПТИКА.** Раздел оптики, изучающий и описывающий явления, в которых проявляется волновая природа света.

**ВОЛНОВАЯ ПОВЕРХНОСТЬ.** Иконическая модель волны, введенная для наглядного представления ее распространения в среде и построенная как множество точек, колеблющихся в одинаковой фазе.

**ВОЛНЫ.** Волны различают по природе (механические (упругие) волны и электромагнитные волны) и по ориентации переноса возмущения относительно направления распространения (продольные волны и поперечные волны).

Механические (в частности, звуковые) волны — распространяющиеся в среде упругие деформации; электромагнитные волны — распространяющиеся в пространстве электромагнитные поля.

Упругие волны в газе распространяются в результате того, что колебательное движение частиц среды создает чередующиеся сжатия и разрежения, которые вызывают колебательное же движение частиц в следующем слое.

Электромагнитные волны распространяются в пространстве в результате того, что появившееся в каком-либо месте пространства переменное электрическое поле возбуждает в соседних областях переменное магнитное поле, и наоборот — возникающее в этом месте магнитное поле возбуждает в соседних областях электрическое поле; возбуждая друг друга, эти поля в виде единого электромагнитного поля распространяются в пространстве.

В поперечных волнах, распространяющихся в одном и том же направлении, возмущения по-разному могут ориентироваться в плоскости, перпендикулярной плоскости распространения. С этими различиями связаны разные виды поляризации волны (см. *Естественный свет, Частично поляризованный свет, Линейно (плоско) поляризованный свет, Циркулярно поляризованный свет, Эллиптически поляризованный свет*).

**ВОЛНЫ ДЕ БРОЙЛЯ.** Волны, описывающие состояние микрочастиц и отражающие их квантовую природу и корпускулярно-волновой дуализм свойств. Внес в качестве гипотезы в 1923 г. французский физик Луи де Бройль. Согласно его гипотезе, каждой микрочастице импульса  $P$  и энергии  $E$  соответствует волна де Бройля частоты  $\nu = E/h$  с длиной волны  $\lambda = h/P$ ,  $h$  — постоянная Планка. Последующее экспериментальное открытие дифракции электронов и других микрочастиц блестяще подтвердило гипотезу де Бройля. Развитие представлений о волнах де Бройля привело к понятию волновой функции и созданию квантовой механики.

**ВОЛЬТ.** Единица электрического напряжения в СИ. Название дано в честь итальянского ученого Алессандро Вольты. 1 вольт — постоянное электрическое напряжение, измеренное на участке электрической цепи, соответствующее силе тока 1 А при мощности на этом участке 1 Вт. Обозначение — В.

**ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА (ВАХ).** Математическая модель ненакапливающего двухэлектродного (источника электропитания, резистора, диода и т. п.), которая представляет собой взаимосвязь электрического напряжения и силы тока,



измеренных на выводах двухполюсника. Обычно выражена в графической форме.

**Примечание.** Часто пишут, что ВАХ — зависимость силы тока от напряжения. Тем самым создается впечатление, будто бы напряжение первично (отображает причину), а сила тока — вторична (отображает следствие). Это — грубая ошибка. В действительности напряжение и сила тока взаимосвязаны между собой. Что из них первично, а что вторично, рассматривая один элемент (вне цепи), сказать нельзя. Напряжение и сила тока — равноправные величины. Приведенное заблуждение подкрепляется тем, что обычно при вычерчивании вольт-амперной характеристики напряжение откладывают по оси абсцисс, а силу тока — по оси ординат, из-за чего они воспринимаются как “независимая переменная” и “зависимая переменная” соответственно (см. *Тирания формы*).

**ВОЛЬТМЕТР.** Прибор для измерения электрического напряжения в цепях постоянного и переменного тока. Включается в цепь параллельно. Различают демонстрационные, лабораторные и цитовые вольтметры. Если прибор предназначен для работы в цепи переменного тока, то на шкале прибора стоит знак “~”, а если в цепи постоянного тока, то знак “—”.

**ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ.** *Механическое движение* двух видов. 1) Вращательное движение вокруг неподвижной оси — движение, при котором все точки тела, двигаясь в воображаемых параллельных плоскостях, описывают окружности с центрами, лежащими на одной неподвижной прямой, перпендикулярной к этим плоскостям и называемой осью вращения. 2) Вращательное движение вокруг неподвижной точки — движение, при котором все точки тела движутся по поверхности концентрических сфер с центрами в неподвижной точке. Вращательное движение вокруг неподвижной точки можно рассматривать как вращение вокруг мгновенной оси, проходящей через эту точку (ср. *Поступательное движение*, см. также *Момент инерции*, *Момент силы*).

**ВРАЩЕНИЕ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА.** Явление, состоящее в повороте плоскости поляризации линейно поляризованного света при прохождении через некоторые вещества, называемые оптически активными, и обусловленное различием в скоростях распространения циркулярно право- и левополяризованных составляющих линейно поляризованного света.

**ВРЕМЯ.** Одна из семи основных физических величин в *системе физических величин LMTQJN*, служащей базой для построения

международной системы единиц СИ. Время — скаляр. Введено для количественного оценивания длительности процессов. Измеряется путем сравнения с интервалами времени, отсчитываемыми мерами времени — часами. При изготовлении часов обеспечивают надлежащую точность путем передачи им единицы времени от образцовых часов, получивших ее, в конечном счете, от эталона времени. Условное обозначение времени и его размерности —  $T$ . Единица времени — секунда (с).

**Примечание.** Термин *время* широко используют также во втором значении — как синоним слов *длительность* и *продолжительность* (см. *Пространство и время*).

**ВРЕМЯ ЖИЗНИ.** Время, в течение которого число нестабильных атомных ядер или элементарных частиц, а также неравновесных носителей заряда в полупроводниках уменьшается в  $e$  раз ( $e$  — основание натуральных логарифмов).

**ВРЕМЯ РЕЛАКСАЦИИ.** Время, в течение которого отклонение какой-либо переменной состояния системы от ее равновесного значения уменьшается в  $e$  раз ( $e$  — основание натуральных логарифмов).

**ВТОРАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ.** Минимальная скорость, необходимая для того, чтобы космический летательный аппарат превратился в искусственный спутник Солнца.

Формула второй космической скорости

$$v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{R}},$$

где  $G$  — гравитационная постоянная,  $M$  — масса Земли,  $R$  — расстояние от центра Земли до космического аппарата.

У поверхности Земли  $v_2 = 11,186$  км/с (ср. *Первая космическая скорость*, *Третья космическая скорость*).

**ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ.** См. *2-й закон термодинамики*.

**ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ.** Управляющий элемент электрической цепи, предназначенный для замыкания и размыкания цепи.

**ВЫНУЖДЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.** Излучение электромагнитных волн частицами вещества (атомами и молекулами), находя-

щимися в возбужденном состоянии, под действием вынуждающего электромагнитного излучения. Вынужденное излучение лежит в основе работы квантовых генераторов.

**ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ.** Колебания, совершающиеся в системе под влиянием периодически изменяющегося внешнего воздействия. Характер вынужденных колебаний зависит как от свойств внешнего воздействия, так и от свойств самой системы. Если частота внешнего воздействия приближается к частоте собственных колебаний системы, то амплитуда вынужденных колебаний резко возрастает — наступает резонанс.

**ВЫПРЯМИТЕЛЬ.** Преобразователь переменного электрического тока в постоянный. Электричество (электрическое поле), производимое генераторами электростанций, — переменное. Временная диаграмма его напряжения показана на рис. В.2, а. По форме эта кривая близка к синусоидальной зависимости, которую, как известно, описывается формулой

$$u = U_m \sin \omega t.$$

Здесь  $U_m$  — амплитуда напряжения;  $\omega$  — угловая (крутовая, циклическая) частота,  $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ , где  $f$  — частота;  $T$  — период.

Амплитуда напряжения электричества, поступающего в квартиры, равна 310 В, частота — 50 Гц (вы могли слышать, что напряжение равно 220 В, но это не амплитудное, а так называемое действующее напряжение, в  $\sqrt{2}$  раз меньшее амплитудного — см. Действующее значение напряжения переменного тока).

Для питания транзисторных цепей во всех бытовых электронных приборах (телевизоры, магнитофоны, радиоприемники и др.) такое напряжение не подходит: во-первых, необходимо постоянное напряжение, а не переменное, во-вторых, в 20–40 раз меньшее. Понижают напряжение, используя трансформаторы.

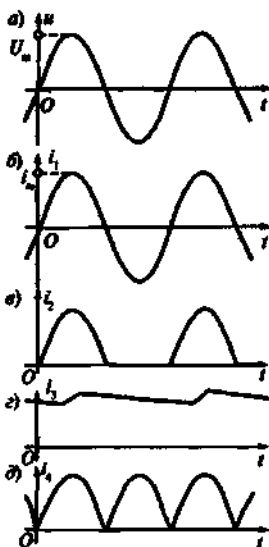


Рис. В.2. Временные диаграммы напряжения и токов

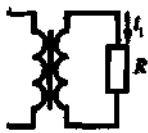


Рис. В.3. Трансформатор, нагруженный резистором



Рис. В.4. Однополупроводниковый выпрямитель

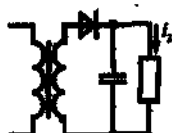


Рис. В.5. Однополупроводниковый выпрямитель с конденсаторным фильтром

Например, если число витков вторичной обмотки трансформатора в 30 раз меньше, чем первичной, то амплитуда напряжения вторичной обмотки будет равна 10,3 В. Подключив к вторичной обмотке резистор  $R$  сопротивлением, например, 100 Ом (рис. В. 3), получим в нем электрический ток тоже почти синусоидальной формы, так как закон Ома для участка цепи описывает поведение резистора не только при постоянном токе, но и при переменном:

$$i = \frac{10,3}{100} \sin \omega t = 0,103 \sin \omega t,$$

где  $I_m = 0,103$  А — амплитуда тока. Его временная диаграмма показана на рис. В.2, б.

Уже было сказано, что такой ток для питания транзисторной аппаратуры не подходит. Его выпрямляют, включив полупроводниковый диод (рис. В.4). Диоду свойственно проводить (пропускать) ток в одном направлении и не проводить в другом. Поэтому временная диаграмма тока резистора будет иметь вид, показанный на рис. В.2, в. Такой ток называют пульсирующим, и он тоже не подходит. Чтобы ток стал почти постоянным, используют так называемые *сглаживающие фильтры*. Простейшим фильтром служит конденсатор (рис. В.5). С ним временная диаграмма тока резистора имеет вид, показанный на рис. В.2, г. Один раз за период конденсатор подзарядается током, текущим через диод, а в остальное время частично разряжается через нагрузку (резистор).

Выпрямитель, изображенный на рис. В.5, называют *однополупериодным*, так как используется только один полупериод напряжения. Значительно эффективнее *двухполупериодные* выпрямители. Известны две схемы таких выпрямителей. Одна из них показана на рис. В.6 (ее называют *мостовой*). Ток вторичной обмотки протекает либо через диоды Д1 и Д4, либо (во время другого полупериода) — через диоды Д3 и Д2. Поэтому конденсатор подзарядается

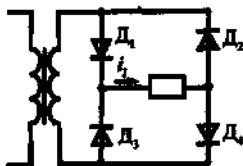


Рис. В.6. Двухобмоточный выпрямитель

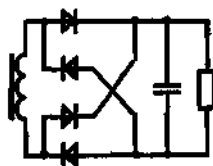


Рис. В.7. Изображение схемы выпрямителя в технической документации

дважды за период, и пульсации тока нагрузки оказываются меньшими. В технической документации мостовую схему принято чертить, как показано на рис. В.7.

В промышленности применяют также мощные шестиполупериодные выпрямители, питаемые трехфазным током.

**ВЫПРЯМЛЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.** Процесс преобразования переменного тока в постоянный.

**ВЯЗКОСТЬ.** Свойство жидкости и газа оказывать сопротивление движению одной их части относительно другой.

# Г

**ГАЗ** [от греч. chaos — хаос и фр. gas]. Одно из четырех агрегатных состояний вещества, в котором составляющие его частицы — атомы и молекулы — слабо связаны между собой молекулярными взаимодействиями и движутся хаотически, заполняя при этом весь предоставленный им объем.

**ГАЗ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСА.** Мысленная модель газа, введенная для объяснения его свойств и построенная как совокупность непрерывно движущихся сферических частиц определенного диаметра, которые взаимно притягиваются друг к другу (ср. *Идеальный газ*).

**ГАЗОВЫЕ ЗАКОНЫ.** Общее название *законов Авогадро* (1881), *Бойля-Мариотта* (1662, 1676), *Гей-Люссака* (1802), *Дальтона* (1801) и *Шарля* (1787), открытых эмпирически в XVII—XIX вв. до возникновения *молекулярно-кинетической теории* газов и вывода Клаузиусом уравнения (основного) молекулярно-кинетической теории (1857) на основе модели идеального газа. В то время еще не умели получать очень высокие давления и очень низкие температуры. Следовательно, не могли наблюдать отклонения в поведении реальных газов от газовых законов.

В дальнейшем было показано, что при больших давлениях (больше 100 атм) кислород, азот и водород, взятые при одинаковых начальных температурах и давлениях, заметно различаются по сжимаемости и тепловому расширению. Однако при не очень низких температурах, далеких от точки конденсации конкретного газа, и давлениях, не очень сильно превышающих атмосферное, индивидуальные различия этих и других газов сглаживаются. Такая общность свойств газов объясняется тем, что индивидуальные особенности молекул различных веществ, связанные с размерами и силами их взаимодействия, при больших разрежениях перестают сказываться на тепловых свойствах веществ. Поэтому можно вводить понятие идеального газа как предельного состояния реальных газов при их значительных разрежениях. Наиболее близки по своим свойствам к идеальному газу водород и особенно гелий.

Клапейрон (1834) объединил законы Бойля-Мариотта, Гей-Люссака и Шарля. Объединенный закон получил название *уравнение Клапейрона*. Это уравнение было усовершенствовано Менделеевым — *уравнение Менделеева-Клапейрона* (1874). Пределы

применимости уравнений Клапейрона и Менделеева—Клапейрона такие же, как и для газовых законов.

Более точно поведение газов описывает уравнение Ван-дер-Ваальса (1873), в котором введены поправки на собственный объем и взаимодействие молекул газов.

**ГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ.** Химический источник электропитания.

**ГАЛЬВАНО...** [по имени итальянского ученого Луиджи Гальвани]. Первая часть сложных слов, означающая отношение к гальваническому току (устаревшему названию электрического тока, возникающего в химических источниках тока). Например: гальванический элемент, гальванометр, гальванопластика.

**ГАЛЬВАНОМЕТР** [от *гальвано...* и ...метр]. Электронизмерительный прибор высокой чувствительности, предназначенный для измерения силы тока, напряжения или заряда.

**ГАЛЬВАНОПЛАСТИКА** [от *гальвано...* и греч. *plastikos* — годный для лепки]. Получение металлических копий с металлического и неметаллического оригинала путем электролиза.

**ГАЛЬВАНОСТЕГИЯ** [от *гальвано...* и греч. *stego* — покрытие]. Нанесение на поверхность металлического изделия тонкого защитного или декоративного слоя металлического покрытия электролитическим методом (золочение, серебрение, никелирование и др.).

**ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ.** То же, что *гамма-лучи*.

**ГАММА-КВАНТ.** Квант электромагнитного поля, обладающий большой энергией (обычно более  $10^5$  эВ).

**ГАММА-ЛУЧИ** ( $\gamma$ -лучи). Нейтральный компонент излучения радиоактивных элементов. По своим свойствам напоминают рентгеновские, но характеризуются меньшей длиной волны и большей проникающей способностью (жесткостью). Гамма-лучи представляют собой электромагнитное излучение с очень малой длиной волн, распространяющееся в вакууме со скоростью света.

**ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ.** Математическая модель периодических колебаний, введенная для описания колебаний,

по форме близких к синусоидальным, и выражаемая формулами  $x = X_m \sin(\omega t + \psi)$  или  $x = X_m \cos(\omega t + \psi)$ , где  $X_m$  — амплитуда,  $(\omega t + \psi)$  — фаза колебаний,  $\omega$  — угловая частота,  $\psi$  — начальная фаза колебаний.

Среди математических моделей колебаний разной формы гармонические колебания выделяются двумя особенностями: 1) их форма и угловая частота внутри и на выходе линейной мысленной модели любой системы остаются теми же, что и на входе; 2) любое негармоническое колебание может быть представлено в виде суммы или интеграла гармонических колебаний разной угловой частоты (в математике эти представления называют разложением в ряд Фурье и преобразованием Фурье соответственно).

**ГЕКТО** [от греч. *hekatón* — сто]. Первая составная часть наименования единиц физических величин, служащая для образования наименований кратных единиц, равных 100 исходным единицам. Обозначение — г. Например, 1 гПа (гектопаскаль) = 100 Па.

**ГЕНЕРАТОР** [от лат. *generator* — производитель]. Машина, устройство, аппарат, предназначенные для: 1) преобразования формы движения материи (примеры: электромашинный генератор, генератор высокочастотных электромагнитных колебаний — генератор сигнала); 2) придания телу требуемого состояния (примеры: парогенератор (паровой котел) — преобразует воду в пар, генератор плазмы — создает из нейтрального газа поток низкотемпературной плазмы); 3) производства химического вещества (пример: генератор ацетилена — производит ацетилен путем разложения карбида кальция водой).

**ГЕНЕРАТОР ВАН-ДЕ-ГРААФА**. Электростатический источник электропитания высокого напряжения (несколько миллионов вольт), предназначенный для разгона электронов и ионов в линейных ускорителях. Изобретен в 1929 г. Ван-де-Граффом. Устройство и принцип действия его состоят в следующем (рис. Г.1). На трубчатой колонне 1, изготовленной из изолятора, расположен полый сферический электрод 2. Внутри колонны — бесконечная лента 3 из диэлектрика. Ее приводит в движение электродвигатель 4. Источник электропитания 5 напряжением примерно 10 кВ со-

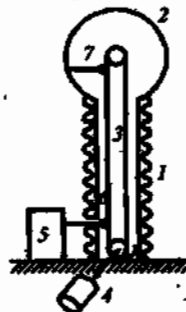


Рис. Г.1. Схематическое изображение генератора Ван-де-Граафа в разрезе



единен с металлической щеткой 6. Со щетки электроны стекают на диэлектрическую ленту, которая переносит их наверх, где металлическая же щетка 7 снимает электроны с ленты, и они попадают на сферический электрод. По мере движения ленты заряд электрода увеличивается и, следовательно, растет напряжение между ним и землей. Существуют также другие типы электростатических генераторов.

**ГЕНЕРАЦИЯ ПАР ЭЛЕКТРОН—ДЫРКА.** Явление в *полупроводнике*, состоящее в переходе электрона из валентной зоны в зону проводимости (с образованием *дырки*) и обусловленное воздействием на электрон тепловых колебаний решетки (термогенерация пар) или квантов света (фотогенерация пар). Приводит к увеличению концентрации носителей (ср. *Рекомбинация*).

**ГЕНРИ.** Единица индуктивности в СИ. Название дано в честь американского физика Джозефа Генри. Обозначение — Гн. 1 Гн — индуктивность контура, с которым при силе тока 1 А сцепляется поле, характеризуемое магнитным потоком в 1 Вб.

**ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА.** Раздел оптики, изучающий и описывающий распространение светового излучения в прозрачных средах на основе представлений о световых лучах. Законы геометрической оптики справедливы в тех случаях, когда можно пренебречь дифракцией света.

**ГЕРМЕТИЗАЦИЯ** [по имени египетского мудреца Гермеса, которому в числе прочего приписывали искусство прочной закупорки сосудов]. Придание непроницаемости стенкам и разъемным соединениям, ограничивающим внутренние объемы помещений, аппаратов, машин, сооружений и емкостей для жидкостей и газов.

**ГЕРМЕТИЧНОСТЬ СИСТЕМЫ (СОСУДА).** Свойство системы не пропускать через стенки и разъемные соединения газ или жидкость (см. *Герметизация*).

**ГЕРЦ.** Единица частоты колебаний в СИ. Название дано в честь немецкого физика Генриха Рудольфа Герца. Обозначение — Гц. 1 Гц — частота таких периодических колебаний, при которых за время в 1 с совершается одно полное колебание.

**ГИГА...** [от греч. *gigas* — гигантский]. Первая составная часть наименований единиц физических величин, служащая для обра-

зования наименований кратных единиц, равных миллиарду ( $10^9$ ) исходных единиц. Например, 1 гигаВольт —  $10^9$  Вольт. Обозначение — Г.

**ГИГРО...** [от греч. *hugros* — влажный]. Первая составная часть сложных слов, соответствующая по значению слову “влажность”. Например, *гигрометр*, *гигроскопичность*.

**ГИГРОМЕТР** [*гигро...* + ...метр]. Прибор для измерения влажности воздуха. Существуют различные по принципу действия и конструкции гигрометры (см. *Психрометр*).

**ГИГРОСКОПИЧНОСТЬ** [*гигро...* + греч. *skopeo* — смотрю, наблюдаю]. Свойство некоторых материалов поглощать влагу из воздуха.

**ГИПОТЕЗА**. Научно обоснованное предположение, выдвинутое для объяснения какого-либо явления в тех случаях, когда это не удается сделать, опираясь на существующие теории. Кроме объяснения известных фактов, гипотеза позволяет предсказать новые, ранее неизвестные феномены. Если предсказания представляются правдоподобными, их тщательно проверяют эмпирически. В случае положительного результата гипотезу уточняют и развивают. Со временем она может стать *теорией* (2).

**ГИРЯ**. Мера массы (см. *Мера*).

**ГИСТЕРЕЗИС** [от греч. *hysteresis* — отставание, запаздывание]. Явление, состоящее в том, что текущее состояние объекта зависит не только от сиюминутного воздействия на него со стороны другого объекта, но и от предыстории, и описываемое нелинейной и неоднозначной взаимосвязью величин даже при квазистатическом (очень медленном) их изменении (см. *Гистерезис магнитный*).

**ГИСТЕРЕЗИС (ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ)**. Явление, состоящее в нелинейной и неоднозначной зависимости поляризованности сегнетоэлектрика от напряженности внешнего электрического поля, обусловленное доменной структурой сегнетоэлектрика (ср. *Гистерезис (магнитный)*).

**ГИСТЕРЕЗИС (МАГНИТНЫЙ)**. Явление, состоящее в том, что процессы намагничивания образца, изготовленного из ферромагнитного материала, при нарастании внешнего магнитного

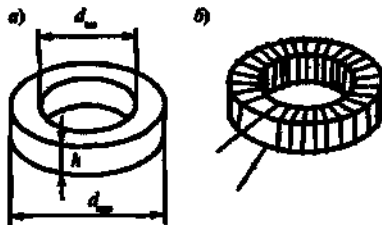


Рис. 7.2. Кольцевой сердечник из ферромагнитного материала (а); он же с обмоткой (б)

поля и размагничивания образца при ослаблении поля происходят по-разному. А именно: при ослаблении поля сохраняется некоторая остаточная намагниченность, обусловленная частичной согласной ориентацией магнитных моментов доменов (см. *Ферромагнетизм*). Применительно к ферромагнитному материалу это явление описывают взаимосвязью между магнитной индукцией  $B$  и напряженностью магнитного поля  $H$ . Однако прямо (непосредственно) эти величины измерить невозможно (имя, подобно удельному сопротивлению, оценивают свойства материала, а не вещи — образца, из него изготовленного). Их значения получают как результат косвенных измерений. Большинство измерений выполняют следующим образом. Из ферромагнитного материала изготавливают сердечник (магнитопровод) в форме кольца (рис. 7.2, а). На него наносят однослойную обмотку из изолированной проволоки (рис. 7.2, б) и включают в измерительную установку. Она позволяет одновременно изменять и измерять две физические величины — силу тока обмотки  $i$  и *потокосцепление*  $\Psi$  между ее выводами. Более того, на экране осциллографа можно видеть кривую, представляющую взаимосвязь между этими величинами:  $\Psi = f(i)$ . Эта кривая есть характеристика дросселя — системы, состоящей из сердечника и обмотки. Поделив  $\Psi$  на число витков обмотки  $w$  и умножив  $i$  на  $w$ , получим характеристику сердечника — связь между магнитным потоком  $\Phi$  и магнитодвижущей силой  $F$ :  $\Phi = f(F)$ . Наконец, поделив  $\Phi$  на площадь поперечного сечения магнитопровода  $S = (d_{нар} - d_{вн}) h/2$ , а  $F$  — на его среднюю длину  $l = \pi (d_{нар} + d_{вн})/2$ , найдем связь между магнитной индукцией  $B$  и напряженностью магнитного поля  $H$ . Это — характеристика ферромагнитного материала. Она нелинейна и неоднозначна, а также зависит от быстроты перемагничивания.

Если перед намагничиванием сердечник был полностью размагничен, получается зависимость, называемая кривой первоначального намагничивания ( $I$  на рис. Г.3). При уменьшении после этого внешнего магнитного поля до нуля кривая будет иной ( $2$  на рис. Г.3). Если перемагничивать образец, периодически изменяя направление магнитного поля, получим замкнутую кривую — петлю гистерезиса (одна из замкнутых кривых на рис. Г.4). Стрелками на ней показано направление движения изображающей точки (это может быть, например, светящийся след электронного луча на экране осциллографа). С увеличением интенсивности внешнего поля площадь, ограниченная петлей гистерезиса, растет, причем вначале увеличивается амплитуда как напряженности поля, так и магнитной индукции. Однако в дальнейшем рост максимальной индукции и площади, ограниченной петлей гистерезиса, почти прекращается. Такую петлю гистерезиса называют предельной, а наибольшее значение индукции — индукцией насыщения. В этом состоянии магнитные моменты всех доменов ориентированы согласно. Все петли гистерезиса, меньшие по размеру, чем предельная, называют частными. Значение напряженности магнитного поля при  $B = 0$  именуют коэрцитивной силой. Кривую, состоящую из множества вершин петель гистерезиса в первом квадранте, называют основной кривой намагничивания. Именно ее часто используют для расчетов электротехнических устройств. При перемагничивании сердечник нагревается. Энергия потерь за один цикл перемагничивания пропорциональна площади, ограниченной петлей гистерезиса.

С ростом скорости перемагничивания (происходящим, например, при увеличении частоты изменения внешнего магнитного поля) ширина петли гистерезиса и, следовательно, площадь, ею ограниченная, увеличиваются.

**Примечание.** Перемагничивание образца из ферромагнитного материала в учебниках обычно описано так, что создается впечатление, будто напряженность магнитного поля отображают причину процесса, а магнитной индукцией — следствие. В действительности причинно-

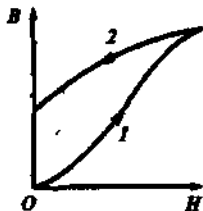


Рис. Г.3. Трассировки движения изображающей точки при первоначальном намагничивании

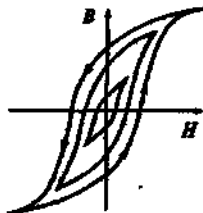


Рис. Г.4. Множество петель гистерезиса

следственные отношения определяются не самим ферромагнетиком, а той электрической цепью, в состав которой входит содержащее его устройство. В частности, для магнитопроводов обычных трансформаторов, подключаемых к электрической сети, "естественным аргументом" служит магнитный поток, так как он достаточно жестко связан с напряжением первичной обмотки (это утверждение можно доказать математически).

**ГИСТОГРАММА (СТОЛБЧАТАЯ ДИАГРАММА).** Один из видов графического изображения статистических распределений значений какой-либо величины. Гистограмма представляет собой совокупность смежных прямоугольников, построенных на одной прямой: площадь каждого из них пропорциональна вероятности нахождения значения данной величины в интервале, которому соответствует прямоугольник.

**ГЛАВНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ОСЬ ЛИНЗЫ.** Прямая, проходящая через центры сферических поверхностей, ограничивающих линзу.

**ГЛАВНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ОСЬ СФЕРИЧЕСКОГО ЗЕРКАЛА.** Прямая, проходящая через оптический центр и полюс зеркала.

**ГЛАВНАЯ ПЛОСКОСТЬ КРИСТАЛЛА.** Плоскость, проходящая через оптическую ось кристалла и направление распространения световой волны внутри кристалла.

**ГЛАВНЫЙ ФОКУС ЛИНЗЫ.** Точка на главной оптической оси линзы, в которой пересекаются после преломления все лучи, падающие на линзу параллельно ее главной оптической оси. Фокус у собирающей линзы действительный, у рассеивающей — мнимый.

**ГЛАВНЫЙ ФОКУС СФЕРИЧЕСКОГО ЗЕРКАЛА.** Точка на главной оси сферического зеркала, в которой пересекаются после отражения все лучи, падающие на сферическое зеркало параллельно его главной оптической оси. Фокус у вогнутого зеркала действительный, у выпуклого — мнимый.

**ГЛАЗ.** Орган зрения у человека и животных. Глаз человека представляет собой тело почти шарообразной формы диаметром около 25 мм, которое называют глазным яблоком (рис. Г.5). Свет от

предмета поступает в глаз через отверстие в радужной оболочке (зрачок), преломляется в хрусталике и в стекловидном теле, создавая на задней стенке глаза (глазном дне) действительное, уменьшенное и перевернутое изображение рассматриваемого предмета. Изображение попадает на нервные окончания (так называемые палочки и колбочки), которые образуют сетчатую оболочку глаза, покрывающую внутреннюю поверхность глазного дна.



Рис. Г.5. Оптическая схема глаза

**ГОЛОГРАФИЯ** [от греч. holos — весь, полный и ...графия]. Метод получения объемных изображений предметов, основанный на явлении интерференции света. Источник когерентного света — лазер. Метод предложен в 1948 г. Деннисом Габором, которому за открытие голографии была присуждена Нобелевская премия по физике за 1971 г.

**ГОРЕНИЕ.** Самоускоряющаяся химическая реакция, связанная с накоплением теплоты в системе реагирующих веществ.

**ГРАВИТАЦИОННАЯ ПОСТОЯННАЯ.** Коэффициент пропорциональности  $G$  в формуле, выражающей закон всемирного тяготения.

**ГРАВИТАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ.** Взаимодействие между любыми телами, выражающееся в их взаимном притяжении с силой, зависящей от масс тел и расстояния между ними.

**ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ.** Физическое поле, посредством которого осуществляется притяжение тел. Характеризуется гравитационным потенциалом и ускорением свободного падения.

**ГРАВИТАЦИОННОСТЬ** (гравитационная способность). Свойство всех без исключения тел, состоящее в том, что тела притягиваются друг к другу. Для количественного оценивания степени гравитационности пригодна физическая величина "масса", введенная для оценивания инертности тел.

**ГРАВИТАЦИЯ.** Явление, в котором обнаруживается гравитационность. Ньютон предложил формулу, связывающую силу  $F$

взаимного притяжения двух тел, их массы  $m_1$  и  $m_2$  и расстояние  $r$  между *центрами инерции* тел (закон всемирного тяготения):

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где  $G$  — гравитационная постоянная.

Вычисление по этой формуле обеспечивает тем меньшую погрешность, чем меньше размеры взаимодействующих тел по сравнению с расстоянием между ними, чем однороднее материал, из которого они состоят, и чем ближе к сферической их форма.

**ГРАВИТОН.** Квант гравитационного поля, который согласно гипотезе должен иметь массу покоя и электрический заряд равными нулю, а спин равным двум или нулю.

**ГРАДУИРОВКА** [от лат. *gradus* — шаг, ступень, степень] **СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ.** Операция, состоящая в экспериментальном получении зависимости между значениями величин на входе и на выходе средства измерений, результатом которой может быть градуировочная характеристика (график) или таблица, а также присвоение делениям шкалы измерительного прибора значений измеряемой величины (см. *Метрология*).

**ГРАДУС ТЕМПЕРАТУРНЫЙ.** Единица температуры, соответствующая какой-либо температурной шкале (см. *Шкалы температур*).

**ГРАДУС УГЛОВОЙ.** внесистемная единица плоского угла. 1 градус — угол, равный  $1/90$  части прямого угла. Градус делится на 60 минут ( $60'$ ) или 3600 секунд ( $3600''$ ). Обозначение —  $^{\circ}$ .  $1^{\circ} = 1,7445 \cdot 10^{-2}$  рад.

**ГРАДУС ЦЕЛЬСИЯ.** внесистемная единица температуры. Названа в честь шведского астронома и физика Андерса Цельсия. Градус Цельсия — градус по температурной шкале Цельсия, в которой при нормальном давлении точка плавления льда соответствует нулю градусов, а точка кипения воды 100 градусам. Обозначение —  $^{\circ}\text{C}$ .  $1^{\circ}\text{C} = 1 \text{ K}$ .

**ГРАММ.** Тысячная доля *килограмма* — единицы массы в СИ.

...**ГРАФ** [от греч. *γραφω* — пишу]. Вторая составная часть сложных слов, соответствующая по значению словам "пишущий", "записывающий". Например, осциллограф, барограф, спектрограф.

...ГРАФИЯ [от греч. *γραφία* — пишу]. Вторая составная часть сложных слов, обозначающая: 1) относящийся к графическому воспроизведению чего-либо, например фотография; 2) относящийся к описанию чего-либо, например география.

**ГРЕЙ.** Единица поглощенной дозы ионизирующего излучения в СИ. Название дано в честь английского физика и радиобиолога Луи Гарольда Грея. Обозначение — Гр. 1 грей — поглощенная веществом массой 1 кг доз ионизирующего излучения, энергия которого равна 1 Дж.

**ГРОМКСТЬ ЗВУКА.** Отличительная черта музыкального тона, оцениваемая амплитудой колебаний в звуковой волне.

**ГРОМООТВОД** (точнее — молниеотвод). Вертикальный металлический стержень, соединенный проводом с *заземлением*, служащий для предохранения жилых зданий и разнообразных сооружений от удара молнии.



# Д

**ДАВЛЕНИЕ.** Термин используют в двух значениях. 1) Механическое действие тела на поверхность другого тела. 2) Скалярная физическая величина  $P$ , введенная для количественного оценивания механического действия одного тела на поверхность другого и равная отношению нормальной к поверхности составляющей силы  $\Delta F_n$ , приходящейся на элемент поверхности, к площади

$$\Delta S \text{ этого элемента: } P = \frac{\Delta F_n}{\Delta S}.$$

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА.** *Давление*, оказываемое газом на стенки сосуда, в котором он находится, и на внесенные в него тела, пропорциональное произведению концентрации  $n$  молекул газа и температуры  $T$  газа:  $P = nkT$ , где  $k$  — *постоянная Больцмана*.

**Примечание.** В первой части предложения термин *давление* использован в значении (1), во второй части — в значении (2) (см. *Давление*).

**ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ.** Давление, оказываемое неподвижной жидкостью на стенки сосуда, в котором она находится, и на внесенные в нее тела, пропорциональное произведению плотности  $\rho$  и высоты  $h$  столба жидкости:  $P = \rho gh$ , где  $g$  — ускорение свободного падения тела.

**Примечание.** В первой части предложения термин *давление* использован в значении (1), во второй части — в значении (2) (см. *Давление*).

**ДАВЛЕНИЕ НАСЫЩАЮЩЕГО ПАРА.** Не зависящее при постоянной температуре от объема давление, при котором жидкость находится в динамическом равновесии со своим паром. При увеличении объема жидкость испаряется до тех пор, пока не установится давление пара, соответствующее данной температуре, и наоборот — при уменьшении объема часть пара конденсируется, а давление пара остается неизменным.

**ДАВЛЕНИЕ СВЕТА.** Гипотезу о существовании давления света высказал в начале XVII в. Иоганн Кеплер для объяснения отклонения хвостов комет от Солнца. Теорию явления в рамках классической электродинамики создал в 1873 г. английский физик

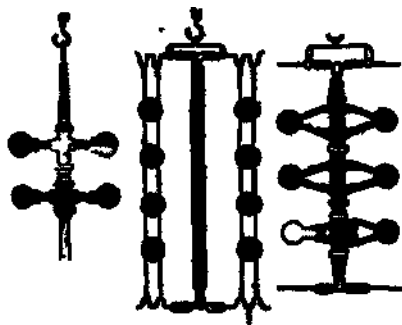


Рис. Д.1. Различные системы крылышек, использовавшиеся в опытах П.Н.Лебедева по измерению давления света

Джеймс Кларк Максвелл. Согласно теории Максвелла, значение светового давления равно объемной плотности энергии  $w$  электромагнитного поля световой волны, если луч света падает перпендикулярно на поверхность черного тела (свет полностью поглощается:  $P = w$ ); удвоенной объемной плотности энергии, если он падает перпендикулярно на зеркальную поверхность (свет полностью отражается:  $P = 2w$ ); если свет частично отражается и частично поглощается, то  $P = w(1 + \rho)$ , где  $\rho$  — коэффициент отражения поверхности тела, на которую падает свет.

Точно к такому результату приводит и расчет давления света по корпускулярной (фотонной) теории света. Давление света — одно из немногих световых явлений, которое одинаково хорошо объясняют как электромагнитная теория света, так и фотонная.

Впервые экспериментально световое давление измерил в 1899 г. русский физик Петр Николаевич Лебедев. Прибор Лебедева представлял собой весьма чувствительные крутильные весы, подвижная система которых состояла из легкого каркаса с укрепленными на нем тонкими кружочками (“крылышками”), расположенными симметрично относительно оси подвеса (рис. Д.1): Одни крылышки были зачернены, а поверхность других была зеркальной. Вся система подвешивалась на тонкой упругой нити внутри закрытого стеклянного баллона, воздух из которого был откачан. Крылышки освещались светом от вольтовой дуги, направленным на них специальной системой линз и зеркал. Значение светового давления на крылышки определялось по углу закручивания нити подвеса, регистрировавшемуся с помощью зеркального отсчета.

Давление света мало настолько, что для его надежного измерения необходимо было исключить влияние на крылышки всех других факторов, в частности конвекционных токов воздуха и радиометрического эффекта. Влияние конвекционных токов воздуха было исключено Лебедевым путем создания в баллоне достаточно высокого вакуума, а влияние радиометрического эффекта — использованием в опытах очень тонких крылышек различной толщины: от 0,01 до 0,1 мм. Давление на зеркальное крылышко ( $\rho = 1$ ) оказалось вдвое больше, чем давление на зачерненное крылышко ( $\rho = 0$ ).

Опыты Лебедева экспериментально подтвердили электромагнитную теорию света Максвелла и вошли в историю физики как классический пример тончайшего физического эксперимента.

В заключение построим полное определение явления. Давление света — явление, состоящее в механическом действии, производимом светом на освещаемую поверхность, и обусловленное действием фотонов.

**ДАЛЬНИЙ ПОРЯДОК.** Упорядоченность во взаимном расположении атомов и молекул в твердых телах, повторяющаяся на неограниченно больших расстояниях (ср. *Ближний порядок*).

**ДАЛЬНОДЕЙСТВИЕ.** Устаревшее представление, согласно которому взаимодействие между телами осуществляется мгновенно без участия разделяющего их пространства (ср. *Близкодействие*).

**ДАЛЬНОЗОРКОСТЬ.** Недостаток зрения, при котором хорошо видны удаленные предметы (отсюда и название), а изображения предметов, расположенных близко, получается расплывчатым. Дальнозоркость — результат чрезмерно малой оптической силы глаза или слишком малой глубины глазного яблока. В результате входящие в глаз лучи не фокусируются (их мысленные продолжения собираются за сетчаткой (рис. Д.2, а)). Исправляется ношением очков с выпуклыми линзами (рис. Д.2, б). (Ср. *Близорукость*, см. также *Глаз, Очки*.)

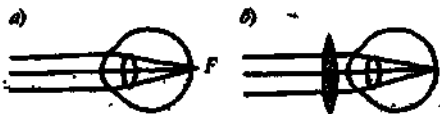


Рис. Д.2. Схематическое изображение дальнозоркости (а) и способа ее исправления (б)

**ДВИГАТЕЛЬ.** Машина, предназначенная для преобразования материального движения какой-либо формы в механическое движение, как правило, вращательное. Например: электродвигатель, паровая турбина, двигатель внутреннего сгорания (см. *Динамические системы*).

**ДВИЖЕНИЕ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ.** Как и сегодня, сотни тысяч и миллионы лет назад, когда не было еще не только письменности, но и членораздельной речи, зрение, слух и другие органы восприятия (анализаторы) обеспечивали нашим предкам возможность ориентироваться в окружающем мире.

Что привлекает наше внимание в первую очередь? Движение. Оно наблюдается везде. Колыхнутся листья и ветви деревьев и трава. В ручье и реке течет вода. Даже на поверхности стоячей воды в озере видны волны. Двигаются облака и небесные светила. Летают насекомые и птицы, движутся другие люди и животные. Все окружающее нас находится в движении. Если что-то и покоится, то только временно. Шторм сменяется ветром. Снежный покров превращается в текущую воду и т. д.

Долгое-долгое время люди замечали только такое, механическое движение — видимое перемещение одних предметов относительно других. Но постепенно обнаружили, что существует и невидимое движение. Например, оказалось, что звук — это колебания воздуха, распространяющиеся подобно волнам на поверхности воды. Затем, по мере развития науки, были открыты другие формы движения — молекулярное, электромагнитное, внутриатомное. В результате значение слова “движение” сильно изменилось. Наряду с обыденным оно приобрело общенаучный смысл. В физике и философии движением стали называть любые изменения, происходящие в объективном мире, а не только перемещение предметов относительно друг друга. Покой признают частным случаем движения. В настоящее время общепризнано, что движение — основное свойство материи (см. *Материя и сознание*). Материя без движения не существует, так же как движение без материи. Движения материи разной формы могут переходить (преобразовываться, превращаться) друг в друга. При любых преобразованиях общая сумма движения остается неизменной. Количественно это выражается Законом сохранения энергии.

Специфика всех движений детерминирована (определяется) взаимодействиями. Все материальные объекты в процессе движения взаимодействуют между собой. Наблюдаемые взаимодействия чрезвычайно разнообразны. Движущийся воздух раскачивает

деревья, а лес, в свою очередь, уменьшает скорость ветра. Взаимодействие крыльев с воздухом обеспечивает полет птиц. Руцьи уносят почву и образуют овраги. Взаимодействие сжатого пара с цилиндром паровой машины и (через поршень, шток, кривошипно-шатунный механизм и колесо) с землей обеспечивает движение паровоза. Небесные тела притягиваются друг к другу. Электроны, напротив, взаимно отталкиваются. Благодаря взаимодействию света с окружающими предметами и сетчаткой глаза мы видим предметы, и т. д.

Согласно современным физическим представлениям, все многообразие природных взаимодействий обусловлено четырьмя взаимодействиями, которые называют фундаментальными, — гравитационным, электромагнитным, ядерным сильным и ядерным слабым. Гравитационное взаимодействие (по выражению Ньютона — “всемирное тяготение”) наиболее универсально в том смысле, что ему, вообще говоря, подвержены все без исключения объекты (в том числе свет). Однако обнаруживается оно только при очень больших значениях массы хотя бы одного из взаимодействующих тел. Взаимное притяжение окружающих нас предметов хотя и существует, но совершенно неощутимо и при любых технических расчетах во внимание не принимается. Ядерные взаимодействия использует только в ядерной энергетике и при применении радиоактивных изотопов. Все остальные взаимодействия, наблюдаемые и применяемые в материальном производстве и обыденной жизни, суть проявления электромагнитного взаимодействия. Даже, казалось бы, такие “чисто механические”, как сухое и вязкое трение. Все химические реакции — также продукт электромагнитного взаимодействия.

Характер движений существенно зависит не только от вида взаимодействия, но и еще от двух обстоятельств — размера взаимодействующих объектов и скорости взаимного перемещения тел. Электромагнитные взаимодействия частиц атомного и субатомного размера происходят совсем иначе, чем электромагнитные же взаимодействия макротел. Различия настолько значительны, что, например, понятие силы, одно из основных понятий классической (ньютоновской) механики, неприменимо для описания взаимодействия микрочастиц. Классическая механика неприменима также для описания механического движения тел со скоростями, близкими к скорости света. Здесь необходимо использовать специальную теорию относительности.

Примечание. Рассуждая о разных формах движения материи (см. выше), обычно их называют разными формами энергии. Поскольку

энергия повсеместно определяется как физическая величина, это неверно. Никаким величинам, в том числе энергии, разные формы не свойственны (см. *Энергия*).

**ДВИЖИТЕЛЬ.** Часть самодвижущегося объекта, предназначенная для отталкивания от тела отдачи (опоры). Например: ведущие колеса автомобиля, стопы пешехода, винты корабля или самолета. См. *Самодвижение*.

**Примечание.** В литературе часто парус тоже называют двигателем. Однако нелегично называть одним именем предметы, функции которых принципиально различны. Парусное судно — не самодвижущийся объект. Парус воспринимает действие внешнего фактора — ветра, подобно тому, как буксировочный трос, прикрепленный к несамоходной барже, воспринимает действие буксира. Иными словами, по отношению к перемещению судна функции паруса и буксировочного троса одинаковы и не имеют ничего общего с функцией ведущих колес, стоп или винтов.<sup>9</sup>

**ДВОЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СЛОЙ.** Совокупность заряженных частиц противоположных знаков, распределенных вдоль границы между твердым телом или жидкостью и вакуумом.

**ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА.** Явление, состоящее в раздвоении луча света при его входе в анизотропные среды и обусловленное различием скоростей распространения обыкновенного и необыкновенного лучей.

**ДВУХПОЛЮСНИК.** Элемент электрической цепи или схемы замещения, имеющий два вывода (полюса) — проводника, которыми он присоединяется к другим элементам цепи или схемы замещения, а также произвольный фрагмент (участок) цепи или схемы замещения, состоящий из нескольких элементов, который соединен с другими участками цепи только двумя выводами. Множеству двухполюсников принадлежат, например: источники электропитания (кроме многофазных генераторов переменного тока), резисторы, конденсаторы, индуктивные катушки, диоды (элементы электрической цепи); источники напряжения, источники тока, резистивные элементы, емкостные элементы, индуктивные элементы (элементы схем замещения).

С энергетической точки зрения двухполюсники можно разделить на *источники электропитания*, *удалители движения* — элементы, в которых движение материи электромагнитной формы преобразуется в движение другой формы, и *накопители*. К числу

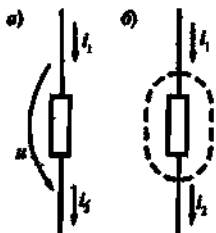


Рис. Д.3. Условное графическое обозначение двухполюсника с направлениями отсчета напряжения и токов (а)

удалителей движения принадлежат резисторы, электронагреватели, осветительные лампы, электродвигатели и т. п. Накопителями являются конденсаторы и индуктивные катушки. Они способны накапливать движение электромагнитной формы и отдавать его, подобно тому, как пружина и маятник накапливают и отдают механическое движение. Состояние накопителей оценивают энергией (см. *Динамические системы*).

Поведение двухполюсника описывают взаимосвязью переменных величин, измеренных на его выводах. К их числу принадлежат: электрическое напряжение, сила тока, быстрота изменения напряжения,

быстрота изменения силы тока, электрический заряд, величина, неудачно называемая *потокосцеплением*, аналог электрического заряда — такая, что быстрота ее изменения равна напряжению, подобному тому, как быстрота изменения заряда равна силе тока.

Доступнее всего для понимания поведение двухполюсников в *стационарном режиме*, так как состояние накопителей при этом не изменяется. Зададимся вопросом: сколько и каких переменных величин для этого необходимо? Чтобы ответить на этот вопрос, надо показать, как их измеряют, т. е. обозначить направления отсчета напряжения и силы тока (см. *Правила знаков...*). С первого взгляда может показаться, будто нужны три величины: напряжение и две силы тока (рис. Д.3, а). Однако если воспользоваться *законом Кирхгофа для токов*, то мы увидим (рис. Д.3, б), что  $i_1 - i_2 = 0$ , т. е.  $i_1 = i_2$ . Следовательно, необходимы две величины: напряжение и сила тока. В общем виде их взаимосвязь записывают так:

$$f(u, i) = 0 \quad \text{или} \quad u = \varphi(i), \quad \text{или} \quad i = \psi(u). \quad (1)$$

Простейший пример этой зависимости — закон Ома для участка цепи  $u - Ri = 0$ , или, в привычной форме,  $u = Ri$ ;  $i = u/R$ .

Взаимосвязь (1) между напряжением и силой тока приблизительно линейная (закон Ома) только для *резистора*. Для других элементов она существенно нелинейна, и поэтому обычно ее выражают не формулой, а графически. В этом случае ее называют *вольтамперной характеристикой* (см., например, *Дисс*).

**ДЕДУКЦИЯ.** Прием научного мышления, состоящий в умозаключении от общего к частному (ср. *Индукция*).

**ДЕИОНИЗАЦИЯ.** Явление, состоящее в исчезновении свободных носителей заряда в объеме, занимаемом веществом, и обусловленное рекомбинацией заряженных частиц противоположного знака.

**ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ,  $X_D$ .** Значение физической величины, найденное экспериментальным путем. Его вычисляют как среднее арифметическое результатов многократных измерений:

$$X_D = \frac{\sum x_i}{n},$$

где  $x_i$  — результат  $i$ -го измерения,  $n$  — число измерений.

**ДЕЙСТВУЮЩЕЕ ЗНАЧЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.** См. Действующее значение силы переменного тока или напряжения.

**ДЕЙСТВУЮЩЕЕ ЗНАЧЕНИЕ СИЛЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ИЛИ НАПРЯЖЕНИЯ.** Энергия и мощность являются важнейшими физическими величинами, используемыми для количественного оценивания интенсивности материального движения любой формы, в частности процессов, протекающих в электрических цепях переменного тока.

Мощность (быстрота изменения энергии)  $P$  двухполюсника в цепи постоянного тока равна произведению силы тока  $I$  и напряжения  $U$ , измеренных на его выводах:

$$P = UI.$$

В случае, если ток не постоянный, эта формула справедлива для мгновенной мощности  $P(t)$ :

$$P(t) = u(t) i(t),$$

где  $u(t)$  и  $i(t)$  — мгновенные напряжение и сила тока соответственно.

Однако очень часто надо знать не мгновенную, а среднюю за период мощность. Для ее вычисления и вводят понятия действующего тока и действующего напряжения. Суть их введения легко понять на примере импульсного тока. На рис. Д.4 показана временная диаграмма периодической последовательности прямоугольных импульсов тока.

Среднюю за период мощность  $\bar{P}$  находят как отношение энергии  $W$  за период к периоду  $T$ . Поскольку во время импульса ток





Рис. Д.4. Временная диаграмма периодической последовательности прямоугольных импульсов

постоянен, энергия резистора вычисляется по известной формуле (закон Джоуля—Ленца):

$$W = RI_m^2 \tau,$$

где  $\tau$  — длительность импульса.

В паузе между импульсами энергия равна нулю. Отсюда:

$$\bar{P} = RI_m^2 \frac{\tau}{T}. \quad (1)$$

Последнюю формулу можно переписать следующим образом:

$$\bar{P} = RI^2, \quad (2)$$

где  $I$  — действующий ток. В рассматриваемом случае он выражается формулой

$$I = I_m \sqrt{\frac{\tau}{T}}.$$

По формуле (2) можно вычислять среднюю мощность и в цепи переменного тока. В общем случае действующий ток выражается как среднее квадратичное за период:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}. \quad (3)$$

В том частном случае, когда ток почти гармонический, формула (3) преобразуется в формулу

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}},$$

где  $I_m$  — амплитуда гармонического тока.

Аналогично вводят действующее напряжение:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}.$$

Для гармонического напряжения

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$$

**Примечания.** 1. Вместо терминов *действующее значение тока (напряжения)* лучше использовать термины *действующий ток (напряжение)*. Иначе неуклюжими оказываются названия конкретных значений этих величин, например: "Значение действующего значения тока равно 2,5 А".

2. Иногда полагают, будто мощность можно вычислять, используя не действующий, а средний ток. Покажем ошибочность этого мнения на примере импульсного тока (см. рис. Д.4). По определению средний ток этой последовательности равен

$$I_{\text{ср}} = I_m \frac{\tau}{T}.$$

Полагая, что среднюю мощность можно найти по формуле  $\bar{P} = RI_{\text{ср}}^2$ , получим:

$$\bar{P} = RI_m^2 \left( \frac{\tau}{T} \right)^2,$$

что в  $T/\tau$  раз меньше действительной мощности, определяемой формулой (1).

**ДЕЙТЕРИЙ** [от греч. *deuteros* — второй]. Стабильный изотоп химического элемента водорода, имеющий атомную массу 2. Его соединение с кислородом дает "тяжелую воду". Обозначается *D* или  $^2\text{H}$ . Применяется в ядерной энергетике и для проведения научных исследований.

**ДЕЙТРОН.** Ядро атома дейтерия. Состоит из одного протона и одного нейтрона и является простейшей системой частиц, связанных сильными ядерными взаимодействиями.

**ДЕКА** [от греч. *deka* — десять]. Первая составная часть наименования единиц физических величин, служащая для образования наименований кратных единиц, равных 10 исходным единицам. Обозначение — да. Например, 1 дал (декалитр) = 10 л.

**ДЕКОМПОЗИЦИЯ.** Прием научного мышления, состоящий в расчленении системы, позволяющий предварительное изучение вести по частям.

**ДЕЛЕНИЕ АТОМНЫХ ЯДЕР.** Вид ядерной реакции, при которой ядро радиоактивного элемента делится на 2, реже на 3–4 части с одновременным испусканием 2–3 нейтронов и гамма-лучей.

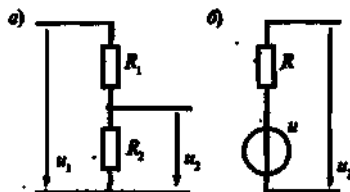


Рис. Д.5. Схема делителя напряжения

Кинетическая энергия продуктов деления пропорциональна дефекту масс  $\kappa$ , поскольку согласно соотношению Эйнштейна коэффициентом пропорциональности является квадрат скорости света, очень велика.

**ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ.** Элемент электрической цепи, трехполюсник, состоящий из двух резисторов  $R_1$  и  $R_2$  (рис. Д.5, а) и предназначенный для уменьшения напряжения. Схема замещения делителя напряжения, используемая при расчете цепей, показана на рис. Д.5, б. Здесь

$$\kappa = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_1; \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

**ДЕФЕКТ МАСС** [от лат. defectus — изъян, недостаток]. Масса покоя ядра  $M_A$  всегда меньше суммы масс покоя составляющих его протонов и нейтронов:  $Zm_p + Nm_n$ , где  $Z$  — число протонов,  $N$  — число нейтронов,  $m_p$  — масса протона,  $m_n$  — масса нейтрона. Разность масс  $M = Zm_p + Nm_n - M_A$  (всегда положительную) называют дефектом масс. Дефект масс в соответствии с соотношением Эйнштейна  $E = mc^2$  определяет энергию связи нуклонов в ядре: чем больше дефект масс, тем ядро устойчивее. Наиболее велик дефект масс элементов, соответствующих средней части таблицы Менделеева. Дефект масс тяжелых ядер (уран, плутоний) невелик. Поэтому кинетическая энергия продуктов их деления очень велика:

**ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ.** Нарушение периодичности кристаллической структуры в монокристалле.

**ДЕФИНИЦИЯ.** То же, что *Определение*.

**ДЕФОРМАЦИЯ.** Явление, состоящее в изменении размеров или формы твердых тел под влиянием внешних воздействий (нагревание, охлаждение, механическое действие со стороны других тел) и обусловленное изменением взаимного расположения составляющих твердые тела частиц.

**ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ.** Специфически человеческий способ существования. Деятельность состоит в материальном и духовном производстве. Материальное производство необходимо для поддержания на должном уровне материальных условий жизни — пищи, одежды, жилища, орудий труда и т. п. Духовное производство направлено на производство, трансляцию и трансформацию духовной культуры: знаний, этических и эстетических идей, способности к творческой деятельности.

Принято различать предметную и умственную деятельность. Первая — внешняя (взаимодействие с вещами), вторая — внутренняя, состоящая в мышлении.

Важнейшие понятия теории деятельности — условия, цель, средства и результат.

**ДЖОУЛЬ.** Единица энергии в СИ. Название дано в честь английского физика Джеймса Прескотта Джоуля. 1 джоуль — изменение энергии, происходящее при перемещении тела на 1 м под действием другого тела или поля, если интенсивность их взаимодействия равна 1 Н. Обозначение — Дж.

**Примечание.** Используемая обычно формулировка “Джоуль — единица работы, энергии и количества теплоты” архаична. Три разных величины — работа, энергия и количество теплоты — имели физический смысл, пока не был установлен закон сохранения энергии. В настоящее время есть одна величина, используемая для описывания всех видов движения, — энергия. *Работа и количество теплоты* — неполные синонимы термина *энергия*.

**ДИАГРАММА** [от греч. *diagramma* — рисунок, чертёж]. Чертеж, наглядно показывающий соотношения между различными величинами, изображаемыми в виде линейных отрезков и геометрических фигур.

**ДИАМАГНЕТИЗМ.** Свойство вещества намагничиваться во внешнем магнитном поле так, что индукция возникшего внутреннего магнитного поля направлена навстречу индукции внешнего поля.

**ДИАМАГНЕТИКИ.** Вещества, атомы и молекулы которых не имеют результирующего магнитного момента при отсутствии внешнего магнитного поля. Диамагнетики при помещении в магнитное поле выталкиваются из него, потому что внутреннее поле в них направлено против внешнего намагничивающего поля. Магнитная проницаемость диамагнетиков меньше единицы на величину порядка  $10^{-8}$  (висмут, медь, сера, ртуть, хлор, инертные газы, пламя и т. д.).

**ДИАМАГНИТНЫЙ ЭФФЕКТ.** Явление, состоящее в очень слабом уменьшении магнитного поля в некоторых веществах (называемых *диамагнетиками*), частицы (атомы, молекулы, ионы или атомные ядра) которых отличаются отсутствием собственного магнитного момента, и обусловленное индуцированием магнитного момента электронных оболочек под действием внешнего магнитного поля, направленного навстречу этому полю.

**ДИНАМИКА.** Раздел механики, изучающий и описывающий закономерности механического движения материальных тел под действием других тел.

**ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.** Важную роль в развитии мышления человека, т. е. способности сознательно воспринимать и применять имеющиеся знания, а также производить новые знания, играют междисциплинарные связи. Особое место среди междисциплинарных связей ввиду их продуктивности занимают динамические аналогии.

#### Энергетический портрет динамической системы

Динамическими называют системы, процессы в которых описывают на языке обыкновенных дифференциальных уравнений. К числу динамических систем относятся прежде всего *механические системы* и *электрические цепи*. Их аналогичность особенно ясно обнаруживается при анализе с энергетических позиций. Так, оказывается, что системы обоих типов содержат элементы только четырех видов (число экземпляров элементов каждого вида может быть различным). Это — *источник движения*, *удалитель движения*, *динамический накопитель* и *статический накопитель*. Взаимосвязь элементов динамической системы между собой и с элементами среды представлена в виде энергетического портрета (рис. Д.6), где широкими стрелками показаны "поток энергии".



Рис. Д.6. Энергетический портрет динамической системы

В источнике движение элементов среды какой-либо формы преобразуется в движение, форма которого свойственна данной системе. В механических системах источниками служат двигатели — электрический, внутреннего сгорания и др., а также мышцы животных и человека. В электрических цепях источниками большей частью являются электромашины генераторы или электрохимические элементы питания, в быту называемые “батареями”.

В удалителе движения происходит обратное преобразование: движение, форма которого свойственна данной системе, превращается в движение другой формы, т. е. удаляется в среду. В механических системах к числу удалителей движения принадлежат электромашины генераторы, металлорежущие станки, элементы трения и т. п. В электрических цепях удалители движения — электродвигатели, нагреватели, электрические лампы и все прочие тепловыделяющие элементы.

Динамическими накопителями в механических системах являются поступательно движущиеся массивные тела и маховики. Энергию их движения принято называть кинетической. В электрических цепях динамические накопители — индуктивные катушки.

Статические накопители в механических системах — пружины (их энергию называют потенциальной). В электрических цепях это конденсаторы.

Механическая динамическая система движется, если на нее через источник воздействует среда (или) движение аккумулировано одним или несколькими накопителями. Это утверждение легко понять, вспомнив, как устроены и работают самодвижущиеся игрушки. Причиной их движения служит либо батарейка с электродвигателем, что соответствует “источнику” на рис. Д.6, либо

заведенная пружина (статический накопитель), либо маховик (динамический накопитель). Аналогично процессы в электрической цепи определяются движением, поступающим из среды, и накопителями.

Важнейшее значение имеет понятие состояния системы. Термин *состояние* используют, когда хотят охарактеризовать степень ожидаемой активности системы в предстоящих взаимодействиях. Поскольку поступающее через источник движение зависит от среды, т. е. объекта, внешнего по отношению к системе, состояние системы определяется только энергией ее накопителей.

### Простейшие мысленные модели элементов

Первым шагом теоретического исследования любого объекта является формирование его *мысленной модели*. Графическое представление мысленной модели механической системы называют *расчетной схемой*, электрической цепи — *схемой замещения*. Их строят из мысленных моделей элементов.

Основным свойством твердого тела является инертность. Однако каждое твердое тело, в том числе движущееся, подвержено деформированию. Деформирование сопровождается внутренним трением, из-за чего тело нагревается, т. е. происходит диссипация (рассеяние) механического движения. Однако обычно потенциальная энергия деформации и количество тепла пренебрежимо малы по сравнению с кинетической энергией тела. Это позволяет для выполнения теоретического исследования ввести простейшую *мысленную модель* твердого тела — *инерционный элемент*, присваив ему единственное свойство — инертность и точное следование второму закону Ньютона:

$$I = mv \text{ или } F = m dv/dt = m d^2x/dt^2, \quad (1)$$

где  $I = \int F dt$  — импульс силы, “собообщивший” покоящемуся телу массой  $m$  скорость  $v$ ,  $F$  — сила;  $x$  — координата тела.

Аналогично основным свойством пружины является упругость, но каждой пружине свойственна инертность, а при деформировании она нагревается, т. е. наряду с потенциальной энергией ее состояние следовало бы оценивать и кинетической, и тепловой энергией. Однако двумя последними часто можно пренебречь. Это позволяет ввести простейшую *мысленную модель* упругого тела — *упругий элемент*, поведение которого точно “подчиняется” закону Гука:

$$x = (1/k)F \text{ или } v = (1/k) dF/dt \quad (2)$$

где  $k$  — коэффициент жесткости пружины.

Простейшей математической моделью механического удалятора движения служит формула, предложенная Ньютоном для описания движения тела в жидкости (см. *Законы Ньютона, отражающие движение тела в жидкости*):

$$F = r \, dx/dt = r v \quad (3)$$

где  $r$  — коэффициент вязкого трения.

Простейшими мысленными моделями механического источника движения являются *источник силы* и *источник скорости*. Источник силы воздействует на связанные с ним элементы с силой, которая может зависеть только от времени и не зависит от скорости и других переменных:  $F = F(t)$ . Источник скорости сообщает присоединенным к нему элементам скорость, которая может зависеть только от времени и не зависит от силы сопротивления и других переменных:  $v = v(t)$ .

В каждом элементе электрической цепи происходят процессы, обусловленные и магнитным полем, и электрическим полем, и тепловыделением. Однако в каждой из простейших мысленных моделей элементов электрической цепи учитывают только одно свойство.

Индуктивный элемент — простейшая мысленная модель индуктивной катушки. Ему приписывают поведение, выражаемое формулой:

$$\Psi = L i \text{ или } u = L \, di/dt = L \, d^2 q/dt^2, \quad (4)$$

где  $\Psi = \int u i \, dt$  — *потокосцепление*,  $u$  — напряжение, измеренное между выводами катушки;  $q$  — электрический заряд.

Емкостный элемент — простейшая мысленная модель конденсатора, поведение которой точно следует формуле:

$$q = C u \text{ или } i = C \, du/dt = C \, d^2 \Psi/dt^2, \quad (5)$$

где  $C$  — емкость конденсатора.

Резистивный элемент — простейшая мысленная модель резистора, "подчиняющаяся" закону Ома:

$$u = R \, dq/dt = R i, \quad (6)$$

где  $R$  — сопротивление резистора.

Простейшими мысленными моделями-источниками электропитания являются *источник напряжения* и *источник тока*. Напряжение между выводами источника напряжения может зависеть от времени и не зависит от силы тока в выводах и других переменных:  $u = u(t)$ . Сила тока в выводах источника тока может зависеть от времени и не зависит от напряжения между ними и других переменных:  $i = i(t)$ .



В тех случаях, когда вопрос о поведении элементов динамических систем специально не обсуждают, по умолчанию принимают, что в расчетных схемах и схемах замещения используют только что описанные мысленные модели элементов.

### Межэлементные аналогии

Математическое описание динамических систем ведут на языке теории обыкновенных дифференциальных уравнений. Переменные, которые при этом используют, должны быть однозначно связаны с энергией компонента, так как именно она определяет состояние системы (состояние следует рассматривать как "моментальную фотографию" процесса, а не нечто застывшее). Эти переменные называют переменными состояния или обобщенными координатами и обобщенными скоростями (первый термин предпочтительнее, так как он является правильно ориентирующим).

Энергию поступательного движения выражают формулами

$$W = \frac{mv^2}{2} = \frac{I^2}{2m} = \frac{vI}{2}. \quad (7)$$

Поэтому в качестве переменных состояния можно использовать либо скорость тела, либо импульс силы (обычно используют скорость).

Энергию пружины выражают формулами

$$W = \frac{F^2}{2k} = \frac{kx^2}{2} = \frac{Fx}{2}. \quad (8)$$

Поэтому переменными состояния могут быть либо сила, либо деформация (обычно используют деформацию).

Энергия индуктивной катушки

$$W = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Psi^2}{2L} = \frac{I\Psi}{2}. \quad (9)$$

Поэтому переменными состояния могут быть либо сила тока, либо потокоцепление (обычно используют силу тока).

Наконец, энергия конденсатора

$$W = \frac{Cu^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{uq}{2}. \quad (10)$$

Соответственно переменные состояния — напряжение или заряд (обычно используют напряжение).

Сопоставив формулы, относящиеся к механическим и электрическим элементам, можно составить таблицу электромеханических аналогий:

Механическая система		Электрическая цепь	
Сила	$F$	Напряжение	$u$
Скорость	$v$	Сила тока	$i$
Импульс силы	$I = \int f dt$	Потокоцепление	$\Psi = \int u dt$
Координата	$x = \int v dt$	Электрический заряд	$q = \int i dt$
Масса	$m$	Индуктивность	$L$
Коэффициент податливости	$(1/k)$	Емкость	$C$
Поведение пружины	$x = (1/k)F$ $v = (1/k)dF/dt$	Поведение конденсатора	$q = Cu$ $i = C du/dt$
Поведение инертного тела	$I = mv$ $F = m dv/dt$	Поведение индуктивной катушки	$\Psi = Li$ $u = L di/dt$
Мощность	$Fv$	Мощность	$ui$
Потенциальная энергия	$\frac{F^2}{2k} = \frac{kx^2}{2} = \frac{Fx}{2}$	Энергия конденсатора	$\frac{Cu^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{uq}{2}$
Кинетическая энергия	$\frac{F^2}{2k} = \frac{kx^2}{2} = \frac{Fx}{2}$	Энергия индуктивной катушки	$\frac{Li^2}{2} = \frac{\Psi^2}{2L} = \frac{i\Psi}{2}$
Поведение демпфера	$F = rv$	Поведение резистора	$u = Ri$
Поведение источника движения	$F(t)$ $v(t)$	Поведение источника питания	$u(t)$ $i(t)$

Примечание. Аналогичные таблицы приведены и в других книгах, иногда с ошибками. Например, в учебнике Н.В. Бутенягина, Я.А. Лунца и Д.Р. Меркина "Курс теоретической механики" (т. II, 1985) в табл. 2 на с. 60 в верхней строке третьего столбца должно быть не напряжение, а потокоцепление, а в нижней — не скорость тока, а ток. Соответственно для того, чтобы второе сверху уравнение на с. 60 было аналогично уравнению (2.51) на с. 59, в качестве переменной должно быть использовано потокоцепление, а в правой части — ток.

Благодаря дуальности существуют внутрисистемные аналоги как в теории электрических цепей, так и в механике.

Пример схем замещения дуальных друг другу цепей приведен на рис. Д.7. Кружочком с одиночной стрелкой (см. рис. Д.7, а) обозначен источник напряжения. Остальные элементы — произвольные. Законы Кирхгофа для этой цепи следует написать так:

$$i_1 = i_2 = i_3 = i_0, \quad (11)$$

$$u_1 + u_2 + u_3 = u_0. \quad (12)$$

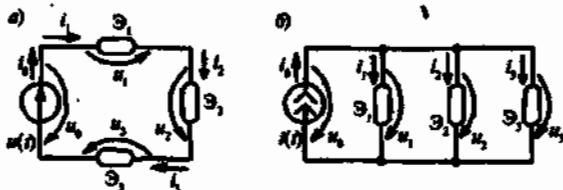


Рис. Д.7. Пример схем замещения дуальных (друг другу) электрических цепей

Кружочком с двойной стрелкой (см. рис. Д.7, б) обозначен источник тока. Остальные элементы также произвольны. Законы Кирхгофа в данном случае суть:

$$i_1 + i_2 + i_3 = i_0 \quad (13)$$

$$u_1 = u_2 = u_3 = u_0. \quad (14)$$

Если вид элементов известен, описывающие их математические модели подставляют в уравнения (12) и (13). Пусть, например,  $E_1$  — резистивный элемент,  $E_2$  — емкостный и  $E_3$  — индуктивный элемент. Тогда получим:

$$Ri_0 + \frac{1}{C} \int i_0 dt + L \frac{di_0}{dt} = u(t), \quad (15)$$

$$Gi_0 + \frac{Y}{L} \int i_0 dt + C \frac{di_0}{dt} = i(t), \quad (16)$$

где  $G = 1/R$  — проводимость резистора.

Обратимся к механическим системам. Представим себе следующий мысленный эксперимент. Расчетная схема механической системы представлена на рис. Д.8. Квадратиком с одиночной стрелкой обозначен источник силы.  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  — произвольные меха-

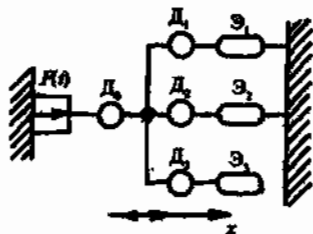


Рис. Д.8. К формулировке одного из структурных законов механики

нические элементы. Связи выполнены из абсолютно жестких стержней.  $D_1, \dots, D_3$  — динамометрические датчики, включенные в автоматизированную систему. Наблюдается возвратно поступательное движение вдоль оси  $x$ . Нажатие кнопки приводит к расщепке значений сил  $F_1, \dots, F_3$  в любой момент времени. Зададимся вопросом: связаны ли эти значения какой-либо математической зависимостью?

Да, связаны:

$$F_1 + F_2 + F_3 = F_0. \quad (17)$$

Это и есть один из структурных законов механики (именно так следует трактовать принцип Даламбера). Он полностью аналогичен уравнению (12).

Рассмотрим механическую систему, расчетная схема которой показана на рис. Д.9. Здесь квадратиком с двойной стрелкой обозначен источник скорости, кружочками — датчики скорости. Подобно предыдущему случаю для любого момента времени мы получим зависимость

$$v_1 + v_2 + v_3 = v_0. \quad (18)$$

Это — второй структурный закон механики.

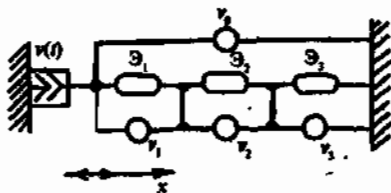


Рис. Д.9. К формулировке другого структурного закона механики

**Примечание.** На подобие между механическими элементами и компонентами электрических цепей указывают всегда, когда ищут об электромеханических аналогах. В противоположность этому межсистемных аналогий в учебных книгах нам не встречалось, хотя в научных публикациях они присутствуют давно. Кроме того, в пользу их существования свидетельствует успешный опыт моделирования механических систем на электронных аналоговых машинах.

### Физический смысл некоторых математических понятий

Динамические аналоги позволяют ответить на некоторые вопросы, относящиеся к теории обыкновенных дифференциальных уравнений. Рассмотрим их.

1. В одних случаях для анализа системы мы используем алгебраические уравнения, в других — дифференциальные. Чем это вызвано?

2. Зависит ли выбор переменных состояния (обобщенных координат и обобщенных скоростей) от особенностей системы или он произволен (подобно простановке размеров на машиностроительных чертежах)? Определяется ли чем-нибудь их число?

3. Что означает выражение “Энергия — функция состояния системы”?

4. Каков физический смысл начальных условий? Чем определяется их число?

5. Как узнают значения начальных условий?

6. Чем определяется порядок дифференциального уравнения?

7. Чем физически обусловлено различие однородных и неоднородных дифференциальных уравнений?

Ответы таковы:

1. Если на основании предшествующего опыта ясно, что в изучаемой системе энергия, запасаемая накопителями, пренебрежимо мала, в расчетную схему (схему замещения) не вводят модели накопителей. Поэтому формулы (1), (2), (4) и (5), содержащие производные переменных состояния, в уравнения не входят, и они оказываются алгебраическими.

2. Так как состояние системы определяется энергией накопителей, а переменные состояния однозначно связаны с энергией, их вид и число определяется независимыми накопителями. Независимыми называют накопители, не объединяемые формальными методами при анализе расчетной схемы или схемы замещения.

3. Выражение “Энергия — функция состояния системы” лишено физического смысла. Действительное отношение между этими

понятиями противоположно: состояние системы определяется энергией накопителей.

4. Начальные условия — значения переменных состояния в момент времени, принятый за нуль.

5. Значения начальных условий — не что иное, как значения переменных состояния в конце того этапа развития процессов в системе, который предшествует рассматриваемому.

6. Порядок дифференциального уравнения равен числу независимых накопителей.

7. Однородное дифференциальное уравнение (правая часть равна нулю) соответствует системе, в которой отсутствует источник движения, т. е. происходящие в ней процессы обусловлены только энергией накопителей. Правая часть неоднородного уравнения отражает поведение источника движения.

**Примечание.** Математическое определение порядка дифференциального уравнения может не соответствовать природе вещей. Это видно из следующего примера.

Дифференциальное уравнение, описывающее процессы в электрической цепи, содержащей источник напряжения, резистор и конденсатор, соединенные последовательно, имеет вид

$$\frac{du_C}{dt} + \frac{u_C}{RC} = \frac{u(t)}{RC}.$$

Согласно определению, это уравнение первого порядка, что соответствует физическому смыслу (имеется один накопитель).

Однако если заменить переменную  $u_C$  на потокосцепление  $\Psi_C = \int u_C dt$ , мы получим уравнение

$$\frac{d^2\Psi_C}{dt^2} + \frac{1}{RC} \frac{d\Psi_C}{dt} = \frac{u(t)}{RC},$$

которое математики назовут уравнением второго порядка, что противоречит физическому смыслу.

По-видимому, необходимо изменить математическое определение порядка дифференциального уравнения.

**ДИНАМОМЕТР.** Прибор для измерения силы и момента силы. Состоит из меры силы (упругого элемента) и отсчетного устройства.

**ДИОД.** Полупроводниковый *двухполюсник*, *вольтамперная характеристика (ВАХ)* которого существенно нелинейна и несимметрична. Основным фрагментом (частью) диода, определяющим его свойства, является *электронно-дырочный переход*. Наиболее распространены диоды, предназначенные для выпрямления переменного тока.

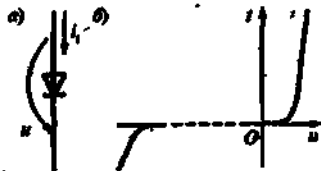


Рис. Д.10. Условное графическое обозначение полупроводникового диода (а) и его вольт-амперная характеристика (б)

Условное графическое обозначение такого диода с направлением отсчета напряжения и тока (см. *Правила знаков...*) показано на рис. Д.10, а, а типичная ВАХ — на рис. Д.10, б. Ток, текущий сверху вниз (см. рис. Д.10, а), называют “прямым”, а текущий снизу вверх — “обратным”. Глядя на рис. Д.10, б, можно подумать, будто до некоторого значения отрицательного напряжения обратный ток равен нулю. В действительности это не так, но он настолько мал, что при выбранном масштабе по оси тока (соответствующем типичным значениям прямого тока в рабочем режиме) обратная ветвь ВАХ сливается с осью напряжения из-за конечной (не бесконечно малой) толщины линии. Для того чтобы ход кривой в третьем квадранте был виден, используют искусственный прием: масштабы для положительного и отрицательного направлений оси тока выбирают сильно различающимися (примерно в 1000 раз). Иногда оказывается необходимым сделать разными и масштабы по оси напряжения (в 10–100 раз). Вычерченная таким способом ВАХ диода показана на рис. Д.11. При этом на ВАХ в начале коор-

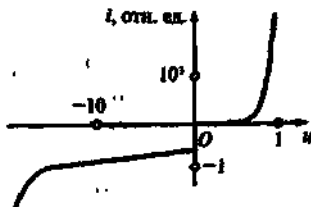


Рис. Д.11. Вид вольт-амперной характеристики диода (при разных масштабах для положительного и отрицательного направлений осей)

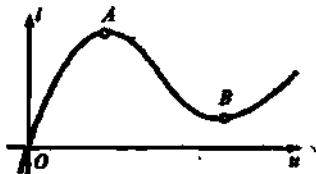


Рис. Д.12. Вольт-амперная характеристика туннельного диода (AB — падающий участок)

динет виден излом. В действительности его нет — он обусловлен только различием масштабов.

Диоды, специально предназначенные для стабилизации напряжения, называют стабилитронами. Существуют диоды, используемые для генерирования электрических колебаний, — туннельные диоды, диоды Ганна и др. На их вольт-амперных характеристиках имеется так называемый “падающий” участок (участок AB на рис. Д.12).

Большую часть диодов изготавливают из кремния. Прежде использовались вакуумные диоды, газоразрядные диоды (газотроны) и полупроводниковые диоды, изготовленные из селена, закиси меди и германия.

**ДИОПТРИЯ.** Единица оптической силы линз и оптических систем в СИ. 1 диоптрия — оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м, помещенной в среду с показателем преломления, равным единице. Обозначение — дптр. 1 дптр = 1 м<sup>-1</sup>.

**ДИПОЛЬ (ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ)** [от греч. di(s) — дважды и polos — полюс]. Мысленная модель полярной молекулы, введенная для решения задач о ее поведении во внешних электрических полях и построенная как система, состоящая из двух одинаковых по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов, расстояние между которыми (называемое плечом) пренебрежимо мало по сравнению с расстоянием до точки наблюдения.

**ДИПОЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МОМЕНТ.** Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания взаимодействия диполя с электрическим полем и равная произведению заряда диполя и его плеча, направленная вдоль оси от отрицательного заряда к положительному.



**ДИСЛОКАЦИЯ.** Нарушение периодического чередования атомных плоскостей в кристаллах, образующееся в процессе их роста или пластической деформации.

**ДИСПЕРСИЯ СВЕТА.** Явление, состоящее в разложении света в спектр при преломлении и обусловленное зависимостью показателя преломления от частоты (длины волны) света.

**ДИСПЕРСИЯ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ.** Характеристика распределения результатов измерения *случайной величины*, задает интервал значений, в котором с данной вероятностью могут находиться измеренные значения. При многократных измерениях в качестве оценки дисперсии  $D = \sigma_x^2$  случайной величины  $x$  используют *среднее квадратичное отклонение*  $s^2$  отдельных результатов от их среднего  $\langle x \rangle$ :

$$D \equiv s^2 = \langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2.$$

**ДИССИПАТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ.** Простейшая мысленная модель *удалителя движения*, введенная для решения задач механики, элемент *расчетной схемы механической системы*, которому приписывают единственное свойство — точно “подчиняться” компонентному закону  $F = Rv$  (см. *Законы Ньютона, отражающие движение тела в жидкости*).

**ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА.** Оптический прибор для получения дифракционных спектров. Изобрел ее в 1786 г. американский ученый Дэвид Риттенгауз. Простейшая дифракционная решетка представляет собой последовательность параллельных прозрачных щелей равной ширины, разделенных также равными по ширине непрозрачными промежутками. Такую решетку получают путем нанесения с помощью делительной машины на прозрачную стеклянную пластинку на равных расстояниях друг от друга алмазным резцом тонких параллельных штрихов. С 1970-х гг. кроме решеток, нарезанных алмазными резцами, используют решетки, изготовленные голографическим методом. Начиная с 1821 г. дифракционные решетки начал широко применять Йозеф Фраунгофер для исследования спектров. Этим обусловлено, что некоторые авторы считают его изобретателем первой дифракционной решетки.

**ДИФРАКЦИЯ ВОЛН** [от лат. *diffractus* — разломленный]. Нарушение прямолинейности распространения волн, огибание волнами встречающимися препятствий.

**ДИФРАКЦИЯ СВЕТА.** Явление, состоящее в огибании световым лучком встречающихся на его пути препятствий, размеры которых сравнимы с длиной волны света, и обусловленное волновой природой света.

**ДИФФУЗИЯ** [от лат. *diffusio* — распространение, растекание]. Проникновение молекул одного вещества в другое при их непосредственном соприкосновении, обусловленное тепловым движением молекул.

**ДИЭЛЕКТРИКИ** [от греч. *dia* — через и англ. *electric* — электрический]. Вещества, практически не проводящие электрический ток, так как в них очень мало свободных заряженных частиц, способных перемещаться под действием электрического поля. Различают полярные и неполярные диэлектрики. Полярные диэлектрики — диэлектрики, у которых центры положительных и отрицательных зарядов отдельных атомов и молекул не совпадают (полярные молекулы). Неполярные диэлектрики — диэлектрики, у которых центры положительных и отрицательных зарядов отдельных атомов и молекул совпадают (неполярные молекулы). Другое важное свойство диэлектриков — их способность поляризоваться в электрическом поле.

**ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ.** Безразмерная физическая величина, введенная для количественного оценивания влияния среды на электромагнитное взаимодействие помещенных в нее заряженных частиц и равная отношению силы  $F_D$  взаимодействия этих частиц в вакууме к силе  $F_C$  их взаимодействия в среде:  $\epsilon = F_D / F_C$ .

**ДЛИНА.** Одна из основных физических величин в системе физических величин *LMТΘJN*, служащей базой для построения международной системы единиц СИ. Длина — скаляр. Введена для количественного оценивания протяженности вещей или расстояния между ними. Измеряется путем их сравнения с мерами (масштабная линейка, рулетка) или специальными средствами измерений (радиолокатор и др.). При изготовлении рабочих средств измерений длины обеспечивают надлежащую точность путем передачи единицы длины от образцовых мер, получивших ее, в конечном

счете, от знака длины. Условное обозначение длины и ее размерности —  $L$ . Единица длины — метр (м).

**ДЛИНА ВОЛНЫ.** Расстояние между ближайшими точками, колеблющимися с одинаковыми фазами, или расстояние, на которое распространяются колебания за один период.

**ДЛИНА ПУТИ.** Длина линии, вдоль которой происходит движение.

**ДЛИНА СВОБОДНОГО ПРОБЕГА МОЛЕКУЛ ГАЗА.** Молекулы газа, находясь в состоянии теплового движения, непрерывно сталкиваются друг с другом. Расстояния, проходимые молекулой между двумя последовательными соударениями, из-за хаотичности молекулярного движения меняются. Неизменным остается в определенных внешних условиях и при термодинамическом равновесии лишь их среднее значение  $\bar{l} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\sum l_i}{N}$ , где  $l_i$  — расстояние, проходимое молекулой, а  $N$  — число последовательных пробегов молекулы. Среднее значение  $\bar{l}$  и называют длиной свободного пробега молекул газа.

**ДОВЕРИТЕЛЬНАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ (НАДЕЖНОСТЬ).** Вероятность того, что действительное значение физической величины  $X_d$  находится внутри доверительного интервала. В подавляющем большинстве экспериментов значение доверительной вероятности 0,68 считают стандартным.

**ДОВЕРИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕРВАЛ.** Интервал значений физической величины  $x$ , в котором с заданной вероятностью (доверительной вероятностью) находится действительное значение величины. Доверительный интервал определяют в пределах от  $\langle x \rangle - \Delta x$  до  $\langle x \rangle + \Delta x$ , где  $\langle x \rangle$  — среднее арифметическое значение измеряемой величины,  $\Delta x = k(\alpha, n) \cdot \sigma_{\langle x \rangle}$  — отклонение  $x$  от действительного значения физической величины,  $k(\alpha, n)$  — коэффициент Стьюдента,  $\sigma_{\langle x \rangle}$  — среднее квадратичное отклонение среднего значения,  $\alpha$  — доверительная вероятность,  $n$  — полное количество измерений.

**ДОЗА ИЗЛУЧЕНИЯ.** То же, что поглощенная доза ионизирующего излучения.

**ДОЗИМЕТР.** Прибор для измерения дозы или мощности дозы излучения.

**ДОЛЬНАЯ ЕДИНИЦА ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ.** Единица физической величины, в целое число раз меньшая системной или внесистемной единицы.

**ДОМЕНЫ** [от фр. *Domaine* — владение, поместье]. Термин используют в двух значениях. 1) Небольшие области в ферромагнетике, самопроизвольно намагниченные до насыщения. 2) Небольшие области в сегнетоэлектрике, самопроизвольно поляризованные до насыщения (см. *Поляризация диэлектриков*).

**ДОНОРНАЯ ПРИМЕСЬ.** Примесь, валентность атомов которой на единицу больше валентности атомов основного полупроводника. В подавляющем большинстве типов современных полупроводниковых приборов основным веществом служит четырехвалентный кремний. Поэтому в качестве донорной примеси используют пятивалентные вещества (фосфор, сурьму, мышьяк, висмут).

**ДОНОРЫ** [от лат. *dono* — дарю]. Структурные дефекты в кристаллической решетке полупроводников (примеси, дислокации), обуславливающие примесную электронную проводимость (см. *Донорная примесь*).

**ДОЧЕРНЕЕ ЯДРО.** Атомное ядро, возникающее в результате распада материнского ядра.

**ДУАЛЬНОСТЬ.** Вид аналогии, на который обратили внимание, развивая теорию электрических цепей. Состоит в том, что существуют такие пары электрических цепей, математические описания которых совпадают, если в уравнениях произвести замену величин в соответствии с таблицей.

Таблица дуальности (друг другу)  
электрических величин

Электрический заряд, $q$	Потенциальное, $\psi$
Сила тока, $i = dq/dt$	Напряжение, $u = d\psi/dt$
Быстрота изменения тока, $di/dt = d^2q/dt^2$	Быстрота изменения напряжения, $du/dt = d^2\psi/dt^2$
Индуктивность, $L$	Емкость, $C$
Сопротивление, $R$	Проводимость, $G = 1/R$

Ввиду наличия электромеханических аналогий (см. *Динамические системы*) дуальность свойственна и механическим системам.

Таблица дуальных (друг другу)  
механических величин

Перемещение, $x$	Импульс силы, $I$
Скорость, $V = dx/dt$	Сила, $F = dI/dt$
Ускорение, $a = dV/dt = d^2x/dt^2$	Быстрота изменения силы, $dF/dt = d^2I/dt^2$
Масса, $m$	Коэффициент податливости, $1/k$ ( $k$ — коэффициент жесткости)
Коэффициент вязкого трения, $r$	$1/r$

**ДУГОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД.** Столб светящегося газа, возникающий между электродами при их раздвижении после кратковременного соприкосновения. Благодаря выделению большого количества теплоты с поверхности электродов происходит термоэлектронная эмиссия. Впервые получен в 1802 г. русским физиком и электротехником Василием Владимировичем Петровым. Дуговой разряд — мощный источник света. Применяется в прожекторах, проекционных аппаратах, получил широкое применение в сварке металлов.

**ДУХОВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО.** Один из видов деятельности. Термином *материальное производство* обозначают процесс производства материальных благ, обеспечивающих физическое существование человека — пищи, одежды, жилища, и т. п. Для существования как индивида, так и общества не менее важно производство духовных ценностей — произведений науки, литературы, искусства, формирование нравственно, этически и научно развитых личностей и т. п. Все это входит в сферу духовного производства. В частности, образование — массовое духовное производство. В последние десятилетия вместо термина *образование* часто используют словосочетание «предоставление образовательных услуг». Это — профанация. В действительности образование — общественный институт, предназначенный для расширенного воспроизводства культуры — ее трансформации и трансляции.

**ДЫРКА:** Одно из основных понятий теории полупроводников (наряду с электроном), мысленная модель, введенная для описания поведения множества валентных электронов при опре-

деленных условиях. Дырка — воображаемая частица, но в описаниях процессов в полупроводниках термин *дырка* используют так, что создается впечатление, будто, так же как электрон, это реальная частица. Масса дырки равна массе электрона, а заряд — заряду электрона, но со знаком плюс (см. *Полупроводники*).

**ДЫРОЧНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ.** Проводимость примесного полупроводника, в котором *основные носители — дырки*.

**ДЫРОЧНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИК** (полупроводник типа *p*). Полупроводник, в котором преобладает *акцепторная примесь* и, следовательно, его *основные носители — дырки*.

**ДЮЙМ** [от греч. *dykt* — букв. большой палец]. Внесистемная единица длины. Применяли в России до 1918 г., а в англоязычных странах применяют и сегодня. 1 дюйм = 25,4 мм. Единицу, равную 0,1 дюйма, называют *линейей* (отсюда название “трехлинейная винтовка”: калибр ее ствола — 3 линейи = 7,62 мм).

# Е

**ЕДИНАЯ СХЕМА ПОСТРОЕНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН, ИМЕЮЩИХ СОБСТВЕННОЕ НАИМЕНОВАНИЕ.** В определениях единиц физических величин, построенных по единой схеме, приведено название единицы, ее условное обозначение, указание на принадлежность к множеству единиц, название соответствующей физической величины, указание системы, к которой относится единица, и способ вычисления ее значения. Например, 1 герц (Гц) — единица частоты колебаний в СИ, равная частоте таких периодических колебаний, при которых за время в 1 с совершается одно полное колебание.

В статьях настоящего словаря, посвященных единицам физических величин, приведены ответы на все пункты обобщенного плана, необходимые для построения определения единиц. При желании на их основе вы можете самостоятельно построить полное определение единиц величины (см. *Единые схемы построения определений одноступенчатых физических понятий*).

**ЕДИНАЯ СХЕМА ПОСТРОЕНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЙ МОДЕЛЕЙ.** Приводимые в учебной, справочной и методической литературе определения моделей построены по семи различным схемам: 1) название модели и ее оригинала, а также способ построения модели; 2) название модели и ее оригинала, а также описание модели; 3) название модели и ее оригинала, а также закон, описывающий поведение модели; 4) название, вид, оригинал и цель введения модели; 5) название и полное описание модели; 6) название, вид, оригинал, цель введения и способ построения модели; 7) название, вид, оригинал, цель введения и описание модели.

Строго говоря, определения, построенные по первым трем схемам, ошибочны, так как они отождествляют модель с оригиналом, т. е. отождествляют предметы из мира идей с предметами из мира вещей. Не совсем удачны и определения по четвертой и пятой схемам. Первые неточны (нонразмерны); вторые — избыточны.

С нашей точки зрения, наиболее подходящими можно считать лишь определения, построенные по шестой и седьмой схемам, так как только они, оставаясь сравнительно краткими, достаточно ясно указывают место данной модели в физической картине мира (см. *Единые схемы построения определений одноступенчатых физических понятий*).

**ЕДИНАЯ СХЕМА ПОСТРОЕНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.** В учебниках, справочниках и других книгах используют определения физических величин, построенные по пяти различным схемам: 1) название величины, указание ее принадлежности к множеству величин и способ нахождения ее значения; 2) название, вид и способ нахождения значения величины; 3) название, цель введения величины; 4) название, вид, цель введения величины; 5) название, вид, цель введения, способ нахождения значения величины.

С нашей точки зрения, полными можно считать лишь определения, построенные по пятой схеме, так как только они достаточно ясно указывают место конкретной величины в физической картине мира. Именно так построена большая часть предлагаемых в этом словаре определений (см. *Единые схемы построения определений относительных физических понятий*).

**ЕДИНАЯ СХЕМА ПОСТРОЕНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ.** Существующие в литературе определения явлений построены по трем схемам: 1) название, внешние признаки проявления и условия, при которых наблюдается явление; 2) название, механизм протекания и условия, при которых наблюдается явление; 3) название, внешние признаки проявления, механизм протекания и условия, при которых наблюдается явление. Определения, построенные по каждой из первых двух схем в отдельности, дают только половинчатое представление о явлении. В первом случае остается неизвестным механизм протекания явления, во втором — внешние признаки его проявления. Третья схема представляет собой объединение первых двух. Она дает единое и полное представление о явлении: приводится название, указание на принадлежность к множеству явлений, внешние признаки, условия, при которых наблюдается, и внутренний механизм протекания явления. Преобладающее большинство определений явлений, приведенных в настоящем словаре, построено по третьей схеме, названной единой.

**ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ** (единица физической величины, единица величины, единица). Наименование в составе *значения физической величины* (например, столько-то метров (м), столько-то килограмм (кг), столько-то джоулей (Дж)). В нем зашифрованы сведения двух видов: 1) какое свойство вещи или отношение вещей количественно оценивали при измерении и 2) с каким эталоном (при прямых измерениях)



или эталонами (при косвенных измерениях) сверялись те меры или измерительные приборы, которыми пользовались при данном измерении (см. *Единство измерений*).

Так, например, буква “м” (метр) означает, что измерили длину, пользуясь масштабной линейкой, рулеткой или другой мерой, являющейся копией эталона метра. Обозначение “кг” (килограмм) означает, что измерили массу, пользуясь гирями, номинальное значение массы которых соответствует эталону килограмма.

Многие тысячелетия, измеряя, люди пользовались мерами и соответственно единицами, не приведенными в систему. В период становления капитализма интенсивно развивались как материальное производство, так и торговля, и бессистемность мер и единиц стала тормозить эти процессы. Двести лет назад французские ученые осознали этот факт и предложили ввести систему унифицированных, взаимосвязанных единиц, известную под названием “метрическая система мер”. В течение XIX столетия ею начали пользоваться во многих странах, и обнаружилась необходимость заключить международное соглашение. В 1869 г. Петербургская академия наук предложила учредить международную метрологическую организацию. В 1875 г. в Париже 17 государств подписали Метрическую конвенцию, и было принято решение о создании международных органов для поддержания единообразия измерений, а также о периодическом созыве (раз в 6 лет) Генеральных конференций по мерам и весам.

В то время не был поставлен вопрос о создании международной системы единиц, хотя эту идею еще в 1832 г. выдвинул великий немецкий математик К.Ф. Гаусс. Он предложил выбрать несколько величин и их единиц, независимых друг от друга и других величин и единиц. Затем, пользуясь формулами, ввести все остальные величины и единицы. Идея Гаусса получила общее признание. Независимые величины и единицы называются *основными*, а зависимые — *производными*. Были предложены и применялись системы единиц СГС (сантиметр, грамма, секунда), МТС (метр, тонна, секунда), МКС (метр, килограмма, секунда), МКГСС (метр, килограмма-сила, секунда) и некоторые другие. Это оказалось очень неудобным, так как привело к неоправданному затруднению и в работе, и в обучении, вызванным необходимостью пересчета значений величин при переходе от одной системы единиц к другой. В частности, во всех старых пособиях, посвященных подготовке к экзаменам по физике, как отечественных, так и зарубежных, говорилось, что перевод единиц из одной системы в другую — один из самых трудных вопросов.

После продолжительных обсуждений XI Генеральной конференции по мерам и весам (1960 г.) было принято решение о введении Международной системы единиц (СИ), востроенной на базе основных величин  $L, M, T, I, \Theta, J, N$  (каждая буква — условное обозначение величины и ее размерности:  $L$  — длины,  $M$  — массы,  $T$  — времени,  $I$  — силы электрического тока,  $\Theta$  — температуры,  $J$  — силы света,  $N$  — количества вещества). Основными единицами СИ являются метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, кандела, моль. Большинство стран мира приняли эту рекомендацию.

Так как интенсивности проявления свойств и отношений вещей чрезвычайно разнообразны, для удобства их оценивания введены стандартные приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц. В табл. Е.1 приведены их наименования, обозначения и соответствующие им множители.

Пользоваться приставками очень просто. Например (см. табл. Е.1):  $3 \text{ ГГц} = 3 \cdot 10^9 \text{ Гц}$ ;  $5 \text{ мкФ} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$ .

Таблица Е.1

Множители и приставки для образования кратных и дольных единиц и их наименований

Множитель	Приставка	Обозначение	Множитель	Приставка	Обозначение
$10^{18}$	экса-	Э	$10^{-1}$	деци-	д
$10^{15}$	пета-	П	$10^{-2}$	санти-	с
$10^{12}$	тера-	Т	$10^{-3}$	милли-	м
$10^9$	гига-	Г	$10^{-4}$	микро-	мк
$10^6$	мега-	М	$10^{-6}$	нано-	н
$10^3$	кило-	к	$10^{-12}$	пико-	п
$10^2$	гекто-	г	$10^{-15}$	фемто-	ф
$10^1$	дека-	да	$10^{-18}$	атто-	а

Наряду с единицами СИ допущены к применению некоторые *несистемные единицы*.

**ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ.** Современное материальное производство и другие виды деятельности (транспорт, торговля, медицина и т. д.) возможны только при условии, что результаты измерений повсеместно выражают в одинаковых узаконенных единицах. Для обеспечения этого в международном масштабе и в каж-

дой стране существуют соглашения, законы, правила и нормы, которые определяют, каким образом рабочие меры и измерительные приборы (т. е. те, которые непосредственно используют для измерений) сверяют с первичными эталонами. В метрологии эту процедуру называют поверкой средств измерений. Все средства измерений поверяют при выпуске из производства и периодически в процессе эксплуатации или хранения.

Рабочие средства измерений сравнивают с эталонами не непосредственно. Существуют поверочные схемы — документы, в которых установлено, сколькими “шагами”, с использованием каких промежуточных средств измерений поверяют рабочие меры и измерительные приборы (эту процедуру называют также “передачей” единицы величины от эталона к рабочим средствам измерений).

В масштабе страны всю эту работу организует государственная метрологическая служба, находящаяся в ведении Госстандарта России. Она включает научные метрологические центры и органы метрологической службы в субъектах федерации. Существуют также службы государственных органов управления (ведомств) и метрологические службы предприятий и организаций. В части обеспечения единства измерений они подчинены государственной метрологической службе.

**ЕДИНЫЕ СХЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ОДНОТИПНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПОНЯТИЙ.** Определить конкретное понятие — это выразить в одной формулировке то общее, существенное, что присуще этому понятию, т. е. составить краткий текст, который раскрывает основное содержание понятия словесными средствами. Это означает, что прежде, чем построить определение понятия, нужно выявить характеризующие понятие признаки, систематизировать их (разделить их на существенные и несущественные) и обобщить. Чтобы облегчить решение такой задачи, ученые-педагоги предложили алгоритмические предписания, помогающие учащимся выявлять признаки понятия (см. *Обобщенные планы изучения элементов научного знания по физике*), и разработали единые схемы построения определений для таких однотипных понятий, как физические явления, физические величины, единицы физических величин, имеющих собственное наименование, модели, приборы. Каждый из элементов единых схем представляет собой один из существенных признаков понятия. При наличии ответов на все пункты обобщенных планов для данного

понятия единые схемы объективируют и максимально упрощают процесс систематизации и обобщения признаков понятия и построения его определения.

**ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ.** Сопротивление конденсатора почти гармоническому переменному току. Оно обратно пропорционально угловой частоте  $\omega$  тока и емкости  $C$  конденсатора:  $X_c = \frac{1}{\omega C}$  (см. *Реактивное сопротивление*).

**ЕМКОСТНЫЙ ЭЛЕМЕНТ.** Мысленная модель конденсатора, введенная для решения задач теории электрических цепей и построенная как элемент схемы замещения, представляющий собой двухполюсник, поведение которого точно описывается компонентным законом — формулой  $q = C\varphi$ . Емкостный элемент используют в схемах замещения не только в качестве модели конденсатора, но и во всех тех случаях, когда необходимо учесть влияние на процессы электрического поля, существующего между проводниками и другими элементами электрической цепи. Емкостный элемент, введенный с этой целью, обычно называют “паразитной емкостью”.

**Примечание.** Предложения о термине *паразитная емкость* обычно построены так, что создается впечатление, будто она является атрибутом реального элемента — отрезка двухпроводной линии, диода, транзистора и т. п. Надо помнить, что это метафоры. Объективно существует электрическое поле, а *паразитная емкость* — элемент схемы замещения, мысленная модель.

**ЕМКОСТЬ.** Термин используют в двух значениях. 1. Сосуд, предназначенный для хранения газообразных, жидких или сыпучих тел. 2. Краткий синоним термина *электроемкость*.

**ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ.** Явление, состоящее в испускании отдельными веществами ядер, элементарных частиц и жесткого электромагнитного излучения и обусловленное самопроизвольным превращением некоторых атомных ядер в другие.

Открыто явление в 1896 г. французским физиком Антуаном Анри Беккерелем. Он обнаружил, что соединения урана действуют на фотопластинку, завернутую в черную бумагу, причем наиболее сильное действие оказывает металлический уран. Из этого он заключил, что уран испускает особые лучи. Сразу же после открытия явления его интенсивным изучением занялись супруги Кюри — Мария и Пьер. Вскоре они нашли, что урановая смоляная

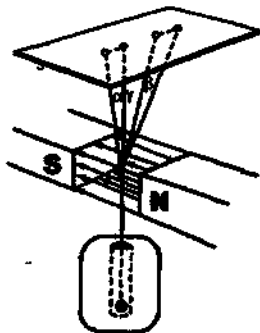


Рис. Е.1. Схема разделения радиоактивного излучения на  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -лучи магнитным полем

руда дает излучение, в четыре раза превосходящее по интенсивности излучение чистого урана. Так ими в 1898 г. были открыты два новых радиоактивных элемента — полоний (июль) и радий (декабрь). Вещества, испускающие новые излучения, были названы *радиоактивными*, а само явление — *радиоактивностью*. М. Кюри выполнила анализ состава излучения радиоактивных веществ путем пропускания его через магнитное поле и показала, что оно состоит из трех видов лучей, условно названных  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ . Схема разделения  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -лучей изображена на рис. Е.1 (см. также *Альфа-частицы, Бета-частицы, Гамма-частицы, Альфа-распад, Бета-распад, Искусственная радиоактивность*).

Нобелевская премия по физике за 1903 г. была присуждена А. Беккерелю за открытие явления естественной радиоактивности, а Марии и Пьеру Кюри — за исследование радиоактивного излучения. Марии Кюри была присуждена еще Нобелевская премия по химии за 1911 г. за открытие радия и полония, изучение свойств радия, получение радия в металлическом состоянии и осуществление экспериментов, связанных с радием.

**ЕСТЕСТВЕННЫЙ СВЕТ.** Свет, в котором в каждый момент времени векторы  $E$  (электрический),  $H$  (магнитный) и  $V$  (скорость), хотя и остаются взаимно перпендикулярными, но направления  $E$  и  $H$  беспорядочно изменяются с течением времени. Поэтому естественный свет обладает статистически осевой симметрией (ср. *Поляризованный свет*).

# Ж

**ЖЕСТКОСТЬ.** Свойство тела сопротивляться деформированию. Нередко слово *жесткость* используют ошибочно вместо термина *коэффициент жесткости* (см. *Закон Гука*).

**ЖЕСТКОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ.** Термин, используемый для качественного сравнения проникающей способности ионизирующих излучений в вещество. *Жесткое излучение* — ионизирующее излучение с высокой проникающей способностью.

**ЖИДКОСТЬ.** Одно из четырех агрегатных состояний вещества, характеризующееся текучестью, изменчивостью формы и постоянством объема.

# 3

## ЗАВИСИМАЯ ПЕРЕМЕННАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА.

*Переменная физическая величина, значения которой зависят от значений, принимаемых независимой переменной физической величиной.*

**ЗАЗЕМЛЕНИЕ** (электрическое). Соединение электрических машин, аппаратов, приборов с землей для защиты людей и оборудования от возможного действия электрического тока и обеспечения правильной работы электроустановок. Заземлители — вертикально погружаемые в землю стальные трубы, стержни или закапываемые стальные листы. Для обеспечения надежного заземления используют много заземлителей, соединенных между собой толстой стальной проволокой или лентой. Места соединения сваривают электросваркой. Качество заземления регулярно проверяют, производя измерения.

**ЗАКОН.** Термин *закон* используют чрезвычайно широко — и в богословии, и в юриспруденции, и в науке. Его значения во всех областях различны. В науке категория ‘*закон*’ занимает важнейшее место. Тем не менее, в использовании слова *закон* много произвола. Читая учебники, научно-популярную и научную литературу, легко обнаружить прямо-таки тираническое “влияние” законов на природу. Природные явления подчиняются законам, природа соблюдает законы, она не может преступить их, законы управляют природными процессами, определяют или регулируют их, действуют (или не действуют), выполняются (или не выполняются), преобразуют движение материи, возбуждают тела двигаться определенным образом и т. п. В результате создается впечатление, будто наряду с самой природой объективно существует некий управляющий ею “законодательный орган”. Понять это невозможно, не обратившись к истории.

В древности люди верили религиозным мифам, согласно которым бог задал природе и людям законы на вечные времена (в Священном писании неограниченное число примеров, иллюстрирующих данное утверждение). Эта идея и запечатлелась в словоупотреблении. В эпоху Возрождения люди поняли, что природные процессы обусловлены взаимодействием вещей и “божий промысел” к этому никакого отношения не имеет. Данное обстоятельство привело к тому, что какое-то время ученые избегали

использовать слово закон. Так, Леонардо да Винчи, Галилей, Кеплер и другие авторы предпочитали применять вместо него такие выражения, как *аксиома, правило, разумное основание* и т. п. Впоследствии слово закон вернулось в научный лексикон. Однако и в настоящее время встречаются высказывания о нежелательности его использования в науке. Так, например, выдающийся философ Р. Карнап писал: "Может быть, было бы меньше неясности, если бы слово закон вообще не употреблялось в физике". Более детально размышляет о нем академик Н.Н. Моисеев. Он указывает, что этот термин нехорош тем, что претендует на некоторый абсолютный смысл и его вообще можно было бы не использовать в физике, ибо термин *модель* ориентирует значительно точнее. Однако термин закон продолжают применять и, по мнению Н.Н. Моисеева, с которым трудно не согласиться, неразумно было бы от него отказываться, если помнить о его недостатках. Поэтому надо разобраться в том, как следует понимать значение этого термина. Размышления о научных законах целесообразно начать с полярных категорий '*необходимость*' и '*случайность*'.

Люди давно обнаруживали, что существуют природные процессы, происходящие *вольтерпачиво*, т. е. либо регулярно повторяющиеся (смена дня и ночи, фаз Луны, времена года и т. п.), либо случающиеся неизбежно (смерть любого живого организма), либо являющиеся результатом действия (т. е. следствием) какого-то другого процесса (например, таяние льда на костре). Вместе с тем наблюдаются явления, *свободные от вольтерпачивости*. Например, охотник, метнув дротик в козую, мог попасть в нее, а мог промахнуться; туча могла проявиться дождем над полем, а могла — над лесом и т. д. Именно подобные ситуации обозначают терминами *необходимость* и *случайность*.

Говоря о необходимых событиях, процессах и явлениях, используют разные слова: *воспроизводимость, всеобщность, гармоничность, закономерность, инвариантность, неизбежность, недолижность, неотвратимость, неслучайность, обусловленность, однородность, регулярность, определенность, повторяемость, систематичность, стабильность, устойчивость, цельность, единообразие*. Именно для обозначения таких ситуаций используют словосочетание *закон природы*. Наряду с этим термином применяют выражения *объективный закон, естественный закон, закон действительности, закон внешнего мира*. Вместе с тем, как показывает анализ, одну и ту же необходимость называют то законом, то явлением, то свойством, так что к понятию '*закон*' следует относиться сдержанно, не преувеличивая его значение.

Единичное, частное событие называют *фактом*.



Кроме выражения *закон природы* используют термин *закон науки*. Законом науки (научным законом) называют *отображение* в сознании людей законов природы. Иными словами, *научный закон* — не что иное, как мысленная модель (см. *Модели в науке*). Довольно часто авторы не понимают указанного различия или не придают ему значения и *законом природы* называют *научный закон*.

Как различать законы природы и законы науки? Если в формулировке закона фигурируют имена вещей, мы имеем дело с *законом природы*, если имена идей — с *законом науки*. Например, утверждение “Все тела притягиваются друг к другу” — закон природы, а формула  $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$  — соответствующий ему научный закон.

Есть слова, близкие по значению к термину *закон*. Это *закономерность, принцип, начало, постулат, теорема, соотношение, тенденция, правило*. Иногда их используют как синонимы слова *закон*. Например, известный механик В.Л. Кирпичев писал: “Условия равновесия для всевозможных систем выражаются одной общей теоремой или общим законом, который называют *началом возможных перемещений*”. Иногда эти слова пытаются упорядочить по степени “старшинства” (например, *закономерность* — закон). Однако вряд ли это уместно, так как определенной договоренности о субординации обозначаемых ими понятий не существует. Не всегда удачно используют термин *правило*. Дело в том, что среди словесных выражений встречаются как такие, которыми называют реальность, так и обозначающие соглашение (например, день летнего солнцестояния и “День знаний”). Очевидно, в таких случаях было бы неуместно использовать одно и то же имя. Представляется, что слово *правило* подходит для обозначения соглашений (например, “правило буравчика”, правила знаков напряжения и тока в электрических цепях, правила дорожного движения). Поэтому не следует уравнения Кирхгофа или принцип Ленца тоже называть “правилами” — они отображают объективную реальность (уравнения Кирхгофа — структурные законы теории электрических цепей, а вовсе не “правила, облегчающие вычисление токов в разветвленных цепях”, как об этом пишут в учебниках). Ситуация с “правилами” Ленца и Кирхгофа не единственный пример неправильно ориентирующей терминологии. Вот еще пример. Формулу  $W = Ri^2 t$ , выражающую энергию потерь в резисторе, называют “законом Джоуля–Ленца”, а формулы  $W = Cu^2/2$  и  $W = Li^2/2$ , выражающие энергию заряженного конденсатора и катушки с током, никак не называют.

В ряде случаев как синоним термина *закон* применяют термин *уравнение* (уравнения Кирхгофа, уравнения Максвелла, уравнение Шрёдингера). Иногда используют слова *формула* или *модель* (формула Стокса, формула Шоттки, модель Эберса—Молла). Нередко термин *закон* применяют для обозначения вида математической зависимости (например: “В промежутке времени  $[t_1, t_2]$  напряжение изменяется по линейному закону”).

По происхождению законы можно разделить на четыре группы: 1) эмпирические (феноменологические) — полученные индуктивно в процессе прямого обобщения результатов эмпирического исследования (например: закон всемирного тяготения, второй закон Ньютона, закон Гука); 2) гипотезные — развившиеся из подтвердившейся рабочей гипотезы в процессе построения теории (например, законы квантовой физики и теории относительности); 3) теоретические — дедуктивно выведенные из более общих законов, установленных ранее (например, формула Шоттки, модель Эберса—Молла); 4) эмпирико-теоретические — сформулированные первоначально как эмпирические, а в дальнейшем подтвержденные теоретически (например, *газовые законы*).

**ЗАКОН АВОГАДРО.** *Эмпирический газовый закон*, открытый в 1811 г. итальянским физиком Амедео Авогадро. В законе выражена количественная связь между объемом, давлением, температурой и числом молекул газа. Закон гласит: в равных объемах различных газов при одинаковых температуре и давлении содержится одинаковое число молекул. (См. *Постоянная Авогадро*).

**ЗАКОН АМПЕРА.** *Эмпирический закон*, открытый в 1820 г. французским физиком Андре Мари Ампером. В законе выражена количественная связь между силой, которой оценивают механическое действие магнитного поля на провод с током, внесенным в это поле, силой тока, длиной проводника, индукцией магнитного поля и углом между направлением тока и вектором индукции магнитного поля. Закон гласит: сила  $F$  равна произведению силы тока  $I$  в проводнике длиной  $l$ , модуля индукции  $B$  магнитного поля и синуса угла  $\alpha$  между направлением тока и вектором магнитной индукции:

$$F = IBl \sin \alpha.$$

Направление действия силы  $F$  определяют по *правилу правой руки*.

В такой редакции закон справедлив для прямого провода, внесенного в однородное магнитное поле.

**ЗАКОН АРХИМЕДА.** Эмпирический закон, открытый древнегреческим ученым Архимедом. Закон гласит: жидкость или газ выталкивает вверх полностью или частично погруженное в нее (него) тело с силой, равной весу жидкости (или газа) в объеме погруженной части тела и приложенной в центре масс погруженного объема. Вес  $P$  вытесненного объема  $V$  жидкости (или газа) вычисляются по формуле:

$$P = \rho g V,$$

где  $\rho$  — плотность жидкости,  $g$  — ускорение свободного падения.

**ЗАКОН БЕРНУЛЛИ.** Открыт в 1738 г. петербургским академиком Даниилом Бернулли. Закон выражает количественную связь между давлением, сечением и скоростью текущей жидкости и гласит: давление  $P$  текущей жидкости больше в тех сечениях  $S$  потока, в которых скорость  $v$  ее движения меньше, и наоборот, в тех сечениях, в которых скорость больше, давление меньше:

$$P + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const.}$$

**ЗАКОН БИО** (закон вращения плоскости поляризации линейно (плоско) поляризованного света). Открыт в 1815 г. французским физиком Жаном Батистом Био. В нем выражена количественная связь между углом поворота плоскости поляризации линейно поляризованного света, прошедшего через оптически активное вещество, и толщиной слоя вещества. Закон гласит: 1) угол поворота  $\varphi$  плоскости поляризации плоско поляризованного света, прошедшего через оптически активный кристалл, равен произведению постоянной вращения  $\alpha$  и толщины  $d$  кристалла, т. е.  $\varphi = \alpha d$ ; 2) угол поворота  $\varphi$  плоскости поляризации линейно поляризованного света, прошедшего через раствор оптически активного вещества, равен произведению постоянной вращения  $[\alpha]$ , концентрации  $c$  вещества в растворе и толщине  $d$  слоя раствора, т. е.  $\varphi = [\alpha]cd$ .

Закон справедлив только для линейно поляризованного света, распространяющегося в оптически активных веществах.

**ЗАКОН БИО—САВАРА—ЛАПЛАСА.** Открыт в 1820 г. французским ученым Пьером Симоном Лапласом. В законе выражена количественная связь между напряженностью магнитного поля, созданного постоянным электрическим током, силой тока, элементом длины проводника, по которому течет ток, радиус-

вектором, соединяющим этот элемент с точкой, в которой определяется напряженность магнитного поля, углом между направлением электрического тока и радиус-вектором. Закон гласит: напряженность магнитного поля  $dH$ , создаваемого элементом тока, прямо пропорциональна произведению силы тока  $I$ , длины элемента тока  $dl$ , синусу угла  $\angle(dl, r)$  между элементом тока и радиус-вектором, и обратно пропорциональна квадрату радиус-вектора  $r$ , т. е.

$$dH = \frac{Idl}{4\pi r^2} \sin \angle(dl, r).$$

Применим только к элементам тока бесконечно малой длины. Направление напряженности магнитного поля определяется по правилу буравчика.

**ЗАКОН БОЙЛЯ—МАРИОТТА.** *Эмпирический газовый закон*, открытый в 1662 г. английским ученым Робертом Бойлем и независимо от него в 1676 г. французским ученым Эдмом Мариоттом. В законе выражена количественная связь между давлением и объемом данной порции (массы) газа при постоянной температуре. Закон гласит: для данной порции (массы  $m$ ) газа при постоянной температуре  $T$  произведение давления  $P$  газа и его объема  $V$  остается постоянным:

$$PV = \text{const} \quad (m = \text{const}, T = \text{const}).$$

**ЗАКОН БРЮСТЕРА.** Открыт в 1815 г. шотландским физиком Дэвидом Брюстером. В законе выражена количественная связь между степенью поляризации света, отраженного от поверхности диэлектрика, углом падения света на поверхность диэлектрика и относительным показателем преломления диэлектрика. Закон гласит: отраженный от диэлектрика свет максимально (полностью) поляризован, если тангенс угла падения равен относительному показателю преломления диэлектрика, т. е.

$$\operatorname{tg} i = n_2/n_1,$$

где  $i$  — угол падения света, который получил название *угла Брюстера*,  $n_2$  — абсолютный показатель преломления диэлектрика,  $n_1$  — абсолютный показатель преломления среды, где находится диэлектрик.

Закон справедлив только при отражении света от диэлектриков.

**ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ.** *Эмпирический закон*, открытый в 1665 г. английским ученым Исааком Ньютоном. В законе выражена количественная связь между силой гравитационного взаимодействия двух тел, их массами и расстоянием между ними. Закон гласит: любые два тела притягиваются друг к другу с силой  $F$ , прямо пропорциональной произведению их масс  $m_1$  и  $m_2$  и обратно пропорциональной квадрату расстояния  $R$  между центрами инерции тел:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2},$$

где  $G$  — коэффициент пропорциональности, одинаковый для всех тел и называемый *гравитационной постоянной* или постоянной всемирного тяготения.

**Примечание.** Как и любая мысленная модель, закон всемирного тяготения отображает объективную реальность приближенно. Применяют его для оценивания взаимного притяжения только небесных тел, так как гравитационное взаимодействие тел, с которыми мы имеем дело в земных условиях, пренебрежимо мало по сравнению с притяжением их к Земле. В подавляющем большинстве случаев небесные тела по форме близки к шару, радиус которого значительно меньше расстояния между ними. Поэтому неопределенность результата вычисления по приведенной формуле пренебрежимо мала.

**ЗАКОН ГЕЙ-ЛЮССАКА.** *Эмпирический газовый закон*, открытый в 1802 г. французским ученым Жозефом Луи Гей-Люссаком. В законе выражена количественная связь между объемом и абсолютной температурой данной порции (массы) газа при постоянном давлении. Закон гласит: для данной порции (массы  $m$ ) газа при постоянном давлении  $P$  отношение объема  $V$  газа к его абсолютной температуре  $T$  остается постоянным:

$$V/T = \text{const} \quad (m = \text{const}, P = \text{const}).$$

**ЗАКОН ГУКА.** *Эмпирический закон*, открытый в 1660 г. английским физиком Робертом Гуком. В законе выражена количественная связь между силой взаимодействия упругого тела (пружины) с другим телом и его деформацией (растяжением или сжатием). Закон гласит: сила  $F$  пропорциональна деформации  $x$  тела:

$$F = kx,$$

где  $k$  — коэффициент жесткости пружины.

**Примечания.** 1. Обычно перед правой частью формулы, выражающей закон Гука, пишут знак минус, поясняя, что он свидетельствует о том, что направление деформации упругого тела противоположно направлению действия силы. Данное утверждение некорректно. Знаки в формулах механики, так же как и знаки в формулах теории электрических цепей, определяются выбором направлений отсчета величин (см. *Правила знаков напряжений и токов*).

2. Обычно используемое понятие "сила упругости" лишено физического смысла, так как различных "видов сил" в принципе быть не может: существуют разные виды взаимодействий (см. примечание 8 в статье *Физические величины*).

3. Закон Гука справедлив, пока сила не достигнет некоторого значения, после чего возникает отклонение от линейности в зависимости между силой и деформацией, а при дальнейшем росте силы — остаточные деформации и в конце концов — разрушение тела.

4. По современным представлениям закон Гука — *компонентный закон механики*, простейшая *математическая модель* тела, в которой учтено только одно его свойство — *упругость* (см. примечание 1 ко второму закону Ньютона и статью *Динамические системы*).

**ЗАКОН ДАЛЬТОНА.** *Эмпирический газовый закон*, открытый в 1801 г. английским физиком и химиком Джоном Дальтоном. В законе выражена количественная связь между общим давлением смеси газов и *парциальным давлением* газов, составляющих эту смесь. Закон гласит: давление  $P$  химически не взаимодействующих газов равно сумме парциальных давлений этих газов:

$$P = \sum P_i.$$

**ЗАКОН ДЖОУЛЯ—ЛЕНЦА.** *Эмпирический закон*, открытый в 1841 г. английским физиком Джеймсом Прескоттом Джоулем и независимо от него в 1842 г. русским физиком Эмилем Христиановичем Ленцем. В законе выражена связь между количеством теплоты, нагревающей провод при протекании по нему постоянного электрического тока, силой тока и временем прохождения тока. Закон гласит: количество теплоты  $Q$ , выделяющееся в проводнике при протекании по нему постоянного тока, равно произведению квадрата силы тока  $I$ , сопротивления проводника  $R$  и времени  $\Delta t$  прохождения тока:

$$Q = I^2 R \Delta t.$$

**Примечания.** 1. В настоящее время закон Джоуля—Ленца имеет только историческое значение, поскольку известна формула, связывающая мгновенную мощность  $P$  с *мгновенными значениями* напряжения и силы тока  $i$ :  $P = i \Delta t$ . Мгновенная мощность — быстрота изменения энер-

гия  $W$ :  $P = dW/dt$ . Отсюда:  $W = \int P dt = \int i R dt$ . Подставив сюда  $i = RI$ , получим  $W = R \int I^2 dt$ . В случае постоянного тока ( $I = I$ ) найдем  $W = RI^2 \Delta t$ .

2. В рассматриваемом законе выражена энергетическая реакция удалителя движущихся на протекание электрического тока. Не менее важны формулы, выражающие энергию накопителей — конденсатора и индуктивной катушки. Получить их так же просто. Выведем формулу, связывающую энергию  $W_C$  конденсатора с напряжением  $u_C$  между его выводами. В формулу  $W = \int i u dt$  подставим выражение тока из простейшей математической модели конденсатора  $i_C = C du_C/dt$ :

$$W_C = C \int u_C \frac{du_C}{dt} dt = C \frac{u_C^2}{2}$$

Используя другую форму математической модели конденсатора  $q_C = C u_C$ , получим еще два выражения для энергии:

$$W_C = \frac{q_C^2}{2C} = \frac{q_C u_C}{2}$$

Аналогично выводится выражение для энергии индуктивной катушки:

$$W_L = \frac{L i^2}{2} = \frac{\Psi^2}{2L} = \frac{\Psi I}{2}$$

**ЗАКОН ИЗЛУЧЕНИЯ ВИНА.** Открыт теоретически в 1896 г. немецким физиком Вильгельмом Вином. В законе выражена количественная связь между спектральной плотностью энергетической светимости абсолютно черного тела, длиной волны  $\lambda$  (частотой  $\nu$ ) его излучения и термодинамической температурой  $T$ . Закон гласит: спектральная плотность энергетической светимости абсолютно черного тела:

$$U_{\lambda T} = (C_1/\lambda^5) e^{-C_2/\lambda T},$$

где  $k$  — постоянная Больцмана,  $C_1$  и  $C_2$  — постоянные. Закон применим в тех случаях, когда по условиям требуемой точности применима модель абсолютно черного тела и только в области малых длин волн (больших частот).

Закон излучения Вина вытекает как следствие из закона излучения Планка в предельном случае малых длин волн (больших частот).

**ЗАКОН ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАНКА.** Открыт теоретически в 1900 г. немецким физиком Максом Планком. В законе выражена количественная связь между спектральной плотностью энергетической светимости абсолютно черного тела, длиной волны  $\lambda$  (частотой  $\nu$ ) его

излучения и термодинамической температурой  $T$ . Закон гласит: спектральная плотность энергетической светимости абсолютно черного тела:

$$U_{\lambda T} = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1},$$

где  $h$  — постоянная Планка,  $c$  — скорость света в вакууме,  $k$  — постоянная Больцмана. Закон излучения Планка применим в тех случаях, когда по условиям требуемой точности применима модель *абсолютно черного тела*. В области малых частот ( $h\nu \ll kT$ ) закон излучения Планка переходит в закон излучения *Релея-Джинса*, а в области больших частот ( $h\nu \gg kT$ ) — в закон излучения *Вина*.

Из закона излучения Планка как следствия вытекают закон *Стефана-Больцмана*, закон *смещения Вина*, закон излучения *Вина* и закон излучения *Релея-Джинса*.

**ЗАКОН ИЗЛУЧЕНИЯ РЕЛЕЯ-ДЖИНСА.** Открыт теоретически независимо друг от друга английскими учеными Джоном Уильямом Релеем (Стреттом) в 1900 г. и Джеймсом Хопвудом Джинсом в 1905 г. В законе выражена количественная связь между спектральной плотностью энергетической светимости абсолютно черного тела, длиной волны  $\lambda$  (частотой  $\nu$ ) его излучения и термодинамической температурой  $T$ . Закон гласит: спектральная плотность энергетической светимости абсолютно черного тела:

$$U_{\lambda T} = \frac{2\pi c}{\lambda^4} kT,$$

где  $c$  — скорость света в вакууме,  $k$  — постоянная Больцмана. Закон применим в тех случаях, когда по условиям требуемой точности применима модель *абсолютно черного тела* и только в области больших длин волн (малых частот).

Закон излучения Релея-Джинса вытекает как следствие из закона излучения *Планка* в предельном случае больших длин волн (малых частот).

**ЗАКОН КИРХГОФА.** Открыт в 1859 г. немецким физиком Густавом Кирхгофом. В законе выражена количественная связь между спектральной плотностью энергетической светимости, спектральным коэффициентом поглощения тела и спектральной плотностью энергетической светимости абсолютно черного тела. Закон гласит: отношение спектральной плотности энергетической светимости тела к его спектральному коэффициенту поглощения не зависит от природы излучающего тела и равно спектральной плот-



ности энергетической светимости абсолютно черного тела, являющейся функцией только температуры, т. е.:

$$\frac{z_{\lambda T}}{\alpha_{\lambda T}} = U_{\lambda T},$$

где  $z_{\lambda T}$  и  $U_{\lambda T}$  — соответственно спектральные плотности энергетической светимости тела и абсолютно черного тела, а  $\alpha_{\lambda T}$  — спектральный коэффициент поглощения тела.

Закон применим ко всем телам.

**ЗАКОН КУЛОНА.** *Эмпирический закон*, открытый в 1785 г. французским физиком Шарлем Кулоном. В законе выражена количественная связь между силой взаимодействия двух неподвижных точечных заряженных тел, их зарядами и расстоянием между ними. Закон гласит: сила  $F$  взаимодействия между двумя неподвижными точечными заряженными телами прямо пропорциональна произведению их зарядов  $q_1$  и  $q_2$  и обратно пропорциональна квадрату расстояния  $r$  между ними:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2},$$

где  $\epsilon_0$  — электрическая постоянная, а  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость среды, в которой находятся заряженные тела.

**Примечание.** Закон Кулона применим к заряженным телам, наибольший из линейных размеров которых много меньше расстояния между ними. Такие тела принято называть "точечными зарядами".

**ЗАКОН МАЛЮСА** (закон изменения интенсивности линейно (плоско) поляризованного света). Открыт в 1808 г. французским физиком Этьеном Луи Малюсом. В нем выражена количественная связь между интенсивностями прошедшего через поляризатор и падающего на него линейно (плоско) поляризованного света, а также углом между плоскостью колебаний падающего света и главной плоскостью поляризатора. Закон гласит: интенсивность  $I$  линейно поляризованного света, прошедшего через поляризатор, равна произведению интенсивности  $I_0$  линейно поляризованного света, падающего на поляризатор, и квадрата косинуса угла  $\alpha$  между плоскостью колебаний падающего на поляризатор света и главной плоскостью поляризатора, т. е.:

$$I = I_0 \cos^2 \alpha.$$

Закон справедлив, если нет потерь на отражение и поглощение света поляризатором. При наличии отражения или поглощения света закон имеет вид:

$$I = I_0(1 - \kappa)\cos^2 \alpha,$$

где  $\kappa$  — коэффициент, учитывающий долю интенсивности света, отраженного и поглощенного поляризатором.

**ЗАКОН НЬЮТОНА.** Открыт в 1687 г. английским физиком Исааком Ньютоном. В законе выражена количественная связь между силой внутреннего трения вещества и коэффициентом внутреннего трения вещества, градиентом скорости движения вещества, площадью поверхности соприкосновения слоев, движущихся с разными скоростями. Закон гласит: сила  $F$  внутреннего трения между двумя соприкасающимися поверхностями, движущимися с различными скоростями, равна произведению коэффициента внутреннего трения  $\eta$ , градиента скорости  $\Delta U/\Delta Z$  и площади  $\Delta S$  соприкасающихся поверхностей, т. е.:

$$F = \eta \frac{\Delta U \Delta S}{\Delta Z}.$$

Закон Ньютона применим к газам и жидкостям при ламинарном (безвихревом) движении.

**1-й ЗАКОН НЬЮТОНА (закон инерции).** Эмпирический закон, открытый в 1609 г. итальянским физиком Галилео Галилеем. Закон гласит: всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока какое-либо другое тело (или поле) не выведет его из этого состояния.

**2-й ЗАКОН НЬЮТОНА.** Эмпирический закон, открытый в 1687 г. английским физиком Исааком Ньютоном. В законе выражена количественная связь между силой, которой оценивают механическое действие на тело со стороны других тел, и ускорением тела, вызванным этим действием. Закон гласит: сила  $F$ , которой оценивают механическое действие на тело со стороны других тел (или полей), равна произведению массы  $m$  и ускорения  $a$  тела;

$$F = ma.$$

Закон применим только в случае, когда в качестве мысленной модели тела можно использовать инерционный элемент (материальную точку).

**Примечания.** 1. Твердому телу присуще бесчисленное множество свойств. Среди самых известных — форма, размеры, гравитационная способность, инертность, упругость, электропроводность, теплопроводность. При решении многих задач оказывается необходимым и достаточным принимать во внимание только одно из свойств и игнорировать все остальные. Учет только гравитационной способности отображен в виде закона всемирного тяготения. 2-й закон Ньютона — компонентный закон механики, математическая модель тела, в которой учтено только одно из его свойств — инертность. Закон Гука — тоже компонентный закон — математическая модель тела, в которой учтено только одно его свойство — упругость. Поскольку инертное тело и упругое тело — оба накопили, отображающие их поведение законы равноправны (см. *Динамические системы*).

2. Распространенная формулировка “связь между силой, характеризующей действие других тел на данное, и вызванным этим действием ускорением” неточна, так как создает впечатление, будто тело, движение которого мы изучаем, всегда “пассивно” (подвергается действию других тел). Однако уже сам Ньютон осознавал обратимость причинно-следственных отношений. Он писал, что проявление инертности “может рассматриваться двояко: и как сопротивление, и как напор. Как сопротивление — поскольку тело противится действующей на него силе, стремясь сохранить свое состояние; как напор — поскольку то же тело, с трудом уступая силе сопротивляющегося ему препятствия, стремится изменить состояние этого препятствия”.

**3-й ЗАКОН НЬЮТОНА.** *Эмпирический закон*, открытый в 1687 г. английским физиком Исааком Ньютоном. В законе выражена количественная связь между силами, используемыми для оценивания механического действия друг на друга двух взаимодействующих тел. Закон гласит: силы  $F_{12}$  и  $F_{21}$ , используемые для оценивания действия первого тела на второе и второго тела на первое соответственно, направлены вдоль одной прямой в противоположные стороны и равны по модулю:  $F_{12} = -F_{21}$ .

**Примечание.** Для оценивания интенсивности взаимодействия только двух тел необходимо и достаточно одной скалярной величины показываемой динамометром. Однако каждое тело может взаимодействовать не только с одним, но и с несколькими телами, и для решения задачи о его движении нужно учесть все взаимодействия. Это потребовало для оценивания каждого взаимодействия ввести вместо одного скаляра два вектора, каждый из которых “приложен” к своему телу. Таким образом, 3-й закон Ньютона отображает не природную закономерность, а вычислительную необходимость.

**ЗАКОН ОМА ДЛЯ ЗАМКНУТОЙ ЦЕПИ.** *Эмпирический закон*, открытый в 1827 г. немецким физиком Георгом Симоном Омом.

В законе выражена количественная связь между силой тока в электрической цепи, ЭДС источника и полным сопротивлением цепи. Закон гласит, сила тока  $I$  равна отношению ЭДС  $E$  источника питания к сумме сопротивления  $R$  приемника (нагрузки) и внутреннего сопротивления  $r$  источника:

$$I = \frac{E}{R+r}.$$

**Примечания.** 1. В настоящее время закон Ома для замкнутой цепи лишен какого-либо самостоятельного значения и интересен лишь с исторической точки зрения.

Дело в том, что эта формула — ответ к простейшей задаче о цепи, содержащей два компонента (источник и приемник). Относительно верен он лишь при условии, что использование линейных *аппроксимаций* вольт-амперных характеристик источника и приемника приводит к погрешности вычислений, не превышающей допустимую.

2. Сохраняя за этой формулой название “закон” вредно, так как создает ложное впечатление, будто любой источник истощающимся образом характеризуется двумя параметрами — электродвижущей силой  $E$  и внутренним сопротивлением  $r$ . Абсурдность этого утверждения легко увидеть, если рассмотреть цепь, в которой источником питания служит *солнечный фотоэлемент*.

По современным представлениям любую задачу об электрических цепях следует решать, представив компонентные законы для каждого из элементов цепи и написав структурные законы — уравнения Киргофа. Условное графическое обозначение *солнечного фотоэлемента* с указанием направлений отчета (см. *Правила знаков напряжения и тока*) показано на рис. 3.1, а, а его *вольт-амперная характеристика (ВАХ)*, т. е. *компонентный закон*, — на рис. 3.1, б. Напряжение источника при силе тока равной нулю ( $U_{\text{кз}}$  на рис. 3.1, б), принято называть *напряжением холостого хода*, а силу тока при напряжении, равном нулю ( $I_{\text{кз}}$  на рис. 3.1, б) — *максимальным значением*.

ВАХ солнечного фотоэлемента сильно нелинейна. Ее аналитическое выражение достаточно сложно. В таких случаях задачу решают графически. Для этого компонентный закон второго элемента цепи надо тоже

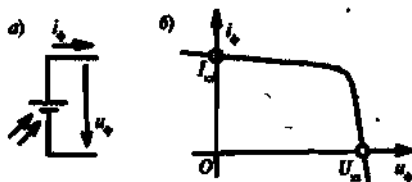


Рис. 3.1. Условное графическое обозначение солнечного фотоэлемента (а) и его вольт-амперная характеристика (б)

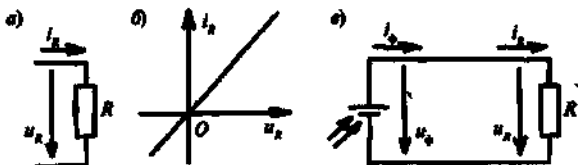


Рис. 3.2. Условное графическое обозначение резистора (а), его вольт-амперная характеристика (б) и схема рассматриваемой цепи (с)

представить в графической форме. Предположим, что приемником является резистор (рис. 3.2, а). Его ВАХ показана на рис. 3.2, б.

Согласно схеме на рис. 3.2, с, уравнения Кирхгофа следует писать так:

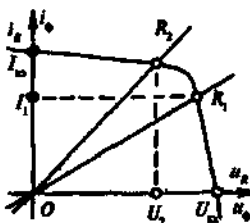


Рис. 3.3. Графическое решение задачи для двух значений сопротивления резистора

Для двух значений сопротивления резистора задачу можно решать аналитически. Линейная аппроксимация крутого участка (уравнение прямой), очевидно, имеет вид:

$$i_0 = i_R, \quad (1)$$

$$u_0 = u_R. \quad (2)$$

Они указывают метод решения: на ВАХ элементов надо найти точку, принадлежащую обеим кривым. Очевидно, это точка их пересечения. В зависимости от соотношения параметров солнечного фотоэлемента и резистора она может оказаться либо на крутом участке ВАХ фотоэлемента (прямая  $R_1$  на рис. 3.3), либо на пологом (прямая  $R_2$ ).

Крутая и пологая ветви ВАХ фотоэлемента близки к прямым линиям. Поэтому, если известно, что  $R > R_1$ , или  $R < R_2$ , задачу можно решать аналитически. Линейная аппроксимация крутого участка (уравнение прямой), очевидно, имеет вид:

$$u_0 = U_{xx} - r_1 i_0, \quad (3)$$

где  $r_1 = \frac{\Delta u_0}{\Delta i_0}$  — “внутреннее сопротивление” солнечного фотоэлемента, соответствующее крутому участку ВАХ.

ВАХ резистора при согласном отсчете напряжения и тока имеет следующий вид:

$$u_R = R i_R. \quad (4)$$

Решив систему уравнений (1)–(4), получим:

$$I_1 = \frac{U_{xx}}{R + r_1}, \quad (5)$$

где  $R > R_1$ , т. е. закон Ома для полной цепи.

Линейная аппроксимация пологого участка ВАХ фотоэлемента:

$$i_{\phi} = I_{\text{сз}} - \varepsilon_2 U_{\phi}, \quad (6)$$

где  $\varepsilon_2 = \frac{\Delta I_{\phi}}{\Delta U_{\phi}}$  — “внутренняя проводимость” фотоэлемента, соответствующая пологому участку.

ВАХ резистора в рассматриваемом случае лучше написать в дуальной форме (см. *Дуальность*):

$$i_R = G U_R, \quad (7)$$

где  $G = 1/R$  — проводимость резистора.

Уравнения Кирхгофа — те же самые: (1) и (2).

Решив систему уравнений (1), (2), (6) и (7), получим выражение, дуальное по отношению к формуле (5):

$$U_2 = \frac{I_{\phi}}{G + \varepsilon_2}. \quad (8)$$

Очевидно, оно не менее научно, чем обсуждаемый “закон”.

**ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ.** *Эмпирический закон*, открытый в 1827 г. немецким физиком Георгом Симоном Омом. В законе выражена количественная связь между силой постоянного электрического тока, протекающего в участке цепи, напряжением на концах этого участка и его сопротивлением. Закон гласит: сила тока  $I$  в участке цепи прямо пропорциональна напряжению  $U$  между концами этого участка и обратно пропорциональна его сопротивлению  $R$ :

$$I = \frac{U}{R}.$$

**Примечание.** Приведенная формулировка закона Ома давно устарела. В настоящее время формулу  $i(t) = R i(t)$  рассматривают как *компонентный закон теории электрических цепей*, простейшую *математическую модель* одного из элементов электрической цепи — *резистора*, справедливую для *мгновенных значений* напряжения и силы тока. Аналогичные формулы  $i(t) = C du/dt$  и  $i(t) = L di/dt$ , являющиеся простейшими математическими моделями конденсатора и индуктивной катушки соответственно, не менее “законны”, чем закон Ома, однако никаких наименований не имеют.

**ЗАКОН ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА.** *Эмпирический закон*, известный с IV в. до н. э. Закон гласит: падающий луч, отраженный луч и перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости; угол отражения равен углу падения.

**ЗАКОН ПАСКАЛЯ.** *Эмпирический закон*, открытый в 1651—1654 гг. французским ученым Блезом Паскалем. Закон гласит: любое локальное сжимающее воздействие на жидкость передается ею во все стороны так, что добавочное давление на стенки емкости (1), содержащей жидкость, и тела, в нее погруженного, оказывается всюду одинаковым.

**Примечание.** Традиционная формулировка, согласно которой жидкостью “передается давление”, внутренне противоречива, так как *давление* — физическая величина, т. е. предмет из мира идей, и, следовательно, оно не может “перелаваться” жидкостью.

**ЗАКОН ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА.** *Эмпирический закон*, открытый около 1621 г. голландским ученым Виллебрордом Снеллиусом. В законе выражена количественная связь между углом преломления, углом падения луча на границе раздела двух сред и относительным показателем преломления этих сред. Закон гласит: преломленный луч находится в одной плоскости с падающим лучом и нормалью к поверхности раздела сред, проведенной в точке падения луча, а отношение синуса угла падения  $i$  к синусу угла преломления  $r$  равно относительному показателю преломления этих сред:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{21}.$$

Для изотропных сред применим к любым лучам, для анизотропных — только к обыкновенным лучам.

**ЗАКОН ПРЯМОЛИНЕЙНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА.** *Эмпирический закон*, известный с IV в. до н. э. Закон гласит: в однородной среде свет распространяется прямолинейно. Закон справедлив в тех случаях, когда длина волны света много меньше характерных размеров окружающих предметов.

**ЗАКОН РАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПО СТЕПЕНЯМ СВОБОДЫ.** Закон классической статистической физики. Он гласит: в системе, находящейся в состоянии термодинамического равновесия, на каждую поступательную и вращательную степень свободы отдельной частицы системы (например, молекулы) в среднем приходится  $kT/2$  энергии, а на каждую колебательную степень свободы —  $kT$ , где  $k$  — постоянная Больцмана,  $T$  — абсолютная температура системы.

**ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА.** *Эмпирический закон*, открытый в начале XX в. Эрнестом Резерфордом. Закон гласит: для каждого радиоактивного вещества существует определенный интервал времени  $T$ , именуемый *периодом полураспада*, на протяжении которого активность убывает в два раза:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}},$$

где  $N_0$  — число радиоактивных атомов в начальный момент ( $t=0$ );  $N$  — число радиоактивных атомов в момент времени  $t$ .

**ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЛЕКУЛ ГАЗА ВО ВНЕШНЕМ ПОТЕНЦИАЛЬНОМ ПОЛЕ** (распределение Больцмана). Закон классической статистической физики, описывающий распределение молекул газа во внешнем потенциальном поле в макроскопических системах, находящихся в состоянии термодинамического равновесия. Открыт теоретически в 1868 г. немецким физиком Людвигом Больцманом. В законе выражена количественная связь между концентрацией молекул газ и их потенциальной энергией:

$$n = n_0 e^{-V/kT},$$

где  $n$  и  $n_0$  — концентрации молекул газа в точках, для которых потенциальная энергия молекул соответственно равна  $V$  и  $0$ ,  $k$  — постоянная Больцмана,  $T$  — абсолютная температура,  $e$  — основание натуральных логарифмов.

Распределение Больцмана применимо только к газам, находящимся в термодинамическом равновесии, к которым по условиям требуемой точности применима модель *идеального газа*.

**ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЛЕКУЛ ГАЗА ПО СКОРОСТЯМ** (распределение Максвелла). Закон классической статистической физики, описывающий распределение молекул газа по скоростям их теплового движения в макроскопических системах, находящихся в состоянии термодинамического равновесия. Открыт теоретически в 1860 г. английским физиком Джеймсом Кларком Максвеллом. Закон гласит: вероятность  $dw$  того, что значение тепловой скорости молекул газа лежит в пределах от  $v$  до  $v + dv$ , равна:

$$dw = 4\pi \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} v^2 dv,$$

где  $m$  — масса молекулы,  $T$  — абсолютная температура,  $k$  — постоянная Больцмана,  $e$  — основание натуральных логарифмов.



Если известно общее число  $N$  молекул газа в макроскопической системе, то, пользуясь распределением Максвелла, можно вычислить число  $dN$  молекул газа, значения скоростей которых лежат в интервале от  $v$  до  $v + dv$   $dN = Ndv$ . Иначе говоря, вероятность  $dw = dN/N$  показывает, какую долю молекул от общего числа составляют молекулы, значения скоростей которых лежат в интервале от  $v$  до  $v + dv$ .

Распределение Максвелла применимо только к газам, находящимся в термодинамическом равновесии и к которым по условиям требуемой точности применима модель *идеального газа*.

**ЗАКОН СЛОЖЕНИЯ СКОРОСТЕЙ В КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ.** *Эмпирический закон*, открытый итальянским физиком Галилео Галилеем. В законе выражена количественная связь между скоростью тела относительно подвижной и неподвижной систем отсчета. Закон гласит: если скорость тела относительно некоторой системы отсчета равна  $v_1$ , а сама эта система движется относительно другой системы отсчета со скоростью  $v$ , то скорость тела  $v_2$  относительно второй системы равна векторной сумме скоростей  $v_1$  и  $v$ :

$$v_2 = v + v_1.$$

Закон справедлив при скоростях, много меньших скорости света.

**ЗАКОН СЛОЖЕНИЯ СКОРОСТЕЙ В РЕЛЯТИВИСТСКОЙ МЕХАНИКЕ.** Получен теоретически голландским физиком Хендриком Антоном Лоренцем. В законе выражена количественная связь между скоростью тела относительно подвижной и неподвижной систем отсчета. Закон гласит: если скорость тела относительно некоторой системы отсчета равна  $v_1$ , а сама эта система движется в том же направлении относительно другой системы отсчета со скоростью  $v$ , то скорость тела по отношению ко второй системе отсчета выражается формулой:

$$v_2 = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 v}{c^2}},$$

где  $c$  — скорость света.

Закон справедлив при любых значениях скоростей (естественно, не превышающих скорость света). Неожиданность открытия Лоренца состоит в том, что результирующая скорость не может превзойти скорость света.

**ЗАКОН СМЕЩЕНИЯ ВИНА** (закон смещения излучения в спектре абсолютно черного тела с увеличением абсолютной температуры в сторону коротких волн). Открыт в 1893 г. немецким физиком Вильгельмом Вином. Выражает количественную связь между длиной волны, соответствующей максимуму энергии в спектре излучения абсолютно черного тела, и его термодинамической температурой. Закон гласит: длина волны  $\lambda_{\text{max}}$ , соответствующая максимуму энергии в спектре излучения абсолютно черного тела, обратно пропорциональна его абсолютной температуре  $T$ , т. е.:

$$\lambda_{\text{max}} = b/T,$$

где  $b = 2,9 \cdot 10^{-3}$  м·К (постоянная Вина). Применяем в тех случаях, когда по условиям требуемой точности применима модель *абсолютно черного тела*.

Закон смещения Вина вытекает как следствие из закона излучения Планка.

**ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА ЗАМКНУТОЙ (ИЗОЛИРОВАННОЙ) СИСТЕМЫ**. Выражает неизменность во времени импульса замкнутой системы. Закон гласит: векторная сумма импульсов тел, составляющих замкнутую систему, остается постоянной при любых взаимодействиях тел этой системы между собой. Закон сохранения импульса справедлив только для замкнутых систем.

**ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МАССЫ**. *Эмпирический закон*, открытый в 1756 г. русским ученым Михаилом Васильевичем Ломоносовым и независимо от него в 1774 г. французским химиком Антуаном Лораном Лавуазье. Закон гласит: в замкнутой (изолированной) системе сумма масс покоя всех частиц и тел остается постоянной при любых взаимодействиях между ними. Закон справедлив для всех процессов, кроме ядерных реакций и превращений элементарных частиц.

**ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**. *Эмпирический закон*, осознанный впоследствии как частный случай закона сохранения энергии. Открыт в 1686 г. немецким физиком Готфридом Вильгельмом Лейбницем. В законе выражена неизменность во времени механической энергии замкнутой (изолированной) системы. Закон гласит: если в замкнутой (изолированной) системе не происходит никаких других процессов, кроме механического движения, сумма потенциальной и кинетической энергии всех

элементов системы, включая энергию вращательного движения, остается постоянной.

**ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МОМЕНТА ИМПУЛЬСА.** *Эмпирический закон*, открытый в 1746 г. швейцарским ученым Леонардом Эйлером. В законе выражена неизменность во времени момента импульса *замкнутой (изолированной) системы*. Закон гласит: векторная сумма моментов импульсов тел, составляющих замкнутую систему, остается постоянной при любых взаимодействиях тел этой системы между собой. Применяется только к замкнутым системам.

**ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА.** *Эмпирический закон*, открытый в 1843 г. английским физиком Майклом Фарадеем. В нем выражена неизменность во времени заряда электрически изолированной системы. Закон гласит: в любой электрически изолированной системе при любых взаимодействиях и превращениях ее элементов значение заряда остается неизменным.

**ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ.** *Эмпирический закон*, имеющий долгую историю. Так, еще в 1586 г. французский ученый Симон Стевин высказал мысль о невозможности вечного движения. В 1686 г. немецкий физик и философ Готфрид Вильгельм Лейбниц сформулировал закон сохранения механической энергии. В 1775 г. Парижская академия наук приняла решение отклонять без рассмотрения любые проекты вечного двигателя. И только в 1842 г. немецкий ученый Юлиус Роберт Майер понял закон сохранения энергии во всей глубине. Независимо от него в 1847 г. закон был открыт немецким ученым Людвигом Фердинандом Гельмгольцем и в 1850 г. английским физиком Джеймсом Прескоттом Джоулем.

Закон гласит: в *замкнутой (изолированной) системе* значение полной энергии остается постоянным при любых взаимодействиях и превращениях ее элементов, включая превращения форм движения материи.

Закон сохранения энергии — наиболее фундаментальный научный закон.

**Примечание.** Традиционное название “Закон превращения и сохранения энергии” некорректно. Термин *энергия* использован в нем в двух разных значениях: в сочетании со словом “превращение” — в значении “формы движения материи”, а в сочетании со словом “сохранение” — в значении “физическая величина” (подробнее см. *Энергия*).

**ЗАКОН СТЕФАНА—БОЛЬЦМАНА.** *Эмпирический закон.* Открыт в 1879 г. австрийским физиком Йозефом Стефаном, теоретически выведен в 1884 г. другим австрийским физиком — Людвигом Больцманом. В законе выражена количественная связь между энергетической светимостью абсолютно черного тела и его термодинамической температурой. Закон гласит: энергетическая светимость  $R$  абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры  $T$ , т. е.:

$$R = \delta T^4,$$

где  $\delta = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$  — постоянная Стефана—Больцмана.

Применны в тех случаях, когда по условиям требуемой точности применима модель *абсолютно черного тела*.

**1-й ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ.** *Эмпирический закон,* открытый в 1842 г. немецким ученым Юлиусом Робертом Майером. Частный случай *закона сохранения энергии*. Закон гласит: изменение внутренней энергии  $\Delta U$  системы при переходе ее из одного состояния в другое равно сумме *работы  $A$  внешних сил и количества теплоты  $Q$ , переданного системе:*

$$\Delta U = Q + A$$

**Примечание.** После того, как был открыт закон *сохранения энергии*, отпала необходимость сохранять как самостоятельные закон сохранения механической энергии и 1-й закон (начало) термодинамики. Традиционная формулировка первого закона термодинамики безнадежно устарела по форме. У читателя создается впечатление, будто есть разные физические величины — внутренняя энергия, работа и количество теплоты (тем более что и буквенные обозначения у них разные —  $U$ ,  $A$  и  $Q$  соответственно). В действительности все это одна и та же физическая величина — энергия и, следовательно, использовать разные буквенные обозначения не следует, чтобы не вводить в заблуждение. Целесообразно было бы написать так:

$$\Delta W_1 = \Delta W_2 + \Delta W_3,$$

где  $\Delta W_1$  — изменение энергии молекулярного движения данного тела;  $\Delta W_2$  — энергия переданного ему механического движения;  $\Delta W_3$  — энергия переданного молекулярного движения.

**2-й ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ.** *Эмпирический закон.* Существует несколько эквивалентных его формулировок. Само название “2-й закон (второе начало) термодинамики” и исторически первая его формулировка (1850) принадлежат немецкому физiku,

одному из создателей термодинамики и кинетической теории газов Рудольфу Клаузиусу: теплота сама по себе не может перейти от более холодного тела к более тепловому. Вильям Томсон (лорд Кельвин) сформулировал второе начало термодинамики следующим образом: в природе невозможен процесс, полный эффект которого состоял бы только в охлаждении теплового резервуара и в эквивалентном подъеме груза. А Макс Планк сформулировал его так: невозможен такой периодический процесс, единственным результатом которого было бы превращение теплоты в работу (см. *Вечный двигатель второго рода*).

**ЗАКОН ФИКА.** Открыт в 1885 г. немецким ученым Адольфом Фиком. В законе выражена количественная связь между массой перенесенного в результате диффузии вещества и коэффициентом диффузии вещества, градиентом плотности, площадью поверхности, через которую происходит диффузия, промежутком времени, в течение которого наблюдается диффузия. Закон гласит: масса  $\Delta M$  вещества, перенесенного в результате диффузии, равна произведению коэффициента диффузии  $D$  вещества, градиента плотности  $\Delta\rho/\Delta x$ , площади  $\Delta S$  поверхности, через которую происходит диффузия, и промежутку времени  $\Delta t$ , в течение которого наблюдается диффузия, т. е.:

$$\Delta M = -D(\Delta\rho/\Delta x)\Delta S\Delta t.$$

Знак "минус" в формуле напоминает о том, что перенос вещества происходит в направлении убывания плотности вещества.

Закон Фика применим к газам, жидкостям и твердым телам.

**ЗАКОН ФУРЬЕ.** Открыт в 1822 г. французским ученым Жаном Фурье. В законе выражена количественная связь между количеством тепла, переносимым через поперечное сечение вещества, и коэффициентом теплопроводности вещества, градиентом температуры, площадью поперечного сечения, промежутком времени, в течение которого наблюдается перенос тепла. Закон гласит: количество тепла  $\Delta Q$ , переносимое через поперечное сечение вещества, равно произведению коэффициента  $k$  теплопроводности вещества, градиента температуры  $\Delta T/\Delta x$ , площади  $\Delta S$  поперечного сечения и промежутку времени  $\Delta t$ , в течение которого наблюдается теплопроводность, т. е.:

$$\Delta Q = -k(\Delta T/\Delta x)\Delta S\Delta t.$$

Знак "минус" в формуле напоминает о том, что перенос тепла происходит в направлении убывания температуры.

Закон Фурье применим к газам, жидкостям и твердым телам.

**1-й ЗАКОН ФОТОЭФФЕКТА.** *Эмпирический закон*, открытый в 1888-1889 гг. русским физиком Александром Григорьевичем Столетовым. В законе выражена количественная связь между скоростью покинувших металл фотоэлектронов и частотой световой волны. Закон гласит: скорость покинувших металл фотоэлектронов не зависит от освещенности, а определяется только частотой волны и видом металла.

**2-й ЗАКОН ФОТОЭФФЕКТА.** *Эмпирический закон*, открытый в 1888-1889 гг. русским физиком Александром Григорьевичем Столетовым. В законе выражена количественная связь между количеством электронов, вырванных с поверхности металла, и световым потоком, падающим на поверхность. Закон гласит: количество электронов, вырванных с поверхности металла за секунду, пропорционально световому потоку, падающему на поверхность.

**ЗАКОН ШАРЛЯ.** *Газовый закон*, открытый в 1787 г. французским физиком Жаком Александром Цезарем Шарлем. В нем выражена количественная связь между давлением данной порции (массы) газа и его температурой при постоянном объеме. Закон гласит: отношение давления  $P$  данной порции (массы  $m$ ) газа к его абсолютной температуре  $T$  при постоянном объеме  $V$  остается постоянным:

$$P/T = \text{const} (m = \text{const}, V = \text{const}).$$

**1-й ЗАКОН ЭЛЕКТРОЛИЗА (ФАРАДЕЯ).** *Эмпирический закон*, открытый в 1833 г. английским физиком Майклом Фарадеем. В законе выражена количественная связь между массой вещества, выделившейся на электроде при электролизе, силой тока, протекающего через электролит, и временем его протекания. Закон гласит: масса  $m$  вещества, выделившегося на электроде за время  $\Delta t$ , пропорциональна времени и силе тока  $I$ :

$$m = kI\Delta t,$$

где коэффициент  $k$  назван электрохимическим эквивалентом.

**2-й ЗАКОН ЭЛЕКТРОЛИЗА (ФАРАДЕЯ).** *Эмпирический закон*, открытый в 1833 г. английским физиком Майклом Фарадеем. В законе выражена количественная связь между электрохимическим эквивалентом и химическим эквивалентом (отношением атомной массы  $A$  к валентности вещества  $n$ ). Закон гласит: электрохими-

ческий эквивалент  $k$  вещества пропорционален его химическому эквиваленту  $\frac{A}{n}$ :

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n},$$

где  $F = 96\,500$  Кл/моль — постоянная величина, названная постоянной Фарадея.

### ЗАКОН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ (ФАРАДЕЯ).

*Эмпирический закон*, открытый в 1831 г. английским физиком Майклом Фарадеем и осмысленный теоретически в 1855—1856 гг. английским физиком Джеймсом Клерком Максвеллом. В нем выражена количественная связь между ЭДС индукции, возникающей в замкнутом контуре в переменном магнитном поле, и быстротой изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную рассматриваемым контуром. Закон гласит: ЭДС  $E$ , возникающая в замкнутом контуре, равна скорости изменения магнитного потока  $\frac{d\Phi}{dt}$  через поверхность, ограниченную контуром:

$$E = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

**Примечание.** В правой части равенства обычно пишут знак “минус” и утверждают, что он определяется правилом Ленца. Это не точно, знак зависит и еще от трех обстоятельств: 1) признания отрицательным знака электрона; 2) принятым по договоренности положительным направлением магнитного поля от северного полюса к южному и 3) использовании правой системы координат. Достаточно, например, заменить систему координат на левую — и знак станет положительным. (См. *Электромагнитная индукция*...).

**ЗАКОНЫ КИРХГОФА (правила Кирхгофа).** Два *структурных закона* теории электрических цепей. Структурными они являются потому, что определяются только структурой цепи и не зависят от специфики элементов (см. *Системный подход*).

1-й закон Кирхгофа связывает токи, измеренные в сечении электрической цепи. Сечением называют разделение цепи на две произвольные части воображаемой замкнутой поверхностью. Если во всех тех местах (рис. 3.4), где провода пересекают поверхность, включить измерители силы тока, одинаково ориентируя их относительно нее (см. *Правила знаков напряжения и тока*), то в лю-

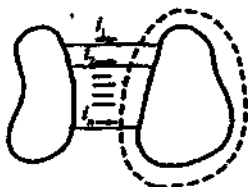


Рис. 3.4. К формулировке первого закона Кирхгофа

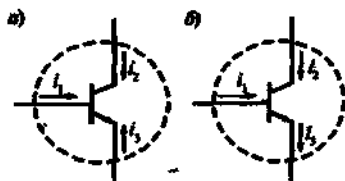


Рис. 3.5. Варианты выбора направлений отсчета силы тока

В любой момент времени алгебраическая сумма их показаний будет равна нулю:

$$\sum_{k=1}^n i_k = 0. \quad (1)$$

Например, равна нулю алгебраическая сумма токов транзистора, измеренных, как показано на рис. 3.5, а:

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0. \quad (2)$$

Практически необязательно все приборы включать однообразно. Например, можно присоединить их так, как показано на рис. 3.5, б. Что при этом изменится? Изменение ориентации стрелки на противоположное соответствует тому, что меняются местами провода, идущие к клеммам прибора. В этом случае, очевидно, стрелка прибора окажется в другой половине шкалы, чем была до переключения. Следовательно, знак показания изменится на противоположный. Для того чтобы при этом не нарушилось равенство (2),  $i_3$  надо написать со знаком минус:

$$i_1 + i_2 - i_3 = 0 \text{ или } i_1 + i_2 = i_3.$$

2-й закон Кирхгофа связывает напряжения, измеренные вдоль контура — произвольной замкнутой линии. Если из измерителей напряжения образовать многоугольник так, чтобы у соседних приборов были соединены разноименные клеммы, и подключить его вершины к произвольным точкам электрической цепи (рис. 3.6), то в любой момент времени алгебраическая сумма показаний приборов будет равна нулю:

$$\sum_{k=1}^n u_k = 0.$$

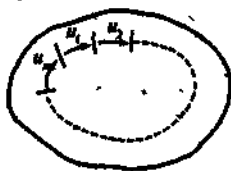


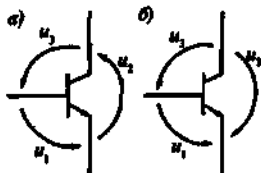
Рис. 3.6. К формулировке второго закона Кирхгофа



Например, для транзистора (рис. 3.7, а) имеем:

$$u_1 + u_2 + u_3 = 0.$$

Так же, как в случае 1-го закона Кирхгофа, стрелки обязательно ориентировать одинаково при обходе по контуру. При этом надо изменить знак при буквенном обозначении того напряжения, стрелка которого повернута в противоположную сторону. Например, для направлений отсчета напряжения, показанных на рис. 3.7, б, уравнение надо писать так:



$$u_1 - u_2 + u_3 = 0$$

Рис. 3.7. Варианты выбора направлений отсчета напряжения

или

$$u_1 + u_3 = u_2.$$

**Примечания.** Законы Кирхгофа преподносят как правила, облегчающие вычисления, в то время как это — структурные законы, без применения которых невозможно решить ни одной задачи об электрической цепи. Хотя они выводятся из уравнений Максвелла, последние непосредственно к анализу электрических цепей неприменимы.

В том виде, как их обычно формулируют, “правила Кирхгофа” для анализа современных цепей (например, с транзисторами) неприменимы. Это легко увидеть, предприняв попытку применить их к ситуации, показанной на рис. 3.5 и 3.7.

**ЗАКОНЫ НЬЮТОНА, ОТРАЖАЮЩИЕ ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА В ЖИДКОСТИ.** “Математические начала натуральной философии” Ньютона состоят из трех книг (частей). В первой рассмотрено движение тела в поле центральных сил, в третьей — система мира, а вторая посвящена движению тела в жидкости. Ньютон предложил три варианта математической модели (закона) этого движения: сила пропорциональна скорости  $F = kv$ , сила пропорциональна квадрату скорости  $F = \xi v^2$  и сила равна взвешенной сумме первой и второй степени скорости  $F = \xi_1 v + \xi_2 v^2$ .

Авторы учебников и научно-популярных книг по физике обычно не упоминают эти законы. Например, А. Эйнштейн и Л. Инфельд в самом начале книги “Эволюция физики” под заголовком “Основная руководящая идея” на пяти страницах пытаются обосновать следующее утверждение: Аристотель заблуждался, полагая, будто сила связана со скоростью; в действительности, как показал Ньютон, сила связана не с самой скоростью, а с ее изменением — первой производной скорости по времени. Однако, как мы видели, Ньютон отнюдь не считал ложным утверждение о связи силы со скоростью.

**ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ.** Люди давно заметили, что одни вещи могут превращаться в другие (например, вода в лед или обратно) и одни движения в другие (например, движение воды в движение мельничного колеса). Со временем они догадались, что как вещи, так и движения “сохраняются” — ничто не может возникнуть “из ничего” или бесследно исчезнуть. Эта мысль нашла количественное выражение в законах сохранения физических величин: массы, энергии, импульса, момента импульса и электрического заряда. Законы сохранения являются элементами абсолютной истины.

**ЗАМЕДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ.** Явление, состоящее в том, что промежуток времени между двумя событиями в объекте, измеренный из системы отсчета, относительно которой объект движется, меньше промежутка времени между теми же событиями, измеренного в системе отсчета, движущейся вместе с объектом. Обусловлено независимостью скорости света в вакууме от движения источника света.

**ЗАМЕДЛЕНИЕ НЕЙТРОНОВ.** Уменьшение скорости нейтронов в ядерном реакторе в результате многократных столкновений с атомными ядрами вещества замедлителя.

**ЗАМЕДЛИТЕЛИ НЕЙТРОНОВ.** Вещества, не поглощающие нейтроны, но уменьшающие их скорости. Используются в ядерных реакторах для уменьшения кинетической энергии нейтронов. Например, тяжелая вода, графит, окись бериллия.

**ЗАМКНУТАЯ (ИЗОЛИРОВАННАЯ) СИСТЕМА.** Мысленная модель системы, введенная для решения различных задач физики и построенная так, что ее элементы взаимодействуют между собой и не взаимодействуют с внешними объектами, не входящими в эту систему.

**ЗАПРЕЩЕННАЯ ЗОНА.** Промежуточная зона между валентной зоной и зоной проводимости на энергетической диаграмме твердого тела.

**ЗАРЯД.** То же, что *Электрический заряд*, когда невозможно понять иначе. Иногда массу называют гравитационным зарядом.

**ЗАРЯДОВОЕ ЧИСЛО,  $Z$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания числа протонов в атомных

ядрах и равная порядковому номеру химического элемента в периодической системе Д.И. Менделеева.

**ЗАТУХАНИЕ КОЛЕБАНИЙ.** Уменьшение *амплитуды* (2) свободных колебаний системы с течением времени, обусловленное сопротивлением среды, в которой происходят колебания системы.

**ЗВУК.** Механические колебания упругой среды, воспринимаемые органами слуха. Человеческое ухо воспринимает звуковые колебания с частотой от 16 Гц до 20 КГц. Скорость звука в воздухе при 0 °С равна 331 м/с.

**ЗЕРКАЛО.** Тело с полированной поверхностью, позволяющее получать оптические изображения предметов, отражая световые лучи.

**ЗЕРКАЛЬНАЯ (АБСОЛЮТНО ОТРАЖАЮЩАЯ) ПОВЕРХНОСТЬ.** Мысленная модель поверхности тела, введенная для решения задач взаимодействия тела со светом, и построенная так, что она при любой температуре полностью отражает всё падающее на нее электромагнитное излучение независимо от частоты, поляризации и направления излучения.

**ЗИВЕРТ.** Единица эквивалентной дозы ионизирующего излучения в СИ. Названа в честь шведского ученого Рольфа Зиверта. Обозначение — Зв. 1 Зв — эквивалентная доза ионизирующего излучения, при котором произведение поглощенной дозы излучения в биологической ткани стандартного состава и среднего коэффициента качества излучения равно 1 Дж/кг.

**ЗНАЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ.** Результат измерения. Значение физической величины состоит из двух компонентов: числового и буквенного. Например, 25 м (метров), 3 кг (килограмма), 30 с (секунд). Первый компонент называют числовым значением, второй — *единицей измерения физической величины* (кратко — *единицей*). В единице зашифровано два вида знаний: 1) какое именно свойство или отношение оценивалось и 2) какая мера была использована при измерении. Точку после сокращенного обозначения единицы не ставят (например, пишут 25 м, а не 25 м.). Сравнительно небольшое число физических величин являются *безразмерными*. Значения таких величин состоят из одного компонента — числа.



Рис. 3.8. Оптическая схема трубы Кеплера

**ЗОНА ПРОВОДИМОСТИ.** Следующая за валентной зоной свободная или частично занятая электронами разрешенная зона.

**ЗОНЫ ФРЕНЕЛЯ.** Иконическая модель сферической волны, введенная для решения задач о ее дифракции и построенная путем разбиения фронта волны на зоны таким образом, чтобы расстояние границы каждой последующей зоны от точки наблюдения было на половину длины волны больше, чем расстояние предыдущей зоны от этой же точки.

**ЗРИТЕЛЬНАЯ ТРУБА.** Оптический прибор, предназначенный для рассматривания удаленных предметов одним глазом. Оптическая система простейшей зрительной трубы состоит из объектива и окуляра. Первые зрительные трубы были построены в 1609 г. итальянским физиком Галилео Галилеем (труба Галилея) и немецким астрономом Иоганном Кеплером (труба Кеплера). Труба Кеплера состоит из двух собирающих линз (рис. 3.8). Первая линза (объектив) создает уменьшенное, действительное и перевернутое изображение рассматриваемого предмета, а вторая линза (окуляр) увеличивает его. В отличие от трубы Кеплера, труба Галилея состоит из собирающей линзы (объектив) и рассеивающей линзы (окуляр). При прохождении света через такую систему формируется прямое и увеличенное изображение рассматриваемого предмета. В обоих случаях увеличение зрительной трубы находится по формуле  $\Gamma = F_{об}/F_{ок}$ , где  $F_{об}$  и  $F_{ок}$  — фокусные расстояния объектива и окуляра соответственно (см. также *Бинокль, Телескоп*).

# И

**ИДЕАЛИЗАЦИЯ.** *Прим научного мышления*, состоящий в формировании из чувственно конкретного представления об объекте познания его предельно абстрактной мысленной модели, т. е. модели, включающей только те его свойства, которые необходимы и достаточны для решения определенной задачи или множества однотипных задач (ср. *Конкретизация*).

**ИДЕАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ.** То же, что *мысленная модель* (см. также *Модели в науке*).

**ИДЕАЛЬНАЯ НЕСЖИМАЕМАЯ ЖИДКОСТЬ.** *Мысленная модель* жидкости, введенная для решения задач о ее движении и взаимодействии с твердыми телами и построенная так, что ее плотность всюду одинакова и не изменяется со временем, а течет совершенно свободно, т. е. без внутреннего трения и трения с обтекаемыми ею твердыми телами, а также стенками трубы или канала.

**ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ.** *Мысленная модель* газа, введенная при разработке молекулярно-кинетической теории газов и построенная как совокупность непрерывно движущихся не имеющих размеров частиц, взаимодействие которых между собой и со стенками сосуда сводится к абсолютно упругим соударениям.

**ИЗГИБ.** *Деформация*, состоящая в искривлении (изменении кривизны) оси срединной поверхности твердого тела (бруса, балки, плиты) под влиянием внешних воздействий, обусловленное изменением взаимного расположения составляющих твердое тело частиц.

**ИЗЛУЧАТЕЛЬ.** Физическая система, генерирующая излучение. Антенна — излучатель электромагнитных волн, атомы и молекулы — излучатели света и рентгеновских лучей, атомные ядра — излучатели альфа-, бета- и гамма-лучей.

**ИЗЛУЧЕНИЕ.** Термин используют в двух значениях. 1. То же, что *электромагнитное излучение*. 2. Испускание звука (см. *Звук*).

**ИЗМЕРЕНИЕ.** Эмпирическое познавательное действие, выполняющее, количественно оценивают степень выраженности или развитости свойств вещи или отношения вещей. Продуктом измерения является именованное (обычно) число.

Как его получают?

Следует различать сущность и технику измерения. Главное внимание мы уделим первому аспекту, так как второй, является предметом не физики, а специальных дисциплин.

Сущность измерения состоит в том, что изучаемый объект количественно сравнивают с другим объектом в определенном отношении — по протяженности, гравитационности, интенсивности электрического тока и т. п. В давние времена, желая оценить протяженность вещи, люди сравнивали ее с какими-то частями своего тела. Так появились названия “локоть”, “фут”, “пядь”, “сажень” и др. Например, *пядь* — имя расстояния между концами максимально раздвинутых большого и указательного пальцев. Выражение “ширина стола семь пядей” означало, что вдоль короткой стороны крышки стола уложилось семь “шагов”, сделанных раздвинутыми пальцами.

В дальнейшем в связи с развитием производства и обмена товаров сравнение с элементами собственного тела оказалось слишком неточным, и по договоренности были введены предметы стандартного размера, специально предназначенные для измерений. Их называют мерами. К множеству мер принадлежит масштабные линейки, транспортные гири, нормальные гальванические элементы, высокоточные резисторы и конденсаторы и т. п.

Приведенный выше пример измерения ширины стола наиболее прост. Действие человека при получении результата состоит в том, что он просчитывает, сколько раз пядь укладывается в короткой стороне крышки стола. Этот метод используют и в ряде других случаев. Например, взвешивать груз на рычажных весах, в принципе, можно, используя в качестве гирь копеечные монеты, так как их масса равна 1 г. Процедура измерения при этом заключается в уравновешивании весов и подсчете числа монет, уравновесивших груз. Если под руками нет *куримметра*, аналогично можно измерить длину участка извилистой дороги по топографическому плану, подсчитывая число шагов, сделанных циркуль-измерителем. Однако известны и другие способы. Например, масштабную линейку изготавливают, нанося риски с шагом в 1 мм, а необходимость подсчета их числа в процессе измерения (что было бы слишком долго) исключают тем, что через каждые 10 мм наносят обозначения соответствующих чисел. Гирь имеют разное

достоинство (разную массу). При взвешивании складывают моментные (т. е. нанесенные на них) значения масс гири, уравновешивающих груз (что, разумеется, значительно быстрее, чем подсчитывать число коловечных монет). Возможны и другие варианты конструкций мер или наборов мер.

Таким образом, для выполнения измерений необходимо иметь такие материальные объекты (меры, системы мер), которые однозначно связаны с множеством чисел, соответствующих определенному диапазону значений величин, и позволяющие сравнивать с ними изучаемые вещи. Но иметь только меры недостаточно. Чтобы сравнить вещь по протяженности с масштабной линейкой, человек располагает зрительным анализатором. Однако сравнивать вещи по гравитационности нечем (мышечные ощущения недостаточно точны). Поэтому кроме гирь необходимо средство сравнения — рычажные весы.

Однако и это еще далеко не все. Большую часть свойств и отношений вещей человек вообще не воспринимает — у него просто нет подходящих анализаторов (органов чувств). Поэтому необходимы специальные средства измерений, обеспечивающие “перевод” невосприимчивых свойств или отношений вещей на язык человеческих органов чувств. Это — измерительные приборы.

Специально подчеркнем, что продукт измерения — *числовое* число — есть результат сравнения двух вещей (изучаемой и меры), а не атрибут одной вещи. Получить число, не имея меры (или измерительного прибора), невозможно. Это необходимо хорошо запомнить, так как общепринятое краткое выражения — *индикаторные* и, следовательно, могут навести на ложное понимание. Например, речевая форма “ширина стандартного листа бумаги 210 мм” навязывает мысль, будто “210 мм” — атрибут самого листа. В действительности же “210 мм” означает, что протяженность короткой стороны листа в 210 раз больше протяженности одной тысячной доли эталона метра. Положение усугубляется тем, что в метрологических справочниках *физическую величину* определяют как свойство вещи, т. е. нечто, присущее ей самой.

Непосредственно с мерой мы сравниваем вещи лишь в простейших случаях. Теперь, например, рычажные весы можно встретить только на рынках, да и то не на всех. Как правило, для взвешивания используют циферблатные (стрелочные) весы, которые повышают производительность труда продавца. Сущность взвешивания на циферблатных весах (наиболее распространенного типа) остается прежней: интересующую вещь сравнивают по гравитационности с гирей, встроенной в механизм весов. Однако техника

извешивания иная. В циферблатных весах имеется специальный механизм, который уравнивается при определенном значении угла поворота стрелки, соответствующем измеряемой массе.

Обратим внимание на следующее обстоятельство. Измеряя массу рычажными или циферблатными весами, мы сравниваем вещь с гири — мерой массы, а измеряя длину предмета масштабной линейкой, мы сравниваем его с мерой длины. Однако чаще ситуация иная. Например, в пружинных весах нет меры массы. В них имеется пружина — мера силы. Массу эти весы показывают потому, что благодаря явлению гравитации сила притяжения тела к Земле пропорциональна его массе и, следовательно, деформация пружины может быть градуирована в единицах массы. В этом преобразовании использованы два закона — закон всемирного тяготения и закон Гука. Аналогична ситуация при выполнении почти всех измерений стрелочными приборами — манометрами, вольтметрами, амперметрами и т. д. Мерой в них служит пружина. Поэтому в приборе имеется специальное устройство, которое на основе использования каких-либо физических явлений и соответствующих им законов преобразует изучаемую форму движения материи в механическое движение. Например, в электроизмерительных приборах магнитоэлектрической системы имеется устройство, сходное с электродвигателем, содержащее постоянный магнит и катушку из изолированной проволоки, способную вращаться в подшипниках. Во всех подобных приборах пружину, разумеется, не градуируют как меру силы. Как бы законы ни использовались для преобразования форм движения материи при измерениях, градуировку всегда производят по измеряемой величине.

Для проведения отчета, т. е. для выработки значения измеряемой величины, стрелочные измерительные приборы снабжены отсчетным устройством, содержащим шкалу (изогнутую линейку) и стрелку. Шкала проградуирована в единицах измеряемой величины. Действие человека состоит в том, что он, пользуясь шкалой-линейкой, измеряет путь, пройденный концом стрелки. Важно понимать, что значение величины (число) формируется в голове человека как результат работы органа зрения.

Цифровые измерительные приборы отличаются тем, что в них процесс выработки значения измеряемой величины автоматизирован, т. е. человек избавлен от выполнения этой операции. Значение величины высвечивается на табло.

Измерения, в процессе которых непосредственно получают число, являющееся значением интересующей нас величины,



называют *прямыми*. Однако не всегда удается построить требуемое преобразующее устройство. В таких случаях прибегают к *косвенным* измерениям. Суть их состоит в том, что выявляют величины, допускающие прямые измерения и связанные с интересующей нас величиной какими-либо физическими законами. Измеряют эти величины, а искомую величину потом вычисляют. Никаким другим способом, кроме измерения, получить значение физической величины невозможно.

Ни одно измерение не может быть выполнено абсолютно точно. Неточность называют *погрешностью результата*.

Производя измерения, необходимо учитывать еще, что односторонних явлений в природе не бывает — всегда происходят взаимодействия. Поэтому не только изучаемый объект воздействует на измерительный прибор, но прибор влияет на объект. Целесообразно различать три степени такого влияния. Слабое — воздействие, изменяющее состояние объекта настолько мало, что добавочная погрешность результата измерения является допустимой. Среднее — выводящее погрешность за допустимые пределы, но сохраняющее качественное своеобразие объекта. В таких случаях в результаты измерений следует вносить поправку. И, наконец, сильное — превращающее изучаемый объект в нечто иное (например, после подключения прибора могут прекратиться *автоколебания* генератора). Очевидно, этот случай недопустим.

**ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА.** Совокупность функционально объединенных и расположенных в одном месте средств измерений (*мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей*) и вспомогательных устройств, предназначенная для производства измерений.

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ.** *Средство измерений*, применяемое для преобразования одной формы движения материи в другую с целью изменения метода измерений. Преобразование осуществляют на основе известной закономерной связи между физическими величинами, которыми оценивают количественную сторону этих движений. Например, механическое перемещение можно преобразовать в пропорциональное ему электрическое напряжение, используя в качестве измерительного преобразователя *потенциометр*.

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР.** *Средство измерений*, позволяющее получить значение измеряемой величины путем считывания показаний со шкалы (стрелочный прибор) или с табло

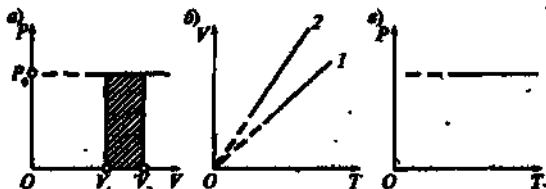


Рис. И.1. Графическое представление изобарического процесса в газах на  $P-V$  (а),  $V-T$  (б) и  $P-T$  (в) диаграммах

(цифровой прибор). Измерительные приборы делят на показывающие и регистрирующие. Пользуясь показывающим прибором, снять показание можно только во время измерения (в остальное время он показывает нуль или другое постоянное число, предусмотренное конструкцией прибора). Регистрирующий прибор отличается тем, что он сохраняет значение измеренной величины (или значения, отнесенные к моментам времени, если величина изменяется). Иными словами, регистрирующий прибор — устройство с памятью.

**ИЗО...** [от греч. *isos* — равный, одинаковый, подобный]. Первая составная часть сложных слов, обозначающая равенство или подобие. Например, изотерма, изотопы, изотопы.

**ИЗОБАРА** [изо... и греч. *baros* — тяжесть, вес]. Икономическая модель теплового процесса, протекающего в газе при неизменной массе и давлении, введенная для наглядного его представления и изображаемая на  $V-T$  диаграмме как прямая линия, стремящаяся к абсолютному нулю температуры, а на  $P-V$  и  $P-T$  диаграммах как горизонтальные прямые линии, параллельные осям  $V$  или  $T$  (рис. И.1) (см. *Изобарический процесс*).

**ИЗОБАРИЧЕСКИЙ (ИЗОБАРИНЫЙ) ПРОЦЕСС.** *Изобарический процесс*, протекающий в газе при постоянных массе и давлении. Зависимость объема газа от его температуры при изобарическом процессе описывается *законом Гей-Люссака*, а на  $V-T$  диаграмме прямой линией, стремящейся к абсолютному нулю температуры. На  $P-V$  и  $P-T$  диаграммах изображаются горизонтальными линиями, параллельными осям  $V$  и  $T$  (рис. И.1).

Работа  $A$  при изобарическом расширении (рис. И.1, а) пропорциональна площади заштрихованного прямоугольника:  $A = P_0 (V_2 - V_1)$ . При изобарическом расширении (нагревании)

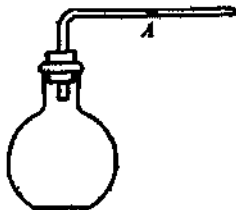


Рис. И.2. Простейшее устройство для наблюдения изобарического расширения и сжатия газов

подводимое к газу тепло  $Q$  в соответствии с первым началом термодинамики частично тратится на увеличение его внутренней энергии (нагревание), а частично на совершение работы:  $Q = \Delta U + A$ . Поэтому теплоемкость газа при постоянном давлении больше, чем теплоемкость при постоянном объеме. В частности, молярная теплоемкость при постоянном давлении  $C_p$  равна сумме молярной теплоемкости при постоянном объеме  $C_v$  и универсальной постоянной  $R$ :  $C_p = C_v + R$  (см. Уравнение Майера).

При изобарическом охлаждении (сжатии) направление процесса меняется на обратное (рис. И.1, а) и работа  $A'$ , совершаемая газом, становится отрицательной. Это означает, что не газ выполняет работу, а внешние тела совершают положительную работу  $A$  по сжатию газа, т. е.  $A' = -A$ . Величины  $\Delta U$  и  $Q$  при этом также отрицательны, т. е. внутренняя энергия газа уменьшается за счет отдачи им тепла окружающим телам.

Реальный процесс, близкий к изобарическому, можно осуществлять, нагревая или охлаждая воздух в стеклянной колбе, соединенной с тонкой стеклянной трубкой, отверстие в которой закрыто небольшим столбом жидкости (рис. И.2).

**ИЗОБАРЫ.** Химические элементы, ядра атомов которых содержат одинаковое количество нуклонов, но различное число протонов. Изобары характеризуются одинаковым массовым числом, но различным зарядовым числом. Иначе говоря, изобары в таблице Менделеева занимают разные места. Примером изобар могут служить  $^{40}_{18}\text{Ar}$  и  $^{40}_{20}\text{Ca}$ .

**ИЗОЛЯТОР** [от фр. *isolateur* — отделять, разобщать]. Термин используют в двух значениях. 1. То же, что *диэлектрик*. 2. Деталь электропроводки, обеспечивающая изоляцию (отделение) токоведущих частей друг от друга, от металлических частей установок и от земли.

**ИЗОМЕРЫ** [изо... и греч. *meros* — доля, часть]. Одинаковые радиоактивные изотопы химических элементов, имеющие разные периоды полураспада. Изомеры характеризуются одинаковым зарядовым числом и одинаковым массовым числом. Изомеры в таблице

Менделеева занимают одно и то же место. Примером изомеров могут служить ядра  $^{80}_{33}\text{Br}$ ; у одного из них период полураспада равен 18 минутам, у другого — 4,4 часа.

**ИЗОПРОЦЕССЫ В ГАЗАХ** [от изо... и лат. *processus* — продвижение]. *Мысленные модели* тепловых процессов, протекающих в ограниченном количестве газа постоянной массы при пренебрежимо малом изменении одной из переменных состояний газа: давления, объема, температуры или энтропии. Очень часто изопроцессы представляют графически. Для этого используют прямоугольные системы координат, по осям которых откладывают две из четырех величин:  $P$  (давление),  $V$  (объем),  $T$  (температура) и  $S$  (энтропия). Если по оси ординат отложено давление, а по оси абсцисс — температура, то говорят, что процесс изображен на  $P$ - $T$  диаграмме. Выбор вида диаграммы зависит от цели ее использования. Чаще всего используют  $P$ - $V$  диаграмму. Это обусловлено тем, что на такой диаграмме площадь, ограниченная графиком процесса, ординатами и осью абсцисс, т. е. выраженная в единицах  $P \times V$ , равна работе, совершаемой газом при его расширении, или работе, совершаемой над газом при его сжатии.

**ИЗОТЕРМА** [изо... и греч. *therme* — теплота, жар]. Иконическая модель теплового процесса, протекающего в газе при неизменной массе и температуре, введенная для его наглядного представления и построенная на  $P$ - $V$  диаграмме как равнобочная гиперболы, а на  $P$ - $T$  и  $V$ - $T$  диаграммах — как вертикальные прямые линии, параллельные осям  $P$  и  $V$  (рис. И.3) (см. *Изотермический процесс*).

**ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС** [изо... и греч. *therme* — теплота, жар]. *Изопроцесс*, протекающий в газе при постоянных массе



Рис. И.3. Графическое представление изотермического процесса в газах на  $P$ - $V$  (а),  $V$ - $T$  (б) и  $P$ - $T$  (в) диаграммах.

и температуре. Зависимость давления от объема при изотермическом процессе описывается законом *Бойля-Мариотта*, на  $P-V$  диаграмме изображается равнобочной гиперболой (рис. И.3). Поскольку внутренняя энергия газа при замене его моделью "идеальный газ" зависит только от его температуры, то при изотермическом процессе  $U = \text{const}$  и  $\Delta U = 0$ . Следовательно, по первому началу термодинамики  $Q = A$ . При изотермическом расширении подводимое к газу тепло целиком превращается в работу расширения. Работа при изотермическом процессе равна:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} PdV = \nu RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1},$$

где  $\nu$  — число молей.

При изотермическом сжатии совершаемая над газом работа целиком превращается в тепло, передаваемое в окружающую газ среду, и внутренняя энергия газа остается неизменной.

Теплоемкость при изотермическом расширении

$$C_T = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{\Delta Q}{0} \rightarrow \infty.$$

Бесконечная теплоемкость не является физическим абсурдом. Она означает, что подводимое к газу тепло не приводит к изменению его температуры в силу того, что все оно идет на совершение работы. При расширении  $Q > 0$  и  $C_T \rightarrow +\infty$ , при сжатии  $Q < 0$  и  $C_T \rightarrow -\infty$ .

Расширение газа при постоянной температуре при подведении тепла может происходить только бесконечно медленно, т. е. в равновесии, квазистатически. При конечной скорости расширения возникнут градиенты температуры, из чего следует, что реальный процесс не может быть близок к изотермическому.

**ИЗОТОНЫ.** Различные химические элементы, ядра атомов которых содержат одинаковое число нейтронов, но различное число протонов. Изотоны характеризуются различным зарядовым числом и различным массовым числом. В таблице Менделеева изотоны занимают разные места. Примером изотонов могут служить ядра  $^{12}_6\text{C}$  и  $^{14}_7\text{N}$ .

**ИЗОТОПЫ** [изо... и греч. *topos* — место]. Разновидности химического элемента, в атомных ядрах которых содержится одинаковое число протонов, но различное число нейтронов. Изотопы характеризуются одинаковым зарядовым числом, но различным массовым числом. Иначе говоря, изотопы одного и того же хими-

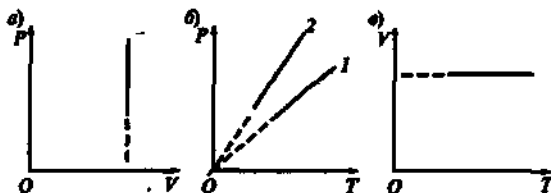


Рис. И.4. Графическое представление изохорического процесса в газах на  $P-V$  (а),  $P-T$  (б) и  $V-T$  (в) диаграммах

ческого элемента занимают одно и то же место в таблице Менделеева. Так, например, водород имеет три изотопа:  ${}^1_1\text{H}$  — обычный водород или протий,  ${}^2_1\text{H}$  — тяжелый водород или дейтерий,  ${}^3_1\text{H}$  — тритий. У кислорода имеется три стабильных изотопа  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{17}_8\text{O}$  и  ${}^{18}_8\text{O}$ , у олова — десять и т. д. Всего существует около трехсот устойчивых и более тысячи неустойчивых (радиоактивных) изотопов всех известных химических элементов (ср. *Изобары*, см. *Изомеры*, *Изотопы*).

**ИЗОТРОПИЯ** [изо... и греч. *troros* — свойство]. Однородность свойства среды по всем направлениям. Все газы, жидкости и аморфные твердые тела изотропны по своим физическим свойствам.

**ИЗОХОРА** [изо... и греч. *chora* — пространство]. Иконическая модель теплового процесса, протекающего в газе при неизменных массе и объеме, введенная для его наглядного представления и построенная на  $P-T$  диаграмме (рис. И. 4) как прямая линия, стремящаяся к абсолютному нулю температуры, а на  $V-T$  и  $P-V$  диаграммах — как прямая линия, параллельная осям  $T$  и  $P$  (см. *Изохорический процесс*).

**ИЗОХОРИЧЕСКИЙ (ИЗОХОРНЫЙ) ПРОЦЕСС** [изо... и греч. *chora* — пространство]. *Изохорический процесс*, протекающий в газе при постоянных массе и объеме. Зависимость давления от температуры при изохорическом процессе описывается законом Шарля, а на  $P-T$  диаграмме — прямой линией, стремящейся к абсолютному нулю температуры. На  $P-V$  диаграмме изображается вертикальной прямой линией, параллельной оси  $P$  (рис. И.4). При изохорическом процессе изменение объема равно нулю. Следовательно, газ при таком процессе не совершает механической работы. Другими словами, первое начало термодинамики для изохорического процесса принимает вид:  $Q = \Delta U$ . Это означает, что при изохори-

ческом нагревании все сообщаемое газу тепло идет на увеличение его внутренней энергии.

Молярная теплоемкость при изохорическом процессе

$$C_V = \frac{\Delta Q}{\nu \Delta T} = \frac{\Delta U}{\nu \Delta T} = \frac{\nu \frac{i}{2} R \Delta T}{\nu \Delta T} = \frac{i}{2} R,$$

где  $\nu$  — число молей,  $i$  — число степеней свободы молекулы,  $R$  — универсальная газовая постоянная.

Реальный процесс, близкий к изохорическому, можно осуществить, нагревая или охлаждая газ в герметически замкнутом сосуде.

**ИЗОЭНТРОПИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС** (изо... и греч. ен — в, внутрь, торе — поворот, превращение). *Изопроцесс*, протекающий в газе при неизменной массе и без обмена теплом с окружающей средой, т. е. при постоянной энтропии. Обычно изоэнтропический процесс называют адиабатическим или адиабатным. Зависимость давления газа от его объема при адиабатическом процессе описывается *уравнением (законом) Пуассона*, а на  $P$ - $V$  диаграмме — кривой, круче изменяющейся с изменением объема, чем при изотермическом процессе (рис. И.5). Первое начало термодинамики при адиабатном процессе принимает вид:  $A = -\Delta U$ . При адиабатическом расширении работа совершается только за счет внутренней энергии газа. Поэтому его внутренняя энергия уменьшается и, следовательно, температура понижается. При адиабатическом сжатии газа работа газа отрицательна (работа производится не газом, а над газом), внутренняя энергия газа увеличивается и повышается его температура.

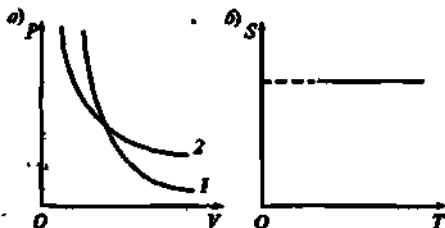


Рис. И.5. Графическое представление изоэнтропического процесса в газах на  $P$ - $V$  (а) и  $S$ - $T$  (б) диаграммах

Теплоемкость при адиабатическом процессе

$$C_Q = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{0}{\Delta T} = 0.$$

Реальный процесс, близкий к адиабатному, можно осуществить, обеспечив хорошую теплоизоляцию газа, или быстрым расширением или сжатием газа.

**ИКОНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ.** Графическое представление *мысленной модели* в виде точки, линии, фигуры и т. п. (см. *Модели в науке*).

**ИМПУЛЬС СИЛЫ, I.** Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания механического действия одного тела на другое и равная произведению силы  $F$ , которой оценивают интенсивность этого действия, и элементарного интервала времени  $\Delta t$  действия:  $I = F\Delta t$ .

**ИМПУЛЬС ТЕЛА (КОЛИЧЕСТВО ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА), P.** Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания интенсивности направленного движения тела и равная произведению массы  $m$  тела и вектора его скорости  $v$ :  $P = mv$ .

**ИНДУКТИВНАЯ КАТУШКА.** Элемент электрической цепи, двухполюсник. Условное графическое обозначение индуктивной катушки с направлениями отсчета напряжения и силы тока (см. *Правила знаков...*) показано на рис. И.6. При согласном отсчете напряжения и силы тока, как на рис. И.6, а, поведение индуктивной катушки описывается формулами:

$$\Psi = LI \text{ или } u = L di/dt,$$

где  $\Psi$  — потокосцепление,  $L$  — индуктивность.

Если же напряжение и сила тока отсчитываются встречно (рис. И.6, б), в формулах должны появиться знаки "минус":

$$\Psi = -LI \text{ или } u = -L di/dt.$$

Индуктивная катушка является накопителем — элементом, способным аккумулировать электромагнитное движение в виде магнитного поля и отдавать его. Применяется в тех случаях, когда необходимо использовать это свойство. Энергия индуктивной катушки выражается формулами



Рис. И.6. Условное графическое обозначение индуктивной катушки и направленный отсчет напряжения и силы тока: согласного (а) и встречного (б)



$$W = \frac{Li^2}{2} = \frac{\Psi^2}{2L} = \frac{\Psi I}{2}.$$

Обратите внимание на своеобразную симметрию формул, выражающих поведение и энергию индуктивной катушки и конденсатора (см.). Они переходят друг в друга при замене переменных:  $\Psi \leftrightarrow q$ ;  $i \leftrightarrow I$ ;  $L \leftrightarrow C$ . Это явление обнаруживается в электрических цепях и в других случаях. Его называют *дуальностью*.

**ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ.** Сопротивление индуктивной катушки почти гармоническому переменному току. Оно пропорционально угловой частоте  $\omega$  тока и индуктивности  $L$  катушки:  $X_L = \omega L$  (см. *Реактивное сопротивление*).

**ИНДУКТИВНОСТЬ** (коэффициент самоиндукции),  $L$ . Скалярная физическая величина, параметр индуктивной катушки, введенная для оценивания способности катушки “сопротивляться” изменению силы электрического тока подобно тому, как инертное тело “сопротивляется” изменению скорости (см. *Инерция*); аналог массы. Используется в качестве коэффициента пропорциональности в простейшей математической модели индуктивной катушки — формуле, связывающей потокоцепление  $\Psi$  между ее выводами с силой тока  $I$  в ней:

$$\Psi = LI.$$

Единицей индуктивности служит *генри*, Гн.

Индуктивность катушки зависит от ее формы, размеров, числа витков и наличия или отсутствия ферромагнитного сердечника (магнитопровода). Индуктивность воздушной (без сердечника) однослойной катушки с плотной (виток к витку) намоткой, длина которой в несколько раз превышает ее диаметр, вычисляют по формуле:

$$L = \frac{w^2 S}{l} \mu_0,$$

где  $w$  — число витков;  $S$  — площадь поперечного сечения;  $l$  — длина;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м — магнитная постоянная.

**ИНДУКТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ.** Мысленная модель индуктивной катушки, введенная для решения задач теории электрических цепей и построенная как элемент схемы замещения, представляющий собой двухполюсник, поведение которого точно описывается компонентным законом — формулой  $\Psi = LI$ , где  $\Psi$  — потокоцепление. Индуктивный элемент используют в схемах замещения

не только в качестве модели индуктивной катушки, но и во всех тех случаях, когда необходимо учесть влияние на процессы магнитного поля, окружающего провода и другие токоведущие элементы электрической цепи. Индуктивный элемент, введенный с этой целью, обычно называют "паразитной индуктивностью".

Примечания. 1. Предложения с термином *паразитная индуктивность* часто построены так, что создается впечатление, будто она является атрибутом реального элемента — отрезка провода, джоуля, транзистора и т. п. Надо помнить, что это метафоры. Объективно существует магнитное поле, а паразитная индуктивность — элемент схемы замещения, мысленная модель.

2. Физическая величина  $\Psi$  имеет дезориентирующее название "потокосцепление" и неправильно определена в терминологическом ГОСТе 19880-74. В действительности это величина, равная интегралу напряжения по времени:  $\Psi = \int u dt$ , дуальный аналог электрического заряда:  $q = \int i dt$ .

**ИНДУКЦИЯ.** Прием научного мышления, состоящий в умозаключении от частного к общему (ср. *Дедукция*).

**ИНДУКЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ, В.** Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания механического действия магнитного поля на движущиеся заряженные частицы и равная по модулю отношению модулей векторов максимального вращающего момента  $M_{\text{макс}}$ , действующего на пробный контур, и дипольного магнитного момента  $P_m$  этого контура:

$$B = \frac{M_{\text{макс}}}{P_m}$$
. По направлению вектор  $B$  совпадает с вектором магнитного момента контура, находящегося в рассматриваемой точке поля в положении устойчивого равновесия.

**ИНДУЦИРОВАННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.** То же, что и *вынужденное излучение*.

**ИНЕРТНОСТЬ** [от лат. *inertis* — бездейственный, неподвижный]. Свойство всех без исключения тел, состоящее в следующем: 1) при отсутствии взаимодействия с другими телами (мысленный эксперимент) тело движется бы равномерно и прямолинейно или покоилось; 2) при наличии взаимодействия, согласно Ньютону, тело может оказывать либо сопротивление, либо напор. Сопротивление оно оказывает другому телу, когда то его разгоняет. Напор проявляется в виде воздействия разогнанного тела на то тело, которое его тормозит.

В обоих случаях при наличии взаимодействия скорость тела изменяется постепенно (не скачком). Обусловлено это тем, что со скоростью  $v$  однозначно связана энергия движения тела  $W$  (так называемая кинетическая энергия):

$$W = \frac{mv^2}{2}.$$

Мгновенное (скачкообразное) конечное (не бесконечно малое) изменение скорости означало бы такое же мгновенное конечное изменение энергии, что соответствует бесконечной мощности. Однако в природе не происходят процессы, характеризующиеся бесконечной мощностью.

Таким образом, с энергетической точки зрения инертность проявляется в том, что любое тело является препятствием движения: будучи разогнано, оно способно отдавать накопленное движение другим телам, т. е. служить источником движения (см. *Динамические системы*).

**ИНЕРЦИАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОТСЧЕТА.** Мысленная модель системы отсчета, тело отсчета которой не взаимодействует ни с какими телами или полями. Строго говоря, формулировки 1-го и 2-го законов Ньютона справедливы именно для такой системы отсчета (сам Ньютон использовал беспрототипные понятия абсолютного пространства и абсолютного времени). Реальные системы отсчета не являются инерциальными. Однако при решении задач механики всегда удается найти такое тело отсчета, инерциальностью которого можно пренебречь. В частности, при изучении движения наземных, водных или воздушных транспортных средств в подавляющем большинстве случаев в качестве тела отсчета пригодна Земля. Для анализа движения планет Солнечной системы используют систему отсчета, состоящую из Солнца и "неподвижных" звезд, настолько удаленных от Солнца, что их движением можно пренебречь.

**ИНЕРЦИОННЫЙ ЭЛЕМЕНТ.** Простейшая мысленная модель массивного тела (*динамического накопителя*), введенная для решения задач механики, элемент расчетной схемы механической системы, которому приписывают единственное свойство — точно "подчиняться" компонентному закону  $F = m \frac{d^2x}{dt^2}$  (см. 2-й закон Ньютона).

При этом и в литературе известен под названием "материальная точка".

**ИИЕРЦИЯ** [от лат. *inertia* — бездействие]. Явление, в котором обнаруживается *инертность* тела. Открыто Галилеем. Ньютон сформулировал количественное соотношение, отражающее инерцию и связывающее равнодействующую всех сил взаимодействия тела с другими телами, его ускорение и массу — величину, введенную для оценивания степени инертности тела (2-й закон Ньютона):

$$F_{\text{равн}} = ma,$$

где  $F_{\text{равн}}$  — равнодействующая всех сил, приложенных к телу;  $m$  — масса тела;  $a$  — ускорение тела.

**ИНТЕРПОЛЯЦИЯ** [от лат. *interpolation* — подновление]. Приближенное вычисление неизвестных значений функции по ряду известных ее значений при условии, что значения аргумента, при которых вычисляются неизвестные значения функции, лежат внутри промежутка значений аргумента, при которых значения функции известны. Так, если известны значения  $y_1, \dots, y_n$  функции  $y = f(x)$  в точках (при значениях аргумента)  $x_1, \dots, x_n$  ( $x_1 < \dots < x_n$ ), принадлежащих отрезку  $[x_1, x_n]$ , интерполяция — это приближенное вычисление значений функции в ряде точек (при ряде значений аргумента), лежащих внутри отрезка  $[x_1, x_n]$  (ср. *Экстраполяция*). Используют при обработке результатов эксперимента.

**ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ КАРТИНА**. Результат интерференции волн, т. е. устойчивая во времени и пространстве картина чередующихся максимумов и минимумов амплитуд колебаний, возникающая при наложении когерентных волн.

**ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ВОЛН** [от лат. *inter* — между и *ferens* — несущий, переносящий]. Явление, состоящее в усилении или ослаблении результирующей волны при наложении когерентных волн, обусловленное перераспределением энергии этих волн.

**ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА**. Явление, состоящее в чередующемся усилении и ослаблении когерентных световых волн при их наложении в пространстве и обусловленное перераспределением энергии волн.

**ИНТЕРФЕРОМЕТР** [от интерференция и метр]. Оптический измерительный прибор, в котором явление интерференции используют для точных измерений длин волн спектральных линий,

показателей преломления прозрачных тел, поверки мер длины и т. д. Принцип действия всех интерферометров одинаков, различаются они только методами получения когерентных волн и назначением. Так, интерферометр В.П. Линника применяется для исследования качества обработки поверхности металлических изделий, интерферометр Ж.С. Жамена — для измерения показателей преломления прозрачных веществ (поэтому его иногда называют интерференционным *рефрактометром*).

**ИНФОРМАЦИЯ.** Многие авторы, обсуждая проблемы жизнедеятельности человека, пишут, что его взаимодействие со средой состоит в обмене материей, энергией и информацией. Уже по одной этой причине понятие информации заслуживает обсуждения.

Вряд ли есть термин, о котором после появления книг Н. Винера о кибернетике написано больше, чем о термине *информация* и производных от него (*информатика, информатизация* и т. п.). Вместе с тем, большей частью люди просто используют его. *Контекстуальное определение* показывает, что в этих случаях, как и прежде, он служит синонимом слов *сведения, сообщение, знания, данные*. Совсем иначе информация выглядит в рассуждениях авторов, пытающихся определить значение этого термина. Одни полагают, что им называют *атрибут* всей материи. Другие пишут, что говорить об информации применительно к естественной неживой природе бессмысленно: во всех научных текстах по физике, химии, геологии и т. п. понятие *«информация»* для объяснения природы вещей не используют. Оно оказывается необходимым при описании систем, называемых кибернетическими — живых организмов, их сообществ, биотехнических систем и устройств, в которых применено автоматическое управление.

Некоторые авторы считают понятие *«информация»* неопределимым. Наконец, встречаются фантастические суждения. Например: «Информация — это генерализационный, безначально-бесконечный единый законопроец микро- и макромерных отношений <> на основе автокорреляционной, резонансно-сотовой, частотно-квантовой и волновой природы света, тепла, звука и других форм в микро- и макроструктурах Вселенной».

Осмыслить, что такое *«информация»*, позволяет знание теории понятия и теории определения (см. *Понятие и термин, Определение*). Понятие существует только в системе понятий.

В какую систему вводит понятие *«информация»*?

Как и всякий природный объект, человек взаимодействует с окружающим его миром. Воздействия других объектов на человека

разумно разделить на соматические (телесные) и сенсорные (рецепторные). К числу первых принадлежат, например, воздействие бурного потока воды в горной реке, ураганного ветра, снежной лавины, взрыва. Они, разумеется, влияют и на нервную систему. Но, как правило, человек не в состоянии реагировать на них адекватно, так как интенсивность воздействия на тело слишком велика. Сенсорное воздействие — слабое; человек реагирует на него только через нервную систему.

Сенсорные воздействия, в свою очередь разумно разделить на *преднамеренные* и *непреднамеренные*. Например, гром, щебетание воробья, вой ветра в печной трубе, колебания поплавок при поклевке — непреднамеренные воздействия. Преднамеренное воздействие может оказать другой человек, дрессированное животное или специально запрограммированный автомат (в простейшем случае — будильник). Преднамеренное воздействие называют *сигналом*. Это — материальный процесс, специально организованный так, что в нем, как принято говорить, *закодировано* (по договоренности) некоторое содержание, на которое получатель сигнала может (или должен) отреагировать. Получателем сигнала может быть не только человек, но и обученное животное, и машина, в которой имеются “искусственные рецепторы” — датчики, управляющее устройство и исполнительные органы.

Далее. Одно и то же содержание может быть передано сигналами разной формы. Например, разбудить человека можно голосом, прикосновением, включив свет и т. д. Аналогично текст может быть передан в личном разговоре, по телефону, телеграфу, письмом и т. д. Очевидно, форма сигнала получателю безразлична (лишь бы сигнал пришел вовремя и без искажений). Получатель интересуется только содержанием сигнала. Поэтому о нем и имеет смысл говорить. Неосознанно люди почувствовали это давно, что нашло выражение в появлении *отмеченных существительных сообщений* и *информация*, происходящих от синонимичных глаголов *сообщить* и *информировать*. В результате, как правило, человек говорит, что он получил *информацию* (сообщение), а не сигнал.

Таким образом, в случае преднамеренного сенсорного воздействия термин *информация* является синонимом слова *сообщение* и служит именем содержания сигнала.

Восприимчивая непреднамеренные сенсорные воздействия, человек реагирует на них по-разному в зависимости от того, насколько важны они для него. Несущественные воздействия человек “пропускает мимо ушей”. Существенные же воздействия

приводят к выработке в его сознании некоего "следа", "отпечатка" о событии или предмете, его породившем. В философии такой "след" называют *образным* или *образным*. В отражении, так же как в сигнале, различают форму и содержание. Для обозначения содержания и в этом случае используют термин *информация*. По той же причине, что и при восприятии сигнала, форма отражения малозначительна. Поэтому в таких случаях говорят о *производстве* (выработке) информации (т. е. знания) о воздействующем объекте. "Получать", "добывать" информацию в природе мы не можем — ее там нет. Следовательно, и "обмениваться" информацией со средой тоже невозможно. Новую информацию мы *производим*. Получить (приобрести) можно информацию, произведенную кем-то ранее.

Объекты естественной неживой природы, а также механизмы и машины, предназначенные для ручного труда, подвержены только "телесным" воздействиям — они реагируют "всем телом". Поэтому применительно к таким объектам бессмысленно говорить о сигналах и информации.

**ИНФРА...** [от лат. *infra* — ниже, под]. Первая составная часть сложных слов, соответствующая по значению слову *ниже*. Например, инфразвук, инфракрасные лучи.

**ИНФРАЗВУК.** Звуковые (механические) волны частоты ниже 16 Гц, не воспринимаемые человеческим ухом.

**ИНФРАКРАСНЫЕ ЛУЧИ.** Электромагнитное излучение, невидимое глазом, частотой от  $1,5 \cdot 10^{11}$  до  $4 \cdot 10^{14}$  Гц. Непосредственно примыкает к красному концу видимого спектра.

**ИОНИЗАЦИЯ.** *Явление*, состоящее в разделении нейтральных атомов или молекул вещества на отрицательные ионы (или электроны) и положительные ионы под влиянием внешних факторов (нагревание, электромагнитное излучение, поток электронов, ионов и других частиц) и обусловленное отрывом от них одного или нескольких электронов.

**ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.** Излучение, взаимодействие которого со средой приводит к ионизации атомов и молекул среды (альфа-, бета-, гамма-лучи, космические лучи, рентгеновские лучи).

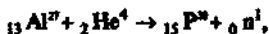
**ИОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ.** *Электропроводность, обусловленная направленным движением ионов.*

**ИОНОСФЕРА** [ион... и греч. *sphaîra* — шар]. Ионизированная часть верхней атмосферы, начинающаяся с высоты примерно  $5 \cdot 10^4$  м над поверхностью Земли и простирающаяся до  $2 \cdot 10^7$  м. Ионизация воздуха верхних слоев атмосферы вызывается электромагнитным излучением Солнца и потоком заряженных частиц, излучаемых им.

**ИОНЫ** [от греч. *ion* — идущий]. Электрически заряженные частицы, образующиеся при потере или присоединении электронов атомами и молекулами (см. *Анионы, Катионы*).

**ИСКРОВОЙ (РАЗРЯДНЫЙ) ПРОМЕЖУТОК.** Пространство между электродами, в котором при больших напряжениях происходит электрический разряд.

**ИСКУССТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ.** *Явление, состоящее в превращении стабильных ядер одних химических элементов в радиоактивные ядра других химических элементов при их бомбардировке элементарными частицами или легкими ядрами и обусловленное захватом ими этих частиц или ядер. Открыли явление в 1934 г. французские ученые супруги Ирен и Фредерик Жолио-Кюри. Они обнаружили, что при бомбардировке альфа-частицами алюминий и некоторые другие химические элементы излучают не электроны, как это ожидалось, а позитроны. Это было новое, неизвестное до тех пор явление. Оно было объяснено следующим образом. Ядра алюминия захватывают альфа-частицы, испускают нейтроны и превращаются в радиоактивные ядра фосфора  ${}_{15}^{30}\text{P}$ :*



а ядра фосфора, в свою очередь, распадаясь, испускают позитроны:



Так был получен один из первых искусственных радиоактивных изотопов. Сегодня известно около полутора тысяч искусственно получаемых радиоактивных изотопов, в то время как число естественных радиоактивных элементов не превышает 40.

Радиоактивные изотопы широко применяют в науке и технике.

За открытие явления искусственной радиоактивности Ирен и Фредерик Жолио-Кюри были удостоены Нобелевской премии по химии за 1935 г.



**ИСПАРЕНИЕ.** *Явление*, состоящее в переходе вещества из жидкого состояния в газообразное со свободной поверхности при температуре ниже температуры кипения и обусловленное наличием в жидкости атомов (молекул), кинетическая энергия которых превышает энергию связи атомов (молекул) в веществе. Явление протекает с поглощением тепла.

**ИСТИНА.** Знание, позволяющее с достаточной для практики точностью предсказывать результаты протекания существующих процессов или проектировать и производить новые изделия (или осуществлять новые процессы), действующие (протекающие) так, как было задумано. Таким образом, критерием истины является практика (см. *Элементы абсолютной истины*).

**ИСТИННОЕ ЗНАЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ.** Понятие, лишенное физического смысла (см. п. 6 в Примечаниях к ст. *Физические величины*).

**ИСТОЧНИК ДВИЖЕНИЯ.** *Элемент динамической системы*, в котором материальное движение элементов среды преобразуется в движение, форма которого свойственна изучаемой системе.

**ИСТОЧНИК НАПРЯЖЕНИЯ.** Абстрактный (идеальный) двухполюсник, одна из двух простейших мысленных моделей источника электропитания (подробнее см. *Источник тока*).

**ИСТОЧНИК СИЛЫ.** Одна из двух простейших мысленных моделей источника движения, введенная для решения задач механики, элемент расчетной схемы механической системы, которому приписывают единственное свойство: воздействовать на другие элементы расчетной схемы или их композиции определенной силой  $F(t)$ , не зависящей от скорости их перемещения и других пространственных переменных (см. *Динамические системы*).

**ИСТОЧНИК СКОРОСТИ.** Одна из двух простейших мысленных моделей источника движения, введенная для решения задач механики, элемент расчетной схемы механической системы, которому приписывают единственное свойство: сообщать взаимодействиям расчетной схемы или их композициям с ним элементам расчетной схемы или их композициям скорость  $v(t)$ , не зависящую от силы реакции этих элементов и других переменных (см. *Динамические системы*).

**ИСТОЧНИК ТОКА.** Термин используют в двух значениях. 1 В школьных и вузовских учебниках физики то же, что *источник электропитания*. 2. В теории электрических цепей — абстрактный (идеальный) двухполюсник, одна из двух простейших *мысленных моделей* источника электропитания (вторая — источник напряжения).

Уяснить основание их введения проще всего на примере *солнечного фотоэлемента*. На рис. И.7 показано его условное графическое обозначение с направлениями отсчета напряжения и тока (см. *Правила знаков...*) (а) и его вольт-амперная характеристика (б).

Вольт-амперная характеристика имеет два хорошо различимых участка — крутой и пологий. Если сила тока изменяется в небольших пределах по обе стороны от нуля, довольно часто допустимо пренебречь наклоном характеристики, т. е. мысленно заменить ее прямой, параллельной оси тока (рис. И.8, а). На основании этого вводят абстрактный (воображаемый) двухполюсник, называемый *источником напряжения* — элемент *схем замещения*. Его условное графическое обозначение показано на рис. И.8, б. Аналогично пологий участок характеристики фотоэлемента можно мысленно заменить прямой, параллельной оси напряжения (рис. И.9, а). Ей соответствует абстрактный двухполюсник — *источник тока*. Для него принято условное графическое обозначение, показанное на рис. И.9, б.

Источник напряжения и источник тока — равноправные элементы *схем замещения* (расчетных схем) — мысленных моделей электрических цепей, представляемых в графической форме.



Рис. И.8. Вольт-амперная характеристика (а) и условное графическое обозначение (б) источника напряжения

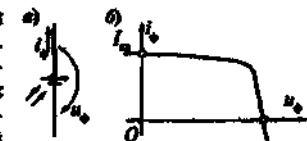


Рис. И.7. Условное графическое обозначение солнечного фотоэлемента (а) и его вольт-амперная характеристика (б)

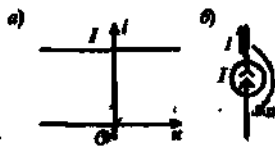


Рис. И.9. Вольт-амперная характеристика (а) и условное графическое обозначение (б) источника тока

**ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ** (источник питания). Элемент электрической цепи, часто *двухполюсник*, являющийся источником протекающих в ней процессов. В каждом источнике питания движение какой-либо формы (химическое, механическое, ядерное и др.) преобразуется в электромагнитное поле (короче — электричество). Наиболее распространены химические и электромагнитные источники питания.



Рис. И.10. Схематическое изображение ядерного источника питания

В первых электричество вырабатывается благодаря использованию химических реакций. Вторые преобразуют в электричество механическое движение посредством использования явления электромагнитной индукции. Реже, но довольно часто, применяют полупроводниковые *солнечные фотоэлементы*, например, в калькуляторах и так называемых солнечных батареях на космических аппаратах. Кроме того, существуют редко используемые источники, принцип действия которых иной. В *генераторах Ван-де-Граафа* электричество высокого напряжения получают благодаря чисто механической транспортировке электронов на поверхности бесконечной ленты, изготовленной из электроизоляционного материала. Один из видов ядерного источника по конструкции чрезвычайно прост (рис. И.10). Два соосных металлических электрода помещены в стеклянную колбу, из которой откачан воздух (создан высокий вакуум). На поверхность внутреннего электрода нанесено радиоактивное вещество, испускающее электроны, которые улавливает наружный электрод.

**Примечания.** 1. Как правило, источники электропитания называют источниками электроэнергии. Это нехорошо, так как большей частью термин *энергия* определяет как имя физической величины, т. е. абстрактного понятия. Говорить, что электростанция производит электроэнергию, не лучше, чем сказать, что швейные заводы производят "швейобъем".

2. Называть их "источниками тока" (как это делают в учебниках физики) тоже нехорошо: в теории электрических цепей этот термин закреплен за одной из простейших мысленных моделей источника питания (см. *Источник тока*).

**ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.** То же, что и источник электризации.

# К

**КАЛОРИМЕТР** [от греч. *калос* — тепло и *метрео* — измеряю]. Прибор для измерения теплового эффекта какого-либо процесса, а также для измерения удельной теплоемкости тел и удельной теплоты фазовых переходов. Первый калориметр в 1777 г. изготовили французские исследователи Антуан Лоран Лавуазье и Пьер Симон Лаплас. Этот прибор, названный впоследствии “ледяной калориметр”, представлял собой два соосных стакана, вставленных один в другой, пространство между которыми заполнялось тающим льдом. Изучаемый процесс проходил во внутреннем стакане, а его тепловой эффект определялся по массе растаявшего льда. В случае процессов, характеризуемых отрицательным тепловым эффектом, пространство между стаканами может быть заполнено водой, дающей при температуре ее замерзания. Тепловой эффект в этом случае прямо пропорционален массе замерзшей воды.

**КАЛОРИЯ** [от лат. *калос* — тепло, жар]. Внесистемная единица энергии. Была введена до установления закона сохранения энергии для оценивания “количества теплоты” (по современным представлениям — энергии молекулярного движения). 1 калория — количество теплоты, необходимое для нагревания 1 грамма воды на 1 °С. Обозначение *кал.* 1 кал = 4,1868 Дж. До сих пор используется на упаковках фасованных продуктов из-за недисциплинированности их производителей.

**КАМЕРА ВИЛЬСОНА.** Прибор для обнаружения и регистрации движения заряженных частиц. Изобрел ее в 1912 г. английский физик Чарльз Томсон Рис Вильсон. Действие камеры обусловлено конденсацией пересыщенного пара на ионах, образующихся в рабочем объеме камеры вдоль траектории заряженной частицы. Нобелевская премия по физике за 1927 г.

**КАМЕРА-ОБСКУРА** [от лат. *camera obscura* — темная комната]. Прибор для получения изображения наблюдаемых предметов. Камера-обскура представляет собой темный ящик с небольшим отверстием в одной из стенок, перед которым помещают рассматриваемый предмет. Свет, исходящий от предмета, проходит через отверстие и создает на противоположной стенке камеры (экране) действительное перевернутое изображение предмета.

**КАМЕРТОН** [от нем. Kamerton]. Мера частоты звука (см. *Мера физической величины*). Представляет собой стальную скобку, по форме напоминающую вытянутую в вертикальном направлении латинскую букву U с “ножкой” внизу. Если, держа камертон за ножку, ударить по нему, камертон издает звук, который затухает очень медленно. Камертон используют при настройке музыкальных инструментов и в пении. Может быть применен в качестве резонатора в электронном генераторе *автоколебаний*, по форме близких гармоническим. Изобрел английский музыкант Дж. Шорр в 1711 г.

**КАНДЕЛА**. Единица силы света, одна из семи основных единиц в СИ. 1 кандела равна силе света источника, испускающего в данном направлении монохроматическое излучение частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц (длина волны — 555 нм), энергетическая сила света которого в этом направлении составляет 1,683 Вт/ср (ср — стерадиан).

**КАНОНИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИББСА**. Наиболее общий закон *статистической физики*, установленный в 1901 г. американским физиком Джозефом Уиллардом Гиббсом для равновесных классических макроскопических систем и распространенный позднее на системы частиц, поведение которых описывается законами квантовой механики.

Существует несколько форм распределения Гиббса для разных условий, в которых находится изучаемая система. Наиболее часто используют распределение, применимое для системы с постоянным объемом и числом частиц, находящейся в тепловом контакте с большой изолированной системой (“термостатом”) и обменивающаяся с ней энергией, — каноническое распределение Гиббса. В нем связана вероятность состояния системы с отношением полной энергии системы к средней энергии теплового движения отдельной частицы, пропорциональной  $kT$  ( $k$  — постоянная Больцмана,  $T$  — термодинамическая температура). Состояние классической системы определяется набором значений координат и импульсов всех частиц, а состояние квантовой системы задается одним из возможных значений ее полной энергии (теплообмен с термостатом обуславливает возможность небольших изменений энергии системы с временем).

Для классических систем закон Гиббса задает вид функции распределения частиц по координатам и импульсам  $f(q, p)$ , равной отношению вероятности определенных (с точностью до малых

интервалов) значений координат и проекций импульсов всех частиц системы (их совокупность для краткости обозначают как  $q, p$ ) к произведению малых интервалов значений координат и проекций импульсов  $dx_1 dy_1 dz_1 \dots dp_{1N} dp_{2N} dp_{3N} = dq dp$ :

$$f(q, p) = A e^{-\frac{E(q, p)}{kT}},$$

где  $A$  — постоянная, которую находят из условия  $\int f(q, p) dq dp = 1$ .

Для квантовых систем каноническое распределение дает выражение вероятности нахождения системы в определенном квантовом состоянии с энергией  $E_n$ :

$$w_n = A e^{-\frac{E_n}{kT}}.$$

Из канонического распределения Гиббса могут быть получены как следствия все основные законы статистической физики: для области применимости классической статистики — *распределение молекул газа по скоростям (распределение Максвелла), распределение молекул газа во внешнем потенциальном поле (распределение Больцмана) и распределение Максвелла—Больцмана*, а для квантовой статистики — *распределение фермионов по квантовым состояниям (распределение Ферми—Дирака) и распределение бозонов по квантовым состояниям (распределение Бозе—Эйнштейна)*.

**КАПЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЯДРА.** Мысленная модель ядра атома, введенная для объяснения устойчивости ядра и построенная как система, состоящая из нуклонов и напоминающая капельку положительно заряженной жидкости (см. *Модели в науке*). —

**КАПИЛЛЯР** [от лат. *capillaris* — волосной]. В физике — трубка с каналом малого диаметра, уровень жидкости в которой отличается от высоты уровня этой же жидкости в сообщающемся с ней сосуде большого диаметра.

**КАПИЛЛЯРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ.** Явления, состоящие в поднимании или опускании уровня жидкости в узкой трубке (*капилляре*) по отношению к ее уровню в сообщающемся с трубкой широким сосуде и обусловленные молекулярным взаимодействием при смачивании или не смачивании жидкостью стенок трубки соответственно.

**КАРАТ** [от нем. *Karat* или итал. *carato*]. Внесистемная единица массы. Применяют в ювелирном деле при взвешивании драгоценных камней и жемчуга. Обозначение — кар. 1 кар = 0,200 г = 200 мг.

**КАТЕГОРИРОВАНИЕ (КАТЕГОРИЗАЦИЯ).** Логическая операция, родственная (но не тождественная) *классифицированию*. При классифицировании устанавливают родо-видовые отношения, т. е. отношения между множеством и его подмножествами. Категоризируя, отыскивают множество, элементом которого является данный предмет мысли. Классифицированию соответствует *определению через ближайший род и видовое отличие* (именуемое также классификационным). Категоризованию соответствует определение, называемое *предикативным*. Например, говоря: "энергия — физическая величина", мы утверждаем, что энергия (Э) является элементом множества, именуемого физическими величинами (ФВ). На языке математических символов это отношение можно выразить в виде  $\exists \epsilon \text{ ФВ}$  (знак  $\epsilon$  означает "быть элементом множества", "принадлежать множеству").

**КАТЕГОРИЯ.** Термин используют в двух значениях. 1. Понятие (см. *Понятие и термин*) наивысшего уровня обобщения (также см. *Парные категории*). 2. То же, что множество, взятое в отношении к его элементам (см. *Категоризование*).

**КАТИОН** [от греч. *kata* — вниз]. Положительно заряженная частица, образующаяся из атома или молекулы путем потери им (ею) одного или нескольких электронов. Катионы могут существовать в растворах электролитов, в кристаллах с ионной связью и в газах. Термин введен в 1836 г. английским физиком Майклом Фарадеем для обозначения частиц вещества, осаждающихся при электролизе на катоде; отсюда и название "идущий к катоду".

**КАТОД** [от греч. *katos* — путь вниз]. Отрицательный полюс источника электропитания или электрод какого-либо прибора, присоединяемый к отрицательному полюсу источника.

**КАЧЕСТВО.** См. *Качество и количество*.

**КАЧЕСТВО И КОЛИЧЕСТВО.** Все окружающее человек оценивает, в конечном счете, с точки зрения личных ценностей, потребностей и интересов.<sup>1</sup> Поэтому для него большинство вещей обладает своеобразием, определяемым возможностью их использования. Человек различает орудия труда, продукты питания,

<sup>1</sup> Личные приоритеты могут совпадать с общественными или противостоят им. Однако независимо от этого оценка всегда личностна.

предметы одежды и т. п. Все различия подобного рода, в том числе детальные, называют **качественными**.<sup>2</sup>

Когда говорят о качестве, обычно имеют в виду характеристику вещи в целом, со всеми ее специфическими особенностями. Однако такой обобщенный подход приемлем не всегда. Часто нужна дифференциация. Например, при транспортировке важно знать только отдельные стороны вещей, прежде всего габаритные размеры и массивность. Отдельные качественные особенности называют **свойствами**. К их числу относятся протяженность, гравитационность, инертность, упругость, теплопроводность, электропроводность и др.

Кроме качественных особенностей людям надо знать **интенсивность проявления (степень развития)** свойств. Различия по этому признаку предметов, обладающих одним и тем же свойством, называют **количественными**. Количество оценивают числом.<sup>3</sup> Как вообще появляются числа? Они оказываются продуктом либо счета, либо измерения. Например, куриные яйца мы покупаем по счету. Однако степень развития свойства оценивают посредством **измерения**.

**КВАЗИ...** [от лат. *quasi*]. Первая часть сложных слов, используемая в значениях "как бы", "мнимый", "почти".

**КВАЗИСТАТИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС.** *Мысленная модель* процесса, введенная для решения задач термодинамики и построенная как бесконечно медленный процесс перехода термодинамической системы из одного равновесного состояния в другое, в котором в любой момент времени состояние системы бесконечно мало отличается от равновесного (см. *Модели в науке*).

**КВАЗИУПРУГАЯ СИЛА.** Сила, характеризующая действие на тело, пропорциональная и противоположная по направлению смещению тела из положения равновесия.

**КВАНТ СВЕТА.** То же, что *фотон*.

<sup>2</sup> Слово *качество* используют не только в широком, но и в узком значении, а именно, для того чтобы охарактеризовать, насколько одна вещь лучше или хуже другой, однородной с ней (например: "качество отечественных автомобилей оставляет желать лучшего").

<sup>3</sup> Слово *количество* используют также, когда хотят сказать, много ли имеется каких-либо предметов (например: "количество автомобилей в городах непрерывно растет").



**КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА.** Раздел физики, изучающий и описывающий закономерности движения *микрочастиц* в заданных внешних полях.

Законы квантовой механики носят статистический (вероятностный) характер.

**КВАНТОВАЯ ОПТИКА.** Раздел оптики, изучающий и описывающий явления, в которых при взаимодействии света и вещества существенны их квантовые свойства.

**КВАНТОВАЯ СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА (КВАНТОВАЯ СТАТИСТИКА).** Раздел *статистической физики*, возникший в 20-х годах XX в. после появления квантовых представлений и получивший развитие с созданием квантовой механики. Два основных закона квантовой статистики — *распределение фермионов по квантовым состояниям (распределение Ферми-Дирака)* и *распределение бозонов по квантовым состояниям (распределение Бозе-Эйнштейна)* описывают поведение двух типов равновесных макроскопических систем: идеального газа *фермионов* (электронов, атомов, состоящих из нечетного числа элементарных частиц, и др.) и идеального газа *бозонов* (фотонов, атомов, состоящих из четного числа частиц, и др.).

Общими для этих распределений фундаментальными положениями, отличающими их от распределений *классической статистики*, являются:

1) использование для описания движения частиц законов *квантовой механики*, в том числе *принципа (соотношения) неопределенностей Гейзенберга*;

2) учет принципа тождественности (неразличимости) одинаковых микрочастиц, вследствие чего перестановка любых двух частиц не изменяет состояния системы;

3) дискретность значений ("квантование") многих физических величин (энергия, импульс и др.), имеющая место, если движение частиц системы ограничено в пространстве.

Еще одним отличием поведения систем фермионов от классических систем, а также систем бозонов является свойство фермионов, описываемое с помощью принципа Паули: в одном квантовом состоянии может находиться не более одной частицы.

Обобщенной формулой двух распределений квантовой статистики является выражение

$$\bar{n}_i = \frac{1}{e^{\frac{\epsilon_i - \mu}{kT}} \pm 1}$$

где  $\bar{n}$  — среднее число заполнения частицами квантового состояния с энергией  $\epsilon$ ,  $\mu$  — химический потенциал,  $k$  — постоянная Больцмана,  $T$  — термодинамическая температура. Знак "плюс" относится к ферми-газу, знак "минус" — к бозе-газу.

При низких температурах ферми-газ и бозе-газ являются вырожденными, распределение фермионов и бозонов по состояниям с энергией  $\epsilon$ , сильно отличается как у этих двух квантовых систем друг от друга, так и от классического идеального газа.

При достаточно высоких температурах ферми-газ и бозе-газ являются невырожденными. При этом  $\bar{n} \ll 1$ , поэтому можно пренебречь слагаемым  $\pm 1$  в знаменателе формулы и оба квантовых распределения переходят в классическое *распределение Максвелла-Больцмана*.

**КВАНТОВЫЙ ПЕРЕХОД.** Скачкообразный переход квантовой системы атома, ядра и др. с одного состояния уровня энергии на другое. При переходе с возбужденного состояния  $E_1$  в основное  $E_2$  система излучает *фотон* энергии  $E_1 - E_2$ , а при обратном переходе поглощает фотон такой же энергии (см. *Поглощение и излучение света атомами*).

**КВАРКИ.** Гипотетические частицы с дробным электрическим зарядом ( $1/3$  и  $2/3$  заряда электрона), из которых, как предполагают, состоят элементарные частицы, участвующие в сильных взаимодействиях. Предложил в 1964 г. американский физик Мюррей Гелл-Манн. В свободном состоянии не обнаружены.

**КЕЛЬВИН.** Единица температуры, одна из семи основных единиц в СИ. 1 Кельвин равен  $1/273,16$  термодинамической температуры *тройной точки воды* (см.).

**КЕНОТРОН** [от греч. *kenos* — пустой и (элек)трон]. Вакуумная двухэлектродная лампа, служащая для выпрямления переменного тока.

**КИЛО...** [от греч. *chilioi* — тысяча]. Приставка к наименованию физической величины для образования кратной единицы, равной тысяче исходных единиц. Обозначение — к, например  $1 \text{ км} = 10^3 \text{ м}$ .

**КИЛОГРАММ.** Единица массы, одна из семи основных единиц в СИ. 1 килограмм равен массе международного эталона килограмма. Обозначение — кг.

**КИНЕМАТИКА.** Раздел механики, изучающий и описывающий геометрические свойства механического движения тел путем установления связей между перемещением, скоростью, ускорением движущегося тела и временем.

**КИНЕСКОП** [от греч. *κίνοο* — привожу в движение и ...скоп]. Приемная электронно-лучевая телевизионная трубка для преобразования электрических телевизионных сигналов в видимое изображение.

**КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ,  $W_k$ .** Энергия движущегося тела. В классической механике  $W_k = mv^2/2$ , где  $m$  — масса, а  $v$  — модуль скорости тела. В релятивистской механике она равна разности между полной энергией тела и энергией покоя:

$$W_k = mc^2 - m_0c^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0c^2,$$

где  $c$  — скорость света, а  $m_0$  — масса покоя.

**КИПЕНИЕ.** Явление, заключающееся в интенсивном испарении жидкости во всем ее объеме при определенной для данной жидкости температуре и обусловленном равенством давления насыщенных паров жидкости внешнему давлению. Явление протекает с поглощением тепла.

**КЛАССИФИКАЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ** (определение через ближайший род и видовое отличие). Классифицирование — логическая процедура, заключающаяся в установлении родо-видовых отношений между понятиями или, иначе говоря, отношений между множеством и его подмножествами. Понять смысл классификационного определения проще всего на примерах геометрических понятий. Например, множество квадратов ( $K$ ) есть подмножество множества прямоугольников ( $\Pi$ ). Это отношение выражают символически:  $K \subset \Pi$ , графически — в форме кругов Эйлера (рис. К.1) или словесно — в виде определения через ближайший род и видовое отличие: "Квадрат есть прямоугольник, у которого все стороны равны". Здесь "прямоугольник" — родовое понятие, "квадрат" — видовое понятие и "равенство всех сторон" — видовое отличие.



Рис. К.1. Круги Эйлера

Обратим внимание на следующее обстоятельство. Хотя слова *квадрат* и *прямоугольник* использованы в единственном числе, обозначают они множества: множество квадратов есть подмножество множества прямоугольников, каждому элементу которого свойственно равенство всех его сторон.

Родовое понятие называют *надчинением*, видовое — *подчинением*. Видовые понятия, подчиненные одному родовому, именуют *соподчинением*. Согласно одному из правил классифицирования, *соподчиненные* понятия не пересекаются, т. е. ни один элемент какого-либо из них не принадлежит никакому другому соподчиненному понятию. Из сказанного вытекает важнейшее требование: в определении надо использовать именно *ближайшее* родовое понятие. Несоблюдение его ведет к недоразумениям. Вот характерный пример. Многократно писал, что школьники оказываются в затруднении, когда их спрашивают, является ли *правильный* треугольник *равнобедренным*. Недоумение это вызвано несогласованностью определений этих фигур. Издавна *равнобедренный* треугольник определяют как *треугольник*, у которого две стороны равны, а *правильный* — как *треугольник*, у которого три стороны равны. Согласно *фигуре* определений '*равнобедренный треугольник*' и '*правильный треугольник*' — соподчиненные понятия, и, следовательно, они не пересекаются. Сознательно школьники, конечно, не знакомы с правилами классифицирования, но подсознательно они их усвоили подобно грамматическому строю родного языка. По существу же, поскольку у каждого *правильного* треугольника есть две равные стороны, он является элементом множества *равнобедренных* треугольников. Чтобы избавиться от этого противоречия, нужно изменить одно из определений. Сохранив первое, надо сказать: "*Правильный* треугольник есть *равнобедренный* треугольник, у которого все стороны равны". Сохранив второе, надо изменить первое: "*Равнобедренный* треугольник есть *треугольник*, у которого две, а только две, стороны равны".

Рассматривая родо-видовые отношения, вводят понятия '*содержание понятия*' и '*объем понятия*'. *Содержанием* понятия называют совокупность признаков, характеризующих данное понятие. Например, о каждом *прямоугольнике* можно сказать, что это *плоская* фигура, *ограниченная замкнутой линией*, состоящей из *четырёх* отрезков *прямой*, причем все четыре угла его — *прямые*. Понятие '*квадрат*' богаче содержанием, так как кроме перечисленных признаков ему присущ еще один — равенство всех сторон. *Объемом* понятия называют множество всех предметов мысли, охватываемых данным понятием. *Объем* понятия '*прямоугольник*'

больше объема понятия 'квадрат', так как в него включены не только квадраты, но и все фигуры с четырьмя прямыми углами, но не всеми одинаковыми сторонами. Обобщая, можно сказать, что всегда содержание видового понятия богаче, чем родового, а объем меньше. Эту мысль выражают утверждением: "Содержание и объем понятия находятся в обратном отношении". В связи со сказанным в логике существуют ситуации, с первого взгляда парадоксальные: могут быть понятия одинакового объема, но разного содержания. Например: 'равносторонний прямоугольник' и 'прямоугольный ромб'.

Очевидно, что классификационное определение выполняют через анализ содержания понятий. Вместе с тем используют и *определение через объем понятия*.

**КЛАССИФИКАЦИЯ.** Термин используют в двух значениях.

1. Прием научного мышления, состоящий в делении родового понятия на видовые. Например, множество прямоугольников делят на два подмножества: равносторонних прямоугольников (квадратов) и неравносторонних. 2. Результат (продукт) этого процесса.

**П р и м е ч а н и е.** Для ликвидации двусмысленности целесообразно процесс называть не классификацией, а *классифицированием*.

- **КЛАССИФИЦИРОВАНИЕ.** То же, что *классификация* в первом значении.

**КЛАССИЧЕСКАЯ СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА (КЛАССИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА).** Раздел *статистической физики*, задачей которого является изучение состояний и свойств равновесных систем огромного числа частиц, движение которых может быть достаточно точно описано с помощью законов классической (ньютоновской) механики. Примеры таких систем — обычные газы, сорбупности взвешенных в газе или жидкости твердых частиц (пылинок, броуновских частиц) и др. Классическая статистическая физика была создана во второй половине XIX в. Дж. К. Максвеллом и Л. Больцманом и завершена в начале XX в. Дж. У. Гиббсом.

В классической статистике используются предположения о том, что одинаковые частицы системы различимы, состояния частиц задаются точными значениями их координат и импульсов и характеризующие частицы и систему величины изменяются непрерывно. Эти предположения, как и получаемые с их помощью законы классической статистики — *закон распределения молекул газа по скоростям (распределение Максвелла)*; *закон распределения молекул*

*газа во внешнем потенциальном поле (распределение Бальмана) и распределение Максвелла-Больцмана — имеют ограниченную применимость. Классические распределения для идеальных газов могут рассматриваться как частные случаи законов квантовой статистики для невырожденных систем частиц.*

**КЛАССИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕОРИЯ.** Теория электромагнитных явлений и свойств вещества, построенная на основе модели *электронный газ*. Она позволяет теоретически получить законы, открытые эмпирически, например, *закон Ома*, *закон Джоуля-Ленца*.

**КОГЕРЕНТНОСТЬ** [от лат. *cohaerentia* — сцепление, связь]. Согласованное протекание во времени и в пространстве нескольких колебательных или волновых процессов, проявляющееся при их сложении.

**КОГЕРЕНТНЫЕ ВОЛНЫ.** Волны, источники которых имеют одинаковую частоту, а фазы колебаний совпадают или различаются на некоторую постоянную, не зависящую от времени, величину.

**КОЛЕБАНИЯ.** Физический процесс, характеризующийся той или иной степенью повторяемости во времени. (См. *Электромагнитные колебания*.)

**КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ.** *Механическое движение*, отличающееся тем, что тело движется возвратно-поступательно или возвратно-вращательно, т. е. каждая его точка описывает одну и ту же траекторию в противоположных направлениях.

**КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР.** Электрическая цепь, состоящая из индуктивной катушки и конденсатора. Период электромагнитных колебаний, возникающих в колебательном контуре,  $T = 2\pi\sqrt{LC}$ , где  $L$  — индуктивность катушки,  $C$  — емкость конденсатора. Колебательный контур применяется в качестве резонансной системы во многих радиотехнических устройствах (см. *Осциллятор*).

**КОЛИЧЕСТВО.** См. *Качество и количество*.

**КОЛИЧЕСТВО ВЕЩЕСТВА.** Одна из семи основных физических величин в системе физических величин  $LMT\Theta JN$ , служащей базой для построения международной системы единиц СИ.

**Количество вещества** — скаляр. Введена для оценивания количества структурных элементов в теле или системе тел. Структурными элементами могут быть атомы, молекулы, ионы, электроны и другие частицы или группы частиц. Для системы, содержащей  $N$  частиц одного вида (однородной системы), количество вещества находят по формуле  $\nu = N/N_A$ , где  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup> — постоянная Авогадро. Условное обозначение количества вещества и его размерности —  $N$ . Единица количества вещества — моль (см.).

**КОЛИЧЕСТВО ДВИЖЕНИЯ.** То же, что *Импульс тела*.

**КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ.** *Неполный синоним термина энергия*, используемый для обозначения молекулярного движения (см. *Энергия, Работа*). Рудиментарный термин, напоминающий о тех временах, когда полагали, будто тепловые явления определяются не движением молекул, а перетеканием невесомой жидкости — теплорода.

**КОЛИЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА.** То же, что *электрический заряд*.

**КОЛЛЕКТОР.** Один из двух наружных слоев *биполярного транзистора*. Тип проводимости его совпадает с типом проводимости другого наружного слоя — *эмиттера*. Основные носители эмиттера, вошедшие в базу, постузуют затем в коллектор.

**КОЛЛИМАТОР.** Оптическая система для получения параллельного пучка лучей. Применяется в спектральных и измерительных оптических приборах.

**КОЛЬЦА НЬЮТОНА.** *Интерференционная картина* в форме чередующихся темных и светлых колец, расположенных концентрически вокруг точки касания сферической поверхности плоско-выпуклой линзы с плоскостью. Впервые описаны в 1675 г. английским физиком Исааком Ньютоном.

**КОМПЕНСИРОВАННЫЙ ПОЛУПРОВОДНИК.** Примесный полупроводник, в котором концентрации донорной и акцепторной примесей практически одинаковы, так что его удельная проводимость почти такая же, как *собственного полупроводника*.

**КОМПОНЕНТНЫЙ ЗАКОН.** Закон, отражающий поведение компонента (элемента) системы и не зависящий от местоположения элемента в системе и от ее структуры (см. *Системный подход*).

**КОМПТОН-ЭФФЕКТ.** Явление, состоящее в увеличении длины волны рентгеновских лучей при рассеянии на веществах с легкими атомами, обусловленное упругим взаимодействием фотонов со свободными или слабо связанными электронами.

**КОНВЕКЦИЯ (ТЕРМИЧЕСКАЯ).** Явление, состоящее в перемешивании газа или жидкости при неравномерном нагревании и обусловленное зависимостью плотности газа и жидкости от температуры.

**КОНДЕНСАТОР** [от лат. condensare — сгущать]. Элемент электрической цепи, двухполюсник. Условное графическое обозначение конденсатора с направленными отсчетом напряжения и силы тока (см. *Правила знаков...*) показано на рис. К.2, а. При согласном отсчете напряжения и силы тока  $i$ , как на рис. К.2, а, поведение конденсатора описывают формулы

$$q = C u \text{ или } i = C du/dt,$$

где  $C$  — емкость (2),  $q$  — заряд.

Если же напряжение и сила тока отсчитывать встречно (рис. К.2, б), в формулах должны появиться знаки “минус”:

$$q = -C u \text{ или } i = -C du/dt.$$

Конденсатор является накопителем — элементом, способным аккумулировать электромагнитное движение в виде электрического поля и отдавать его. Применяется в тех случаях, когда необходимо использовать это свойство. Энергия конденсатора выражается формулами:

$$W = \frac{C u^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{q u}{2}.$$

Обратите внимание на своеобразную симметрию формул, выражающих поведение и энергию конденсатора и индуктивной катушки. Они переходят друг в друга при замене переменных:  $q \leftrightarrow \Psi$ ;  $i \leftrightarrow u$ ;  $C \leftrightarrow L$ . Это явление обнаруживается в электрических цепях и в других случаях. Его называют *дуальностью*.



Рис. К.2. Условное графическое обозначение конденсатора и направлений отсчета напряжения и силы тока: согласного (а) и встречного (б)



**КОНДЕНСАЦИЯ** [от лат. *condensatio* — сгущение, уплотнение]. Явление, состоящее в переходе вещества из газообразного состояния в жидкое (твердое) при сближении молекул пара с поверхностью жидкости (твердого тела) и обусловленное притяжением их молекулами, находящимися на поверхности жидкости (твердого тела). Явление сопровождается выделением тепла.

**КОНИЧЕСКИЙ МАЯТНИК.** Тело, подвешенное на вертикальной нити и совершающее колебания в горизонтальной плоскости. Траектория движения тела — окружность, а нить описывает коническую поверхность, с чем и связано название системы.

**КОНКРЕТИЗАЦИЯ.** Прием научного мышления, состоящий в превращении предельной абстракции (см. *Идеализация*) в мысленно конкретное путем соединения в систему предельных абстракций ее элементов, что приводит к построению мысленной модели системы, пригодной для решения разных задач.

**КОНКРЕТНЫЕ СУЩЕСТВИТЕЛЬНЫЕ.** Существительные, служащие именами вещей (ср. *Отвлеченные (абстрактные) существительные*).

**КОНСЕРВАТИВНАЯ СИЛА.** Сила, работа которой не зависит от пути, по которому тело переходит из начального положения в конечное. Например, силы тяготения, упругости, электростатические силы.

**КОНСЕРВАТИВНАЯ СИСТЕМА.** Механическая система, в которой все внешние силы стационарны и потенциальны, а все внутренние силы потенциальны. Для консервативных систем выполняется закон сохранения механической энергии.

**КОНТЕКСТУАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ.** *Определение* — процедура, состоящая в установлении значения слова. Когда вводят новые слова для обозначения неизвестных ранее предметов мысли (или используют в новом значении старые), пользуются уже описанными видами определений. Но как узнают значения давно используемых в языке слов? В принципе очень просто. Накапливают множество предложений или микротекстов, взятых из книг, журналов и газет, содержащих интересующее нас слово, и анализируют их содержательно. В результате становится ясным, что означает слово в каждом предложении. Эту процедуру называют

контекстуальным определением (контекст — языковое окружение слова). Именно этим методом пользуются лингвисты, разрабатывающие толковые словари. В результате контекстуального определения, как правило, оказывается, что слово имеет несколько значений. Их указывают в толковых словарях под номерами (1, 2, 3,...), снабжая примерами из литературных источников.

**КОНЦЕНТРАЦИЯ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА,  $n$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания густоты распределения носителей заряда в объеме проводника и равная отношению числа  $\Delta N$  носителей заряда, находящихся в элементе объема  $\Delta V$ , к объему этого элемента:  $n = \Delta N / \Delta V$ .

**КОРОННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД.** Самостоятельный электрический разряд в газах, происходящий при атмосферном давлении в условиях резкой неоднородности электрического поля (например, вблизи электродов с большой кривизной поверхности: острия, провода и др.).

**КОРПУСКУЛА** [от лат. corpusculum — частичка]. В физике — частица. Чаще используют прилагательное от слова *корпускула* — *корпускулярный*, т. е. обладающий свойствами частицы.

**КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ.** Представление, лежащее в основе квантовой физики, по которому в поведении микрообъектов проявляются как волновые, так и корпускулярные свойства. Так, свет при интерференции, дифракции и поляризации проявляет чисто волновые свойства, а при внешнем фотоэффекте и фотопроводимости — чисто корпускулярные свойства. С другой стороны, электроны в камере Вильсона ведут себя как частицы, а взаимодействуя с монокристаллом, дифрагируют как волна с длиной волны

$$\lambda = h/mV,$$

где  $h$  — постоянная Планка,  $mV$  — импульс электрона (см. *Волны де Бройля*).

**КОСВЕННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ.** Измерение, используемое в тех случаях, когда по каким-либо причинам невозможно применить прямое измерение. Состоит в том, что выявляют величины, связанные с интересующей величиной физическим законом и доступные прямому измерению. Измеряют эти величины, после чего значение искомой величины вычисляют.

**КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ.** Поток атомных ядер, в основном протонов, падающих на Землю из мирового пространства равномерно со всех направлений, и создаваемое им в атмосфере вторичное излучение, в котором встречаются все известные элементарные частицы. Средняя энергия первичных космических лучей  $10^{10}$  эВ. Открыл их в 1912 г. австрийский физик Виктор Франц Гесс, за что был удостоен Нобелевской премии по физике за 1936 г.

**КОСМИЧЕСКИЕ СКОРОСТИ** (первая  $v_1$ , вторая  $v_2$ , третья  $v_3$ ). Минимальные значения начальной скорости тела, при которых это тело: может стать спутником планеты —  $v_1$ ; стать спутником Солнца —  $v_2$ ; покинуть Солнечную систему —  $v_3$ .

**КОЭФФИЦИЕНТ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ.** См. *Коэффициент динамической вязкости и коэффициент кинематической вязкости.*

**КОЭФФИЦИЕНТ ВЯЗКОСТИ.** См. *Коэффициент динамической вязкости и Коэффициент кинематической вязкости.*

**КОЭФФИЦИЕНТ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ,  $\eta$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания сопротивления, возникающего между двумя движущимися друг относительно друга смежными слоями жидкости (газа), равная отношению тангенциальной силы  $F$ , характеризующей это сопротивление, к произведению градиента скорости  $\frac{du}{dz}$  и площади  $dS$  поверхности соприкосновения этих слоев:

$$\eta = \frac{F}{\frac{du}{dz} \cdot dS}$$

**КОЭФФИЦИЕНТ ДИФФУЗИИ,  $D$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности молекул одного вещества проникать в другое вещество при их соприкосновении, и равная отношению массы вещества  $dM$ , перенесенного через поверхность соприкосновения, к произведению градиента плотности вещества  $\frac{dp}{dx}$ , площади  $dS$  поверхности

соприкосновения этих веществ и промежутка времени  $dt$ , в течение которого происходит этот перенос вещества:

$$D = \frac{dM}{\frac{dp}{dx} \cdot dS \cdot dt}$$

**КОЭФФИЦИЕНТ ЖЕСТКОСТИ (УПРУГОСТИ),  $k$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности упругого тела оказывать сопротивление продольному деформированию и равная отношению соответствующей силы  $F$  к деформации  $\Delta x$  тела:  $k = F/\Delta x$ .

**КОЭФФИЦИЕНТ КАЧЕСТВА ИЗЛУЧЕНИЯ.** Безразмерная физическая величина, введенная для количественного оценивания качества излучения и равная отношению, показывающему, во сколько раз радиационная опасность в случае хронического облучения человека для данного вида излучения выше, чем для рентгеновского излучения, при одинаковой дозе облучения.

**КОЭФФИЦИЕНТ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ,  $\nu$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания сопротивления, возникающего между двумя движущимися друг относительно друга смежными слоями жидкости (газа), равная отношению коэффициента динамической вязкости  $\eta$  к плотности  $\rho =$  этой жидкости (газа):  $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ .

**КОЭФФИЦИЕНТ ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ,  $\alpha_L$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности твердого тела увеличивать свою длину при нагревании и равная отношению относительного удлинения этого тела  $\Delta l/l_0$  к изменению его абсолютной температуры  $\Delta T$ :

$$\alpha_L = \frac{\Delta l/l_0}{\Delta T} = \Delta l/l_0 \Delta T.$$

**КОЭФФИЦИЕНТ ОБЪЕМНОГО РАСШИРЕНИЯ,  $\alpha_V$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности тела изменять свой объем при нагревании и равная отношению относительного изменения объема этого тела  $\Delta V/V_0$  к изменению его абсолютной температуры  $\Delta T$ :

$$\alpha_V = \frac{\Delta V/V_0}{\Delta T} = \Delta V/V_0 \Delta T.$$

**КОЭФФИЦИЕНТ ОТРАЖЕНИЯ,  $\rho$ .** Безразмерная физическая величина, введенная для количественного оценивания отражательной способности тела и равная отношению энергии  $W_p$  излучения, отраженного от поверхности тела, к энергии  $W$  излучения, падающего на тело:  $\rho = W_p/W$ .

**КОЭФФИЦИЕНТ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ,  $\alpha$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания интенсивности межмолекулярного взаимодействия в жидкости и равная отношению работы  $\Delta A$ , соответствующей приращению поверхности жидкости при постоянной температуре, к площади  $\Delta S$  этой измененной части поверхности:  $\alpha = \Delta A/\Delta S$ .

**КОЭФФИЦИЕНТ ПОГЛОЩЕНИЯ,  $\alpha$ .** Безразмерная физическая величина, введенная для количественного оценивания поглощательной способности тел и равная отношению энергии  $W_a$  излучения, поглощенного телом, к энергии  $W$  излучения, падающего на тело:  $\alpha = W_a/W$ .

**КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ.** См. *Коэффициент полезного действия тепловой машины.*

**КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВОЙ МАШИНЫ,  $\eta$ .** Безразмерная физическая величина, введенная для количественного оценивания степени энергетического совершенства *тепловой машины* и равная отношению энергии  $A$  полезной работы (1), совершаемой машиной, к количеству теплоты  $Q$ , сообщенной рабочему телу машины внешним источником:  $\eta = A/Q$ .

Теоретический (практически недостижимый) КПД тепловой машины выражает формула

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где  $T_1$  — температура нагревателя,  $T_2$  — температура холодильника (в градусах Кельвина).

Коэффициент полезного действия используют для оценивания энергетического совершенства не только тепловых, но и других машин и механизмов. В общем случае он равен отношению энергии на выходе машины к подводимой энергии.

**КОЭФФИЦИЕНТ ПРОПУСКАНИЯ,  $\tau$ .** Безразмерная физическая величина, введенная для количественного оценивания сте-

пени прозрачности тел и равная отношению энергии  $W_c$  излучения, прошедшего через тело, к энергии  $W$  излучения, падающего на тело:  $\tau = W_c/W$ .

**КОЭФФИЦИЕНТ РАЗМНОЖЕНИЯ НЕЙТРОНОВ,  $K_{разм}$**   
Безразмерная физическая величина, введенная для количественного оценивания возможности протекания саморазвивающейся ядерной реакции и равная отношению числа нейтронов в одном поколении к их числу в предыдущем поколении.

**КОЭФФИЦИЕНТ СЖИМАЕМОСТИ ЖИДКОСТИ,  $\beta$**   
Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности жидкости изменять свой объем  $V$  (плотность  $\rho$ ) под действием всестороннего давления  $P$  (сжимаемости) и равная отношению относительного изменения объема  $\Delta V/V$  (плотности  $\Delta\rho/\rho$ ) к изменению давления  $\Delta P$ .  $\beta = \Delta V/V\Delta P$ .

**КОЭФФИЦИЕНТ СТЬЮДЕНТА.** Множитель  $k(\alpha, n)$ , определяющий размер отклонения  $\Delta x$  измеряемой физической величины  $x$  от ее действительного значения  $X_D$  в долях среднего квадратического отклонения  $\sigma_{\Delta x}$  среднего значения  $\bar{x}$  в зависимости от доверительной вероятности  $\alpha$  и числа измерений  $n$ , причем  $\Delta x = k(\alpha, n) \sigma_{\Delta x}$ . Значения коэффициентов Стьюдента при заданных  $\alpha$  и  $n$  табулированы.

**КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ,  $K$**   
Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности материалов проводить тепло, равная отношению количества теплоты  $dQ$ , перенесенного через поперечное сечение образца, к произведению градиента температуры  $\frac{dT}{dx}$ , площади  $dS$  сечения этого образца и промежутка времени  $dt$ , в течение которого происходил перенос тепла:

$$K = \frac{dQ}{\frac{dT}{dx} \cdot dS \cdot dt}$$

**КОЭФФИЦИЕНТ ТРАНСФОРМАЦИИ,  $K_{тр}$**   
Безразмерная физическая величина, введенная для количественного оценивания различия амплитуд напряжений первичной и вторичной обмоток трансформатора и равная отношению числа витков пер-

вичной обмотки трансформатора к числу витков вторичной обмотки. При  $K_{тр} < 1$  трансформатор называют повышающим, а при  $K_{тр} > 1$  — понижающим.

**КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ,  $\mu_k$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания свойства тела оказывать противодействие накатыванию цилиндрических или шарообразных тел, катящихся без скольжения по его плоской или изогнутой поверхности, и равная отношению момента силы трения качения  $F_{тр}$   $R$  к силе нормального давления  $N$ :  
$$\mu_k = (F_{тр} R) / N.$$

**КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ ПОКОЯ,  $\mu_n$ .** Безразмерная физическая величина, введенная для количественного оценивания свойства пары соприкасающихся тел оказывать противодействие движению друг относительно друга при отсутствии движения и равная отношению максимальной силы трения  $F_{тр. макс.}$ , достигаемой к моменту начала движения, к силе нормального давления  $N$ :

$$\mu_n = F_{тр. макс.} / N.$$

**Примечание.** Указание "достигаемой к моменту трогания" имеет принципиальное значение. Дело в том, что отношение  $F_{тр}/N$  при  $F_{тр} < F_{тр. макс.}$  может принимать любое значение от 0 до  $\mu_n$  и, следовательно, им нельзя оценивать свойство соприкасающейся пары. Начав скользить, тело движется при силе трения, меньшей, чем  $F_{тр. макс.}$  Следовательно, коэффициент трения скольжения меньше коэффициента трения покоя:  $\mu < \mu_n$ .

**КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ,  $\mu$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания качества обработки трущихся поверхностей и равная отношению силы трения  $F_{тр}$  движущегося тела к нормальной реакции  $N$ :  
$$\mu = F_{тр} / N.$$

**КРАЕВОЙ УГОЛ (угол смачивания),  $\Theta$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания степени смачивания поверхности твердого тела жидкостью и равная углу между поверхностью твердого тела и касательной к поверхности граничащей с ним жидкости. При практических расчетах можно пользоваться формулой  $\cos \Theta = (\sigma_{32} \sigma_{31}) / \sigma_{12}$ , где  $\sigma_{32}$ ,  $\sigma_{31}$ ,  $\sigma_{12}$  — значения коэффициентов поверхностного натяжения на границе раздела твердое тело — газ, твердое тело — жидкость, жидкость — газ соответственно.

**КРАТНЫЕ ЕДИНИЦЫ физических величин.** Единицы, которые в целое число раз больше установленной единицы физической величины (см. Дека..., Гекто..., Кило..., Мега..., Гига..., Тера...).

**КРИСТАЛЛ** [от греч. *krystallos* — в первоначальном значении “лед”]. Равновесное состояние твердого тела, в котором его микроструктура характеризуется почти периодическим расположением атомов, а его форма имеет вид многогранника.

**КРИТИЧЕСКАЯ МАССА.** Масса ядерного горючего, необходимая для начала и поддержания цепной ядерной реакции. Значение критической массы зависит от химического состава образца, его формы и других факторов.

**КРИТИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРА,  $T_{кр}$ .** Температура вещества (или смеси веществ), находящегося в критическом состоянии.

**КРИТИЧЕСКИЙ ОБЪЕМ.** Объем вещества в его критическом состоянии.

**КРИТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ,  $P_{кр}$ .** Давление вещества (или смеси веществ), находящегося в критическом состоянии.

**КРИТИЧЕСКОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ.** Характерное значение напряженности магнитного поля, выше которого происходит полное или частичное проникновение поля в сверхпроводник и вещество становится обычным проводником.

**КРИТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ.** Предельное состояние равновесия двухфазной системы, в котором обе существующие фазы становятся тождественными по свойствам. Например, в критическом состоянии теряется различие в свойствах между жидкостью и ее паром.

**КРУГОВОЙ ПРОЦЕСС (цикл).** Термодинамический процесс, при котором система, претерпев ряд изменений, возвращается в исходное состояние.

**КРУТИЛЬНЫЕ ВЕСЫ.** Прибор для измерения малых сил и моментов сил. Крутильные весы простейшей конструкции состоят из вертикальной нити, на которой подвешен легкий уравновешенный рычаг. Угол поворота рычага в горизонтальной плоскости



пропорционален измеряемой силе (моменту силы). Изобретен в 1784 г. французским инженером и физиком Шарлем Отюстеном Кулоном.

**КРУЧЕНИЕ.** *Деформация* тела, происходящая при повороте одного из его концов относительно другого. При кручении отдельные слои тела, перпендикулярные оси поворота, остаются параллельными, но поворачиваются друг относительно друга на некоторый угол.

**КУЛОН.** Единица электрического заряда и потока электрического смещения в СИ. Название дано в честь французского инженера и физика Шарля Отюстена Кулона. 1 Кулон — электрический заряд, проходящий через поперечное сечение проводника за 1 с при силе тока в 1 А. Обозначение — Кл.

**КУРВИМЕТР** [от лат. *curvus* — кривой и ...метр]. Прибор для измерения длины кривых линий на картах и планах.

# Л

**ЛАЗЕР** (от англ. laser, составленного из первых букв Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation — усиление света с помощью индуцированного излучения). Квантовый генератор электромагнитного излучения в оптическом диапазоне. Источник монохроматического излучения, обладающего узкой направленностью и значительной удельной мощностью. Применяются в оптической локации, для обработки твердых и тугоплавких материалов, в хирургии, в спектроскопии и голографии, для нагрева плазмы до температуры  $\sim 2 \cdot 10^7$  К (ср. *Мазер*).

**ЛАМПА.** Термин используют в двух значениях. 1. Источник света. 2. Электровакуумный прибор.

**ЛАМПА НАКАЛИВАНИЯ.** Источник света, в котором свет испускается тугоплавким проводником, помещенным в специальную колбу, заполненную инертным газом, и накаливаемым электрическим током. Изобрели независимо русский инженер А. Н. Лодыгин и американский изобретатель Томас А. Эдисон.

**ЛАТР.** Лабораторный автотрансформатор.

**ЛЕПТОНЫ.** Общее название элементарных частиц, не участвующих в сильных взаимодействиях. К лептонам относятся электрон, тяжелый лептон, позитрон, нейтрино, электрически взаимодействующий мюон и их античастицы.

**ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКИМИ ВЕЛИЧИНАМИ.** Экспериментальную зависимость двух физических величин часто стремятся представить в виде линейной зависимости  $y = ax + b$ , где  $x, y$  — непосредственно измеренные или преобразованные величины,  $a, b$  — параметры зависимости, значения которых должны быть измерены (вычислены на основании результатов измерений  $x$  и  $y$ ). Это связано с тем, что линейная зависимость может быть обработана на основе надежных методов, существующих в математической статистике. Параметры линейной зависимости и их погрешности определяют различными методами, в частности, методом парных точек.

Проведение линеаризации можно рассмотреть на примере зависимости  $v = k \cdot u^2$ , в которой попарно измерены значения

величин  $v$  и  $a$ , а  $k$  и  $z$  являются параметрами. После логарифмирования она принимает вид  $\ln v = z \ln a + \ln k$ , где можно обозначить  $y = \ln v$ ,  $x = \ln a$ ,  $a = z$ ,  $b = \ln k$ . Таким образом, преобразованная зависимость имеет линейный вид  $y = ax + b$  и допускает статистическую обработку как обычная линейная зависимость. После определения средних значений и погрешностей параметров преобразованной зависимости их используют для пересчета к параметрам первоначальной зависимости.

**ЛИНЕЙНАЯ ПЛОТНОСТЬ ЗАРЯДА**,  $\tau$  Скалярная физическая величина, введенная для количественного описания густоты расположения заряженных частиц вдоль нитеобразного (цилиндрического) тела, и равная отношению заряда  $dq$  частиц, размещенных на элементе длины  $dl$  тела, к длине этого элемента:

$$\tau = \frac{dq}{dl}.$$

**ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ СВЕТ**. То же, что плоско поляризованный свет.

**ЛИНЕЙЧАТЫЕ СПЕКТРЫ**. Спектры испускания или спектры поглощения, состоящие из отдельных узких спектральных линий. (См. *Атомные спектры*).

**ЛИНЗА** [от нем. Linse — чечевица]. Прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими или сферической и плоской поверхностями. Линза называется тонкой, если ее толщина значительно меньше радиуса кривизны поверхностей. Различают два основных типа линз: собирающие и рассеивающие. Собирающие линзы превращают параллельный пучок лучей в сходящийся, рассеивающие линзы превращают параллельный пучок лучей в расходящийся.

**ЛИНИИ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ**. *Иконическая модель* магнитного поля, введенная для его наглядного изображения и построенная так, что касательные к линиям магнитной индукции в каждой точке совпадают с направлением вектора магнитной индукции моделируемого поля, а густота их — с модулем его числового значения.

**ЛИНИИ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ**. *Иконическая модель* магнитного поля, введенная для его наглядного изображения и построенная так, что касательные к линиям в каж-

дой точке совпадают с направлением вектора напряженности моделируемого поля, а густота их — с модулем его числового значения.

#### **ЛИНИИ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ.**

*Иконическая модель* электрического поля, введенная для его наглядного изображения и построенная так, что касательные к линиям в каждой точке совпадают с направлением вектора напряженности моделируемого поля, а густота их — с модулем его числового значения.

**ЛИНИИ ФРАУНГОФЕРА.** Линии поглощения в спектре Солнца.

#### **ЛИНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СМЕЩЕНИЯ.**

*Иконическая модель* электрического поля, введенная для его наглядного изображения и построенная так, что касательные к линиям в каждой точке совпадают с направлением вектора электрического смещения моделируемого поля, а густота их — с модулем их числового значения.

**ЛУПА** [от фр. *loupe*]. Собирающая линза или система линз с небольшим фокусным расстоянием. Служит для рассматривания увеличенных изображений малых объектов.

**ЛУЧ.** *Иконическая модель* волны, введенная для ее наглядного изображения и построенная как линия, касательная к которой в каждой точке совпадает с направлением распространения волны в этой точке.

**ЛУЧЕИСПУСКАНИЕ.** Передача теплоты между нагретыми телами, обусловленная процессами испускания, переноса, отражения, поглощения и пропускания электромагнитного излучения.

**ЛЮКС.** Единица освещенности в СИ. 1 люкс — освещенность поверхности в  $1 \text{ м}^2$ , по которой равномерно распределен световой поток в 1 лм. Обозначение — лк.

**ЛЮКСМЕТР** [от лат. *lux* — свет и ...метр]. Прибор для измерения освещенности.

**ЛЮМЕН.** Единица светового потока в СИ. 1 люмен — световой поток, испускаемый точечным источником в телесном угле в 1 ср при силе света в 1 кд. Обозначение — лм.

**ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ.** Явление, состоящее в испускании электромагнитного излучения под воздействием внешних возбудителей и обусловленное переходом атомов или молекул вещества из возбужденного состояния в основное. Внешний возбудитель: свет — фотолуминесценция; электрическое поле — электролюминесценция; поток электронов — катодолуминесценция; химическая реакция — химилуминесценция; механическое действие — триболуминесценция; радиоактивное излучение — радиолуминесценция; рентгеновские или гамма-лучи — рентгенолюминесценция.

**ЛЮМИНОФОРЫ** [от лат. *lumen* — свет и греч. *phos* — несущий]. Вещества, преобразующие движение материи той или иной формы в световое излучение. Иными словами, вещества, способные люминесцировать. Используются для экранов электронно-лучевых трубок, в лампах дневного света и др.

# М

**МАГИЯ СЛОВ.** *Психологическое явление, состоящее в том, что неправильно примененная языковая форма навязывает адресату сообщения ложное понимание (см. Тирания формы).*

**МАГНЕТИЗМ.** Раздел физики, изучающий и описывающий магнитные явления.

**МАГНЕТИКИ.** Вещества, которые намагничиваются в магнитном поле, т. е. добавляют к внешнему полю собственное, направленное встречно (диамагнетики) или согласно (парамагнетики и ферромагнетики). Все вещества являются магнетиками. Взаимодействие веществ с магнитным полем обусловлено тем, что входящие в их состав элементарные частицы (электроны и нуклоны), а также ядра атомов, атомы в целом и молекулы обладают магнитными свойствами.

**Примечание.** Понятие 'магнетики' введено по недоразумению. Оно имело бы смысл при условии существования 'немагнетиков' — веществ, не реагирующих на магнитное поле. Однако таких веществ в природе нет.

**МАГНИТ (постоянный магнит).** Предварительно намагниченный ферромагнитный образец, способный длительное время сохранять остаточную намагниченность. Используется в качестве источника магнитного поля в различных технических приборах и устройствах.

**МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ,  $\chi$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности вещества намагничиваться в магнитном поле и равная отношению модуля намагниченности  $J$  к напряженности  $H_0$  внешнего магнитного поля  $\chi = \frac{J}{H_0}$ .

**МАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ.** То же, что *индукция магнитного поля.*

**МАГНИТНАЯ ЛОВУШКА.** Область магнитного поля, в которой заряженные частицы могут удерживаться длительное время. Создается специальным подбором и взаимным расположением источников магнитного поля и используются, например, для

удержания высокотемпературной плазмы в опытах по управляемому термоядерному синтезу.

**МАГНИТНАЯ ПОСТОЯННАЯ,  $\mu_0$ .** Скалярная физическая величина, введенная для удобства записи законов магнитного поля в рационализированной форме, соответствующей международной системе единиц, и равная  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м.

**МАГНИТНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ,  $\mu$ .** Безразмерная скалярная величина, введенная для количественного оценивания магнитных свойств изотропного материала и равная отношению магнитной индукции  $B_c$  в материале к магнитной индукции  $B_0$  в вакууме:  $\mu = \frac{B_c}{B_0}$ .

**МАГНИТНОЕ ПОЛЕ.** Физическое поле, одно из проявлений *электромагнитного поля*. Существует в пространстве, окружающем постоянные магниты и электрические токи. Оказывает механическое действие на все объекты, кроме покоящихся частиц, не имеющих магнитного момента.

**МАГНИТНЫЙ ГИСТЕРЕЗИС.** См. *Гистерезис магнитный*.

**МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ КОНТУРА С ТОКОМ,  $P_m$ .** Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания магнитных свойств электрического тока, текущего в контуре, и равная по модулю произведению силы тока  $I$  и площади  $S$ , ограниченной контуром:  $P_m = |I \cdot S|$ . Направление вектора магнитного момента определяется правилом правого винта относительно направления тока в контуре.

**МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ ЭЛЕКТРОНА В АТОМЕ,  $P_e$ .** Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания магнитных свойств электрона и равная половине произведения заряда  $e$ , скорости  $v$  и радиуса  $r$  орбиты электрона в атоме:  $P_e = \frac{1}{2} e [v \cdot r]$ .

**МАГНИТНЫЙ ПОТОК.** То же, что *поток вектора магнитной индукции*.

**МАГНИТОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ.** Магнитное поле, не изменяющееся с течением времени. Создается постоянными магнитами и постоянными электрическими токами.

**МАГНИТОСТРИКЦИЯ.** Явление, состоящее в изменении размеров и формы вещества при помещении его в магнитное поле и обусловленное ориентацией электронных орбиталей атомов вещества в магнитном поле.

**МАЗЕР** [от англ. *maser*, составленного из первых букв выражения *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation* — усиление микроволн с помощью индуцированного излучения]. Квантовый генератор электромагнитного излучения в сантиметровом диапазоне. Излучение мазера характеризуется высокой монохроматичностью и узкой направленностью. Мазеры применяют в радиосвязи, радиострономии, радиолокации, а также используют в качестве генераторов стабильных частот. Первый мазер был создан в 1954 г. у нас в стране Н.Г. Басовым и А.М. Прохоровым и независимо от них — американским физиком Ч.Х. Таунсом. Всем троим за создание мазера была присуждена в 1964 г. Нобелевская премия по физике (ср. *Лазер*).

**МАКРО...** [от греч. *makros* — длинный, большой]. В сложных словах обозначает принадлежность к большим предметам (например, макроструктура).

**МАНОМЕТР** [от греч. *manos* — неплотный и *metreo* — измеряю]. Прибор для измерения давления газов (выше атмосферного) и жидкостей. В гидравлических манометрах давление измеряется по высоте столба уравнивающей его жидкости. В механических — по размеру деформации упругого элемента. Существуют и другие виды манометров.

**МАССА.** Одна из семи физических величин в системе физических величин *LMТЮЖН*, служащей базой для построения международной системы единиц СИ. Масса — скаляр. Введена для количественного оценивания инертности и гравитационности вещей. Измеряется путем сравнения их с мерами массы или другими средствами измерений. При изготовлении рабочих гирь и других средств измерений массы обеспечивают надлежащую точность путем передачи им единицы массы от образцовых мер, получивших ее в ко-



нечном счете от *эталона массы*. Условное обозначение массы и ее размерности — *M*. Единица массы — килограмм (кг).

**МАССИВНОЕ ТЕЛО (ГРУЗ).** Элемент механической системы, поведение которого можно приближенно описать вторым законом Ньютона:

$$F = ma.$$

Груз является *накопителем*, способным аккумулировать механическое движение в кинетической форме. Энергия груза выражается формулами:

$$W = \frac{mv^2}{2} = \frac{I^2}{2m} = \frac{Im}{2},$$

где *I* — импульс силы.

Груз — дуальный аналог *упругого тела* (пружины) (см. *Дуальность*).

**МАССОВОЕ ЧИСЛО, A.** Скалярная физическая величина, введенная для оценивания количества нуклонов (протонов и нейтронов) в ядрах какого-либо химического элемента и равная атомной массе этого элемента, округленной до ближайшего целого.

**МАСС-СПЕКТРОГРАФ.** Прибор для измерения атомных и молекулярных масс. Действие масс-спектрографа основано на разделении по значениям их масс предварительно ионизированных атомов и молекул в магнитном или электрическом полях. Регистрация ионов осуществляется по потемнению фоточувствительного слоя.

**МАТЕМАТИКА** [от греч. *mathmatika* от *mathma* — значение, наука]. Наука, последующая пространственными формами, количественными отношениями, аксиоматические структуры и вопросы доказательств путем построения абстрактных моделей реального мира.

Одну из недавних статей видный российский математик академик РАН В.И. Арнольд начал словами: «Математика — это раздел физики». С точки зрения физика, математику можно трактовать как науку, разрабатывающую средства для построения абстрактных (*математических*) моделей физической реальности.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ.** *Мысленная модель*, построенная с помощью математических понятий и выраженная математическими символами.

Понятие *‘математическая модель’* хорошо знакомо со школы, хотя на уроках, возможно, этот термин и не был назван. Тем не менее, задание к любой текстовой задаче про бригады землекопов, трубы бассейна или встречи поездов и т. п. вместо *‘решить задачу’* можно было бы сформулировать приблизительно так: *‘разработать и исследовать математическую модель’*. При этом разработка математической модели сводится к составлению либо уравнения, которое требуется решить, либо плана действий (задачи в 2, 3 и т. д. действия), который требуется реализовать. А исследование математической модели в школьном курсе математики — к подстановке данных из условия задачи в уравнение или к выполнению намеченного плана действий с этими данными. Школьный курс физики, по сути дела, в значительной мере состоит в построении и исследовании абстрактных математических моделей действительного мира.

Но для того чтобы построить и исследовать математическую модель задачи (*решить задачу*), школьник должен изучить необходимые для этого математические теории. Так, для решения названных выше текстовых задач необходимо знать основы арифметики и алгебры, уметь решать простейшие алгебраические уравнения. Иными словами, для успешного построения и исследования математических моделей человек должен иметь необходимый *‘строительный материал’* — математический аппарат и уметь его применять. Можно провести такое образное сравнение: чтобы успешно развивалось строительство, необходимо производство строительных материалов. Вот *математика* как раз и является таким *‘производством строительных материалов’* для здания науки. При этом математика *‘производит’* как общепотребительные *‘строительные материалы’*, так и *‘строительные материалы’* по *‘специальным заказам’*. Как у любого производства, у математики есть и внутренние потребности. В этом случае ученые-математики *‘производят’* продукцию для внутренних нужд. Иногда эта продукция находит потребителя и в других сферах человеческой деятельности.

Таким образом, можно сказать, что *математика* имеет дело с материалом для построения математических моделей. Математики разрабатывают и исследуют средства для построения математических моделей разной степени сложности. Представляется, что причиной столь высокой эффективности математики (особенно в физике) является метод, который она предлагает другим наукам. Этот метод можно охарактеризовать как *математическое моделирование*.

К сожалению, при изучении математики в школе (да и в вузе) освещению вопросов математических моделей и математического моделирования не уделяют должного внимания. В результате математика с ее предельно абстрактными предметами мысли в глазах школьника или студента "отрывается от земли" и "подвисает в воздухе". Это препятствует сознательному овладению учащимися математическими понятиями и методами, не способствует пониманию роли и места математики в современном мире, в науке и культуре.

**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МАЯТНИК.** Мысленная модель маятника, введенная для решения задач о его движении и построения как система, состоящая из материальной точки массы  $m$ , подвешенной на нерастяжимой невесомой нити (или стержне) и колеблющейся в вертикальной плоскости под действием тяготения (см. *Маятник*, ср. *Конический маятник*).

**МАТЕРИАЛ.** Термин *материал* используют чрезвычайно широко для обозначения простого или (значительно чаще) сложного вещества, используемого в материальном производстве или иной деятельности людей. Материалами называют и природные (непереработанные) вещества (например, нефть, уголь, железную руду, медную руду), и вещества, прошедшие более или менее глубокую обработку (например, горюче-смазочные материалы: бензин, дизельное топливо, технические масла, смазки). Материалами называют также полуфабрикаты — продукты производства, в природе не встречающиеся, такие как чугун, сталь, алюминий (конструкционные материалы), текстолит, порошок, пенопласт и т. п. Иногда материалами называют продукты производства, готовые к употреблению. Например, вата, бинты, марлевые салфетки — перевязочные материалы.

**МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА.** Мысленная модель тела, введенная для решения задач о его движении и взаимодействии с другими телами и построения так, что пренебрегают формой, размерами и структурой тела, сохраняя лишь свойства *инертности* и *гравитационности*.

**МАТЕРИНСКОЕ ЯДРО.** Атомное ядро, после радиоактивного распада которого или в результате ядерной реакции с которым, образуется другое ядро (дочернее) по отношению к которому оно и является материнским.

**МАТЕРИЯ.** Объективная реальность, существующая независимо от человеческого сознания, познаваемая и отражаемая им. Различают два вида материи: *вещество и поле*.

**МАТЕРИЯ И СОЗНАНИЕ.** Парные фундаментальные понятия, то же самое, что объективная реальность и субъективная реальность соответственно (см. *Предмет мысли*). Идея материальности мира, в принципе, очень проста. О ней не было бы нужды говорить, если бы так называемые субъективные идеалисты не утверждали, будто все окружающее существует лишь в их сознании, т. е. является плодом их воображения. Материалисты же считают, что галактики, Солнечная система, Земля, континенты и моря, реки, другие люди, одним словом, все, что мы воспринимаем нашими анализаторами (органами чувств), существует само по себе, вне сознания каждого человека. Нашим предкам следование этой идее (неосознанное, конечно) обеспечило выживание в процессе естественного отбора. Особи, воспринимавшие мир иначе (например, полагавшие, что саблезубые тигры существуют лишь в их воображении), погибали в борьбе за существование и не давали потомства.

Наряду с восприятием внешнего, объективного, мира каждый человек осознает существование собственного внутреннего (субъективного, психического) мира. Наблюдение собственного внутреннего мира (чужой нам непосредственно недоступен) вызывает много вопросов, по-видимому, даже больше, чем изучение Вселенной.

В настоящее время в науке общепризнано, что психика, сознание, душа, субъективная реальность (все это — синонимы) — слова, обозначающие *функцию, свойства* головного мозга, а не субстанцию, вещество (иначе говоря, слово *психика* — *аттачечное существительное*).

Одна из способностей психики — отображение объективного мира. Успехи биологического вида *Ното карипс* в борьбе за существование свидетельствуют о том, что с этой задачей психика справляется хорошо. Изучение "конструкции" мозга позволило нейропсихологам узнать, какие отделы мозга ответственны за те или иные психические действия, причем знания эти непрерывно расширяются и углубляются. Вполне понятно, например, как проходит нервные сигналы, когда человек обжегся и отдергивает руку. Не составляет большого труда изготовить робот, имитирующий такое действие человека. Но... человек при этом испытывает боль. Что это такое? Никакой связи с механизмом прохождения нервных импульсов в этом усмотреть невозможно. Таким образом,

уже самое элементарное ощущение оказывается непонятным. По-видимому, непонятность психики является одной из главных (если не главной) причин того, что даже некоторые ученые-естественники верят в существование "нематериальной души" или "высшего разума". Однако непонятность эта имеет рациональное объяснение. Вот оно.

Неразумно было бы требовать от коровы, чтобы весь корм она превращала в молоко — у нее есть внутренние нужды по обеспечению жизнедеятельности собственного организма. Аналогично любая управляющая система нуждается в самоуправлении. Поэтому она должна быть сложнее управляемой системы: наряду с информативной моделью последней (см. *Модели в науке*) она должна иметь управляющее устройство и программу работы. Точно так же возникающая система должна быть сложнее возникаемой. Но для познания человеческой психики нет ничего сложнее человеческой психики... Отсюда, как мы полагаем, следует, что получить о психике столь же полное представление, как об объективном мире, никогда не удастся. С этим необходимо смириться и не искать в психике ничего сверхъестественного.

**МАШИНА КАРНО.** Мысленная модель тепловой машины, введенная для вычисления ее максимального коэффициента полезного действия при конкретных условиях и построенная как обратимая тепловая машина, рабочее тело которой, имеющее объем  $V_1$ ; подключают к нагревателю с температурой  $T_1$  и изотермически расширяют до объема  $V_2$ , затем отключают его от нагревателя и адиабатически расширяют до объема  $V_3$ , при котором температура рабочего тела совпадает с температурой  $T_2$  охладителя холодильника, и подключают к нему; после чего изотермически сжимают его до такого объема  $V_4$ , при котором можно отключить рабочее тело от охладителя и сжать его адиабатически до объема  $V_1$  и температуры  $T_1$ .

**МАЯТНИК.** Твердое тело, совершающее колебания около неподвижной точки или вокруг оси. Используется в различных приборах и устройствах: в маятниковых часах, в приборах для измерения ускорения свободного падения, в акселерометре и др. (См. *Математический маятник, Конический маятник.*)

**МГНОВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПЕРЕМЕННОЙ ВЕЛИЧИНЫ.** Значение переменной величины в определенный момент времени.

**МЕГА...** [от греч. *megas* — большой]. Приставка к наименованию физической величины для образования кратной единицы, равной миллиону исходных единиц. Обозначение: М, например, 1 МВт (мегаватт) =  $10^6$  Вт.

**МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН СИ.** См. *Единицы физических величин*.

**МЕЗОНЫ** [от греч. *mesos* — средний]. Группа нестабильных элементарных частиц. Название связано с тем, что массы первых открытых мезонов имели промежуточное значение между значениями масс электрона и протона (см. *Пи-мезоны*, *Мю-мезоны*).

**МЕМБРАНА** [от лат. *membrana* — кожица, перепонка]. Гибкая тонкая пленка, натянутая на каркасе (например, кожа, натянутая на барабане).

**МЕНИСК** [от греч. *meniskos* — полумесяц]. Искривленная поверхность жидкости вблизи границы ее соприкосновения с твердым телом (например, у стенок сосуда). В *капиллярах* мениск имеет сферическую форму — вогнутую при *смачивании* и выпуклую — при *несмачивании*.

**МЕРА.** См. *Мера физической величины*.

**МЕРА ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ** (мера величины, мера). *Средство измерений*, позволяющее получить значение измеряемой величины путем непосредственного (без преобразования формы движения материи) сравнения с ней изучаемой вещи.

Примеры мер: масштабные линейки, концевые меры, транспортные гири, нормальные химические элементы (меры электрического напряжения), высокоточные резисторы и конденсаторы.

**Примечание.** Слово *мера* многозначно. Часто его применяют в значении "физическая величина, введенная для количественного оценивания такого-то свойства вещи или такого-то отношения вещей". Например: "Масса — мера инертности тела". Нередко также им обозначают только вторую часть приведенного выше предложения: "средство, используемое для количественного оценивания...". Например: "Масса — физическая величина, являющаяся мерой инертности тела".

Поскольку в метрологии термин *мера* закреплен за одним из видов средств измерений (см. выше), использовать его иначе не следует. Определение массы надо строить так: "Масса — физическая величина, введенная для количественного оценивания инертности тела" (в крайнем случае, ради краткости, можно сказать: "Масса — физическая величина, служащая мерой инертности тела").

**МЕТАЛЛЫ.** Вещества, обладающие высокой теплопроводностью и электропроводностью, которые обусловлены наличием в их структуре большого числа свободных электронов. Металлами являются свыше 80 простых веществ.

**МЕТАСТАБИЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ** [от греч. meta — переход к чему-либо другому и лат. stabilis — устойчивый]. Состояние неустойчивого равновесия термодинамической системы, в котором она может находиться длительное время, не переходя в более устойчивое (при данных условиях) состояние (см. *Перегретая жидкость, Переохлажденная жидкость, Перенасыщенный пар*).

**МЕТОД ПАРНЫХ ТОЧЕК.** Результатом некоторых экспериментов является линейная зависимость  $y = ax + b$ , полученная непосредственно в процессе измерений или преобразованная к такому виду путем *линеаризации*. Для оценивания средних значений параметров и определения их *погрешностей* удобен метод парных точек. Он заключается в следующем. Из экспериментальной зависимости, содержащей  $n$  значений  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ , выбирают пары значений, в которых аргументы  $x$  отстоят друг от друга примерно одинаково. Для повышения точности расчетов это расстояние выбирают максимально возможным. Через каждую пару  $(x_p, y_p), (x_q, y_q)$  может быть проведена линейная зависимость, параметры  $a_p$  и  $b_p$  которой находят из системы уравнений  $y_i = a_p x_i + b_p$  и  $y_j = a_q x_j + b_q$ ;  $a_p = \frac{y_i - y_j}{x_i - x_j}$ ,  $b_p = \frac{y_i \cdot x_j - y_j \cdot x_i}{x_i - x_j}$ . Из набора параметров  $a_p$  и  $b_p$  для всех линейных зависимостей, проходящих через выбранные пары, определяют средние значения параметров, их *среднеквадратичные отклонения* и *погрешности*, которые принимают за окончательные результаты косвенного измерения искоемых значений параметров  $a$  и  $b$ .

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ.** Идеи наивысшего уровня обобщения, сформировавшиеся в процессе развития науки и являющиеся, наряду с законами сохранения, *элементами абсолютной истины*. Это позволяет использовать их для контроля возникающих гипотез и отвергать гипотезы, противоречащие им, даже не производя детального анализа. К числу методологических принципов относят *принципы материальности, познаваемости, причинности, воспроизводимости, наблюдаемости, разрешимости, близости действия, "бритвы Оккама", соответствия, соотношения теории с практикой и доказательности* (см. *Элементы абсолютной истины*).

**МЕТР.** Единица длины, одна из семи основных единиц в СИ. 1 м равен длине пути, пройденного светом в вакууме за  $1/299\,792\,458$  секунды.

...**МЕТР** [от греч. *metron* — мера, *metreo* — измеряю]. Вторая часть сложных слов, обозначающая: 1) протяжение во столько метров или в такую часть метра, сколько указано в первой части слова, например километр, микрометр; 2) прибор для измерения того, что указано в первой части слова, например ваттметр, вольтметр, омметр.

**МЕТРОЛОГИЯ** [от греч. *metron* — мера и *logos* — слово, понятие, учение]. Наука об измерениях, методах обеспечения их повсеместного единства и способах достижения требуемой точности.

**МЕХАНИКА.** Раздел физики, изучающий и описывающий механическое движение тел и происходящих при этом взаимодействий. Механику подразделяют на кинематику, статику и динамику.

**МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА.** Система, главной особенностью которой является механическое движение. К числу естественных механических систем принадлежит Солнечная система и другие небесные образования, изучаемые астрономами, а также газы. Подавляющее большинство механических систем, с которыми люди имеют дело, искусственные. Это, например, сооружения и машины, используемые в производстве, на транспорте и в быту.

**Примечание.** В сборнике рекомендуемых терминов Комитета научно-технической терминологии АН СССР "Теоретическая механика" (Вып. 102, 1984) механическая система определена как "Любая совокупность материальных точек" (п.8). Так же или аналогично определяют ее и авторы учебников. Эта формулировка непригодна по двум причинам. Во-первых, естественнонаучные и технические знания нужны людям для того, чтобы успешно взаимодействовать со средой. Поэтому предметом их изучения является объективная реальность, предметы из мира вещей (см. *Предмет мысли*). А материальная точка — простейшая мысленная модель тела, предмет из мира идей. Мысленные модели являются не объектами, а средствами изучения. Во-вторых, модель в виде совокупности материальных точек отражает прежде всего небесные системы. Среди земных систем она пригодна, по-видимому, только при выводе *газовых законов*. Подавляющее же большинство земных механических систем (машины) кроме *динамических индикаторов* (неудачно называемых материальными точками) содержат *статические накопители, удалятели движения, источники движения* (двигатели) и некоторые другие элементы (см. *Динамические системы*).



**МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ.** Материальное движение, состоящее во взаимном перемещении тела или их частей относительно друг друга. Не изучая причин движения, а рассматривая только его геометрические свойства, различают три вида механического движения: *поступательное, вращательное и колебательное.*

Из всех доступных непосредственному восприятию форм движения механическое движение нам наиболее доступно и понятно. Обусловлено это четырьмя обстоятельствами. Во-первых, оно наглядно: мы воспринимаем механическое движение тремя органами чувств — зрением, слухом и осязанием. Во-вторых, мы сами с момента рождения почти непрерывно участвуем в механическом движении. В-третьих, основные физические величины, используемые для его описания и количественного оценивания (длина, масса, время, сила), мы измеряем вполне понятными средствами измерений. В-четвертых, структура и принцип действия большинства механизмов и машин, находящихся наиболее массовое применение, тоже наглядны и доступны для понимания. Поэтому почти каждый человек, не имея специальной подготовки, способен придумать и изготовить необходимые ему механические приспособления.

Несмотря на доступность механического движения нашим органам чувств и нашей предметной деятельности (а может быть, и вездешности этого) в научном объяснении механического движения в учебниках и научно-популярных книгах встречается много противоречий, пробелов и существенных ошибок, передающихся из поколения в поколение (см. *Динамические системы, Самодвижение, Законы Ньютона, Сила, Центробежная и центроостремительная сила*).

**МИЛЛИ...** [от лат. mille — тысяча]. Приставка к наименованию единиц физической величины для образования дольной единицы, равной одной тысячной доле исходной величины. Обозначение: м, например, 1 мА (миллиампер) =  $10^{-3}$  А.

**МИКРО...** [от греч. mikros — малый]. Термин используют в двух значениях. 1. В сложных словах означает принадлежность к очень малым предметам (например, микроструктура) или к приборам для наблюдения или измерения малых предметов (например, микроскоп). 2. Приставка к наименованию единиц физической величины для образования дольной единицы, равной одной миллионной доле исходной единицы. Обозначение: мк, например, 1 мкс (микросекунда) =  $10^{-6}$  с.

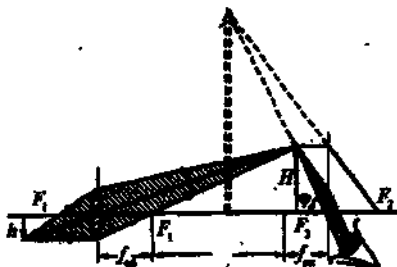


Рис. М.1. Оптическая схема микроскопа

**МИКРОМЕТР**<sup>1</sup>. [от греч. *mikros* — малый и *metreo* — измеряю]. Прибор для измерения небольших линейных размеров (цена деления 0,01 мм).

**МИКРОМЕТР**. Дольная единица длины:  $1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$ .

**МИКРОН**. Устаревший термин, не допускаемый к использованию (см. *Микрометр*<sup>2</sup>).

**МИКРОСКОП** [от греч. *mikros* — малый и *scopos* — смотрю]. Прибор для наблюдения малых предметов или деталей их структуры, не различимых невооруженным глазом. Оптическая система микроскопа (рис. М.1) состоит из *объектива* и *окуляра*, вставленных в металлическую трубку — *тубус*. При наблюдении рассматриваемый предмет помещается за главным фокусом объектива, а его действительное, увеличенное и перевернутое изображение рассматривается в окуляре, который действует как *лупа*.

**МИКРОФОН** [от микро... и ...фон]. Преобразователь звуковых колебаний в электрические. Применяется в технике связи, звукозаписи и др.

**МИЛЛИМЕТР РТУТНОГО СТОЛБА**. внесистемная единица давления. 1 миллиметр ртутного столба — давление, оказываемое на основание столбом ртути высотой 1 мм. Применяется при передаче по радио сводок погоды. Обозначение — мм рт. ст. 1 мм рт. ст. = 133,322 Па.

<sup>1</sup> Ударение в этом слове падает на второй слог: микрометр.

<sup>2</sup> Если словом обозначают размер, то ударение падает на третий слог: микрометр.

**МИНУТА** [от нем. Minute или лат. minutus — уменьшенный, малый]. Термин используют в двух значениях. 1. Внесистемная единица времени, равная 60 секундам. 2. Единица плоского угла, равная  $1/60$  углового градуса.

**МИРОВОЗЗРЕНИЕ.** См. *Научная картина мира и мировоззрение.*

**МОДЕЛИ В НАУКЕ.** Во второй половине XX в. сформировалось фундаментальное общенаучное понятие модели. К сожалению, в школьные учебники физики оно почти не проникло, в силу чего многие важные сведения преподносятся искаженно. В частности, можно встретить утверждения, подобные следующему: «При изучении механики, как и любого другого раздела физики, следует прежде всего выбрать модель, облегчающую изучение явления». Это — грубая ошибка. Мысленные модели действительно вводят при теоретическом исследовании. Но не для облегчения, а потому, что таков способ человеческого мышления. Мыслить без моделей мы просто не можем. (Мысль об объекте и есть его модель.)

Разберемся с содержанием понятия «модель».

**Виды моделей.** Слово *модель* широко используют в обиходной речи, причем в существенно различных значениях. Так, моделями называют экспонаты в музеях и на выставках — уменьшенные копии самолетов, кораблей, станков, плотин и т. п., совпадающие с оригиналами по внешнему виду. В противоположность этому художники, фотографы и скульпторы моделью называют натурщика, натурщицу или какой-либо предмет, служащий прототипом для картины или скульптуры (например, фотомодель). Моделями называют также типы изделий, различающихся формой и (или) конструкцией (модели одежды, автомобилей и т. п.). В кружках технического творчества их участники изготавливают действующие модели самолетов, кораблей, автомобилей, ракет. В литейном производстве модель — пространственная копия будущей отливки, по которой изготавливают литейную форму, заполняемую расплавленным металлом. Математики, подобно художникам, моделью некой формальной теории называют менее абстрактную, т. е. более близкую к реальности систему.

Как видим, в ряде случаев моделью называют искусственную, специально изготовленную вещь, служащую копией некоторого объекта, сходную с ним в каком-то отношении. В науке и технике моделью также называют нечто аналогичное прототипу в каком-то

отношении. Однако научные модели существенно отличаются от рассмотренных выше. Первое отличие заключается в том, что их создают не для демонстраций (как в музеях) и не для развития творческих способностей (как в авиамодельных кружках), а в качестве средства познания или проектирования. Например, авиаконструкторы тоже изготавливают модели самолетов, но используют их для изучения поведения самолетов в полете, «продувая» модели в аэродинамических трубах. Второе существенное отличие научных моделей является следствием первого — большей частью это не материальные предметы, а мысли, знания, идеи. Отсюда возник термин *мысленная (идеальная) модель*. Что же это такое?

**Мысленные модели.** Мысленная модель — не что иное, как *отражение* (3) природы в сознании человека. Рассмотрим важнейшие особенности мысленных моделей. Мышление — один из психических процессов. Согласно материалистическим представлениям, психика — функция нервной системы, мозга.

Нервная система осуществляет управление: 1) внутренними процессами, обеспечивающими жизнь организма (кровообращение, дыхание, поддержание стабильной температуры тела и т. п.), и 2) всесторонним взаимодействием со средой обитания. В выполнении второй части функций наряду с подсознанием участвует то, что именуют психикой, душой, субъективной реальностью, сознанием (в широком смысле слова).

Научное познание психики давно пришло к двум важным идеям. 1. Различают две ступени познания — чувственную и логическую. К чувственной ступени познания принято относить ощущения, восприятия и представления, к логической — понятия, суждения и умозаключения. 2. В мышлении обнаруживают две составляющие — образную и дискурсивную (рассудочную, логическую).

Эти идеи нашли подтверждение в работе мозга. Американский нейрофизиолог Р.У. Сперри обнаружил так называемую функциональную асимметрию мозга. Его открытие было подтверждено многими последователями во всем мире и получило признание в виде присвоения автору Нобелевской премии (1981 г.). Оказалось, полушария работают по-разному. Правое полушарие оперирует целостными чувственными образами, не подвергая их логическому анализу. Левое же полушарие, напротив, перерабатывает и формирует словесные и другие формально-знаковые конструкции.

В соответствии со сказанным разумно различить два вида мысленных моделей — чувственные и понятийные. Чувственные модели конкретны. Большой частью это зрительные образы. Понятийные модели абстрактны.

В процессе мышления полушария взаимодействуют между собой<sup>1</sup>, но они не взаимозаменяемы. Поясним сказанное примером. Каждый без каких-либо затруднений мгновенно отличает кошку от собаки. Это — результат работы правого полушария. Но попробуйте сформулировать зрительные признаки, руководствуясь которыми человек, ни разу в жизни не видавший кошку или собаку, мог бы опознать ту или другую! В противоположность этому при развитии теории, объяснении результатов эксперимента, классифицировании, вычислениях и т. п. незаменимо левое полушарие: Таким образом, чувственные и логические модели одинаково важны — они взаимно дополняют.

Что представляет собой понятийная мысленная модель? Какое место занимает она среди атрибутов логической ступени познания — понятий, суждений и умозаключений? Понятие есть знание о вещи или о множестве однородных вещей, в котором отображены ее (или их) существенные свойства. По степени полноты отображения действительности понятия можно разделить на энциклопедические и частнонаучные (см. *Понятие и термин*). Частнонаучное понятие представляет собой “проекцию” объекта (или энциклопедического понятия о нем) на определенную “познавательную плоскость”. Понятийная модель объекта и есть частнонаучное понятие о нем.

Чувственные и понятийные модели реальности одинаково важны. Однако прежде дискурсивное мышление не было осознано именно как модель мира. В связи с этим в физике термин *модель* вначале использовали для обозначения лишь образных представлений (например, пудинговая или планетарная модели атома). И лишь впоследствии им стали обозначать также и понятийные модели. В силу этого ряд давно сложившихся определений является дезориентирующим. Например, “материальная точка есть тело...”. Материальная точка не тело, а это простейшая понятийная модель.

Представление мысленных моделей. 1. Внутреннее представление. Как физически (материально) число представлено в электронной вычислительной машине, известно очерчивающим образом, так как машины разрабатывает сам человек. В противоположность этому, “конструкция” мозга известна только в самых общих чертах. Сказать, в форме каких состояний нервных клеток существуют мысли и чувства, невозможно. Поэтому, когда

<sup>1</sup> Вспомним: геометрические задачи решают логически, выводя результат из аксиом и ранее доказанных теорем. Однако образное, чувственное представление — рисунок — существенно облегчает решение, так как служит незаменимой опорой при рассуждениях.

мы слышите, что в сознании человека есть образы действительности, не надо понимать слово *образ* как имя какого-то материального образования. Значение его столь же неопределенно, как значения слов *мысль, психика, сознание, отображение, душа* и т. п. Им обозначают нечто реально существующее, являющееся функцией мозга, позволяющее человеку успешно жить и развиваться, но неизвестно точно, что именно.

2. Внешнее представление. По собственному опыту каждый знает, что “в уме” удастся решить только самые простые задачи. Даже при сложении чисел “столбиком” оказывается целесообразным цифру переноса записывать. Что касается сложных задач, то и условия, и ход решения, и результат приходится объективировать — фиксировать на бумаге в виде слов, предложений, чертежей, формул, таблиц и т. п. Тем более это необходимо при общении. Человек — существо коллективное. Ввиду необходимости организации совместных действий у наших далеких предков появилась устная (звуковая) речь и с течением времени развилось основное средство общения — естественный язык. По-видимому, одновременно или с некоторым отставанием возникло изобразительное искусство — наскальная живопись и т. п. В дальнейшем люди изобрели перографическую и фонетическую письменность, различные способы записи чисел, математическую символику, графики функций, географические карты и топографические планы, силовые линии электрического и магнитного полей, машиностроительные чертежи и электрические схемы и т. п. Все это не очень удачно<sup>1</sup> может быть объединено именем *объективирующие модели* (образные и знаковые). Отсюда множество терминов: *иконическая модель, графическая модель, знаковая, цифровая, образная, символическая модель, математическая модель* и др. Термин *математическая модель* заслуживает специального обсуждения (см. далее). Необходимо помнить, что “объективирующая модель” не есть нечто самостоятельное. Его выражают мысленную модель.

Существует термин *информационная модель*. Рассмотрим те ситуации, при которых его употребление представляется наиболее уместным. Достаточно очевидно, что, управляя лошадью, автомобилем, самолетом, работая на станке, человек должен знать особенности поведения управляемого объекта, т. е. располагать его мысленной

---

<sup>1</sup> Вспомним, как говорят математики: функция может быть задана в словесной, символической, графической и табличной форме. Как формы выражения функций не называют. Логично было бы не называть моделью объект, коими выражают мысленные модели. Поэтому далее термин *объективирующая модель* мы заключаем в кавычки.



Рис. М.2. Профиль горы

лением являются исключительно человеческую способность. По-видимому, в данном случае и подходит термин *информационная модель*.

**Язык объективирования.** Вопрос о языках объективирования и их использовании очень важен и интересен. Чувственные модели объективируют в форме рисунков, более или менее схематичных<sup>1</sup>. Иногда рисунки являются наглядными копиями реальных объектов (например, контуры материков, озер, границ между странами и т. п. на географических картах). Однако большей частью мы имеем дело с "искусственной наглядностью". Поясним, что это такое. Представим себе рисунок, на котором изображен силуэт горы (рис. М.2). Вряд ли кому-нибудь придет в голову назвать его "графической моделью горы". Скажут, что перед нами ее плоское изображение. Вместе с тем при строительстве канатной дороги может возникнуть необходимость знать зависимость между высотой каждой точки склона, лежащей в вертикальной плоскости, проходящей через вершину, и расстоянием по горизонтали от некоторого пункта у ее подножия. В таком случае окажется, что контур силуэта горы выражает требуемую зависимость, если по горизонтали и вертикали нанести соответствующие масштабные линии. Иными словами, подобный рисунок является наглядным геометрическим (графическим) представлением мысленной модели — функции  $y = f(x)$ , связывающей высоту  $y$  с горизонтальным расстоянием  $x$  в плоскости, проходящей через вершину горы.

Обратим внимание: в данном случае  $y$  и  $x$  — пространственные координаты, расстояния. Однако они могут быть и другими переменными. Например, поскольку вблизи от поверхности земли потенциальная энергия тела пропорциональна высоте его расположения, этот же рисунок может выразить зависимость потенци-

<sup>1</sup> В последние годы активно развивается новый способ образного объективирования — так называемая компьютерная анимация (оживление) — создание своеобразных мультфильмов, позволяющих "увидеть" процессы, протекающие в разнообразных системах.

альной энергии тогда на склоне горы от горизонтального расстояния. Более того, совершенно аналогичный рисунок в форме контура горы мы можем увидеть на экране осциллографа. В этом случае буквой  $u$  обозначают электрическое напряжение, а буквой  $x$  — время. Таким образом, геометрический язык используют для объективирования не только пространственных, но и любых других отношений, т. е. индосказательно. Любопытно, что “графическая индосказательность” переносится на словесный язык. Например, о напряжении (давлении, скорости и любых других величинах) говорят, что оно “выше”, “ниже”, “поднимается” или “опускается”. Аналогично при объяснении электропроводности кристаллов используют слово *зона*. Относится оно к энергии электронов на энергетической диаграмме и к расположению их в пространстве самого кристалла никакого отношения не имеет.

Эти особенности как графического, так и словесного языков необходимо учитывать при изучении физики и других “точных” наук. В противном случае правильное понимание недостижимо.

Определенное разделение “объективирующих моделей” на иконические, знаковые и т. п. в большинстве случаев невозможно. Дело в том, что вряд ли удастся назвать случай, когда при объективировании мысленной модели используют только один язык. Характерный пример — географическая карта. На ней присутствует и образность (контуры морей, озер, стран, линии рек и т. п.), и условные знаки: горизонталь (линии равной высоты), кружки разного размера (которые обозначают города с различным числом жителей), и числа, обозначающие высоты, и словесные названия стран, океанов, рек, городов и т. д.

Таким образом, обычно “объективирующая модель” обращена к обоим типам мышления — и образному, и дискурсивному, что лишней раз подтверждает их взаимосвязанность.

Главные особенности мысленных моделей. Экспериментальному исследованию подвергают реальный объект, а теоретическому — его идеализацию, мысленную модель. Рассмотрим главные особенности мысленных моделей.

1. Наличие реального прототипа или ожидание появления такого в будущем (второе — при разработке нового изделия). Иначе говоря, мысленная модель есть отображение реальности (при разработке — опережающее) в сознании человека.

2. Действительность (прогностическая сила) — возможность не только описывать (объяснять) прошлое поведение объекта в пределах некоторого множества ситуаций, но и предсказывать предстоящее поведение в других ситуациях.



3. Неточность (приближенность) в отображении прототипа (подробнее см. далее).

4. "Проецирование" прототипа на некоторую "возмозительную плоскость" — изучение его в рамках некоторой частной науки (механика, электричество и т. д.).

5. Ограниченность применения. Указание границ применимости. Применение модели за пределами этих границ недопустимо — оно приводит к грубым ошибкам.

6. Указание всех свойств, приписываемых модели (подробнее см. далее).

7. Непротиворечивость.

О неточности моделей. Нередко в учебниках можно прочитать утверждения, подобные следующему: "Полное и строгое решение проблем механики реальных тел и сред, как правило, оказывается крайне сложным, а порой недоступным. Поэтому при решении конкретных задач приходится вводить упрощающие предположения, т. е. строить модели объектов, приближенно отображающие их свойства". Такие рассуждения дезориентируют читателя. Если принимать их всерьез, то можно подумать, будто "как исключение" доступно "полное и строгое решение проблем", а модели объектов строят лишь для упрощения.

Надо ясно понимать, что любая мысль, любое знание человека, как бы сложно оно ни выглядело, представляет собой неточное отображение реальности (это утверждение — абсолютная истина). Обобщая, можно сказать, что вся совокупность человеческих знаний о природе (и самом человечестве как ее части) является моделью реальности.

"Полное", "строгое", "точное" решение — внутриматематическая абстракция. Относятся эти термины не к описанию действительности, а к решению уже написанных уравнений. Некоторые типы уравнений (кстати сказать, весьма немногие) решаются точно (в математическом смысле). Тем не менее, даже математически точное решение описывает природные процессы приближенно. Дело в том, что ни одно уравнение не является и принципиально не может быть точным описанием действительности. Кроме того, надо иметь в виду, что результат решения "в буквах" интересен (и то далеко не всегда) чисто теоретически. Для практики важна не формула сама по себе, а число, которое можно найти, пользуясь ею. С этой целью в формулу вместо букв подставляют другие числа. Но все исходные числа являются результатом измерений. А измерения неизбежно выполняются с погрешностью (это — тоже абсолютная истина). Большинство математических

задач, как уже было сказано, решаются тоже приближенно. И наконец, что не менее важно, при изготовлении любой вещи или организации любого процесса невозможно избежать неточности.

Таким образом, "полное и строгое" решение реальных проблем принципиально невозможно, ибо: 1) мысленная модель действительности всегда неточна; 2) математические уравнения, как правило, допускают лишь приближенные решения; 3) все измерения величины выполняют с погрешностью; 4) в процессе производства любые детали изготавливают неточно.

Более того, может случиться, что применение очень точной и, следовательно, более сложной модели приведет к большей погрешности результата исследования, чем использование менее точной модели. Этот парадокс обусловлен следующими обстоятельствами. 1. Чем сложнее модель, тем больше эмпирических параметров и переменных она содержит. При вычисленных погрешности измерений складываются. 2. Чем сложнее взаимосвязи между величинами, тем больше вычислительных операций приходится выполнить, и ошибки их тоже накапливаются.

Вместе с тем надо понимать, что утверждение о неточности мысленных моделей не является отрицанием истинности познания. И не потому, что истина, как иногда думают, — это "то, что есть на самом деле". Истина — это знание. Но не всякое. В естественных и технических науках истинным признают такое знание, которое позволяет изготовить вещи (организовать процессы), действие (протекание) которых приводит к задуманному результату. Вся человеческая практика на протяжении столетий убеждает нас в том, что научное знание, как правило, истинно.

Указание свойств мысленной модели. Нередко авторы, определяя мысленную модель объекта, вместо того чтобы указать те свойства прототипа (оригинала), которые учтены в ней, перечисляют свойства, коими они пренебрегают. Такой прием был бы справедлив, если бы, во-первых, объекту было бы присуще конечное множество свойств и, во-вторых, все они были бы заранее известны. Однако любой объект неисчерпаем для познания. Поэтому перечислить пренебрегаемые свойства в принципе невозможно — их бесконечно много. Следовательно, единственная приемлемая процедура состоит в указании свойств, которые учтены в мысленной модели (т. е. которыми она "наделена"). Перечислить следует все учитываемые свойства (недопустимо некоторые из них полагать "само собой разумеющимися").

Например, при изучении движения и равновесия тел в механике среди свойств твердого тела обычно учитывают: геометрическую форму, размеры, инертность, гравитационность (гравитационную

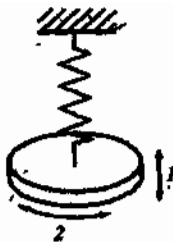


Рис. М.3. Колебательная система

способность), деформируемость (сжатие, растяжение, изгиб, скручивание, сдвиг), деформируемость обратную (упругость) и необратимую (пластичность, ползучесть).

При решении конкретных задач редко необходимо учитывать все перечисленные свойства. Обычно ограничиваются только их частью. Простейшей мысленной моделью твердого тела служит материальная точка. Ее наделяют только двумя свойствами: *инертностью* и *гравитационностью* (по современным представлениям это одно свойство. Поэтому, возможно, разумно было бы ввести обозначающий его термин, например, *равноинертность*). Абсолютно твердое (недеформируемое) тело — мысленная модель твердого тела, которой приписывают определенную форму, размеры, гравитационность и инертность. Кроме того, обычно материал считают однородным или указывают характер неоднородности.

Разнообразие моделей одного объекта. Ясно, что не может быть единственной модели какого-либо объекта. Степень сложности модели объекта определяется характером решаемой задачи.

Продолжим обсуждение этой темы.

Удачный пример приводит С.Э. Хайкин. Представим себе систему, состоящую из пружины и металлического диска, который подвешен на ней (нижний конец пружины жестко присоединен к диску в его центре, рис. М.3). Если мы теоретически изучаем вертикальные колебания диска (см. 1 на рис. М.3), причем нас интересует короткий промежуток времени, в течение которого затухание колебаний пренебрежимо мало, в качестве мысленной модели диска целесообразно взять материальную точку. Для изучения крутильных колебаний (см. 2 на рис. М.3) эта модель неприменима. Надо учесть не только массу, но и размеры диска. Следовательно, в качестве модели необходимо использовать абсолютно твердое тело. Но и эта модель не всегда годится. Например, после удара по диску раздается звон. Чтобы теоретически объяснить его, необходимо учесть в модели диска свойство упругости. Если принять во внимание только упругость, то теория приводит к незатухающим колебаниям. Чтобы описать затухание, надо учесть внутреннее трение в материале диска.

Другой пример — обыкновенный резистор, широко используемый в электронных устройствах. Так называемый закон Ома для участка цепи  $u = Ri$  приблизительно описывает его поведение. В теории

электрических цепей простейшую мысленную модель резистора называют резистивным элементом, которому приписывают единственное свойство — точно «подчиняться» закону Ома:  $i = RI$ . Для очень многих задач этого оказывается достаточно. Однако в ряде случаев для учета поведения резистора при высоких частотах в его мысленную модель включают простейшие модели индуктивной катушки и конденсатора — индуктивный элемент и емкостный элемент соответственно или оба вместе. Опять-таки, в зависимости от обстоятельств, делают это в двух разных формах: модель «с сосредоточенными параметрами» и модель «с распределенными параметрами». Кроме того, при решении ряда задач приходится учитывать собственный «шум» резистора. Для этого в его модель вводят источник напряжения или тока.

Исторически сложилось так, что разным по степени полноты мысленным моделям иногда присваивали дезориентирующие названия. Так, например, в ходу термины *идеальный газ* и *реальный газ*. Логично было бы реальным газом назвать тот газ, который существует в природе. Однако этим термином обозначают тоже мысленную модель газа, но более полную, чем идеальный газ. В теоретических основах электротехники можно встретить термины *идеальный трансформатор*, *совершенный трансформатор* и *реальный трансформатор*. Ими обозначают три последовательно усложняющиеся мысленные модели трансформатора.

Первым шагом любого теоретического исследования является формирование мысленной модели объекта. Как это делают? Процесс создания мысленной модели неформализуем: алгоритмов, приводящих к созданию модели, не существует. Обычно специалист, руководствуясь опытом своих предшественников и своим собственным, в начале исследования правильно угадывает, какая именно модель приемлема в каждом конкретном случае. Однако иногда он встречается с новой задачей и оказывается в затруднении. Для учащихся подобные затруднения типичны — у них нет еще достаточного опыта решения реальных задач. Спрашивается: как лучше поступать в таких случаях? Может возникнуть мысль выбрать среди известных моделей самую сложную — тогда, казалось бы, задача наверняка будет решена. В действительности опытный человек так никогда не поступает. Он, напротив, начинает с самой простой модели. Почему действовать так целесообразно?

1. Чем сложнее модель, тем более продолжительным и запутанным оказывается процесс решения. В то же время может оказаться, что для решения данной задачи необходима и достаточна простейшая модель.

2. Даже если это не так, все равно работа будет проделана не зря. Во-первых, решая простую задачу, мы выйдем в специфику задач данного типа, и тем самым готовимся к решению более сложной задачи, учимся на простом. Во-вторых, полученный простой результат можно использовать для проверки следующего (более сложного). Для этого во втором надо положить равными нулю те члены, которые обязаны своим появлением усложнению модели. После выполнения этой операции должен получиться первый результат

Значение термина *математическая модель*. Ученые давно обратили внимание на то, что существуют разные физические объекты, для описания которых пригодны одни и те же математические уравнения. Если вы учитесь в 11-м классе или окончили его, то знакомы с этим феноменом по разделу "Колебания и волны".

Вначале математические аналогии использовали "вручную". Допустим, уже было изучено движение какой-либо механической системы, т. е. составлена и решена соответствующая система уравнений, а результат — интерпретирован, т. е. осмыслен качественно, предметно. Начали изучать электрическую систему. Обнаружили, что она аналогична механической — описывается той же системой уравнений. Тогда можно было воспользоваться уже имеющимся результатом, переосмыслив его применительно к электрической системе.

В дальнейшем "технология" использования математических аналогий кардинально изменилась. Были изобретены электрические (в том числе электронные) аналоговые (моделирующие) машины. Они состоят из отдельных блоков, поведение которых описывается различными математическими операциями: сложением, вычитанием, интегрированием и др. Блоки можно соединять между собой, руководствуясь определенными правилами, так чтобы поведение полученной электрической системы описывалось той же системой уравнений, что и моделируемой механической. После этого машину включают и регистрируют изменение напряжений в определенных точках. Они изменяются аналогично тому, как изменялись бы механические величины, характеризующие движение механической системы, если бы она была построена. Таким образом, используя электронную аналоговую машину, можно было судить, например, о том, как будет летать не построенный еще самолет или уже имеющийся, но в необычных условиях.

Особенно распространены были аналоговые машины в 1950–1960 гг. до массового внедрения цифровых вычислительных машин. В то время их часто называли "математическими моделями", т. е. этим термином обозначали один из видов материальных моделей.

Сейчас математической моделью обычно называют понятийную модель, представленную в математической форме — в виде уравнения, системы уравнений или какой-нибудь другой форме (скажем, в виде схемы замещения электрической цепи — она эквивалентна системе уравнений). Например, закон Ома для участка цепи  $u = RI$  — не что иное, как простейшая математическая модель резистора, формула  $q = C\varphi$  — простейшая математическая модель конденсатора, а формула  $\psi = LI$  — простейшая математическая модель индуктивной катушки. Иными словами, математической моделью называют описание поведения объекта на математическом языке.

В наше время почти все законы физики выражены в математической форме, т. е. (с учетом замечания об “объективирующих моделях”) могут быть названы математическими моделями действительности.

**МОДЕЛЬ.** Материальная или идеальная система, введенная вместо реального объекта в процессе познания (исследования) и построенная так, что сохраняет только существенные для данного исследования свойства объекта (см. *Модели в науке*).

**МОДЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ (ПОГРЕШНОСТЬ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ).** Составляющая погрешности измерения, связанная с несовершенством метода измерения.

**МОДУЛЬ (АБСОЛЮТНОЕ ЗНАЧЕНИЕ) ВЕКТОРА.** Длина вектора в определенном масштабе.

**МОДУЛЬ ЮНГА (модуль продольной упругости),  $E$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания упругих свойств материала и равная отношению механического напряжения  $\sigma$  в поперечном сечении этого образца к его относительному удлинению  $\varepsilon$ :  $E = \sigma/\varepsilon$ . Измеряется в Н/м<sup>2</sup>.

**МОДУЛЯЦИЯ.** Излучение антенной радиоволны вызывается током, по форме близким к гармоническому. Но гармонический ток — процесс чисто периодический и поэтому для передачи сообщений непригоден. Необходимо как-то нарушать периодичность. Как? Гармоническая функция имеет вид

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi),$$

где  $I_m$  — амплитуда,  $\omega$  — угловая частота,  $\psi$  — начальная фаза.

Можно изменять любой из этих трех параметров. Такое изменение называют модуляцией. Модуляцию путем изменения  $I_m$  называют амплитудной,  $\omega$  — частотной,  $\psi$  — фазовой.

Таким образом, модуляция заключается в том, что радиопередатчик изменяет один из названных параметров в соответствии с тем сообщением, которое надо передать (речь, музыка и т. п.). В радиоприемнике производится обратное преобразование — демодуляция, называемое детектированием. Оно состоит в выделении передаваемого сообщения.

**МОЛЕКУЛА.** Наименьшая устойчивая частица сложного вещества, обладающая его химическими свойствами. Молекула состоит из одинаковых или различных атомов, число которых колеблется в очень широких пределах: от двух до десятков тысяч.

**МОЛЕКУЛЯРНАЯ МАССА,  $M_r$ .** Масса молекулы, выраженная в атомных единицах массы и равная сумме относительных атомных масс входящих в нее атомов.

**МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА.** Раздел физики, изучающий и описывающий физические свойства тел, особенности агрегатных состояний вещества и процессы фазовых переходов в зависимости от молекулярного строения тел, сил межмолекулярного взаимодействия и характера теплового движения частиц. Молекулярная физика тесно связана с термодинамикой и статистической физикой.

**МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ.** Теория строения вещества, которая объясняет строение и свойства тел движением и взаимодействием атомов, молекул и ионов, из которых они состоят. Молекулярно-кинетическая теория построена на трех основных положениях, которые полностью подтверждены экспериментально.

1. Все тела состоят из мельчайших частиц — молекул, атомов, ионов.

2. Атомы, молекулы и ионы находятся в состоянии непрерывного хаотического движения. Движение это является вечным и не прекращающимся ни при каких условиях.

3. Молекулы различных веществ по-разному взаимодействуют между собой. Взаимодействие это существенно зависит от природы (сорта) молекул и от расстояний между ними. Именно зависимостью молекулярных сил от молекулярных расстояний объясняется качественное различие агрегатных состояний тел (газ, жидкость, твердое тело).

Эти положения подтверждаются явлениями диффузии, броуновского движения, особенностями строения и свойствами жидкостей и твердых тел.

### МОЛЕКУЛЯРНЫЙ СПЕКТР. См. *Полосатый спектр*.

**МОЛНИЯ.** Самостоятельный искровой электрический разряд в атмосфере Земли, происходящий между облаком и Землей или между двумя облаками. Сопровождается свечением, излучением радиоволн, химическими реакциями и излучением звука (гром).

**МОЛЬ.** Единица количества вещества, одна из семи основных единиц в СИ. 1 моль равен количеству вещества в теле или системе тел, содержащих столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг. Структурными элементами могут быть атомы, молекулы, ионы, электроны и другие частицы или группы частиц.

**МОЛЯРНАЯ МАССА,  $\mu$ .** Масса одного моля вещества. При практических расчетах можно пользоваться формулой:  $\mu = M_r \cdot 10^{-3}$  кг/моль, где  $M_r$  — молекулярная масса вещества.

**МОЛЯРНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ,  $C_\mu$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности вещества накапливать тепло и равная произведению удельной теплоемкости  $c_v$  вещества и его молярной массы  $\mu$ :  $C_\mu = c_v \cdot \mu$ .

**МОЛЯРНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ ГАЗА ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ,  $C_p$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности 1 моля газа накапливать тепло при изобарическом процессе и равная произведению полусуммы числа степеней свободы  $i$  молекул газа и числа 2, и *универсальной газовой постоянной*:

$$C_p = \frac{i+2}{2} R.$$

**МОЛЯРНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ ГАЗА ПРИ ПОСТОЯННОМ ОБЪЕМЕ,  $C_v$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности 1 моля газа накапливать тепло при изохорическом процессе и равная полупроизведе-



нию числа степеней свободы молекул газа  $i$  и универсальной газовой постоянной:

$$C_{V_2} = \frac{i}{2} R.$$

**МОЛЯРНАЯ ТЕПЛОТА ОТВЕРДЕВАНИЯ,  $\lambda_{\mu}$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания свойства 1 моля вещества переходить из жидкого состояния в твердое и равная произведению удельной теплоты отвердевания  $\lambda_{\mu}$  и молярной массы  $m$  вещества:  $\lambda_{\mu} = \lambda_{\mu} m$ .

**МОЛЯРНАЯ ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ,  $\lambda_{\mu}$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания свойства 1 моля вещества переходить из твердого состояния в жидкое и равная произведению удельной теплоты плавления  $\lambda_{\mu}$  и молярной массы  $m$  вещества:  $\lambda_{\mu} = \lambda_{\mu} m$ .

**МОМЕНТ ИМПУЛЬСА,  $L$ .** Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания интенсивности вращательного движения и равная произведению момента инерции  $J$  тела и угловой скорости  $\omega$  вращения этого тела вокруг своей оси:  $L = J \cdot \omega$ .

**МОМЕНТ ИНЕРЦИИ,  $J$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания инертности тел при вращательном движении и равная сумме (интегралу) произведений массы элементарных объемов тела и квадрата их расстояния  $r_i$  до оси вращения:

$$J = \sum \Delta m r_i^2; \quad J = \int r^2 dm.$$

**МОМЕНТ СИЛЫ ( $M_0$ ) ОТНОСИТЕЛЬНО НЕПОДВИЖНОЙ ТОЧКИ  $O$ .** Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания внешнего механического действия на вращающееся тело и равная векторному произведению радиус-вектора  $r$ , проведенного из точки  $O$  в точку приложения силы, и вектора силы  $F$ :  $M_0 = [r \cdot F]$ .

**МОМЕНТ СИЛЫ ( $M_A$ ) ОТНОСИТЕЛЬНО ОСИ  $A$ , ПРОХОДЯЩЕЙ ЧЕРЕЗ ТОЧКУ  $O$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания механического дей-

ствия на вращающееся тело и равная проекция на ось  $A$  вектора момента силы  $M_0$  относительно точки  $O$  (см. *Момент силы относительно неподвижной точки*).

**МОНО...** [от греч. *μονος* — один, единственный]. Первая часть сложных слов, используемых в значении "одно", "едино", например *монокристалл*.

**МОНОКРИСТАЛЛ.** Отдельный, целостный кристалл, обладающий хорошо выраженной естественной огранкой. Мысленная модель реального монокристалла — идеальный монокристалл — может быть получен параллельным переносом (трансляцией) его *элементарной ячейки* вдоль трех направлений (ср. *Поликристалл*).

**МОНОМОЛЕКУЛЯРНЫЙ СЛОЙ.** Слой вещества толщиной в одну молекулу, образовавшийся на поверхности раздела двух фаз.

**МОНОХРОМАТИЧЕСКАЯ ВОЛНА** (света). Мысленная модель пучка света, введенная для решения задач о распространении света и взаимодействии с веществом, и построенная путем наделения света только одним конкретным значением длины волны (частоты).

**МОНОХРОМАТОР.** Прибор для выделения узких участков спектра оптического излучения. В простейшей схеме монохроматора излучение разлагается призмой (стеклянной для видимого света, кварцевой для ультрафиолетовой части спектра и соляной — для инфракрасного) в спектр. Линза, расположенная за призмой, формирует изображение спектра в расположенной за ней щели, с помощью которой и происходит выделение нужного участка спектра.

**МОЩНОСТЬ,  $N$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания быстроты передачи движения (работы) от одного тела к другому и равная отношению энергии  $\Delta W$  переданного движения к времени  $\Delta t$ , в течение которого эта передача произошла: 
$$N = \frac{\Delta W}{\Delta t}.$$

**МЫСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ.** Понятие или представление, отображающее реальность (см. *Модели в науке*).

Говоря о выработке или выборе мысленной модели объекта, всегда указывают, что в ней должны быть отражены все его свойства, существенные для решения данной задачи. Что конкретно это означает?

В преобладающем большинстве случаев в физике и технических науках используют *математические модели* (законы науки), так как они позволяют вычислять размеры и другие параметры лабораторных установок и условий их применения, а также параметры проектируемых сооружений, машин и процессов. Поэтому существование сводится к точности результата вычислений, обеспечиваемых применяемой моделью. Чем определяется точность?

Все без исключения мысленные модели, в том числе математические, неточны. Пользуясь ими, можно получить результат с некоторой неопределенностью. Применение более развитых моделей до некоторого предела позволяет получить более точный результат. Почему "до некоторого предела"? Дело в том, что чем сложнее модель, тем более громоздкими оказываются вычисления. А безошибочных вычислений тоже не бывает. Поэтому в конце концов погрешность вычислений может повысить неопределенность, возникшую из-за неточности модели.

Вместе с тем, надо также понимать, что очень точный результат, за редким исключением, не нужен. До появления калькуляторов инженеры в подавляющем большинстве случаев пользовались логарифмической линейкой, позволяющей получить результат из трех значащих цифр, и он их вполне удовлетворял. Определяется это тем, что в материальном производстве все вещи изготавливают неточно — с определенными допусками. Об этом, в частности, свидетельствует неопределенность в указании размеров на машиностроительных чертежах ( $\pm$  столько-то).

Таким образом, заранее, до анализа решаемой задачи, невозможно сказать, годится ли та или иная модель объекта. В каждом конкретном случае это определяется требуемой точностью результата.

**МЮ-МЕЗОНЫ.** Положительно заряженные ( $\mu^+$ ) и отрицательно заряженные ( $\mu^-$ ) нестабильные элементарные частицы. Масса покоя  $m_0 = 207m_e$ , где  $m_e$  — масса покоя электрона.

**МЮОНЫ.** См. *Мю-мезоны*.

# Н

**НАБЛЮДЕНИЕ.** Вид эмпирического познания, состоящий в преднамеренном восприятии объекта в естественных условиях (см. *Наблюдение и эксперимент*).

**НАБЛЮДЕНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ.** Формы эмпирического познания (см. *Эмпирия и теория*). В обоих случаях исследователь взаимодействует с *тем же изучаемым объектом*. Различие между наблюдением и экспериментом легче всего понять, рассмотрев схемы, показанные на рис. Н.1. При наблюдении человек изучает естественный ход процесса, не вмешиваясь в него и тем самым не

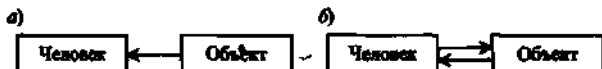


Рис. Н.1. К определению терминов наблюдение (а) и эксперимент (б)

искажая его. При эксперименте, напротив, объект подвергают специально спланированным воздействиям и изучают его реакцию на них. Иногда при наблюдении приходится использовать искусственное освещение (например, ультрафиолетовое) или другие воздействия на объект. Однако их выбирают такими, чтобы для объекта они оставались безразличными, в силу чего естественный ход процесса не нарушается. В этом случае искусственное воздействие оказывается не причиной изменений, происходящих в объекте, как при эксперименте, а условием наблюдения.

Изучая макротела, мы всегда можем подобрать такое “искусственное освещение” (в прямом или переносном смысле), которое пренебрежимо мало влияет на их реакцию, т. е. проводить именно наблюдение. Организовать же наблюдение микрочастиц не всегда удастся, так как не существует столь мелких частиц, которые могли бы пренебрежимо слабо влиять на микрочастицу.

На рис. Н.1 не показаны приборы. В настоящее время, как правило, и наблюдение объекта, и воздействие на него происходит не прямо, а через посредство приборов — измерительного и генерирующего воздействующий сигнал (2) (рис. Н.2).

**НАГРЕВАТЕЛЬ.** Термин используют в двух значениях. 1. Входящий в состав *тепловой машины* термостат, источник тепла практически неограниченной емкости, температура которого выше

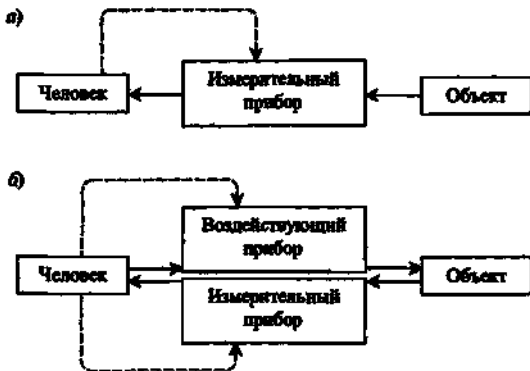


Рис. Н.2. Наблюдение (а) и эксперимент (б) с использованием приборов

температуры *холодильника*. Рабочее тело тепловой машины отбирает от нагревателя тепло. 2. Элемент какого-либо устройства, предназначенный для нагрева (например, в электросамодаре).

**НАИБОЛЕЕ ВЕРОЯТНАЯ СКОРОСТЬ МОЛЕКУЛ ГАЗА.** Скорость, соответствующая максимуму на кривой распределения молекул газа по скоростям, например, распределения Максвелла. С другими физическими величинами, которыми оценивают свойства и поведение газа, она связана соотношениями:

$$V_s = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{2P}{\rho}},$$

где  $k$  — постоянная Больцмана,  $m$  — масса молекулы,  $T$  — абсолютная температура,  $R$  — универсальная газовая постоянная,  $\mu$  — молярная масса газа,  $P$  — давление газа,  $\rho$  — плотность газа.

**НАКАЧКА.** Процесс создания термодинамически неравновесного состояния вещества в лазерах под действием внешнего электромагнитного излучения и постоянного электрического тока. В результате накачки вещество становится активной средой и может генерировать *вынужденное излучение*.

**НАКОПИТЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ.** Элемент *динамической системы*, способный накапливать и отдавать движение, что количественно

оценивают энергией. Существует два вида накопителей: статические и динамические. Они дуальны в отношении друг друга (см. *Дуальность*).

**НАМАГНИЧЕННОСТЬ**, *J*. Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания степени намагниченности вещества и равная отношению магнитного момента  $\Delta M$  элемента объема вещества к объему  $\Delta V$  этого элемента:  $J = \Delta M / \Delta V$ .

**НАМАГНИЧИВАНИЕ**. Явление, состоящее в возникновении собственного магнитного поля в различных телах при их помещении во внешнее магнитное поле и обусловленное влиянием внешнего магнитного поля на частицы, составляющие эти тела (см. *Диамагнитный эффект*, *Парамагнитный эффект*, *Ферромагнитный эффект*).

**НАНО...** [от греч. *nanos* — карлик]. Первая составная часть наименований единиц физических величин, служащая для образования наименований дольных единиц, равных миллиардной ( $10^{-9}$ ) доле исходных единиц. Сокращенное обозначение — н. Например: 1 нс (наносекунда) =  $10^{-9}$  с.

**НАНОТЕХНИКА**. В последние годы появились термины *нанотехника*, *нанотехнология*, *наномашиностроение*, *наноиндустрия*. *Нано* — первая часть новых составных слов — означает  $10^{-9}$ . Иными словами, речь идет о системах, размеры элементов которых порядка  $10^{-9}$  м или меньше. А это размеры молекул и атомов. Появились эти термины потому, что в результате полувекровых исследований усилений обнаружилась возможность манипулировать отдельными атомами и собирать из них молекулы и даже механические устройства (например, редукторы) размеров порядка  $10^{-9}$  м. Процессы в таких устройствах носят квантовый характер. Перемещения атомов с точностью до  $10^{-2}$ – $10^{-3}$  нм производят, используя пьезоэлектрические манипуляторы. Соответствующие таким перемещениям изменение силы тока составляет пикоамперы.

Нанотехнологии возможны в вакууме, газе, жидкости. Фуллерены и графитовые нанотрубки тоже объекты нанотехники (см. *Алотропия*).

Развивается нанотехника взрывообразно — ассигнования на исследования и разработки в этой области в развитых странах ежегодно удваиваются.

Направления разработок — самые разные: предельно быстродействующие компьютеры с памятью огромного объема, новые

лекарства, самовоспроизводящиеся биороботы для очистки организма человека от "ядаков" и т. п., "супернос" — средство поиска наркотиков и взрывчатых веществ, "суперухо" — средство обнаружения процесса развития предстоящего землетрясения; аппаратура, способная работать при температуре от нескольких градусов Кельвина до 3000 градусов, и многое другое.

Ожидают, что физическое и математическое моделирование в наномасштабе позволит открыть многие тайны живого вещества, а усовершенствование солнечных фотоэлементов вдвое увеличит их эффективность.

Процесс развития нанотехники называют третьей научно-технической революцией.

**НАПРЯЖЕНИЕ (механическое),  $\sigma$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания напряженного состояния конструкционного материала и равная отношению деформирующей силы  $F$ , к площади сечения  $S$ :  $\sigma = F/S$ .

**НАПРЯЖЕНИЕ (электрическое),  $U$ .** Скалярная физическая величина, введенная в теории электрических цепей для количественного оценивания интенсивности электрического поля. В СИ определяется как отношение мощности электромагнитного движения, преобразуемого в резисторе в тепло при протекании электрического тока, к силе тока. Единица напряжения — вольт (В). Условные буквенные обозначения напряжения  $u, U, V$ . Приборы, предназначенные для измерения напряжения, называют вольтметрами.

**НАПРЯЖЕНИЕ ХОЛОСТОГО ХОДА.** Напряжение источника электропитания при силе тока, равной нулю (подробнее см. *Электропродвижущая сила; Источник тока*).

**НАПРЯЖЕННОСТЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ,  $H$ .** Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания механического действия магнитного поля на движущиеся заряды без учета намагничивания среды и равная отношению магнитной индукции  $B$  к абсолютной магнитной проницаемости среды  $\mu_0$ :  $H = B/\mu_0$ .

**НАПРЯЖЕННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ,  $E$ .** Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания механического действия электрического поля на заряженные частицы и равная отношению силы  $F$ , которой оценивают это действие, к заряду  $q$  частицы:  $E = F/q$ .

**НАСЫЩЕННЫЙ ПАР.** Пар, находящийся в термодинамическом равновесии со своей жидкостью или твердым телом.

**НАУКА.** *Деятельность, направленная на производство знаний, вид духовного производства.*

**Примечание.** Часто говорят о “получении”, “добывании”, “приобретении”, “извлечении” знаний. Эти и подобные слова уместны, когда человек знакомится с чем-то для него субъективно новым, но объективно уже известным — произведенным ранее другими людьми. Они неприменимы к производству новых знаний. Получить, добыть и т. п. можно нечто уже имеющееся (уголь, нефть, руду). Знаний в природе нет, подобно тому, как нет автомобилей. И автомобили, и знания производят.

**НАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА И МИРОВОЗЗРЕНИЕ.** Картина мира — это не сам мир, а именно “картина”, знание о нем. Достаточно очевидно, что каждый человек как-то представляет себе мир, т. е. располагает более или менее полной и точной картиной мира. В зависимости от переживаемой исторической эпохи, особенностей окружения, индивидуального развития и образования людей их картины мира могут различаться. Так, некогда господствовала мифологическая картина мира. В настоящее время распространены обыденная, религиозная и научная картины мира (в какой-то мере сохранилась приверженность мифам).

Научная картина мира складывается под влиянием всех наук — естественных, технических и гуманитарных. По мере развития науки она постепенно меняется, причем чередуются периоды эволюционных преобразований и революционного изменения взглядов (Коперник, Галилей и Ньютон, Фарадей и Максвелл, Адам Смит и Маркс, Дарвин, Мендель, Вернадский, Бор, Эйнштейн).

Развитие научной картины мира напоминает рост дерева — непрерывно увеличивается общая масса научных знаний, наука все время ветвится (увеличивается число самостоятельных направлений и число разделов в каждом из них). Но в развитии науки наблюдается принципиальное отличие от этой модели. Веточки дерева остаются самостоятельными. Ветви же научных знаний с течением времени срастаются между собой, образуя саморазвивающееся, самоподдерживающееся, взаимообусловленное “объемное кружево”, в котором отсутствуют ниши для религиозных представлений, а также парапсихологии, астрологии, космического разума, полтергейста, “сглаза”, “порчи” и прочей “чертовщины”.

Научную картину мира не следует смешивать с мировоззрением — между ними имеется принципиальное различие. Уже антич-



ные философы поняли, что идеалы истины, добра и красоты свойственны духовному миру человека. Впоследствии звучание этой мысли было усилено: познавательное, нравственное и эстетическое — не просто элементы сознания, а его главные, неотъемлемые составляющие. Знания о сущем производит наука, о должном — идеология, представления о прекрасном — искусство. Понять принципиальную разницу между первым и вторым типами знаний проще всего, вспомнив былинный сюжет “Витязь на распутье”. На камне высечены сведения о том, что ожидает витязя, т. е. знания о сущем. Однако никто не указывает ему, какое направление следует выбрать. Руководствуясь своими глубинными представлениями о должном, витязь оценивает “предложения” камня, собственные интересы, ценности и возможности и производит выбор. Аналогично, наука предоставляет человеку ряд альтернативных вариантов решения той или иной проблемы, но их оценку и выбор он производит, исходя из других соображений — совокупности взглядов и убеждений, сложившихся под влиянием разнообразных жизненных факторов (в том числе под влиянием науки). Именно эту совокупность взглядов и убеждений, определяющих отношение человека ко всему существующему (включая самого себя), и, следовательно, принятые решения, называют мировоззрением. Идеология — осознанное, сформулированное, канонизированное групповое мировоззрение.

Очевидно, что ни отдельный человек, ни общество не могут освободиться от необходимости делать выбор и принимать решения. Поэтому говорить о “деидеологизации” — полная бессмыслица.

Поскольку каждому человеку свойственно делать выбор и принимать решения, мировоззрение свойственно всем. Однако содержание его весьма различно в зависимости от жизненного уклада, воспитания, характера и уровня образованности человека и других факторов. В современных условиях человечество способно выжить при условии, что, принимая решения, люди будут руководствоваться рациональным мировоззрением, находящемся в согласии с научной картиной мира. Альтернативой этому является гибель биосферы, а вместе с ней и человечества.

Важнейшим компонентом научной картины мира, пересекающимся с мировоззрением, является методология (учение о методе). Конечными (глубинными) основаниями любых оценок и, следовательно, решений ученых являются не вполне осознанные или даже полностью неосознанные убеждения и установки мировоззренческо-методологического характера. Это отчетливо видно,

например, из тех выражений, которые использовал А. Эйнштейн. В его трудах встречаются следующие аргументы: "Я не могу доказать, но в этом я твердо убежден"; "Внутренний голос подсказывает мне..."; "Я убежден..."; "Я не верю...".

**НЕВЕСОМОСТЬ.** Состояние механической системы, при котором действующее на систему внешнее гравитационное поле не вызывает взаимного давления одной части системы на другую и их деформации. Невесомость возникает при свободном падении тел, в искусственных спутниках и космических кораблях, движущихся с выключенными двигателями.

**НЕЗАВИСИМАЯ ПЕРЕМЕННАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА.** *Переменная физическая величина*, значения которой выбраны за исходные и определяют значения зависимой переменной физической величины.

**НЕЙТРИНО** [от итал. neutrino, уменьшительное от нейтрон]. Электрически нейтральная элементарная частица с весьма малой (вероятно, нулевой) массой покоя, участвующая только в слабых и гравитационных взаимодействиях. Обладает большой проникающей способностью. Существование нейтрино предсказал в 1930 г. немецкий физик Вольфганг Паули.

**НЕЙТРОН.** Электрически нейтральная элементарная частица с массой, почти равной массе протона. Наряду с протоном входит в состав атомных ядер. В свободном состоянии нейтрон нестабилен, время жизни — 16 минут. Открыт в 1932 г. английским физиком Джеймсом Чедвиком (Нобелевская премия по физике за 1935 г.).

**НЕОБРАТИМЫЙ ПРОЦЕСС.** Процесс, который не может протекать в обратном направлении так, чтобы совершающая его система прошла через те же самые промежуточные состояния без каких-либо остаточных изменений в окружающей систему среде (ср. *Обратимый процесс*).

**НЕОБЫКНОВЕННЫЙ ЛУЧ.** *Световой луч*, скорость распространения и показатель преломления которого зависят от направления в кристалле. Необыкновенный луч всегда поляризован. Его световой вектор колеблется в плоскости, перпендикулярной главной плоскости кристалла (ср. *Обыкновенный луч*).

**НЕОСНОВНЫЕ НОСИТЕЛИ.** *Носители*, электронами или дырками, концентрация которых меньше концентрации носителей противоположного знака (*основных носителей*) (см. *Полупроводники*).

**НЕОСОЗНАВАЕМАЯ МОДЕЛЬ МИРА.** Существует неограниченное число фактов, побуждающих признать, что наш мозг, наряду с осознанной моделью мира, располагает неосознаваемой. Самым простым свидетельством ее присутствия служит тот факт (до сих пор не вполне раскрытый учеными), что все дети в течение первых семи лет жизни бессознательно в совершенстве овладевают столь сложной системой, как грамматический строй родного языка.

Осознанная модель мира прежде всего порождает типовые решения, т. е. такие, алгоритм (путь) достижения которых человеку известен (именно они и только они доступны "мышлению" компьютера).

Все субъективно новые знания — код (алгоритм) решения нетиповой задачи в школе, нестандартные решения в любой области человеческой деятельности: изобретения, научные открытия и т. п. — порождает неосознаваемая модель мира. Озарение, эвристическое (творческое) мышление, догадка, воображение, фантазия, интуиция — все эти слова не что иное, как названия работы неосознаваемой модели мира или ее продуктов.

Наличие (появление) задачи, для решения которой у него нет алгоритма, человек видит благодаря осознаваемой модели мира. Если получить решение необходимо, включается неосознаваемая модель. Чем точнее была сформулирована проблема, тем легче она решается. Появившаяся догадка (озарение) проверяется осознаваемой моделью на предмет ее правдоподобия: непротиворечивость, соответствие теоретическим положениям, методологическим принципам и эмпирическим фактам.

При благоприятном исходе проверки осознаваемая модель "причесывает" решение в соответствии с общепринятыми нормами логики и языка — иначе оно окажется недоступным для понимания. В противном случае неосознаваемая модель вновь включается в работу. Так продолжается до тех пор, пока человек либо найдет искомый результат, либо придет к выводу, что он не в состоянии это сделать.

Неосознаваемая модель мира является главной причиной появления противоречий и пробелов в учебных текстах. Большинство людей не знают о существовании неосознаваемой модели мира и ее роли в познании. Поэтому, рассказывая о результатах

своей работы, автор не задумывается о том, какие из ее фрагментов появились осознанно, а какие — неосознанно. В итоге новое знание представляет собой мозаику из осознанных и неосознанных участков. Как правило, в таком виде оно попадает в учебные и научно-популярные книги (их авторы заботятся главным образом о методической стороне дела).

**НЕПОЛНЫЕ СИНОНИМЫ.** Синонимы, взаимозаменяемые не всегда (см. *Синонимы*).

**НЕПРЕДИКАТИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ.** Наряду с классифицированием важнейшей логической операцией является категоризация — отнесение какого-либо единичного предмета к некоторому множеству. Определение, пользуясь которым выполняют эту операцию, называют “непредикативным” (возможно, по аналогии с “классификационным” более подошел бы термин “категоризационное”).

По форме непредикативное определение неотличимо от *классификационного*. Идентифицировать (опознать) его можно только путем содержательного анализа. Рассмотрим примеры определений: “Астероид есть малая планета Солнечной системы” и “Меркурий есть ближайшая к Солнцу планета Солнечной системы”. Первое из них — классификационное (множество астероидов (А) есть подмножество множества “планеты Солнечной системы” (ПСС), элементы которого отличаются малыми размерами). Второе — непредикативное (Меркурий (М) — элемент множества “планеты Солнечной системы”, ближе всех расположенный к Солнцу). В символической форме эти отношения выражают следующим образом:  $A \subset ПСС$ ,  $M \in ПСС$ .

Неразличимость формы этих определений обусловлена, видимо, тем, что в обыденной жизни нет необходимости различать понятия “подмножество множества” и “элемент множества”. В обиходном языке нет слов, обозначающих данные понятия (даже математики стали различать их лишь столетие назад). В естественном языке существуют слова *часть* и *целое*, причем, как показывает анализ текстов, слово *часть* используют то для обозначения элемента множества, то — подмножества множества. Более того, встречается и третье его значение. Например, крошечку хлеба можно назвать частью булочки. Но очевидно, что это и не элемент, и не подмножество (по-видимому, в данном случае более всего подходит слово *фрагмент*).

Непредиктивное определение используют хотя и реже, чем классификационное, но достаточно широко. Например, суждение “Сила — физическая величина...” есть краткая форма мысли “Сила — элемент множества физических величин...”. Аналогично утверждение “Электропроводность — явление...” означает: “Электропроводность — элемент множества явлений...”.

**НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ ПО ФИЗИКЕ.** Высшей оценкой труда ученых, их достижений в области физики в международном масштабе служит Нобелевская премия по физике. Начиная с 1901 г. она вручается ежегодно 10 декабря — в день смерти Альфреда Нобеля, шведского инженера-изобретателя, предпринимателя и основателя премий по физике, химии, физиологии или медицине, литературе и премии мира.

К сегодняшнему дню премией по физике награждено более ста человек. Первым ее в 1901 г. получил немецкий физик Вильгельм Конрад Рентген за открытие лучей, названных его именем. Нобелевской премией по физике были награждены Анри Беккерель (1903), Нильс Бор (1922), Луи де Бройль (1929), Вернер Гейзенберг (1932), Поль Дирак (1933), Макс фон Лауэ (1914), Хендрик Лоренц (1903), Вольфганг Паули (1945), Макс Планк (1918), Джозеф Джон Томсон (1906), Энрико Ферми (1938), Эрвин Шрёдингер (1933), Альберт Эйнштейн (1921) и другие выдающиеся физики. Фредерик Жолио-Кюри, Эрнст Резерфорд, Николай Николаевич Семенов были лауреатами Нобелевской премии по химии.

Мари Кюри-Склодовская была первым дважды лауреатом Нобелевской премии: по физике (1903) и химии (1911). Джон Бардин получал премию по физике дважды: за участие в создании транзистора (1956) и теории сверхпроводимости (1972).

Из наших соотечественников премии по физике были удостоены: в 1958 г. Павел Алексеевич Черенков, Илья Михайлович Франк, Игорь Евгеньевич Тамм за открытие и объяснение *эффекта Вавилова—Черенкова*; в 1962 г. Лев Давидович Ландау за пионерские исследования по теории конденсированных сред, особенно жидкого гелия; в 1964 г. Николай Геннадиевич Басов и Александр Михайлович Прохоров за фундаментальные исследования в области квантовой электроники, которые привели к созданию генераторов и усилителей нового типа — *мазеров и лазеров*; в 1978 г. Петр Леонидович Капица за открытия в области физики низких температур; в 2000 г. Жорес Иванович Алферов за развитие полупроводниковых гетероструктур для опто- и вы-

сокоскоростной электроники; в 2003 г. Алексей Алексеевич Абрикосов и Виталий Лазаревич Гимзбург за их вклад в теорию сверхпроводников и сверхтекучих жидкостей.

**НОМИНАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ.** *Определение* — процедура, предназначенная для того, чтобы людям стало ясно, что обозначают данным словом, т. е. каково его значение. Среди вербальных (чисто словесных) определений этой цели точно соответствует определение, называемое номинальным. Форма номинального определения такова, что *предметом мысли* в нем является определяемое слово. Например: “Термин *квадрат* служит именем прямоугольника, все стороны которого равны” (или “*Квадрат* есть термин для обозначения прямоугольника, у которого все стороны равны”).

*Примечание.* Значительно чаще ввиду его краткости используют определение, называемое реальным, форма которого такова, что предметом мысли является вещь или понятие. Например: “Квадрат есть прямоугольник, у которого все стороны равны”. Однако по существу и в этом случае мы определяем значение термина.

**НОРМАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ** (центростремительное ускорение). Составляющая ускорения тела при криволинейном движении, направленная по главной нормали к траектории тела в сторону центра кривизны. Нормальное ускорение  $a_n = v^2/R$ , где  $v$  — скорость тела,  $R$  — радиус кривизны траектории (ср. *Тангенциальное ускорение*).

**НОРМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ.** Стандартные физические условия, определяемые давлением  $p = 101\,325$  Па (760 мм рт. ст.) и абсолютной температурой  $T = 273,15$  К ( $t = 0$  °C).

**НОРМАЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ.** Электрохимический элемент, служащий *мерой* электрического напряжения (см. *Мера физической величины*). Напряжение холостого хода (ЭДС) нормального элемента составляет примерно 1,02 В, весьма стабильно и достаточно одинаково у разных образцов. Применяется для проверки электроизмерительных приборов и при высокоточных электрических измерениях.

**НОСИТЕЛИ ЗАРЯДА.** Подвижные заряженные частицы, участвующие в проведении электрического тока. В теории *полупроводников* рассматривают два типа носителей — электроны и дырки.

*Электрон* — реально существующая частица. *Дырка* — воображаемая частица, “положительный электрон” — мысленная модель совокупности электронов, ведущей себя подобно положительно заряженной частице (подробнее см. *Полупроводники*).

**Примечание.** Термин *носитель заряда* — исправленная ориентировка. Он наводит на мысль, будто существуют два самостоятельных вида объектов — частицы (электрон, протон, позитрон и др.) и заряды (положительные и отрицательные), которые “переносятся” частицами. Это — дань истории. Термин *электрический заряд* следует использовать только как имя физической величины.

**НУКЛИДЫ** [от лат. *nucleus* — ядро]. Общее название атомов, различающихся числом протонов и нейтронов (*нуклонное*) в ядре. Изотопы одного и того же химического элемента — нуклиды, различающиеся числом нейтронов.

**НУКЛОНЫ** [от лат. *nucleus* — ядро]. Общее название протонов и нейтронов, из которых состоят все атомные ядра.

**НЬЮТОН.** Единица силы в СИ. Название дано в честь английского физика Исаака Ньютона. 1 ньютон — сила, с которой одно тело, действуя на другое тело массой в 1 кг, сообщает ему ускорение равное  $1 \text{ м/с}^2$ .

# О

**ОБОБЩЕНИЕ.** Прием научного мышления, состоящий в выявлении (усмотрении) общности в вещах или явлениях, ранее рассматриваемых как самостоятельные, не имеющие между собой ничего общего.

**ОБОБЩЕННЫЕ ПЛАНЫ ИЗУЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ ПО ФИЗИКЕ.** Изучение каждой учебной дисциплины сводится к знакомству с ограниченным числом однотипных элементов научных знаний. В курсе физики это физические явления, физические величины, модели, законы (теоремы, принципы, постулаты, уравнения), теории, классические опыты, приборы (устройства). Для того чтобы при изучении этих элементов научных знаний учащиеся не упустили чего-либо существенного, ученые-педагоги предложили использовать обобщенные планы. С одной стороны, обобщенные планы выражают признаки понятия, с другой — отображают структуру деятельности учащегося при изучении элементов научного знания, с третьей — представляют собой общие требования к знаниям учащихся об этих элементах. Они показывают, какие сведения о каждом конкретном элементе научного знания по физике следует собирать из учебной, справочной и научной литературы и в какой последовательности нужно излагать их в устной форме при ответах на уроках и экзаменах или в письменном виде при написании конспектов и рефератов. Использование учащимися обобщенных планов облегчает изучение и ускоряет усвоение элементов научных знаний по физике.

**ОБОБЩЕННЫЙ ПЛАН ИЗУЧЕНИЯ ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ, ИМЕЮЩЕЙ СОБСТВЕННОЕ НАИМЕНОВАНИЕ.** Включает следующие пять пунктов: 1. Название единицы. 2. Единицей какой величины она служит. 3. Происхождение названия единицы. 4. Обозначение единицы. 5. Определение единицы (см. Единые схемы построения определений моделей)

**ОБОБЩЕННЫЙ ПЛАН ИЗУЧЕНИЯ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ.** Включает следующие шесть пунктов: 1. Для измерения какой физической величины применяется метод. 2. Прямым или косвенным является метод. 3. Физические



основы метода. 4. Границы области применимости метода. 5. Точность метода. При каких обязательных условиях она достигается. 6. Преимущества и недостатки метода по сравнению с другими.

**ОБОБЩЕННЫЙ ПЛАН ИЗУЧЕНИЯ МОДЕЛИ.** Включает следующие семь пунктов: 1. Название модели. 2. Вид модели. 3. Оригинальность модели. 4. Цель введения модели. 5. Способ построения или описание модели. 6. Условия замены оригинала моделью. 7. Определение модели (см. *Обобщенные планы изучения элементов научных знаний по физике, Единые схемы построения определений явлений*).

**ОБОБЩЕННЫЙ ПЛАН ИЗУЧЕНИЯ ПРИБОРА.** Включает следующие восемь пунктов: 1. Название и марка (тип) прибора. 2. Назначение прибора, т. е. для измерения каких физических величин или получения каких сигналов (2) предназначен прибор. 3. Одноцелевым или многоцелевым является прибор. 4. Назначение органов управления прибора. 5. Пределы значений величин, допускаемые при работе с прибором. 6. Правила обращения (работы) с прибором, в том числе техника безопасности. 7. Точность, с которой прибор позволяет определять числовое значение измеряемой величины. 8. Условное изображение прибора на схемах.

**ОБОБЩЕННЫЙ ПЛАН ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.** Включает следующие восемь пунктов: 1. Название величины. 2. Цель введения величины. 3. Общепринятое буквенное обозначение величины. 4. Аналитическое выражение величины (для производных величин). 5. Вид величины: скалярная, векторная, безразмерная. 6. Единица величины в СИ. 7. Какие существуют методы измерения величины. 8. Определение величины (см. *Обобщенные планы изучения элементов научных знаний по физике и Единые схемы построения определений явлений*).

**ОБОБЩЕННЫЙ ПЛАН ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ЗАКОНА.** Включает следующие шесть пунктов: 1. Название закона. 2. Когда, кем и как открыт закон. 3. Связь между какими физическими величинами выражает. 4. Вербальная (словесная) формулировка закона. 5. Математическая формула, выражающая закон. 6. Пределы применимости закона.

**ОБОБЩЕННЫЙ ПЛАН ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ.** Включает следующие семь пунктов: 1. Название теории. 2. Кем и когда создана, предложена теория. 3. Основные положения

теории. 4. Факты, послужившие основанием для построения теории. 5. Математический аппарат теории (основное уравнение). 6. Круг явлений, объясняемых данной теорией (пределы применимости теории). 7. Явления и свойства, предсказанные теорией.

**ОБОБЩЕННЫЙ ПЛАН ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ЯВЛЕНИЯ.** Включает следующие девять пунктов: 1. Название явления. 2. Когда и кем открыто и изучено. 3. Внешние признаки проявления явления. 4. Условия, при которых наблюдается явление. 5. Механизм протекания явления (объяснение явления на основе современных теорий). 6. Количественные характеристики явления (физические величины, описывающие явление; формула, выражающая связь между ними). 7. Примеры использования явления на практике. 8. Способы предупреждения вредного воздействия явления. 9. Определенные явления (см. *Единые схемы построения распределений явлений*).

**ОБОСНОВАНИЕ.** Прием научного мышления, состоящий в выдвижении аргументов, повышающих степень достоверности обобщаемого утверждения.

**ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ.** Измерение — процедура определения значения физической величины, представляющая собой совокупность экспериментальных методов и способов обработки полученных результатов. Различают прямое и косвенное измерения. Наиболее простым является прямое измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно с помощью меры или измерительного прибора, например, при измерении длины линейкой, напряжения — вольтметром, температуры — термометром и т. п. Если прямые измерения невозможны, используют косвенные измерения. В них искомое значение величины находят на основании известной зависимости этой величины от других, допускающих прямое измерение, например, при измерении средней плотности тела по его массе и геометрическим размерам, измерения электрического сопротивления резистора по падению напряжения на нем и току через него и т. п.

Измерения могут быть выполнены как однократные и многократные. Однократное измерение дает единственный результат, который принимают за окончательный результат измерения. Многократное измерение проводят путем повторения однократных измерений одной и той же постоянной физической величины;

оно приводит к получению набора результатов. Окончательный результат многократного измерения находят в виде среднего арифметического результатов всех отдельных измерений.

Обработка экспериментальной зависимости заключается в наилучшей аппроксимации ее на основе имеющейся теоретической модели. По зарегистрированным точкам проводят расчетную кривую, построенную для некоторого набора числовых значений параметров. Изменяя значения параметров, добиваются наилучшего совпадения обеих кривых, при этом полученный оптимальный набор параметров принимают за результат их одновременного косвенного измерения.

Неотъемлемой частью всякого измерения является погрешность. Ею количественно характеризуют неопределенность, или неоднозначность, результата измерения. Ее оценивают, исходя из всей информации, полученной при подготовке и выполнении измерений. Эту информацию обрабатывают для определения результата измерения и его погрешности. Результат измерения ни в коем случае нельзя расценивать как "истинное значение" физической величины, так как в этом нет смысла из-за наличия погрешности.

Погрешность может быть выражена в единицах измеряемой величины, в таком случае она носит название *абсолютной погрешности*. Критерием качества измерения является отношение абсолютной погрешности к окончательному результату измерения, это отношение безразмерно, его называют *относительной погрешностью* и используют как в абсолютном, так и в процентном выражении. Высокой точности измерения соответствует малое значение относительной погрешности.

Погрешности измерений могут быть вызваны неточностью используемых измерительных приборов, случайными факторами, влияющими на результат измерений, в том числе природой измеряемой физической величины, неадекватностью модельных представлений, закладываемых в процедуру измерения, ошибками экспериментатора. Измерения, проводимые в науке и технике, обычно стремятся выполнить как многократные, чтобы обеспечить повышение точности результатов измерений. Применение методов математической статистики к обработке экспериментальных данных позволяет выполнить надежное оценивание результатов измерений и их погрешностей, определить меру адекватности используемых теоретических моделей.

**ОБРАТИМАЯ ТЕПЛОВАЯ МАШИНА.** Мысленная модель *тепловой машины*, введенная для решения задач о нахождении значения ее максимального коэффициента полезного действия и функционирующая согласно обратному замкнутому циклу, вклю-

чающему два изотермических и два адиабатических процесса: газ сначала изотермически и адиабатически расширяется, затем в такой же последовательности сжимается.

**ОБРАТИМЫЙ (ИДЕАЛЬНЫЙ) АДИАБАТИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС.** Мысленная модель теплового процесса, введенная для решения задач о тепловых процессах и построенная так, как будто газ можно обратимо расширять и сжимать без его теплообмена с окружающей средой.

**ОБРАТИМЫЙ (ИДЕАЛЬНЫЙ) ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС.** Мысленная модель теплового процесса, введенная для решения задач о тепловых процессах и построенная так, как будто газ можно обратимо расширять и сжимать, не изменяя его температуры.

**ОБРАТИМЫЙ ПРОЦЕСС.** Мысленная модель теплового процесса, введенная для решения задач о тепловых процессах и построенная так, как будто газ можно обратимо расширять и сжимать, не изменяя в результате ничего в окружающей среде.

**ОБЪЕКТИВ** [от лат. *objectivus* — предметный]. Обратная к объекту часть оптического прибора, представляющая собой линзу или систему линз и создающая перевернутое действительное изображение объекта.

**ОБЪЕМ.** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания размеров пространства, занимаемого телом, и равная числу единичных кубов, укладываемых (умещающихся) в это пространство.

Единичный куб — это куб с ребром, равным единице длины или ее дольному или кратному значению.

**ОБЪЕМНАЯ ПЛОТНОСТЬ ЗАРЯДА,  $\rho$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания плотности расположения заряженных частиц в объеме тела, и равная отношению заряда  $dq$  частиц, размещенных в элементе объема  $dV$ ,

к объему этого элемента:  $\rho = \frac{dq}{dV}$ .

**ОБЫКНОВЕННЫЙ ЛУЧ.** Световой луч, скорость распространения и показатель преломления которого не зависят от направления в кристалле. Обыкновенный луч всегда поляризован. Его световой вектор колеблется в главной плоскости кристалла (ср. *Необыкновенный луч*).

**ОДНООСНЫЕ КРИСТАЛЛЫ.** Кристаллы, в которых скорость распространения обыкновенного и необыкновенного лучей совпадает только в одном направлении, т. е. кристаллы, имеющие только одну оптическую ось.

**ОДНОРОДНОЕ ПОЛЕ.** Поле, во всех точках которого напряженность имеет одинаковое значение и направление: Силовые линии такого поля во всех точках имеют одно и то же направление. Например, электрическое поле между обкладками бесконечного плоского конденсатора или магнитное поле внутри длинного соленоида.

**ОДНОРОДНОСТЬ ВРЕМЕНИ.** Независимость законов движения системы от выбора начала отсчета времени.

**ОДНОРОДНОСТЬ ПРОСТРАНСТВА.** Независимость законов движения системы от переноса системы отсчета.

**ОКУЛЯР** [от лат. *ocularis* — глазной]. Обращенная к глазу часть оптического прибора, предназначенная для рассматривания действительного изображения, образуемого объективом.

**ОМ.** Единица электрического сопротивления в СИ. Название дано в честь немецкого физика Георга Симона Ома. 1 Ом — сопротивление резистора, между выводами которого напряжение равно 1 В при силе постоянного тока в 1 А. Обозначение — Ом.

**ОММЕТР.** Прибор для измерения электрического сопротивления.

**ОПЕРАЦИОНАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ.** Невербальное (не чисто словесное) определение, заключающееся в том, что значение слова становится ясным в результате демонстрации вещей и действий (оперирования с ними). Благодаря этому устанавливается взаимно-однозначное соответствие между словами и действиями человека с материальными объектами (предметными действиями). Приведем два примера операциональных определений.

Гениальный французский математик Анри Пуанкаре рекомендовал при обучении понятие *'прямая линия'* определять, используя практический прием, который чертежники применяют для проверки прямолинейности рейсшины: по рабочей кромке рейсшины чертят линию, переворачивают рейсшину вокруг рабочей

кромки и прикладывают ее к начерченной линии. Если кромка совпадает с линией, сдвигают рейсшину вдоль линии. Если совпадение не нарушается, говорят: "Вот такую линию называют прямой".

Второй пример — определение понятия одновременности событий в удаленных друг от друга точках пространства, предложенное Альбертом Эйнштейном. Обозначим точки через  $A$  и  $B$ . В каждую точку поместим часы. Кроме того, в точке  $A$  установим импульсный источник света, а в точке  $B$  — отражатель. Момент  $t_1$  кратковременной вспышки засечем по часам в точке  $A$ . Когда луч достигнет точки  $B$ , зафиксируем момент  $t_2$  по вторым часам. Зарегистрируем момент  $t_3$  прихода отраженного луча в точку  $A$ . После этого утверждаем: "Если  $(t_1 + t_3)/2 = t_2$ , часы идут синхронно".

В естественных и технических науках все термины, обозначающие исходные предметы мысли, т. е. те, что служат основанием для развития теоретических представлений, вводят в процессе операциональных определений.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ (дефиниция).** В литературе встречаются словосочетания "определение понятий" и (реже) "определение терминов" (см. *Понятие и термин*). Разберемся в этой двусмысленности.

Распространено мнение, будто в процессе коммуникации (общения) люди обмениваются мыслями. Это не так. Мысли каждого человека сугубо индивидуальны. Другие люди их непосредственно не воспринимают. Человек, желающий сообщить кому-то свои мысли, должен объективировать (выразить, представить) их в какой-либо знаковой форме — на естественном (словесном) языке, в виде математических выкладок, рисунков, схем, чертежей, объемных макетов и т. п. В пространстве между коммуникантами (общающимися) имеются не мысли, а звуковые волны или следы чернил на бумаге. Они служат сигналом для возникновения в сознании реципиента (получателя сообщения) собственных мыслей, чем-то неизбежно отличающихся от мыслей автора сообщения. Если автор хочет, чтобы они отличались несущественно, он должен позаботиться о логической непротиворечивости сообщения, безупречности грамматической формы и взаимно-однозначном соответствии между словами и другими знаками, с одной стороны, и предметами мысли — с другой. Иначе говоря, автор сообщения и реципиент должны одинаково понимать значения слов и других знаков. Этой цели и служит определение. Таким образом, над определением (дефиницией) следует помнить процедуру любого характера, в результате применения которой становится

понятием значение слова, в том числе термина. Если словом обозначает понятие, то одновременно дефиниция служит определением понятия.

Со времен Аристотеля распространено заблуждение, будто возможен только один вид определения — вербальное (чисто словесное) определение через ближайший род и видовое отличие, называемое также *классификационным*. Отсюда, в частности, следует нередко встречающееся утверждение “первичные понятия не определяются”. Сравнительно недавно (практически в течение последнего столетия) люди поняли, что они пользуются не только классификационными, но и другими определениями — *контекстуальным, непредикативным, определением через объем понятия, остенсивным, операционным* и введением *абстрактных выражений*. Важнейшее значение имеют невербальные (не чисто словесные) определения — остенсивное и операциональное. Именно через них в науке и технике вводят первичные понятия.

По словесной форме различают реальное и номинальное определения. В первом конструкция предложения такова, что *предметом мысли* является вещь или понятие о ней. Например: “Самолет есть летательный аппарат тяжелее воздуха с неподвижным крылом и тепловым двигателем”. Во втором — предметом мысли является термин, например: “Самолет есть термин, обозначающий летательный аппарат тяжелее воздуха с неподвижным крылом и тепловым двигателем”. Первая конструкция короче и поэтому применяется значительно чаще второй. Однако всегда надо помнить, что определение — процедура, позволяющая узнать значение слова (или словосочетания). Отсюда следует, что во существу всякое определение — номинальное, а реальное — его краткая форма. Реальное определение не всегда удается сконструировать в силу того, что оказывается невозможным подобрать родовое понятие, по отношению к которому определяемое множество является его подмножеством. Примером может служить определение *физической величины*.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧЕРЕЗ БЛИЖАЙШИЙ РОД И ВИДОВОЕ ОТЛИЧИЕ.** То же, что *классификационное определение*.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧЕРЕЗ ЗАКОН.** Первым шагом любого теоретического исследования является формирование мысленной модели объекта. Как ее вводят? Рассмотрим один из вариантов этого процесса на примере простейшей модели резистора — резистивного элемента.

Поведение резистора приближенно описывают выражением  $u = Ri$ , где  $u$  — напряжение, измеренное между выводами резистора,  $i$  — сила тока, измеренная в них же,  $R$  — коэффициент пропорциональности, именуемый сопротивлением.

Воображаемому (абстрактному, идеальному) объекту — резистивному элементу — приписывают свойство “подчиняться” точному равенству  $u = Ri$ , известному под названием закона Ома.

Таким образом, резистивный элемент можно определить как абстрактный *дедуктивный* элемент, поведение которого описывает равенство  $u = Ri$ . Это — *классификационное определение*. Родовым понятием служат ‘*абстрактный дедуктивный*’, а видовым отличием — закон Ома.

Такое определение называют определением через закон.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧЕРЕЗ ОБЪЕМ ПОНЯТИЯ.** В статье *Классификационное определение* показано, как понятие ‘*квадрат*’ определяют через более общее понятие ‘*прямоугольник*’. Теперь определим ‘*прямоугольник*’, найдя для него ближайшее родовое понятие: “*Прямоугольник есть четырехугольник, у которого все четыре угла прямые*”. Продолжим движение в сторону более общих понятий. “*Четырехугольник — многоугольник, имеющий четыре стороны*”. “*Многоугольник — плоская фигура, ограниченная линией, которой состоит из отрезков прямой*”. “*Плоская фигура — часть плоскости, ограниченная замкнутой линией*”.

Казалось бы, теперь, двигаясь от понятия ‘*плоская фигура*’ в обратном направлении — от более общих понятий к менее общим, — мы сможем дедуктивно определять все рассмотренные понятия, включая ‘*квадрат*’. Однако это нелезоя, так как остались не определенными понятия ‘*плоскость*’ и ‘*линия*’. Математики называют их “*первичными*” и утверждают, что они “*не определяются*”. С подобной ситуацией мы сталкиваемся в любой области знаний. Достаточно ясно, что она нетерпима, — отсутствует основание для рассуждений. Как же поступают в таких случаях? В таких случаях используют другие виды определений. Рассмотрим одно из них.

В статье *Классификационное определение* сказано, что в логике различают содержание и объем понятия и что классификационное определение базируется на анализе содержания понятий. Столь же применительно (но почти неизвестно) определение через объем понятия. Оно состоит в том, что вводят имя понятия, определяя его путем перечисления элементов множества, соответствующего данному понятию. Например, термин *физические величины* можно



определить как ния множества, элементами которого являются длина, масса, время, сила, энергия, электрическое напряжение, температура и т. д. (См. *Номинальное определение*).

**ОПТИКА** (от греч. *optiké*). Раздел физики, изучающий и описывающий явления, связанные с природой светового излучения, его распространением и взаимодействием с веществом.

**ОПТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ**. Свойство среды вызывать *вращение плоскости поляризации* проходящего через нее *плоско (линейно) поляризованного света*.

**ОПТИЧЕСКАЯ ДЛИНА ПУТИ,  $L$** . Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания расстояния, пройденного монохроматическим излучением в направлении луча с учетом оптической плотности среды, равная произведению расстояния  $l$ , пройденного лучом, и показателя преломления среды  $n$ :  $L = l \cdot n$ .

**ОПТИЧЕСКАЯ ОСЬ КРИСТАЛЛА**. Направление в оптически анизотропном кристалле, вдоль которого свет распространяется, не испытывая двойного лучепреломления.

**ОПТИЧЕСКАЯ ОСЬ ЛИНЗЫ**. Любая прямая, проходящая через *оптический центр линзы*. Оптическую ось, проходящую через центры сферических поверхностей, ограничивающих линзу, называют *главной оптической осью*. Все остальные оси называют *побочными оптическими осями линзы*.

**ОПТИЧЕСКАЯ ОСЬ СФЕРИЧЕСКОГО ЗЕРКАЛА**. Любая прямая, проходящая через *оптический центр зеркала*.

**ОПТИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА**. Вещества, вызывающие *вращение плоскости поляризации* проходящего через них *плоско (линейно) поляризованного света*.

**ОПТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ЛИНЗЫ**. Точка в линзе, через которую все лучи проходят без преломления.

**ОПТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР СФЕРИЧЕСКОГО ЗЕРКАЛА**. Центр сферы, из которой вырезано зеркало.

**ОПТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.** Электромагнитное излучение, длины волн которого лежат в диапазонах инфракрасного, видимого и ультрафиолетового спектра.

**ОПЫТ.** Термин используют в двух значениях. 1. Знания и умения, выработанные и приобретенные человеком в процессе любой деятельности, как предметной, так и умственной.

2. Синоним термина *эксперимент* (см. *Наблюдение и эксперимент*).

**ОПЫТЫ ЛЕБДЕВА.** См. *Давление света*.

**ОПЫТЫ МАЙКЕЛЬСОНА.** Опыты измерения значения скорости света в движущейся системе отсчета впервые в 1881 г. поставил американский физик Альберт Абрахам Майкельсон. Затем аналогичные опыты ставили другие ученые вплоть до последнего времени. Опыты показали, что с очень высокой степенью точности во всех системах отсчета, независимо от значения и направления скорости их движения, скорость света (в вакууме) такая же, как и в системе отсчета, связанной с источником света. Результаты опытов Майкельсона стали одним из экспериментальных оснований теории относительности.

**ОПЫТЫ МАЙКЕЛЬСОНА—МОРЛИ.** Опыты по экспериментальному обнаружению движения Земли относительно неподвижного эфира, иначе говоря, обнаружению эфирного ветра поставили в 1887 г. А. Майкельсон и Э. Морли. Эти опыты имели отрицательный результат, что значительно способствовало признанию теории относительности.

**ОПЫТЫ МИЛЛИКЕНА.** Опыты по измерению значения заряда электрона (элементарного заряда) в 1906—1913 гг. провел американский физик Роберт Эндрус Милликен. Результаты его опытов показали, что заряд  $e$  электрона имеет значение  $e = (1,5920 \pm 0,0017) \cdot 10^{-19}$  Кл. Опытами Милликена была доказана дискретность электрического заряда и впервые было достаточно точно измерено его значение.

**ОПЫТЫ ПЕРРЕНА.** Опыты по измерению числа Авогадро (см. *Постоянная Авогадро*) одним из первых в 1909 г. провел французский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1926 г. Жан Перрен.

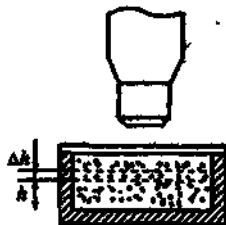


Рис. 0.1. Схема установки в опытах Ж. Перрена по определению числа Авогадро

В начале XX в., когда шло становление теории молекулярного строения вещества, экспериментальному определению значения числа Авогадро придавали большое значение. Жан Перрен на основе своих опытов по изучению броуновского движения пришел к выводу, что броуновские частицы в жидкости ведут себя как молекулы газа, и выдвинул гипотезу: газовые законы должны быть применимы и к броуновским частицам. Истинность своей гипотезы он проверил исследованием распределения броуновских частиц по высоте.

Для этого он приготовил эмульсию смолы гуттаперчи. Зерна эмульсии имели одинаковые размеры и форму шариков диаметром в несколько десятых долей микрометра. Они были настолько велики, что их можно было отчетливо наблюдать в микроскоп, и достаточно малы, чтобы совершать интенсивное броуновское движение.

Схема опыта Перрена изображена на рис. 0.1. Эмульсию помещали в кювету высотой в несколько десятых долей миллиметра. После того как устанавливалось тепловое равновесие, на одну из горизонтальных плоскостей, проходящих в эмульсии, наводили микроскоп с малой глубиной поля зрения. Беспорядочное броуновское движение зерен эмульсии затрудняло их наблюдение и подсчет. Поэтому Перрен производил мгновенные фотоснимки наблюдаемой в микроскоп картины и по ним определял концентрацию зерен. Такие измерения производили для различных сечений, отстоящих на разных расстояниях  $h$  от дна кюветы.

Опыты показали, что, как и предсказывает теория, концентрация зерен экспоненциально убывает с высотой:

$$n = n_0 e^{-\alpha h}$$

(здесь  $n_0$  — концентрация зерен в сечении  $h = 0$ ,  $n$  — концентрация зерен на высоте  $h$ ,  $\alpha$  — величина, обратно пропорциональная температуре  $T$ ). Эта формула совершенно подобна закону Больцмана, описывающему распределение молекул газа по высоте:

$$n = n_0 e^{-\frac{m_0 N_A}{RT} h}$$

Прологарифмировав это выражение, получим:

$$N_A = \frac{RT}{m_0 g h} \cdot \ln \frac{n_0}{n} = \frac{3RT}{4\pi a^3 (\rho - \rho_0) g h} \cdot \ln \frac{n_0}{n}$$

Именно этим выражением пользовался Перрен для вычисления значения числа Авогадро на основании своих опытов. Вместо массы  $m$  молекулы и концентраций  $n$  и  $n_0$  молекул Перрен подставлял в формулу массу броуновской частицы, т. е. разность между массой частицы и вытесненной ею жидкости, концентрации этих частиц на разных высотах. Для шарообразной частицы радиуса  $a$  массу  $m$  вычисляют по формуле  $m = \frac{4}{3}\pi a^3(\rho - \rho_{ж})$ , где  $\rho$  и  $\rho_{ж}$  — плотности гуммигута и жидкости соответственно.

В своих опытах Перрен изменял температуру и вязкость жидкости, размер зерен эмульсии. Полученное Перреном на различных эмульсиях значение числа Авогадро лежало в пределах от  $6,5 \cdot 10^{23}$  до  $7,2 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>.

Классические опыты Перрена, выполненные в 1908–1911 гг., имели большое значение для утверждения атомизма.

Опыты Перрена с эмульсией гуммигута можно рассматривать как один из первых примеров использования материальных моделей в экспериментальной физике.

**ОПЫТЫ РЕЗЕРФОРДА.** Опыты, позволившие выявить характер распределения положительного заряда и вещества (массы) внутри атома, впервые в 1911 г. поставил английский физик, лауреат Нобелевской премии по химии за 1908 г. Эрнест Резерфорд. Суть опытов заключалась в следующем (рис. 0.2). Узкий пучок  $\alpha$ -частиц 2 от источника 1 направляли на фольгу из золота 3 перпендикулярно к ее поверхности.  $\alpha$ -частицы, прошедшие через фольгу и рассеянные ею, вызывали сцинтилляции (вспышки) на экране 4, покрытом флуоресцирующим веществом. В пространстве между фольгой и экраном обеспечивался вакуум, чтобы исключить дополнительное рассеяние  $\alpha$ -частиц в воздухе. Конструкция прибора позволяла наблюдать  $\alpha$ -частицы, рассеянные под углом до 150°

Опыты Резерфорда показали, что наряду с преобладающим большинством  $\alpha$ -частиц, отклоняющихся незначительно от своего первоначального направления, имеются  $\alpha$ -частицы, которые при прохождении

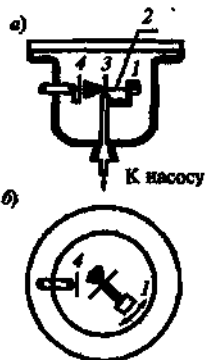


Рис. 0.2. Схема установки в опытах Э. Резерфорда по исследованию рассеяния  $\alpha$ -частиц: вид сбоку (а) и вид сверху (б)

через фольгу резко отклоняются на большие углы, порядка 135–150°.

Для объяснения результатов опытов Резерфорду пришлось предложить новую — ядерную (планетарную) — модель строения атома (см. *Планетарная модель строения атома и Пудинговая модель строения атома*).

#### ОПЫТЫ СТОЛЕТОВА. См. *Внешний фотоэффект*.

**ОПЫТЫ СТЮАРТА—ТОЛМЕНА.** Опыты по определению знака и измерению удельного заряда свободных частиц, осуществляющих проводимость в металлах, поставили в 1916 г. американские физики Т. Стюарт и Р.Ч. Толмен.

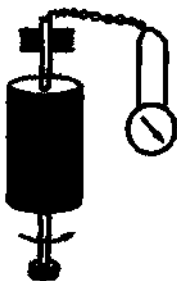


Рис. 0.3. Схема установки в опытах Т. Стюарта и Р. Толмена по определению знака и измерению удельного заряда свободных заряженных частиц, осуществляющих проводимость в металлах

Суть опытов заключалась в следующем. На катушку (рис. 0.3) наматывали длинный проводник, присоединенный к гальванометру. Катушку приводили в быстрое вращение и затем резко тормозили. В результате торможения катушки свободные заряженные частицы в проводнике по инерции перемещались в направлении вращения и в проводнике возникал ток. Направление тока зависело от знака заряда частиц.

Опыты показали, что частицы, осуществляющие проводимость в металлах, имеют отрицательный заряд. Для их удельного заряда были получены значения, в пределах погрешности измерений совпадающие с удельным зарядом электрона  $1,76 \cdot 10^{11}$  Кл/кг. Такой результат позволил сделать вывод о том, что проводимость в металлах обусловлена движением электронов.

**ОПЫТЫ ШТЕРНА.** Механизм протекания большинства явлений, изучаемых в молекулярной физике, связан со скоростью движения молекул. Поэтому экспериментальному определению скоростей молекул придавали исключительно важную роль. Сегодня существует несколько методов измерения скоростей молекул. Первым измерил скорость молекул серебра методом атомных (молекулярных) пучков немецкий физик Отто Штерн в 1920 г.

В своих опытах он использовал прибор, состоявший из двух коаксиальных цилиндров. По оси цилиндров была натянута

платиновая проволока, покрытая серебром. Она служила источником молекул серебра. По всей высоте внутреннего цилиндра висела узкая щель, параллельная проволоке. Перед опытом в приборе создавали высокий вакуум.

Схематически вид установки изображен на рис. 0.4. При пропускании электрического тока по проволоке серебро испаряется и его атомы радиально летят с поверхности проволоки. Атомы, проходящие через щель внутреннего цилиндра, движутся прямолинейно вдоль радиуса цилиндра и оседают на внутренней поверхности внешнего цилиндра, образуя узкую полоску шириной около 0,4 мм с достаточно резкими краями.

Если привести оба цилиндра во вращение с угловой скоростью  $\omega$ , то в течение времени  $t$ , пока молекула пролетит расстояние от внутреннего цилиндра до внешнего, цилиндры повернутся на некоторый угол и молекула попадет не в то место, куда она пошла бы при неподвижных цилиндрах. Следы осевших атомов при вращении цилиндров смещены на расстояние  $l$  относительно следов при неподвижных цилиндрах. Зная угловую скорость  $\omega$  вращения цилиндров, радиусы  $R$  внешнего и  $r$  внутреннего цилиндров, можно вычислить скорость молекулы. Действительно, если скорость внешнего цилиндра  $v_n$ , а время пролета молекулы от внутреннего цилиндра до внешнего равно  $t$ , перемещение точки на поверхности внешнего цилиндра  $l = v_n t = \omega \cdot R \cdot t$ , а скорость  $v$  молекулы  $v = (R-r)/t$ . Исключив из этих двух уравнений  $t$ , получим:

$$v = \frac{v_n (R-r)}{l} = \frac{\omega R (R-r)}{l}$$

Прибор Штерна совершал 2700 об/мин, и смещение серебряной полоски было хорошо заметным. Средняя скорость атомов серебра при температуре опыта 1206°С оказалась равной 650 м/с, что хорошо согласуется со значениями скоростей молекул, рассчитанными теоретически.

Опыты показали, что вместо резкого смещенного изображения щели при вращении цилиндров получалась широкая размытая полоса разной толщины. Это свидетельствовало о том, что

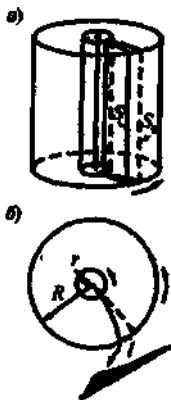


Рис. 0.4. Схема установки в опытах О.Штерна по определению скорости молекул серебра: вид сбоку (а) и вид сверху (б)

скорости различных молекул различны. По распределению толщин слоя осажденного серебра можно было судить о распределении молекул по скоростям. Результаты этих опытов подтвердили справедливость закона Максвелла распределения скоростей молекул газа.

Более того, изменяя температуру проволоки изменением силы тока, проходящего через нее, удалось показать, что средняя скорость  $v$  молекул пропорциональна корню квадратному из абсолютной температуры  $T$ :  $v \sim \sqrt{T}$ .

Температуру проволоки можно было измерить по ее электрическому сопротивлению или оптическим пирометром по ее свечению.

**ОРБИТА (ОРБИТАЛЬ) ЭЛЕКТРОНА** [от лат. orbita — колея, путь]. В классическом случае замкнутая траектория движения электрона вокруг ядра. Орбита электрона в атоме — это множество точек, в которых с наибольшей вероятностью можно обнаружить электрон. Другими словами, это множество точек, где плотность электронного облака наибольшая.

**ОСВЕЩЕННОСТЬ,  $E_v$** . Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания падающего на тело света и равная отношению светового потока  $\Delta\Phi_v$ , падающего на элемент поверхности тела, к площади  $\Delta s$  этого элемента:  $E_v = \frac{\Delta\Phi_v}{\Delta s}$ .

**ОСНОВНАЯ ЕДИНИЦА СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН** (основная единица). Единица *основной физической величины* в данной системе единиц.

**ОСНОВНАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА** (основная величина). Физическая величина, входящая в *систему величин* и условно принятая в качестве независимой от других величин, входящих в эту систему (см. *Физические величины*).

**ОСНОВНЫЕ НОСИТЕЛИ**. *Носители*, электроны или дырки, концентрация которых превосходит концентрацию носителей противоположного знака (*несвязных носителей*) (см. *Полупроводники*).

**ОСТАТОЧНАЯ МАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ**. *Магнитная индукция* в ферромагнетике после исчезновения внешнего магнитного поля.

**ОСТАТОЧНАЯ НАМАГНИЧЕННОСТЬ.** *Намагниченность* ферромагнетика при напряженности внешнего магнитного поля, равной нулю.

**ОСТЕНСИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ.** Невербальное (не чисто словесное) определение, состоящее в том, что собеседнику показывают вещь или процесс и одновременно называют его имя. Имеет важнейшее значение в жизни каждого человека. Так и только так младенец начинает овладевать родным языком. Мать постоянно разговаривает с ним: “Вымоем ручки”, “Выльем молочка”, “Вон бежит собачка”... В результате этого в психике ребенка возникают ассоциации между вещами или процессами и обозначающими их словами. Со временем оказывается возможным демонстрировать не только сами вещи, но и их изображения. Широко используется в дальнейшем при обучении и в других случаях. Например, если цивилизованный иностранец, слабо знающий русский язык, спрашивает “Что такое очки?”, ясно, что ему неизвестно значение слова. Попытка объяснить, что очки — оптический прибор, предназначенный для коррекции зрения, к успеху не приведет. Надо показать очки и сказать: “Вот очки”.

**ОСЦИЛЛОГРАММА.** Временная диаграмма, наблюдаемая на экране осциллографа.

**ОСЦИЛЛОГРАФ (ЭЛЕКТРОННЫЙ).** Один из наиболее распространенных лабораторных приборов. Предназначен для наблюдения временных диаграмм и характеристик изучаемых объектов, а также измерения напряжения и интервалов времени. Основным элементом осциллографа является электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) — устройство, аналогичное кинескопу телевизора. ЭЛТ представляет собой электронный прибор (рис. 0.5). В стеклянной колбе 1, из которой откачан воздух (создан высокий вакуум), расположены: электронная пушка 2, горизонтально отклоняющие пластины 3 (X-пластины) и вертикально



Рис. 0.5. Электронно-лучевая трубка



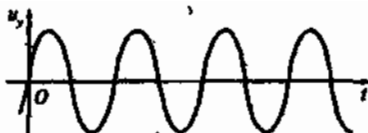


Рис. 0.6. Временная диаграмма напряжения, изменяющегося почти гармонически

отклоняющие пластины  $Y$  ( $Y$ -пластины). Дно колбы с внутренней стороны покрыто люминофором — веществом, которое светится при падении на него электронов.

Принцип действия ЭЛТ состоит в следующем. Электронная пушка формирует тонкий пучок электронов, летящих к экрану. Ударяя по люминофору, электроны вызывают его свечение. Если электрическое поле между отклоняющими пластинами отсутствует, электроны летят по оси трубки и световое пятно находится в центре экрана. Электрическое поле между  $X$ -пластинами отклоняет луч по горизонтали, и световое пятно смещается вправо или влево в зависимости от направления поля. Аналогично, электрическое поле между  $Y$ -пластинами смещает световое пятно по вертикали. Если присутствуют оба поля, световое пятно оказывается не на осях, а в каком-либо из квадрантов экрана.

Наблюдение временных диаграмм. Временной диаграммой называют график зависимости какой-либо физической величины от времени. Например, на рис. 0.6 показана временная диаграмма напряжения, изменяющегося почти гармонически. Каким образом получают временную диаграмму на экране? Если, как принято говорить (выражение иносказательное), на  $Y$ -пластину подать переменное напряжение, например изменяющееся почти гармонически, а на  $X$ -пластину не подавать напряжение, мы увидим на экране вертикальную светящуюся черту. Чтобы получалась временная диаграмма, луч должен двигаться по горизонтали слева направо с постоянной скоростью. Для этого

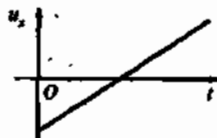


Рис. 0.7. Линейно изменяющееся напряжение

надо подать на  $X$ -пластину так называемое “развертывающее” напряжение  $u_x$ , линейно нарастающее во времени (рис. 0.7). Размер экрана ограничен. Следовательно, в какой-то момент времени светящееся пятно достигнет его правого края. Если на этом процесс закончить, мы увидим на экране мелькнувший бледный отрезок синусоиды. Его даже заметить трудно. Чтобы изобра-

жение стало наблюдаемым, этот процесс надо повторять непрерывно, причем электронный луч должен пробегать каждый раз по одному и тому же пути. Для этого напряжение, подаваемое на X-пластины, должно изменяться периодически (рис. 0.8). Напряжение такой формы называют "пилособразным". Этот сигнал (3) вырабатывает устройство, входящее в состав осциллографа, именуемое генератором развертки. Для того чтобы изображения отрезков синусоиды точно накладывались друг на друга, очередное нарастание напряжения  $u_x$  должно начинаться в одной и той же фазе напряжения  $u_y$ . В противном случае луч будет пробегать по разным путям и на экране окажется сплюснутая засветка, состоящая из сдвинутых относительно друг друга отрезков синусоиды (рис. 0.9). Чтобы получить желаемый результат, генератор развертки надо синхронизировать исследуемым или другим, синхронным с ним, сигналом (4). Тогда каждый раз развертка будет начинаться в одной и той же фазе с исследуемым сигналом (рис. 0.10), и "кусочки" синусоиды наложатся друг на друга, создав яркое изображение на экране.

Электронное устройство в осциллографе обеспечивает описанное форматирование. Его упрощенная блок-схема показана на рис. 0.11. Так как амплитуда напряжения изучаемого сигнала может быть очень различной, а чувствительность ЭЛТ к напряжению на пластинах определенная, на входе Y имеется возможность ее регулировать. Если амплитуда слишком велика, ее уменьшают attenuатором (ослабителем) 2. Сигналы малой амплитуды, напротив, усиливают. С выхода усилителя Y (3) сигнал поступает на вертикально

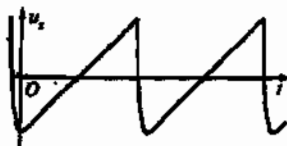


Рис. 0.8. Пилособразное напряжение генератора развертки

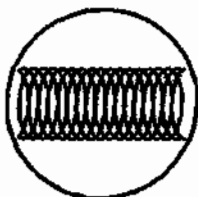


Рис. 0.9. Изображение на экране осциллографа при отсутствии синхронизации

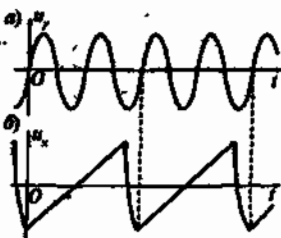


Рис. 0.10. Синхронная работа генератора развертки с изучаемым сигналом: изучаемый сигнал (а); синхронное с ним напряжение генератора развертки (б)

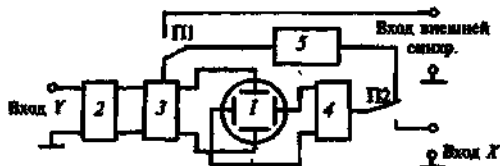


Рис. 0.11. Упрощенная блок-схема осциллографа

отклоняющие пластины ЭЛТ (1). Кроме того, в нем вырабатывается сигнал, синхронизирующий генератор развертки 5. Синхронизация может быть как внутренней (именно этим сигналом), так и внешней — от сигнала, синхронного с изучаемым, поступающего на специальный вход. Для выбора того или иного вида синхронизации служит переключатель П1. 4 — усилитель сигнала, подаваемого на горизонтально отклоняющие пластины (X-пластины).

Генератор развертки снабжен переключателем частоты развертки. Скорость нарастания напряжения в каждом положении переключателя вполне определенная. Благодаря этому скорость движения светового пятна по горизонтали известна, и пройденное пятном расстояние по оси X пропорционально интервалу времени. Это и позволяет измерять временные интервалы.

Аттенюатор и усилитель Y также хорошо калиброваны. Поэтому отклонение луча по вертикали соответствует определенному значению напряжения и, следовательно, его можно измерять.

Наблюдение характеристик переключатель П2 переводит в нижнее положение и на вход X подают второе изучаемое напряжение. Например, вольт-амперную характеристику диода можно наблюдать, воспользовавшись установкой, предельно упрощенная схема которой показана на рис. 0.12 (усилители X и Y на ней не изображены). 1 — источник

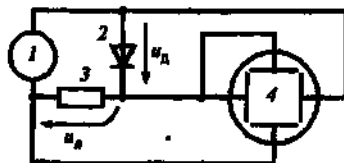


Рис. 0.12. Предельно упрощенная блок-схема установки для получения на экране осциллографа вольт-амперной характеристики диода

переменного напряжения. Напряжение  $u_D$  диода поступает на  $X$ -пластины и обеспечивает отклонение луча по горизонтали. Ток  $i_D$  диода протекает через резистор  $Z$ . Напряжение  $u_Z$  резистора, пропорциональное току  $i_D$ , подается на  $Y$ -пластины, в силу чего отклонение луча по вертикали пропорционально  $i_D$ .

Аналогично можно получать на экране другие характеристики, используя преобразователи формы движения материи, на выходах которых получают электрическое поле, напряжение которого пропорционально величинам, характеризующим изучаемый объект.

**Примечание.** Слова о “подаче напряжения” на вход осциллографа или отклоняющие пластины ЭЛТ — неосказательные. Напряжение — физическая величина, т. е. предмет из мира идей, и “подать” ее на вход, т. е. пару выводов, нельзя. Однако пока нет удобных коротких правильных выражений, и мы вынуждены пользоваться этим *личным языком*.

**ОСЦИЛЛЯТОР (КЛАССИЧЕСКИЙ).** Существуют разные системы, в которых происходит колебания, по форме близкие к гармоническим: пружинный маятник (в ручных и карманных часах); гравитационный маятник (в стенных часах); кварцевый резонатор (в электронных часах); камертон;  $LC$ -контур.

По структуре они существенно отличаются друг от друга. Так, пружинный маятник и  $LC$ -контур содержат каждый по два четко различающихся компонента (груз и пружина, индуктивная катушка и конденсатор соответственно). В гравитационном маятнике с первого взгляда мы можем выделить один компонент — грузик. Нить (или стержень), на которой он подвешен, играет пассивную роль — ограничивает свободу перемещения грузика. У камертона вообще невозможно выделить “сосредоточенных” компонентов — это цельный кусок металла (аналогично — у кварцевого резонатора).

Во всех перечисленных и других подобных колебательных системах колебания, будучи возбуждены, с течением времени затухают.

Несмотря на эти особенности (различие структуры и затухание), оказалась весьма полезной мысленная модель колебательной системы, в которой колебания не затухают. Ее называют осциллятором.

Осциллятор — воображаемая система, состоящая из двух дуальных в отношении друг друга накопителей  $A$  и  $B$  (рис. 0.13). Их поведение описывают следующие компонентные законы:



Рис. 0.13. К определению понятия ‘осциллятор’

$$x_A = a \frac{dy_A}{dt}; \quad (1)$$

$$y_B = b \frac{dx_B}{dt}, \quad (2)$$

где  $a$  и  $b$  — параметры накопителей.

Связи между элементами выражают структурные законы:

$$x_A = x_B = x; \quad (3)$$

$$y_A = -y_B. \quad (4)$$

Переменные  $x$  и  $y$  отличаются тем, что их произведение равно мгновенной мощности:

$$P(t) = x(t)y(t).$$

При этом энергия накопителей выражается формулами

$$W_A = \frac{ay_A^2}{2}; \quad W_B = \frac{bx_B^2}{2}.$$

Связи между параметрами и переменными абстрактного осциллятора, механической модели и электрической модели приведены в таблице.

Абстрактный осциллятор	Механическая модель	Электрическая модель
$a$	$m$ — масса груза	$L$ — индуктивность катушки
$b$	$1/k$ ( $k$ — коэффициент жесткости пружины)	$C$ — емкость конденсатора
$x$	$F$ — сила	$u$ — напряжение
$y$	$v$ — скорость	$i$ — сила тока

Воспользовавшись формулами (1)–(4), получим дифференциальное уравнение осциллятора:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{1}{ab} x = 0.$$

Его решение — гармоническая функция

$$x = X_m \cos(\omega t + \psi),$$

где  $X_m$  — амплитуда,  $\psi$  — начальная фаза, определяемые начальными условиями;  $\omega = 1/\sqrt{ab}$  — собственная угловая частота осциллятора, определяемая только его параметрами  $a$  и  $b$ .

Рассмотрим конкретный случай  $LC$ -контура (рис. 0.14).

Компонентные законы:

$$u_L = L \frac{di_L}{dt}; \quad i_C = C \frac{du_C}{dt}.$$

Структурные законы:

$$u_L = u_C; \quad i_L = -i_C.$$

Энергия накопителей:

$$W_L = \frac{Li_L^2}{2}; \quad W_C = \frac{Cu_C^2}{2}.$$

Дифференциальное уравнение:

$$\frac{d^2 u}{dt^2} + \frac{1}{LC} u = 0.$$

Его решение:  $u = U_m \cos(\omega t + \psi)$ , где  $\omega = 1/\sqrt{LC}$ .

**ОСЬ ВРАЩЕНИЯ.** Воображаемая неподвижная прямая линия, поворотом вокруг которой осуществляется вращательное движение твердого тела.

**ОСЯЗАНИЕ.** Значение слова *осязание* разъяснено по-разному в толковых словарях и в Большой советской энциклопедии.

В толковых словарях осязанием называют ощущения, возникающие при прикосновении кожи человека к какому-либо предмету. К числу кожных ощущений принадлежат температурные, болевые и тактильные. Тактильные ощущения делят на ощущения прикосновения, давления и вибрации.

В Большой советской энциклопедии осязанием названо чувство, в котором синтезированы кожные и двигательные ощущения. Двигательные ощущения — ощущения положения и движения частей собственного тела. Рецепторы (чувствительные нервные клетки) двигательных ощущений расположены в мышцах, сухожилиях, связках и на соприкасающихся поверхностях суставов.

Следует руководствоваться более полным определением: дело в том, что двигательные ощущения играют основную роль в координации движений. В этом легко убедиться, вдумавшись, каков механизм управления движением спортсмена, выполняющего нападающий удар при игре в теннис, бадминтон, линг-понг или волейбол. Игрок следит за движением только мяча. На ракетку или кисть руки он не смотрит, но, тем не менее, точно ударяет ею по мячу. Обусловлено это тем, что информацию о положении и движении руки центральная нервная система получает от двигательных рецепторов.

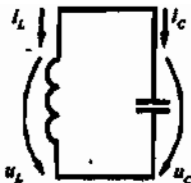


Рис. 0.14. Схема замещения LC-контура

**ОТВЕРДЕВАНИЕ.** Явление, состоящее в переходе вещества из жидкого состояния в твердое при его изотермическом охлаждении и обусловленное кристаллизацией вещества. Явление протекает с выделением тепла.

**ОТВЕС.** Груз, свободно подвешенный на тонкой гибкой нити.

**ОТВЛЕЧЕННЫЕ (АБСТРАКТНЫЕ) СУЩЕСТВИТЕЛЬНЫЕ.**

Первоначально существительные использовали только для обозначения самих вещей (т. е. предметов, существующих объективно — об этом свидетельствует корень слова). В связи с тем, что в дальнейшем образовались существительные, называющие свойства (см. *Свойство и отношение*), появилась возможность неправильного понимания сути дела. Так, например, наши предки полагали, будто сила, храбрость, выносливость человека существуют объективно, в виде каких-то веществ в его внутренних органах. Поэтому было распространено ритуальное людоедство. Считалось, что человек станет смелее или выносливее, если съест сердце или печень убитого врага. Сегодня, конечно, уже никто так не думает. Но иные заблуждения, вызванные отвлеченными существительными, вполне возможны. Например, в научно-популярной книге читаем: "Великие географические открытия дали толчок развитию представлений о силе, энергии и их материальных источниках и носителях". Конструкции выделенной части предложения такова, что слова *сила* и *энергия* воспринимаются как имена реально существующих объектов, а не *физических величин*, т. е. предметов из мира идей.

"Источником" отвлеченных существительных, кроме прилагательных, служат глаголы, например: тело движется → движение, падает → падение, плавится → плавление и т. д.

Таким образом, отвлеченными существительными обозначают предметы из мира идей, а не из мира вещей. Тем не менее, будучи существительными, они могут в предложении занимать место подлежащего, например: "Плавление льда происходит при постоянной температуре" или "Несмачиваемость фторопласта абсолютна". В подобных случаях надо научиться видеть, что *плавление* и *несмачиваемость* — *формальные* подлежащие. *Смысловыми* же подлежащими являются *лед* и *фторопласт* соответственно.

Приведенные и аналогичные предложения всегда можно перефразировать, сделав *лед* и *фторопласт* формальными подлежащими, например: "Лед обладает свойством плавиться при постоянной температуре" и "Фторопласт обладает свойством абсолютной несмачиваемости". Строго говоря, эти предложения

таже иносказательные. Тела не обладают свойствами, так как тело — предмет из мира вещей, а свойство — предмет из мира идей. Однако эти формулировки эквивалентны более точным: “Лед плавится при постоянной температуре” и “Фторопласт не смачивается никакими жидкостями”.

Таким образом, всегда имеется возможность правильно понять предложения с отвлеченными существительными, выявив смысловое подлежащее и даже перефразировав предложение в случае необходимости. Именно поэтому многие фундаментальные понятия (“явление”, “свойство”, “движение” и др.), обобщенно отображающие поведение вещей и занимающие чрезвычайно важное место в научной картине мира, принято относить к миру вещей. Это весьма удобное сокращение, существенно облегчающее описание и анализ природы.

**ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ.** Безразмерная физическая величина, введенная для количественного оценивания содержания в воздухе водяного пара и равная отношению *абсолютной влажности* к влажности воздуха, насыщающей пространство при данной температуре. Выражается в процентах.

**ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ.** Безразмерная физическая величина, введенная для количественного оценивания неопределенности результата измерения и равная отношению *абсолютной погрешности измерения* к действительному значению измеряемой величины. Выражают в долях от единицы или процентах (ср. *Абсолютная погрешность измерения*).

**ОТНОСИТЕЛЬНАЯ СКОРОСТЬ.** Скорость движения частицы (тела) относительно подвижной системы отсчета.

**ОТНОСИТЕЛЬНОЕ УДЛИНЕНИЕ,  $\Delta/l_0$ .** Безразмерная физическая величина, введенная для количественного оценивания деформации растяжения тела и равная отношению *абсолютного удлинения  $\Delta$*  к начальной длине тела  $l_0$ :  $\Delta/l_0$ . Выражают в процентах.

**ОТНОШЕНИЕ.** См. *Свойство и отношение*.

**ОТОБРАЖЕНИЕ** (в философии). То же, что *Отражение*.

**ОТРАЖЕНИЕ** (в философии). Термин используют в трех значениях. 1. Свойство каждого материального объекта при взаимодействии с другим объектом запечатлевать некоторые черты



последнего. Способность ощущать — конкретное проявление этого свойства в нервной системе животного (в том числе человека). 2. Процесс взаимодействия, во время которого это свойство проявляется. 3. Результат этого процесса. Отражение объекта в сознании человека называют его *мысленной моделью*.

**ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА.** Явление, состоящее в возвращении световой волны при ее падении на поверхность раздела двух оптически прозрачных и разнородных сред обратно в первоначальную среду и обусловленное различием оптических плотностей этих сред.

**ОЧКИ.** Оптический прибор для исправления дефектов зрения (см. *Близорукость, дальнозоркость*).

# II

**ПАР.** Газообразное состояние вещества при температурах ниже критической температуры. Пар путем простого сжатия можно превратить в жидкость.

**ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ.** Соединение двух *двухполюсников*, при котором каждый вывод одного двухполюсника соединен с одним выводом другого двухполюсника (рис. П.1). Фрагмент электрической цепи, состоящий из двух параллельно соединенных двухполюсников, является тоже двухполюсником. Параллельно может быть соединено произвольное число двухполюсников, как однотипных, так и разнотипных.

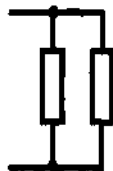


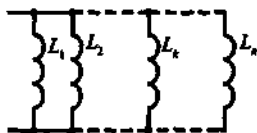
Рис. П.1. Параллельное соединение двухполюсников

**ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ИНДУКТИВНЫХ КАТУШЕК.** Схема *параллельного соединения* *н* *индуктивных катушек* показана на рис. П.2. Этому фрагменту электрической цепи эквивалентна одна катушка, индуктивность  $L_3$  которой вычисляют по формуле:

$$\frac{1}{L_3} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{L_k}$$

**ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ.** Наибольшая допустимая сила тока любого источника питания всегда ограничена. Если необходимо обеспечить в нагрузке *большую* силу тока, источники соединяют параллельно так, чтобы соединенными оказались одноименные полюса.

**ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ.** Схема *параллельного соединения* *н* *конденсаторов* показана на рис. П.3.



П.2. Параллельное соединение *н* *индуктивных катушек*

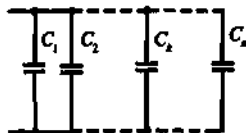


Рис. П.3. Параллельное соединение *н* *конденсаторов*

Этому фрагменту электрической цепи эквивалентен один конденсатор, емкость  $C_3$  которого вычисляют по формуле

$$C_3 = \sum_{k=1}^n C_k.$$

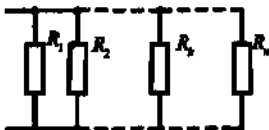


Рис. П.4. Параллельное соединение резисторов

**ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ РЕЗИСТОРОВ.** Схема параллельного соединения  $n$  резисторов показана на рис. П.4. Этому фрагменту электрической цепи эквивалентен один резистор, сопротивление  $R_3$  которого вычисляют по формуле

$$\frac{1}{R_3} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}$$

или по формуле

$$G_3 = \sum_{k=1}^n G_k,$$

где  $G = 1/R$  — проводимость (величина, обратная сопротивлению).

**ПАРАМАГНЕТИЗМ.** Свойство вещества намагничиваться во внешнем магнитном поле так, что индукция возникшего внутреннего поля направлена согласно с индукцией внешнего поля.

**ПАРАМАГНЕТИКИ.** Вещества, собственный магнитный момент атомов или молекул которых в отсутствие внешнего магнитного поля не равен нулю. Во внешнем магнитном поле атомы или молекулы ориентируются так, что внутреннее поле совпадает с внешним по направлению. В силу этого магнитная проницаемость парамагнетиков больше единицы (на величину порядка  $10^{-5}$ – $10^{-6}$ ). К числу парамагнетиков принадлежат натрий, марганец, кислород и др. Парамагнетики втягиваются в неоднородное магнитное поле (ср. *Диамagnetики*).

**ПАРАМАГНИТНЫЙ ЭФФЕКТ.** Явление, состоящее в слабом увеличении внешнего магнитного поля в веществах, называемых парамагнетиками, и обусловленное ориентацией во внешнем магнитном поле магнитных моментов частиц, составляющих эти вещества.

**ПАРАМЕТР.** В физике и технических науках параметрами называют постоянные величины, которыми оценивают степень

выраженности (развитости) свойств или отношений вещей. Например: масса, коэффициент жесткости, емкость, индуктивность.

**ПАРА СИЛ.** Система двух равных по модулю антипараллельных сил  $F_1$  и  $F_2$  (рис. П.5). Равнодействующая пары сил равна нулю. Пару сил характеризуют моментом пары  $M$ , причем по модулю  $M = F_1 d = F_2 d$ , где  $d$  — кратчайшее расстояние между линиями действия сил пары, называемое плечом пары.

Пара сил сообщает телу угловое ускорение, но не может изменить поступательное движение тела.



Рис. П.5. Пара сил

**ПАРНЫЕ КАТЕГОРИИ.** Категории (понятия наивысшего уровня обобщения), существующие парами. Они могут быть определены не иначе, как через отношение друг к другу. Например: 'материя' и 'сознание', 'элемент' и 'система', 'качество' и 'количество'. Нередко это отношение — отношение противоположности.

**ПАРООБРАЗОВАНИЕ.** Переход вещества из жидкого или твердого состояния в газообразное (см. *Возгонка, Испарение и Кипение*).

**ПАРЦИАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ.** Давление газа, входящего в состав газовой смеси, которое он оказывал бы, занимая один весь объем смеси и находясь при температуре смеси (см. *Закон Дальтона*).

**ПАСКАЛЬ.** Единица давления и механического напряжения в СИ. Название дано в честь французского ученого Блеза Паскаля. 1 паскаль — давление, соответствующее силе в 1 Н, которым оценивают равномерно распределенное механическое действие по поверхности тела площадью 1 м<sup>2</sup>, направленное перпендикулярно к этой поверхности. Обозначение — Па.

**ПЕРВАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ.** Минимальная скорость, при которой космический летательный аппарат в гравитационном поле Земли может стать искусственным спутником. Первая космическая скорость  $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ , где  $G$  — гравитационная постоянная,  $M$  — масса Земли,  $R$  — расстояние от центра Земли до космического аппарата. У поверхности Земли  $v = 7,91$  км/с (ср. *Вторая космическая скорость, Третья космическая скорость*).

**ПЕРВЫЙ ЗАКОН НЬЮТОНА.** См. *1-й закон Ньютона.*

**ПЕРВЫЙ ЗАКОН (ПЕРВОЕ НАЧАЛО) ТЕРМОДИНАМИКИ.** См. *1-й закон термодинамики.*

**ПЕРВЫЙ ЗАКОН ФАРАДЕЯ.** См. *1-й закон Фарадея.*

**ПЕРЕГРЕТАЯ ЖИДКОСТЬ.** *Метастабильное состояние* жидкости, нагретой до температуры выше, чем температура ее равновесного фазового перехода в газообразное состояние при данном давлении (температура кипения). Жидкость в перегретом состоянии можно получить, тщательно очистив ее от механических примесей и других центров вскипания, а также производя нагревание в сосуде с гладкими стенками. При введении в перегретую жидкость пылинок или ионов происходит быстрое вскипание жидкости. Это явление используют в *пузырьковой камере* для наблюдения траекторий заряженных частиц.

**ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ.** Изменение направления намагниченности ферромагнетика на противоположное под действием внешнего магнитного поля.

**ПЕРЕМЕННАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА.** *Физическая величина*, значение которой в условиях данного опыта может изменяться.

**ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК.** Термин *переменный ток* используют в двух значениях — широком и узком. В широком — это периодически изменяющийся направление ток любой формы; среднее значение которого за период равно нулю. В узком — ток, форму которого с достаточной точностью описывают гармонической функцией:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi) \text{ или } i = I_m \cos(\omega t + \psi).$$

**ПЕРЕМЕЩЕНИЕ,  $\Delta r$ .** Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания изменения положения частицы в пространстве при доступательном движении и равная разности радиус-векторов, соответствующих конечному и начальному положениям частицы:  $\Delta r = r_2 - r_1$  (ср. *Угловое перемещение*).

**ПЕРЕНОСНАЯ СКОРОСТЬ.** Скорость частиц подвижной (относительной) системы отсчета по отношению к абсолютной системе отсчета.

**ПЕРЕОХЛАЖДЕННАЯ ЖИДКОСТЬ.** *Метастабильное состояние* жидкости, охлажденной ниже температуры плавления вещества. Такое состояние жидкости неустойчиво: достаточно появиться какому-нибудь центру кристаллизации, как жидкость переходит в твердое состояние.

**ПЕРЕСЫЩЕННЫЙ ПАР.** *Метастабильное состояние* пара, сжатого до давления выше давления насыщенного пара при той же температуре. Пересыщенный пар можно получить при медленном изотермическом сжатии пара, не содержащего пылинки, ионов и других центров конденсации. При введении в перенасыщенный пар пылинок или заряженных частиц происходит быстрая конденсация пара. Это явление используют в камере Вильсона для наблюдения и фотографирования траекторий заряженных частиц.

**ПЕРИОД** [от греч. *periodos* — обход, кругообращение]. Термин используют в трех значениях. 1. Интервал времени, в течение которого завершается один цикл повторяющегося процесса. 2. Наименьшее расстояние между одинаковыми, регулярно повторяющимися элементами пространственной структуры (см. *Период кристаллической решетки*). 3. Интервал времени (см. *Период полураспада*).

**ПЕРИОД ВРАЩЕНИЯ.** Промежуток времени, в течение которого вращающееся вокруг оси тело делает один оборот.

**ПЕРИОД ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ.** Суммарная ширина двух соседних участков решетки — прозрачного и непрозрачного.

**ПЕРИОД КОЛЕБАНИЯ, T.** Наименьший промежуток времени между одинаковыми фазами колебания. Величина, обратная частоте  $\nu$  колебаний:  $T = 1/\nu$ .

**ПЕРИОД КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ.** Наименьшее расстояние между параллельными плоскостями в кристалле.

**ПЕРИОД ПОЛУРАСПАДА.** Промежуток времени, в течение которого распадается половина радиоактивных ядер вещества.

**Примечание.** Процесс распада радиоактивных ядер описывают экспоненциальной функцией

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

где  $N$  — число ядер в данный момент времени,  $N_0$  — их число в начальный момент времени;  $e$  — основание натуральных логарифмов;  $\tau$  — постоянная времени, называемая “временем жизни” радиоактивных ядер.

За время жизни начальное число ядер сокращается в  $e$  раз. Период полураспада  $T_{1/2}$  связан со временем жизни формулой:

$$T_{1/2} = \tau \ln 2 = 0,69\tau.$$

**ПЕРПЕТУУМ МОБИЛЕ ВТОРОГО РОДА.** То же, что *вечный двигатель второго рода*.

**ПЕРПЕТУУМ МОБИЛЕ ПЕРВОГО РОДА.** То же, что *вечный двигатель первого рода*.

**ПЕТА...** Первая составная часть наименования единиц физических величин, служащая для образования наименований кратных единиц, равных  $10^{15}$  исходных единиц. Обозначение — П. Например, 1 ПДж (петаджоуль) =  $10^{15}$  джоулей.

**ПИКНОМЕТР** [от греч. *пикнос* — плотный и ...метр]. Прибор для измерения плотности газов, жидкостей и твердых тел.

**ПИКО...** [от исп. *peco* — малая величина]. Первая составная часть наименования единиц физических величин, служащая для образования наименований дольных единиц, равных  $10^{-12}$  исходных единиц. Обозначение — п. Например, 1 пм (пикометр) =  $10^{-12}$  метров.

**ПИ-МЕЗОНЫ.** То же, что *пионы*.

**ПИОН,  $\pi^-$ ,  $\pi^0$ ,  $\pi^+$ .** Три нестабильные элементарные частицы, кванты сильного взаимодействия. Масса покоя  $m_0 = 270 m_e$ , электрический заряд  $q = e^-$  ( $\pi^-$ );  $q = e^+$  ( $\pi^+$ ) и  $q = 0$  ( $\pi^0$ ).

**ПИРОМЕТР** [от греч. *пур* — огонь и ...метр]. Прибор для бесконтактного измерения высоких температур. Принцип действия пирометров основан на использовании теплового излучения нагретых тел. Применяют в металлургии, энергетике, химии и др.

**ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ.** Явление, состоящее в возникновении разноименных электрических зарядов на противоположных поверхностях некоторых кристаллических диэлектриков (пьезоэлектриков) при их нагревании или охлаждении и обусловленное смещением отрицательных и положительных ионных подрешеток кристалла относительно друг друга.

**ПЛАВЛЕНИЕ.** Явление, состоящее в переходе вещества из твердого состояния в жидкое при его изотермическом нагревании

и обусловленное разрушением кристаллической структуры вещества. Явление протекает с поглощением тепла.

**ПЛАЗМА.** Одно из четырех агрегатных состояний вещества, отличающееся от газа тем, что в нем атомы и молекулы частично или все ионизированы и объемные плотности положительно и отрицательно заряженных частиц одинаковы.

**ПЛАНЕТАРНАЯ МОДЕЛЬ АТОМА (ПО БОРУ).** Иконическая модель атома, введенная для объяснения устойчивости атома и строгой неизменности его спектров и построенная как нейтральная система, состоящая из тяжелого положительно заряженного ядра и электронов, обращающихся вокруг ядра по орбитам, для которых момент импульса электронов равен целому положительному числу, умноженному на постоянную Планка  $h$ .

**ПЛАНЕТАРНАЯ МОДЕЛЬ АТОМА (ПО РЕЗЕРФОРДУ).** Иконическая модель атома, введенная для объяснения рассеяния альфа-частиц атомами тяжелых элементов и построенная как нейтральная система, состоящая из положительно заряженного ядра, занимающего ничтожную часть объема, и электронов, обращающихся вокруг ядра.

**ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ.** Деформация, не исчезающая после прекращения вызвавшего ее воздействия.

**ПЛАСТИЧНОСТЬ.** Свойство твердых тел необратимо изменять свои размеры и форму под действием других тел.

**ПЛЕЧО ПАРЫ СИЛ.** Наименьшее расстояние между прямыми, вдоль которых направлены силы в *паре сил*.

**ПЛЕЧО СИЛЫ.** Длина перпендикуляра, опущенного из точки, относительно которой вычисляют момент силы, на прямую, вдоль которой направлена сила.

**ПЛОСКАЯ ВОЛНА.** Волна, волновые поверхности которой имеют вид параллельных плоскостей (ср. *Сферическая волна*).

**ПЛОСКИЙ УГОЛ.** Термин используют в двух значениях. 1. Двумерная геометрическая фигура, образованная двумя лучами (полупрямыми), исходящими из одной точки. Лучи, образующие плоский угол, называют сторонами угла. Точку, из которой



исходят лучи, называют вершиной угла. Луч, исходящий из вершины такого угла и делящий его пополам называют биссектрисой плоского угла. Биссектриса угла есть его ось симметрии. 2. Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания размеров двумерных плоских углов и равная отношению длины дуги  $l$ , которую вырезают стороны угла на окружности радиуса  $R$  с центром в вершине двумерного угла, к радиусу  $R$  этой окружности:

$$\alpha = l/R.$$

Единица плоского угла в СИ — радиан.

**ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ПЛАСТИНКА.** Тонкая пластинка с двумя плоскими и параллельными друг другу гранями, изготовленная из прозрачного для света материала.

**ПЛОСКОПОЛЯРИЗОВАННЫЙ СВЕТ.** Свет, электрический вектор которого колеблется только в одной плоскости (ср. *Естественный свет*).

**ПЛОСКОСТЬ КОЛЕБАНИЯ.** Плоскость, в которой колеблется электрический (световой) вектор световой волны (устаревший термин).

**ПЛОСКОСТЬ ПОЛЯРИЗАЦИИ.** Плоскость, в которой колеблется магнитный вектор световой волны (устаревший термин). То же, что *Плоскость колебаний*.

**ПЛОТНОСТЬ ВЕРОЯТНОСТИ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ.** Функция  $\rho(x) \geq 0$ , используемая для нахождения вероятности  $P$  реализации значения величины  $x$  в пределах  $a < x < b$ . При любых  $a$  и  $b$  выполнено  $P = \int_a^b \rho(x) dx$ . Плотность вероятности должна удовлетворять условию нормировки  $\int_{-\infty}^{+\infty} \rho(x) dx = 1$ .

**ПЛОТНОСТЬ ТЕЛА,  $\rho$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания удельной инертности материалов и равная отношению массы  $\Delta m$  элемента объема материала к занимаемому им объему  $\Delta V$ :

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V}.$$

**ПЛОТНОСТЬ ТОКА,  $j$ .** Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания распределения электрического тока по сечению проводника и равная отношению силы тока  $\Delta I$ , проходящего через элемент поперечного сечения  $\Delta S_1$  проводника, перпендикулярного направлению тока, к площади этого элемента:

$$j = \frac{\Delta I}{\Delta S_1} n;$$

где  $n$  — вектор единичной длины (орт), направленный по нормали к плоскости поперечного сечения проводника и совпадающий по направлению с направлением вектора тока  $\Delta I$ .

**ПЛОТНОСТЬ ТОКА СМЕЩЕНИЯ.** Векторная физическая величина, введенная Д.К. Максвеллом в 1861 г. для количественного оценивания влияния переменного электрического поля на переменное магнитное поле и равная:

$$j_{см} = \frac{\partial D}{\partial t},$$

где  $D$  — вектор электрического смещения,  $t$  — время.

Единица плотности тока смещения — ампер на квадратный метр ( $A/m^2$ ) (см. *Электрическое смещение, Ток смещения, Уравнения Максвелла в нестационарной форме*).

**ПЛОЩАДЬ.** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания размеров поверхности тела и равная числу единичных квадратов, укладываемых (умещающихся) на этой поверхности.

Единичный квадрат — это квадрат со стороной, равной единице длины или ее долиному или кратному значению.

**ПОВЕРХНОСТНАЯ ПЛОТНОСТЬ ЗАРЯДА,  $\sigma$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания густоты расположения заряженных частиц по поверхности тела и равная отношению  $\Delta q$  заряда частиц, размещенных на элементе поверхности  $\Delta S$ , к площади этого элемента:

$$\sigma = \frac{\Delta q}{\Delta S}.$$

**ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ,  $\alpha$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания межмолекулярного взаимодействия в жидкостях и равная отношению

силы  $F_{\text{пл}}$  поверхностного натяжения  $\sigma$  длине  $l$  контура свободной поверхности:

$$\alpha = F_{\text{пл}}/l.$$

Единица поверхностного натяжения в СИ ньютон на метр — Н/м.

**ПОГЛОЩЕНИЕ И ИЗЛУЧЕНИЕ СВЕТА АТОМАМИ.** После описания Исааком Ньютоном сплошного солнечного спектра (см. *Дисперсия света, Спектр, Сплошной спектр, Спектральные приборы*) его изучением занимались многие ученые. Некоторые из них наблюдали на фоне разноцветного солнечного спектра резкие темные линии. Однако первым, кто обратил на них внимание, был немецкий физик Иозеф Фраунгофер, опубликовавший результаты своих наблюдений в 1814 г. Для дальнейшего развития представления об изучаемых явлениях особое значение имеют шесть из более чем пятисот темных линий, найденных, измеренных и описанных Фраунгофером (эти линии впоследствии были названы в его честь “фраунгоферовы линии”). Это прежде всего две близко расположенные линии в желтой части спектра (Фраунгофер воспринимал их как одну) — так называемая двойная  $D$ -линия — и четыре линии, расположенные в различных частях спектра и называемые  $C$ -,  $F$ -,  $G$ - и  $H$ -линии.

В 1859 г. немецкий физик Густав Роберт Кирхгоф опубликовал результаты опытов, проведенных им совместно с другим немецким ученым Робертом Вильгельмом Бунзенем. В одном из своих опытов Кирхгоф и Бунзен пропускали свет, излучаемый нагретым телом (см. *Тепловое излучение, Спектр теплового излучения*), через пламя горелки, в которое они вносили некоторое количество поваренной соли (вещества, содержащего натрий). Разлагая далее прошедший свет в спектр с помощью призмы, они наблюдали на экране темную двойную  $D$ -линию, расположенную в том же самом месте спектра, где ее наблюдал Фраунгофер. Поскольку тепловое излучение нагретого тела подобно тепловому излучению Солнца, а пары натрия, создаваемые пламенем горелки, — парам натрия в горячей атмосфере Солнца, то из результатов этого модельного опыта следовал очевидный вывод, сделанный Кирхгофом: “Присутствие темной двойной  $D$ -линии в солнечном спектре заставляет думать, что в атмосфере Солнца имеется натрий”.

В следующем, ставшем классическим, опыте Кирхгоф и Бунзен пропускали солнечный свет перед его разложением в спектр также через пламя горелки, в которое они вносили поваренную соль. “В тех случаях, когда свет был достаточно ослаблен (напри-

мер, экраном), — писал Кирхгоф, — на месте темной  $D$ -линии появлялись желтые линии; если же интенсивность света была велика, то обе темные  $D$ -линии обнаруживались вновь, причем с гораздо большей отчетливостью". Повторив этот опыт многократно, внося в пламя другие вещества, содержащие другие химические элементы, Кирхгоф и Бунзен убедились, что результат был всегда один и тот же. В отсутствие света они наблюдали на экране одну или несколько ярких линий, а при большой интенсивности его на их месте проступали темные линии.

На основании этих опытов Кирхгоф и Бунзен сделали свой ставший знаменитым вывод о том, что каждому химическому элементу соответствует специфическое расположение спектральных линий (линейчатый спектр), которые выглядят яркими и цветными, когда атомы этого элемента излучают свет (линейчатый спектр излучения), и темными — когда они свет поглощают (линейчатый спектр поглощения).

Вскоре после работ Кирхгофа и Бунзена ученые выяснили, что  $C$ -,  $F$ -,  $G$ - и  $H$ -линии в спектре Солнца принадлежат атомарному водороду, а также с большой точностью измерили длины волн, соответствующие этим линиям. В 1885 г. швейцарский исследователь Иоганн Якоб Бальмер, размышляя об экспериментальных результатах, догадался, что длины волн этих линий связаны простым соотношением

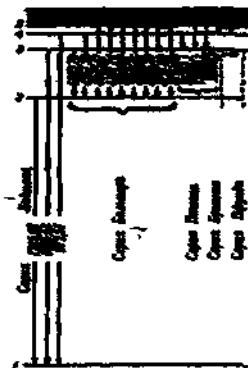
$$\lambda = b \frac{k^2}{k^2 - 4},$$

где  $\lambda$  — длина волны спектральной линии в ангстремах,  $k = 3, 4, 5, 6$  — целые числа (Бальмер знал только о четырех линиях), а  $b = 3645,6 \text{ \AA}$  — постоянная. Открытие в дальнейшем других спектральных линий атомарного водорода подтвердило справедливость формулы Бальмера, которой шведский физик Иоганн Роберт Ридберг в 1890 г. придал вид, сохранившийся до нашего времени:

$$\nu = cR \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right).$$

Здесь  $n$  и  $k$  — целые числа,  $c$  — скорость света в вакууме,  $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$  — постоянная Ридберга для атома водорода, а  $\nu$  — частота.

Для объяснения спектральных закономерностей поглощения и излучения света атомами датский физик Нильс Бор в 1913 г. дополнил планетарную модель атома тремя постулатами, названными впоследствии в его честь *постулатами Бора*, которые и составили



Атом водорода в  $\lambda$  ( $\lambda = 10^{-10}$  м)

Рис. П.6. Схематическое изображение спектральных линий

основу первой теории этих явлений. Прежде всего Бор построил мысленную модель атома. По Бору, атом может находиться только в определенных для атомов данного химического элемента стационарных состояниях, чем и обусловлена его устойчивость (первый постулат Бора). Даже Бор объясняет поглощение и излучение квантовым (скачкообразным) переходом атома из одного стационарного состояния в другое (второй постулат Бора).

Механизм явлений можно представить в наглядной форме, изобразив возможные для данного атома состояния горизонтальными отрезками. Нижний отрезок при этом будет изображать основное состояние, а остальные — возбужденные состояния атома. Квантовый переход изображается вертикальными стрелками; стрелка, направленная вверх, изображает поглощение света, а вниз — излучение (рис. П.6). В заключение Бор построил математическую модель атома. Каждому стационарному состоянию атома он приспая определенное значение энергии:  $E_1, E_2, \dots, E_n$ , где  $n$  — номер состояния. А также ввел дополнительное условие, получившее название "правило квантования орбит":  $mvr = n\hbar$ , где  $m$  — масса электрона,  $v$  — его скорость,  $r$  — радиус круговой орбиты электрона,  $\hbar = h/2\pi$  — константа, а  $n$  — целое число. Далее каждому квантовому переходу из состояния с  $E_1$  в состояние с  $E_2$  он поставил в соответствие частоту  $\nu$  излучаемого или поглощаемого атомом фотона:  $E_1 - E_2 = h\nu$  (так называемое правило частот, которое уже является простейшей математической моделью явления). Воспользовавшись этими соотношениями, а также некоторыми соотношениями классической физики, Бор получил следующие соотношения:

$$v = \frac{me^4}{4\pi\hbar^3} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right)$$

и, следовательно,  $R_\infty = \frac{me^4}{4\pi\hbar^3 c}$ .

Вычисления постоянной Ридберга, проведенные по последней формуле, совпали с ее значением, полученным из спектроскопии-

ческих измерений, что доказало справедливость теории Бора для объяснения поглощения и излучения света атомами водорода (для атомов других элементов такого совпадения уже не было).

Подводя итог экспериментальному и теоретическому исследованию рассматриваемых явлений, построим их определения.

Поглощение света атомами — физическое явление, проявляющееся в появлении в оптическом спектре вещества, находящегося в атомарном состоянии, темных линий, происходящее при прохождении через него света и обусловленное квантовым переходом атомов из основного в одно из возбужденных состояний.

Аналогично излучение света атомами — физическое явление, проявляющееся в появлении в оптическом спектре вещества, находящегося в атомарном состоянии, ярких цветных линий, происходящее при его возбуждении и обусловленное квантовым переходом атома из одного возбужденного состояния в основное или другое возбужденное состояние.

Открытие и изучение поглощения и излучения света сыграло огромную роль в науке. Основываясь на результатах своих опытов, Кирхгоф и Бунзен разработали основы спектрального анализа — метода определения химического состава вещества по анализу спектров поглощения и излучения составляющих его атомов. Так, уже в 1860 г. Кирхгоф и Бунзен, зарегистрировав неизвестный спектр, открыли новый химический элемент — цезий, а затем таким же способом — рубидий. Так же другими учеными были открыты таллий и индий. В настоящее время спектральный анализ — стандартный, универсальный лабораторный метод качественного и количественного анализа вещества, которому свойственна малая относительная погрешность (до  $10^{-8}$ ).

**ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА.** Явление, состоящее в ослаблении светового пучка при его прохождении через вещество и обусловленное возбуждением падающим светом колебаний атомов (молекул) вещества или преобразованием его во вторичное излучение, отличающееся спектральным составом и иным направлением распространения.

**ПОГЛОЩЕННАЯ ДОЗА ИЗЛУЧЕНИЯ,  $D$**  (доза излучения). Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания радиационного воздействия ионизирующего излучения на вещество и равная отношению средней энергии  $\Delta W$ , переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе  $\Delta m$  вещества в этом объеме:  $D = \Delta W / \Delta m$ . Единица поглощенной дозы ионизирующего излучения в СИ — *грей*.

**ПОГРЕШНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ** (погрешность измерения). При многократных измерениях одной и той же физической величины — отклонение каждого результата измерения от действительного значения измеряемой величины. Погрешность измерения вычисляют по формуле

$$\Delta x_k = x_{\text{изм}} - x_{\text{д}},$$

где  $\Delta x_k$  — погрешность  $k$ -го результата измерения,  $x_{\text{изм}}$  — измеренное значение величины,  $x_{\text{д}}$  — действительное значение величины.

Действительное значение  $x_{\text{д}}$  вычисляют как среднее арифметическое  $n$  многократных измерений:

$$x_{\text{д}} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k.$$

$\Delta x_k$  называют абсолютной погрешностью. Она выражена в единицах измеряемой величины. Кроме того, используют относительную погрешность измерения  $\delta$  — безразмерную величину, вычисляемую по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta x_k}{x} \quad \text{или} \quad \delta = \frac{\Delta x_k}{x} \cdot 100\%,$$

где  $x$  — действительное или измеренное значение величины.

**Примечание.** Нельзя не согласиться с мнением ряда метрологов, что термин *погрешность результатов измерения* более точно выражает суть дела, чем термин *погрешность*.

**ПОДВИЖНОСТЬ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА**,  $\mu$ . Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания быстроты направленного движения носителей заряда в электрическом поле и равная отношению модуля скорости  $v$  направленного движения носителей заряда к модулю напряженности  $E$  электрического поля, вызвавшего это движение:

$$\mu = \frac{v}{E}.$$

**ПОДЪЕМНАЯ СИЛА ВОЗДУШНОГО ШАРА.** Сила, равная разности веса воздуха, вытесненного воздушным шаром, и веса воздушного шара.

**ПОЗИТРОН.** Устойчивая элементарная частица, имеющая положительный заряд, равный по модулю заряду электрона, и массу, равную массе электрона. Позитрон является античастицей

электрона. Существование позитрона предсказал Поль Адриен Морис Дирак, а открыл его в 1932 г. американский физик Карл Дэвид Андерсон.

**ПОЗИТРОННЫЙ РАСПАД.** Превращение протона в нейтрон, позитрон и нейтрино, происходящее самопроизвольно внутри ядер и обусловленное слабым взаимодействием. Распад свободного протона, скорее всего, невозможен.

**ПОКАЗАТЕЛЬ АДИАБАТЫ.** Безразмерная физическая величина, равная отношению теплоемкости газа при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме. Эту величину иногда называют коэффициентом Пуассона (см. *Уравнение Пуассона*).

**ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ,  $n_0$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания оптической плотности среды и равная: 1) отношению синуса угла падения  $i$  к синусу угла преломления  $r$

$$n_0 = \frac{\sin i}{\sin r}$$

или 2) отношению скорости света в вакууме  $c_0$  к скорости света

$$\text{в среде } c_c, n_0 = \frac{c_0}{c_c}.$$

**ПОЛЕ (физическое).** Один из двух видов *материи* (см. *Вещество и поле*), отличающийся от вещества отсутствием выраженной пространственной локализации (гравитационное поле, электромагнитное поле). Физические поля являются как бы "продолжениями" вещественных объектов (тел и частиц) за пределы их границ. Через посредство полей частицы и тела взаимодействуют между собой.

**ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР.** См. *Униполярный транзистор*.

**ПОЛИКРИСТАЛЛЫ.** Твердые тела, состоящие из множества беспорядочно ориентированных мелких кристаллических зерен. Поликристаллами являются большинство тел, встречающихся в природе и получаемых искусственным путем. Например, горные породы, металлы, сплавы и др.

**ПОЛНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ.** Суммарное значение всех погрешностей измерения: *случайной, приборной, модельной, систематической*.



**ПОЛНОЕ ВНУТРЕННЕЕ ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА.** Явление, состоящее в отражении световых волн от поверхности раздела оптически более плотной среды с оптически менее плотной средой, при котором преломленная волна полностью отсутствует.

**ПОЛОСАТЫЙ СПЕКТР.** Оптический спектр поглощения или излучения света молекулами вещества. Состоит из широких полос, положение которых различно для разных веществ.

**ПОЛУПРОВОДНИКИ.** На основании различия в способности проводить электрический ток твердые тела делят на проводники (металлы), полупроводники и диэлектрики. Удельная проводимость первых в миллионы и более раз выше, чем вторых, а вторых — в миллионы и более раз выше, чем третьих.

Различие удельных проводимостей обусловлено тем, что при объединении в кристалл многих атомов электроны внешней электронной оболочки ведут себя по-разному (эти электроны называют валентными, так как только они участвуют в химических реакциях). В металлах валентные электроны полностью “коллективизируются”, т. е. свободно перемещаются в пределах данного образца. В диэлектриках, напротив, они остаются связанными со своими ядрами, и свободных электронов в них практически нет. В чистых (см. ниже) полупроводниках незначительная часть валентных электронов коллективизируется (т. е. они становятся свободными, как

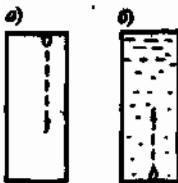


Рис. П.7 К определению термина дырка

в металлах). Оставшиеся же связанными электроны способны участвовать в своеобразном общем движении — таком, как будто имеются положительно заряженные частицы, во всем остальном подобные электронам. Мысленную модель в виде “положительного электрона” принято называть дыркой (см. *Модели в науке*). Она оказалась настолько удачной, что сейчас невозможно представить себе описание процессов в полупроводниках без этого понятия. В учебной и научной литературе термины *электрон* и *дырка* используют так, что у непосвященного человека создается впечатление, будто и те, и другие — реальные частицы.

Некоторое представление о характере движения дырок можно получить из следующей аналогии. Допустим, есть пустая банка, на крышке которой висит капля воды (рис. П.7, а). Под действием притяжения Земли капля отрывается и падает. Другой пример — банка, заполненная водой, на дне которой — пузырек

воздуха (рис. П.7, б). Он отрывается и поднимается вверх. Каков механизм этого процесса? Под действием тяготения все частицы воды опускаются вниз, но движение пузырька похоже на движение в пустой банке частицы, масса которой отрицательна.

Таким образом, электропроводность полупроводников описывают так, будто имеется два вида заряженных частиц противоположного знака, участвующих в движении, — электроны и дырки. Их называют носителями.

Различают полупроводники чистые (их называют *собственными*) и с примесями (их именуют *примесными*). В собственных полупроводниках имеются атомы практически только одного типа, например четырехвалентного элемента кремния. Концентрация других атомов пренебрежимо мала. В собственных полупроводниках концентрации электронов и дырок одинакова. Она очень сильно зависит от температуры (в собственном кремнии приблизительно утраивается на каждые 20 °С). Происходит это потому, что с ростом температуры колебания ионов усиливаются, что приводит к появлению новых свободных электронов и, следовательно, дырок. Данное явление называют *термогенерацией пар* (см. *Генерация пар электрон-дырка*). Поэтому удельная проводимость собственного (чистого) полупроводника также сильно зависит от температуры.

В большинстве полупроводниковых приборов используют примесные полупроводники на основе кремния. В качестве примеси, специально вводимой в кремний, применяют либо пятивалентные атомы (фосфор, мышьяк, сурьма, висмут), либо трехвалентные (бор, алюминий, галлий, индий). Пятивалентную примесь называют *донорной*, трехвалентную — *акцепторной*. Если примесь донорная, концентрация электронов многократно превышает концентрацию дырок. Происходит это потому, что атомы основного вещества (в данном случае кремния) имеют по четыре валентных электрона, и пять электронов донорных атомов оказываются “лишними” — они-то и становятся свободными. Проводимость кристалла при этом обусловлена в основном электронами, и ее называют *электронной*, а электроны — *основными носителями* (дырки при этом — *несвободные носители*). Такой полупроводник называют *электронным*, или полупроводником типа *n* (от англ. *negative* — отрицательный). Атомы акцепторной примеси трехвалентные, при встраивании в кристаллическую решетку, состоящую из четырехвалентных атомов кремния, они “присваивают” электроны из той группы валентных электронов, которые несвободны (связаны с атомами). В результате этого резко увеличивается концентрация

дырок, т. е. они оказываются основными носителями, а электроны — неосновными. Соответственно проводимость называют дырочной, и полупроводник — дырочным, или полупроводником типа *p* (от англ. positive — положительный).

В подавляющем большинстве полупроводниковых приборов используют примесные полупроводники. В рабочем диапазоне температур концентрация носителей в них остается практически постоянной. Поэтому их удельная проводимость слабо зависит от температуры (как и у металлов, уменьшается с ростом температуры из-за уменьшения подвижности носителей).

**ПОЛУПРОВОДНИК *n*-ТИПА.** См. *Электронный полупроводник.*

**ПОЛУПРОВОДНИК *p*-ТИПА.** См. *Дырочный полупроводник.*

**ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ.** Элементы электрической цепи, прохождение тока в которых обусловлено движением электронов в полупроводниках. Основной отличительной особенностью полупроводниковых приборов является сильная нелинейность и асимметрия их вольт-амперных характеристик, чем и определяется их применение.

**ПОЛЮС СФЕРИЧЕСКОГО ЗЕРКАЛА.** Вершина сферического сегмента (см. *Сферическое зеркало*).

**ПОЛЯРИЗАТОР.** Устройство для преобразования естественного света в поляризованный (см. *Поляриoid*).

**ПОЛЯРИЗАЦИЯ ДИЭЛЕКТРИКОВ.** Явление, состоящее в электризации диэлектриков при их помещении в электрическое поле и обусловленное смещением положительно и отрицательно заряженных частиц в противоположные стороны.

**ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА.** Явление, состоящее в упорядочении ориентации электрического и магнитного векторов световой волны при ее отражении, преломлении или распространении в анизотропной среде и обусловленное поперечностью световых волн.

**ПОЛЯРИЗОВАННОСТЬ, *P*.** Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания степени электризации диэлектрика и равная отношению суммарного электрического

момента  $\sum \Delta P$  молекул, заключенных в элементе объема диэлектрика  $\Delta V$ , к объему этого элемента:

$$P = \frac{\sum \Delta P}{\Delta V}.$$

**ПОЛЯРОИД** (поляризационный светофильтр). Один из основных типов поляризаторов света. Представляет собой тонкую поляризующую свет пленку, заключенную между двумя прозрачными пластинками.

**ПОНИМАНИЕ.** Психическое явление, заключающееся в специфическом состоянии психики, ощущаемом как уверенность в правильном соответствии представлений или понятий человека отображаемой реальности. Следует различать понимание при различных обстоятельствах. Во-первых, это межличностное понимание — "проникновение" одного человека в духовный мир другого, сопереживание, служащее основой дружбы, любви, состояния душевного равновесия. Во-вторых, взаимопонимание между людьми в процессе совместного выполнения работы, участия в командных соревнованиях и т. п., являющееся залогом успешности совместной деятельности. В-третьих, познавательное понимание.

Межличностное понимание всегда эмоциональное. Выразить его словами удается только выдающимся художникам, и то не всегда. Ф.И. Тютчев писал:

Как сердцу высказать себя?  
Другому как понять тебя?  
Поймет ли он, чем ты живешь?  
Мысль изреченная есть ложь.

Пониманию в процессе работы присущи и эмоциональные, и рациональные элементы.

Эмоции вообще сопровождают любую деятельность человека, в том числе познавательную. Поэтому, изучая познавательное понимание, следует различать в нем эмоциональную и рациональную, научную стороны. Приступая к любому делу, каждый человек надеется на определенные результаты своей работы. Достигнув их, он испытывает положительную эмоцию — радость, удовлетворение успехом. В случае неудачи возникает, напротив, огорчение. Иногда положительная эмоция оказывается ошибочной — желаемый результат фактически достигнут не был. Поэтому радостное эмоциональное состояние, хотя и служит необходимым элементом познавательного понимания, не является достаточным.



Рис. П.8. График, иллюстрирующий ход овладения учащимся совершенно новым для него материалом

Научное понимание разумно разделить на три уровня, различающихся степенью сложности: 1) понимание ранее произведенного знания, изложенного в книге или на занятии; 2) объяснение нового явления в рамках существующей системы знаний; 3) разработка новой теории для объяснения фактов, не укладывающихся в существующую научную картину мира. Достаточно ясно, что потребность в понимании третьего уровня возникает у ничтожного количества людей, а достигнуть успеха в нем способны только гении. Но даже понимание первого уровня не сводится к заучиванию. Для него характерны следующие признаки: 1) согласованность нового знания с тем, имеющимся у учащегося знаниями, к которым он относится с доверием; 2) взаимная согласованность (непротиворечивость) понятий в рамках нового знания; 3) способность учащегося самостоятельно находить ответы на вопросы, прямо не рассмотренные в учебном материале; 4) способность применять новые знания на практике.

Очень ответственный начальный этап понимания. Практика показывает, что в такой ситуации успехи характеризуются зависимостью, показанной на рис. П. 8. Это очевидно в отношении освоения движений (плавание, езда на велосипеде, гимнастические упражнения и т. п.). Но то же самое происходит при изучении любой новой дисциплины или ее раздела. В это время в мозгу складывается функциональная система, которая, будучи сформирована, и управляет овладеваемыми действиями. "Психологический порог" распознается как субъективно, так и объективно. Субъективное проявление состоит в том, что учащийся, не поднявшийся на "ступеньку", ощущает неуверенность, боится изучаемого материала. Когда порог преодолен, страх пропадает. Объективно же учащийся, находившийся "внизу", способен только воспроизводить заученное, а преодолевший порог — решать субъективно новые задачи, относящиеся к изучаемой области.

Достижение понимания осложняется тем, что мы очень мало знаем об особенностях мышления. В частности о том, что наш мозг располагает двумя моделями мира — осознаваемой и неосознаваемой. Во введении для учителей приведен отрывок из воспоминаний Н.Н. Андреева, из которого ясно, что он не подозревал о существовании неосознаваемой модели мира. Вот еще замечательный пример. Великий Гаусс писал своему знакомому, что в одном из его исследований был изъян, который портил все остальное, “и едва ли была хоть одна неделя за последние четыре года, когда бы я ни сделал хоть одну или больше безуспешную попытку распутать этот узел. Наконец два дня назад я достиг успеха. Будто молния сверкнула — решилась загадка”. Все подобные случаи — продукт работы неосознаваемой модели мира. Осознаваемая модель применяется тогда, когда известен алгоритм (пусть) решения, свободный от пробелов. Во всех остальных случаях она бессильна — необходима догадка. Догадка (или интуитивное решение — что одно и то же) порождается неосознаваемой моделью мира. Как это происходит, увы, никто не знает.

Играя первостепенную роль в творческой деятельности, неосознаваемая модель мира вместе с тем является одной из главных причин недостатков учебных текстов. Рассказывая о том, что сам автор хорошо умеет делать, он не догадывается о наличии тех умственных операций, которые выполняет бессознательно. В результате в изложении оказываются пробелы или ложные утверждения, некритически заимствованные им у предшествующих авторов. Поэтому, не понимая прочитанное, не думайте, что все дело в вашей “несообразительности”. Часто в этом виноваты учебные тексты.

Понимание достигается в процессе оперирования понятиями (см. *Понятие и термин*). Понятие — основная форма мысли, знание о предмете. Сущность понятия раскрывается в форме множества суждений, представляющих собой связи данного понятия с другими. Иначе говоря, понятие существует только в системе. Это и составляет главную трудность учения: поодиночке овладеть понятиями невозможно. Единственный способ достигать понимания — настойчивая самостоятельная работа. Хотя принципиально новые задачи решаются неосознаваемой моделью мира, “зашифровано” ей дает осознаваемая модель. И чем осмысленнее оно сформулировано, тем легче добиться решения. Не случайно говорят, что правильно поставив задачу означает уже наполовину решить ее.

**ПОНЯТИЕ И ТЕРМИН.** Понятие — важнейшая форма мысли. Это — знание, более или менее полное, о каком-то предмете

или множестве однородных предметов. Достаточно ясно, что рассуждать о какой-либо вещи мы можем только в случае, если ей присвоено имя. Вместе с тем, чтобы присвоить имя, надо, по меньшей мере, знать о существовании именуемой вещи, т. е. необходимо мысленно выделить ее из множества остальных вещей. Это возможно благодаря наличию органов чувств. Мы либо непосредственно ощущаем саму вещь, либо воспринимаем ее взаимодействие с другими, ранее известными нам вещами. Бессмысленно было бы рассуждать о существовании некоей вещи, одновременно утверждая, что она ни с чем не взаимодействует. Иными словами, без непосредственного (прямого) или опосредованного (косвенного) воздействия на нас предполагаемой вещи мы ничего не можем сказать не только о ее свойствах, но и утверждать, что она существует. Рассуждать о вещи "самой по себе" бессмысленно. Данное утверждение относится к каждой вещи, как к только что обратившей на себя внимание, так и к тем, что были выявлены ранее и с которыми новая вещь взаимодействует (шире — находится в определенных отношениях). На уровне логической ступени познания отношения вещей отражаются в виде мыслей, именуемых суждениями. Таким образом, знание (понятие) о каждой вещи отражено в сознании в форме множества суждений, связывающих ее с другими вещами. Иначе говоря, понятие существует только в системе понятий, принадлежащих определенной области знания. Каждое суждение выражено (представлено, объективировано) в виде предложения. Поэтому оказывается, что понятие представлено в форме множества предложений. В том-то и состоит главная трудность освоения новых для учащегося понятий, что их невозможно изучать поодиночке.

С появлением науки вещи становятся предметом изучения разных ее отраслей, рассматривающих их в разных "ракурсах", "проекциях". Например, воду физика изучает как вид жидкости — ее текучесть, вязкость, сжимаемость, фазовые переходы и т. п. Химия изучает состав молекул воды, растворимость разных веществ в ней, реакции с другими веществами, когда вода исчезает и появляется нечто иное. Санитария изучает пригодность воды для питья, приготовления пищи и т. п. Так формируются качественно новые понятия о вещи. Их называют мысленными моделями (см. *Модели в науке*). Например, в механике выработано несколько мысленных моделей твердого тела, различающихся полнотой. Простейшая из них — "материальная точка" (название явно неудачное, дезориентирующее). В этом понятии учтены только инертность и гравитационность тела. В следующей по полноте мысленной модели,

именуемой “абсолютно твердым телом”, кроме указанных свойств приняты во внимание форма и размеры тела, и т. д.

Со временем складывается энциклопедическое понятие о вещи. Выражено оно в виде статей в энциклопедических словарях. В них, хотя и кратко, изложено все известное о вещи на момент написания статьи. Энциклопедические понятия нужны людям только для выработки эрудиции. Непосредственно в работе используют частнонаучные понятия.

По тому признаку, существует ли объективно предмет, отображаемый в данном понятии, понятия можно разделить на прототипные и беспрототипные. К числу первых относятся понятия об электроде, атоме, макротеле, животном, человеке, Солнечной системе и т. д. Беспрототипные понятия, как правило, фантастические: кентавр, русалка, леший, домовый, бог, испорченное зачатие, воскресение из мертвых, телепатическая коммуникация, ясновидение, инопланетяне, загробная жизнь и т. п. В естественных и технических науках беспрототипных понятий мало (например, “элемент отрицательной резистивности”). В математике их, напротив, много. В науке и технике беспрототипные понятия не лишены физического смысла только в том случае, если они могут быть сведены к прототипным понятиям методом исключения (см. *Введение абстрактных выражений*).

Различают понятия разного уровня (ступени, слоя) абстрактности. Уровень определяется степенью “удаленности” понятия от объективной реальности. Понятия первой ступени формируются в сознании человека непосредственно в процессе взаимодействия его с миром вещей (см. *Предмет мысли*). Понятия следующих слов складываются при теоретическом обобщении понятий, выработанных ранее. Развитие этого процесса можно понять на примере изложения материала в статье *Физические величины*. Понятия наивысшего уровня абстракции называют категориями. Часто они существуют парами, т. е. могут быть определены только совместно, через отношение друг к другу (не поодиночке). К числу парных категорий принадлежат, например, ‘материя’ и ‘сознание’, ‘элемент’ и ‘система’, ‘качество’ и ‘количество’, ‘вещество’ и ‘поле’.

Термин — это слово или выражение (языковая конструкция), служащее в науке и технике именем *предмета мысли*. Существует наука — терминоведение, в которой изложены основные принципы построения систем терминов и самих терминов. Важнейшее требование, предъявляемое к терминосистемам, — отсутствие многозначности, т. е. такой ситуации, когда одним и тем же термином обозначают разные предметы мысли. К сожалению, на это требование (и прочем, как и на другие) почти никто не обращает



внимания, и это один из главных источников «*птичьего языка*» в учебных текстах. Для правильного понимания текстов необходимо научиться распознавать многозначность. Это достигается применением *контекстуального определения* (контекст — языковое окружение интересующего нас слова). Оно заключается в том, что из разных источников выписывают предложения, содержащие интересующий нас термин. Содержательно анализируя их, удается установить, в каких значениях люди используют его.

Важнейшей логической операцией, благодаря которой значение термина становится ясным, является *определение*.

**ПОПЕРЕЧНАЯ ВОЛНА.** Волна, в которой колебания происходят в плоскости, перпендикулярной направлению ее распространения.

**ПОРОГ СЛЫШИМОСТИ.** Наименьшее значение эффективного звукового давления, при котором звук еще воспринимается органами слуха:  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па.

**ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ.** Соединение двух *двухполюсников*, при котором один вывод одного двухполюсника соединен с одним выводом другого двухполюсника, а другие выходы их между собой не соединены (рис. П.9). Фрагмент электрической цепи, состоящий из двух последовательно соединенных двухполюсников, является тоже двухполюсником.



Рис. П.9. Последовательное соединение двухполюсников

Последовательно может быть соединено произвольное число любых двухполюсников, как однотипных, так и разнотипных.

**ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ИНДУКТИВНЫХ КАТУШЕК.** Схема *последовательного соединения* *n* индуктивных катушек показана на рис. П.10. Этому фрагменту цепи эквивалентна одна катушка, индуктивность  $L_0$ , которой находят по формуле

$$L_0 = \sum_{k=1}^n L_k$$

Рис. П.10. Последовательное соединение *n* индуктивных катушек

**ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ.** Наибольшее напряжение любого источника электропитания всегда ограничено (например, напряжение электрохимических элементов наиболее распространенного типа равно 1,5 В.) Чтобы получить большее напряжение, элементы соединяют последовательно, образуя батареи. Рассмотрим, как описывают поведение батарей. Наиболее целесообразно сделать это на примере солнечного фотоэлемента, воспользовавшись анализом, выполненным в статье *Законы Ома*. Допустим, что погрешность, возникающая при решении задач из-за замены крутого участка вольтамперной характеристики фотоэлемента прямой линией, пренебрежимо мала. Иными словами, допустимо использовать ее линейную аппроксимацию, показанную на рис. П.11.

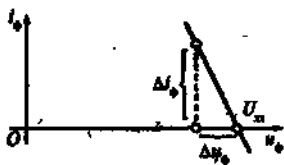


Рис. П.11. Линейная аппроксимация крутого участка характеристики фотоэлемента

Уравнение этой прямой имеет вид

$$u_{\phi} = U_{\phi 0} - r_{\phi} i_{\phi} \quad (1)$$

где  $r_{\phi} = \Delta u_{\phi} / \Delta i_{\phi}$  — “внутреннее сопротивление” фотоэлемента, приблизительно соответствующее крутому участку его вольтамперной характеристики. Вдумаемся в эту формулу. По обе стороны от знака равенства могут быть только одни и те же физические величины, выраженные в одинаковых единицах, так как только их допустимо складывать и вычитать. Слева от знака равенства — напряжение, первый член справа — тоже напряжение. Следовательно, и произведение  $r_{\phi} i_{\phi}$  — напряжение. Таким образом, в правой части формулы (1) мы видим сумму двух напряжений. Согласно законам Кирхгофа, она соответствует последовательному соединению элементов. Что это за элементы?

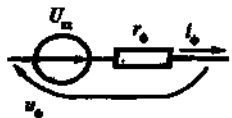


Рис. П.12. Линейная схема замещения фотоэлемента

Первый член суммы не зависит от силы тока. Следовательно, это источник напряжения. Второе напряжение пропорционально силе тока. Значит, это резистивный элемент. Таким образом, формула (1) соответствует схеме замещения фотоэлемента, показанная на рис. П.12.

Чтобы узнать закономерность поведения батарей, составленной из  $n$  последовательно соединенных фотоэлементов (рис. П.13),

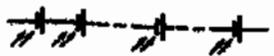


Рис. П.13. Последовательное соединение  $n$  фотоэлементов

надо заменить их схемой замещения (рис. П.14). Согласно законам Кирхгофа

$$I_{\Sigma} = I_{\Phi_1} = I_{\Phi_2} = \dots = I_{\Phi_n} = \dots = I_{\Phi_n}, \quad (2)$$

$$U_{\Sigma} = U_{\Phi_1} + U_{\Phi_2} + \dots + U_{\Phi_n} + \dots + U_{\Phi_n}, \quad (3)$$

где каждое  $U_{\Phi_k}$  выражается согласно формуле (1).

Так как от перемены мест слагаемых сумма не меняется, на рис. П.14 можно сгруппировать  $n$  источников напряжения  $U_{\Sigma}$

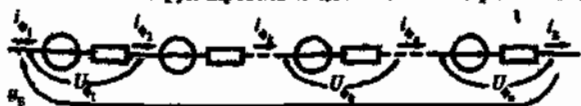


Рис. П.14. Схема замещения последовательного соединения  $n$  фотоэлементов

и  $n$  резистивных элементов  $r_{\Phi}$ . Преобразование, эквивалентное данному изменению схемы, можно выполнить и в формуле (3). Тогда окажется, что батарея соответствует схеме замещения, показанная на рис. П.15, где

$$U_{\Sigma \text{ экв}} = n U_{\Sigma}, \quad r_{\Sigma} = n r_{\Phi}. \quad (4)$$

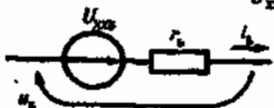


Рис. П.15. Линейная схема замещения батареи из  $n$  фотоэлементов

Если линейная аппроксимация вольтамперной характеристики фотоэлемента неприменима, так как не обеспечивает необходимой точности вычислений при решении задач, вольтамперную характеристику батареи находят графическим методом.

### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ.

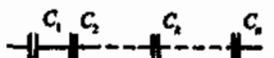


Рис. П.16. Последовательное соединение  $n$  конденсаторов

Схема последовательного соединения  $n$  конденсаторов показана на рис. П.16. Этому фрагменту цепи эквивалентен один конденсатор, емкость  $C_{\Sigma}$  которого находят по формуле

$$\frac{1}{C_{\Sigma}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{C_k}$$

**ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ РЕЗИСТОРОВ.** Схема последовательного соединения  $n$  резисторов с обозначениями направлений отсчета напряжений и токов (см. Правила знаков...)



Рис. П.17. Последовательное соединение  $n$  резисторов с обозначением напряжений отчета напряжений и токов

показана на рис. П.17. Этому фрагменту электрической цепи эквивалентен один резистор, сопротивление  $R_3$  которого находят по формуле

$$R_3 = \sum_{k=1}^n R_k.$$

Примечания. 1. Эту формулу легко вывести, воспользовавшись структурными законами теории электрических цепей — законами Кирхгофа и компонентным законом для резистора — законом Ома. Согласно закону Кирхгофа для токов, имеем:

$$i = i_1 = i_2 = \dots = i_k = \dots = i_n. \quad (1)$$

Согласно закону Кирхгофа для напряжений, получаем:

$$u = u_1 + u_2 + \dots + u_k + \dots + u_n \quad (2)$$

Компонентный закон для  $k$ -го резистора:

$$u_k = R_k i_k \quad (k = 1, \dots, n); \quad (3)$$

Подставляем в уравнение (2) вместо  $u_k$  их выражения через  $R_k i_k$ :

$$u = R_1 i_1 + R_2 i_2 + \dots + R_k i_k + \dots + R_n i_n. \quad (4)$$

В соответствии с равенством (1), заменим все  $i_k$  на  $i$  и вынесем  $i$  за скобку:

$$u = (R_1 + R_2 + \dots + R_k + \dots + R_n) \cdot i = \left( \sum_{k=1}^n R_k \right) \cdot i. \quad (5)$$

Полученное выражение — не что иное, как компонентный закон для резистора, сопротивление которого

$$R_3 = \sum_{k=1}^n R_k.$$

что и требовалось доказать.

2. Аналогично выводятся формулы для последовательного соединения индуктивных катушек и конденсаторов, а также параллельного соединения компонентов цепи.

ПОСТОЯННАЯ АВОГАДРО,  $N_A$ . Число частиц, содержащихся в 1 моле вещества:  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>.

**ПОСТОЯННАЯ БОЛЬЦМАНА,  $k$ .** Отношение универсальной газовой постоянной к числу Авогадро:

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К.}$$

**ПОСТОЯННАЯ ПЛАНКА,  $h$ .** Квант действия. Одна из фундаментальных физических постоянных, отражающая специфику физических законов *микромира* и играющая важнейшую роль в квантовой механике:  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$ .

**ПОСТОЯННАЯ РИДБЕРГА,  $R$ .** Одна из основных физических постоянных, входящих в уравнения для уровней энергии и спектральных серий атомов:  $R = 1,1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ .

**ПОСТОЯННАЯ ФАРАДЕЯ,  $F$ .** Физическая постоянная, равная отношению электрического заряда к количеству вещества, выделившегося на электроде при прохождении электрического тока через электролит:  $F = 965 \cdot 10^2 \text{ Кл/моль}$ . Постоянная Фарадея связана с постоянной Авогадро  $N_A$  и зарядом электрона  $e$  соотношением  $F = N_A \cdot e$ .

**ПОСТОЯННЫЙ ТОК.** Электрический ток, сила и направление которого не изменяются с течением времени (ср. *Переменный ток*).

**ПОСТУЛАТ** [от лат. *postulo* — требую]. Основопологающее утверждение, принимаемое без доказательств. То же, что *аксиома* в математике.

**ПОСТУЛАТЫ БОРА.** Сформулированы в 1913 г. датским физиком Нильсом Бором.

1-й постулат Бора (постулат стационарных состояний) гласит: существуют некоторые стационарные состояния атома, находясь в которых он не излучает.

2-й постулат Бора (правило квантования орбит) выражает количественную связь между моментом импульса электрона в атоме и номером его орбиты. Постулат гласит: в стационарном состоянии атома электрон, двигаясь по орбите, должен иметь квантованные значения момента импульса:  $L_n = mvr = n\hbar$ , где  $n = 1, 2, 3, \dots$ ,  $m$  — масса электрона,  $v$  — скорость электрона,  $r$  — радиус его орбиты ( $\hbar = h/2\pi$ ,  $h$  — постоянная Планка).

**3-й постулат Бора (правило частот)** выражает количественную связь между изменением энергии атома и частотой излучаемых или поглощаемых им электромагнитных волн. Постулат гласит: при переходе атома из одного стационарного состояния в другое он испускает или поглощает один фотон энергией  $W_n - W_m = h\nu_{nm}$ , где  $W_n$  и  $W_m$  — энергии атома в стационарных состояниях  $n$  и  $m$ . При  $W_n < W_m$  происходит излучение фотона, при  $W_n > W_m$  — его поглощение.

**ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ.** *Механическое движение твердого тела*, при котором любая связанная с телом прямая перемещается параллельно самой себе. Поступательное движение выделяют потому, что в этом случае в качестве мысленной модели тела можно использовать *материальную точку (инерционный элемент)*.

**ПОТЕНЦИАЛ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ,  $U$ .** *Разность потенциалов*, измеренная по отношению к точке, потенциал которой условно принят равным нулю. При теоретическом исследовании такой точкой обычно считают бесконечно удаленную; при анализе *электрических цепей* — землю (см. *Заземление*); при анализе *электронных цепей* — один из полюсов источника электропитания.

**ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ.** Энергия системы тел, обусловленная их взаимным расположением и положением во внешних полях.

**ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЯМА.** *Иконическая модель области пространства*, введенная для изучения поведения микрочастиц и построенная так, что она со всех сторон ограничена *потенциальным барьером*.

**ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ПОЛЕ.** Векторное поле, циркуляция вектора напряженности которого по произвольному замкнутому контуру равна нулю. Например, электростатическое поле.

**ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ БАРЬЕР.** *Иконическая модель области пространства*, введенная для изучения движения микрочастиц и построенная так, что две "лижкие" области разделены "барьером", причем потенциальная энергия частицы в районе "барьера" выше, чем ее полная энергия по обе стороны барьера.

**ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ПОРОГ.** *Иллюстрация модели области пространства, введенная для изучения движения микрочастиц и построенная так, что по оси абсцисс откладывается пространственная координата, а по оси ординат — энергия частицы, причем полная энергия частицы на “низкой” стороне меньше ее потенциальной энергии на “высокой” стороне.*

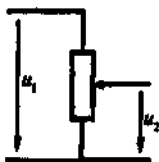


Рис. П.18. Потенциометрическое включение резистора переменного сопротивления

**ПОТЕНЦИОМЕТР.** *Делитель напряжения, образованный из резистора переменного сопротивления, параметры которого  $\mu$  и  $R$  (см. рис. Д.9) можно плавно изменять, перемещая движок резистора (рис. П.18):*

$$\mu = \frac{R_n}{R_{\text{мн}}} U_1; \quad R = \frac{R_2 R_n}{R_{\text{мн}}},$$

где  $R_n$  — сопротивление между подвижным и верхним выводами;  $R_{\text{н}}$  — сопротивление между подвижным и нижним выводами;  $R_{\text{мн}} = R_n + R_{\text{н}}$  — сопротивление между неподвижными выводами.

**ПОТОК ВЕКТОРА МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ,  $\Delta\Phi_M$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания интенсивности магнитного поля, пронизывающего элемент поверхности среды с учетом ее свойств, и равная скалярному произведению вектора магнитной индукции  $\mathbf{B}$  и площади  $\Delta s$  этого элемента:  $\Delta\Phi_M = \mathbf{B} \cdot \Delta s$ .<sup>1</sup>

**ПОТОК ВЕКТОРА НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ,  $\Delta N_M$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания интенсивности магнитного поля, пронизывающего элемент поверхности среды и равная скалярному произведению вектора напряженности магнитного поля  $\mathbf{H}$  и площади  $\Delta s$  этого элемента:  $\Delta N_M = \mathbf{H} \cdot \Delta s$ .

**ПОТОК ВЕКТОРА НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ,  $\Delta N_E$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания интенсивности электрического поля, пронизывающего элемент поверхности среды, и равная скалярному

<sup>1</sup> Здесь и далее под вектором площади подразумевается вектор, модуль которого равен значению площади, а направление его совпадает с направлением внешней нормали к поверхности.

произведению вектора напряженности  $\mathbf{E}$  и площади  $\Delta s$  этого элемента:  $\Delta N_E = \mathbf{E} \cdot \Delta s$ .

**ПОТОК ВЕКТОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СМЕЩЕНИЯ,  $\Delta\Phi_E$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания интенсивности электрического поля, пронизывающего элемент поверхности среды, с учетом ее свойств, и равная скалярному произведению вектора электрического смещения  $\mathbf{D}$  и площади  $\Delta s$  этого элемента:  $\Delta\Phi_E = \mathbf{D} \cdot \Delta s$ .

**ПОТОК ИЗЛУЧЕНИЯ,  $\Delta\Phi_H$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания интенсивности падающего на облучаемую поверхность излучения и равная отношению энергии  $\Delta W$  излучения, падающего на поверхность, к времени  $\Delta t$  облучения:  $\Delta\Phi_H = \Delta W / \Delta t$ .

**ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЕ,  $\Psi$ .** Физическая величина, введенная для описания процессов в электрических цепях. Потокосцепление связано с электрическим напряжением так же, как электрический заряд  $q$  с силой тока  $I$ . Например, при постоянной силе тока изменение заряда  $\Delta q = I \Delta t$ , где  $\Delta t$  — интервал времени. Аналогично при постоянном напряжении  $U$  изменение потокосцепления  $\Delta \Psi = U \Delta t$ .

**Примечание.** Потокосцепление — термин, ориентирующий неправильно. Появился он потому, что при определенных условиях потокосцепление связано с магнитным потоком простой формулой. Рассмотрим эти условия. На рис. П.19 показана в разрезе индуктивная катушка и (в форме силовых линий) магнитное поле. Принято говорить, что магнитный поток «сцепляется» с витками катушки. Это неслучайное выражение: магнитный поток — физическая величина, предмет из мира идей. Следовательно, он не может «сцепляться» с вещью — катушкой. Как видно из рисунка, часть линий поля охватывает все витки, а часть — не все. В таких условиях найти связь между потокосцеплением и магнитным потоком очень сложно. Однако в электротехнических устройствах катушки обычно снабжены ферромагнитными сердечками (магнитопроводами) (см. Ферромагнетизм). Благодаря этому магнитный поток, линии которого охватывают все витки катушки, многократно увеличивается, и это

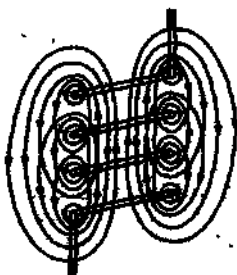


Рис. П.19. Индуктивная катушка в разрезе и силовые линии магнитного поля



позволяет пренебречь остальными. Поэтому с достаточно большой точностью

$$\Psi \approx w\Phi,$$

где  $w$  — число витков катушки,  $\Phi$  — магнитный поток.

Эту формулу, однако, нельзя принимать за определяющую потокоосцепления, подобно тому, как формулу  $i = Ri$  нельзя понимать как определяющую электрическое напряжение. Поэтому термин *потокоосцепление*, строго говоря, неуместен.

Правильно потокоосцепление определяют через электрическое напряжение: потокоосцепление — физическая величина, равная интегралу напряжения по времени.

Единица потокоосцепления — вольт-секунда, т. е. вебер (Вб). На этом основании иногда вместо термина *потокоосцепление* используют термин *вольт-секундная площадь*, тоже не очень удачный, но во всяком случае правильно ориентирующий. Единица магнитного потока тоже вебер, так как в формуле  $\Psi = w\Phi$  величина  $w$  — безразмерная.

**ПРАВЫЕ И ЛЕВЫЕ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ.** Возможны две системы координат: правая и левая. Их различие легко понять, обратившись к аксонометрическим изображениям. Правая система координат построена так, что если смотреть со стороны оси  $Z$  (на рис. П.20, а — сверху вниз), то для того чтобы совместить ось  $X$  с осью  $Y$  по кратчайшему расстоянию, ее надо вращать против часовой стрелки.



Рис. П.20. Правая (а) и левая (б) системы координат

В левой системе координат направление вращения оси  $X$  противоположно (рис. П.20, б).

Обыкновенно (если специально не оговорено противоположное) пользоваться правой системой координат.

Такое же различие существует в структуре болтов, винтов и шурупов. Подавляющее большинство из них имеет правую резьбу (вспомним: чтобы закрутить шуруп или шурупор, его надо вращать по часовой стрелке). Иногда применяют левую резьбу (например, у левой оси педали велосипеда).

**ПРАВИЛА ЗНАКОВ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА.** На одной формулы, описывающей процессы в электрических цепях, невозможно сознательно написать, не усвоив правил, пользуясь которыми мы узнаем знаки напряжения и тока. Каким способом лучше всего установить эти правила? Любая теория нужна, в конечном счете, для практики. Поэтому все обозначения в формулах и на схемах должны быть взаимно однозначно связаны с показаниями измерительных приборов, подключенных к цепи. Наиболее часто при анализе цепи используют напряжение и силу тока. Это — алгебраические величины, т. е. их значения могут быть как положительными, так и отрицательными. В цепях постоянного тока для измерения напряжения и силы тока пригодны стрелочные приборы магнитоэлектрической системы. Они чувствительны к полярности (знаку) величин. Рассмотрим применение приборов, у которых нулевая отметка расположена посередине шкалы.

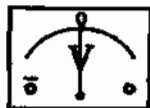


Рис. П.21. Вольтметр магнитоэлектрической системы с нулевой отметкой посередине шкалы

Изображение такого вольтметра показано на рис. П.21. К цепи подключают проводами, присоединенными к зажимам (клеммам) на корпусе прибора, один из которых отмечен знаком “минус”. Если при измерении стрелка прибора отклоняется вправо от нуля, показание считают положительным, если влево — отрицательным. Что это означает, проще всего увидеть, рассмотрев измерение напряжения электрохимического элемента питания. На рис. П.22 показаны два возможных способа подключения к нему



Рис. П.22. Два способа включения вольтметра

вольтметра. Если минусовую клемму прибора соединить с отрицательным электродом элемента, стрелка отклонится вправо и, следовательно,  $U_1 = 1,5$  В. В противном случае показание отрицательно:  $U_2 = -1,5$  В. Аналогично прочтывают показания амперметра. Если, например (рис. П.23), сопротивление резистора, включенного последовательно с элементом, равно 1,0 кОм, показания амперметра будут:  $I_1 = 1,5$  мА;  $I_2 = -1,5$  мА.

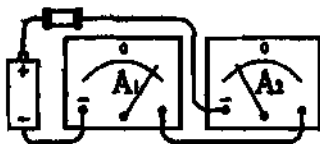


Рис. П.23. Два способа включения амперметра

Поведение элементов электрической цепи описывают, указывая связь между напряжением и силой тока или другими величинами, измеренными на выводах элемента. Такое включение амперметра и вольтметра, когда их минусовые клеммы обращены в одну сторону, назовем *встречным*, противоположное — *встречным*.

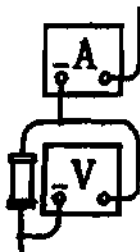


Рис. П.24. Совместное включение вольтметра и амперметра

Если к резистору, включенному в цепь, вольтметр и амперметр присоединены согласно (рис. П.24), их стрелки будут отклонены одинаково (обе влево или обе вправо). Закон Ома при этом запишется в привычной форме:  $u = Ri$ .

Если же приборы включены встречно, то их стрелки отклонены в разные стороны, т. е. знаки напряжения и силы тока противоположны, и мы вынуждены написать  $u = -Ri$ .

То же самое мы получим и для других элементов цепи. Например, при согласном включении приборов для конденсатора  $q = Ci$ , при встречном  $q = -Ci$ ; для индуктивной катушки  $\Psi = Li$  и  $\Psi = -Li$  соответственно. Аналогично для написания законов Кирхгофа на схеме цепи надо показать, как включены приборы.

Таким образом, не показав направления включения приборов или, иначе говоря, не обозначив направления отсчета напряжения и силы тока, мы не можем написать ни одной формулы.

Было бы слишком долго и неудобно чертить на схемах изображения вольтметров и амперметров, как показано на рис. П.24. Чтобы избежать этого, вводят их условные графические обозначения в виде стрелок, острия которых направлены в ту же сторону, что и минусовые клеммы приборов. При этом схема цепи, показанная на рис. П.24, приобретает вид, представленный на рис. П.25. Эти обозначения

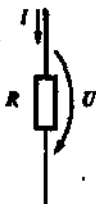


Рис. П.25. Обозначение направлений отсчета напряжения и силы тока, соответствующее рис. П.24

пригодны также для анализе цепей переменного тока. В этом случае приборы магнитоэлектрической системы, конечно, неприемлемы. Вместо них используют осциллографы или датчики, включенные в автоматизированную измерительную систему.

Изложенные здесь соображения являются конкретным применением к теории электрических цепей *принципа соответствия теории с практикой*.

**Примечания.** 1. В учебниках электротехники стрелки тока входят, но не определяют их как условные графические обозначения измерительных приборов, чувствительных к знаку, а называют "условно положительными направлениями напряжения и тока", что не соответствует *принципу соответствия теории с практикой*.

2. Так же скрупулезно следует применять применение измерительных приборов при анализе процессов в *механических системах* (см. Система отсчета).

## ПРАВИЛА КИРХГОФА. См. *Законы Кирхгофа*.

**ПРАВИЛА ОБРАЩЕНИЯ С ПРИБЛИЖЕННЫМИ ЧИСЛАМИ.** Производя различные математические действия с приближенными числами (а в физике все числа приближенные), нужно пользоваться следующими правилами:

при сложении и вычитании приближенных чисел окончательный результат округляют так, чтобы он содержал столько значащих цифр<sup>1</sup>, сколько их содержит число с наименьшим количеством значащих цифр;

при умножении и делении окончательный результат округляют так, чтобы он содержал столько значащих цифр, сколько их содержит приближенное число с наименьшим количеством значащих цифр; в промежуточных результатах следует сохранять на одну значащую цифру больше;

при возведении в степень окончательный результат округляют так, чтобы он содержал столько значащих цифр, сколько их содержит основание степени;

при извлечении корня окончательный результат округляют так, чтобы он содержал столько значащих цифр, сколько их содержит подкоренное выражение (см. *Правила округления...*).

<sup>1</sup> Значащими цифрами называют все цифры, кроме нуля, а также и нуль в двух случаях: 1) когда нуль стоит между значащими цифрами; 2) когда нуль стоит в конце числа и известно, что единицы этого разряда в данном числе не имеются.

**ПРАВИЛА ОКРУГЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ДЕЙСТВИЙ С ПРИБЛИЖЕННЫМИ ЧИСЛАМИ.** При округлении результатов математических действий с приближенными числами следует руководствоваться следующими правилами:

если первая отбрасываемая цифра больше 4, то последняя сохраняемая цифра увеличивается на единицу;

если первая отбрасываемая цифра 4 или меньше, то последняя сохраняемая цифра не изменяется;

если отбрасываемая часть числа состоит из одной цифры 5, то число округляют так, чтобы последняя сохраняемая цифра была четной.

**ПРАВИЛО.** Утверждение, являющееся продуктом договоренности и, в отличие от принципа, не отражающее объективной реальности. Например, правила дорожного движения, *правила знаков напряжения и тока*. Неверно называть правилами принцип Ленца, принцип рычага, законы Кирхгофа.

**ПРАВИЛО КВАНТОВАНИЯ.** То же, что третий постулат Бора (см. *Постулаты Бора*).

**ПРАВИЛО ЛЕВОЙ РУКИ.** Выражает связь между направлением вектора индукции магнитного поля, направлением тока в проводнике, помещенном в это поле, и направлением силы, действующей на проводник с током со стороны магнитного поля. Оно гласит: если ладонь левой руки расположить так, чтобы вектор индукции магнитного поля входил в ладонь, а четыре вытянутых пальца указывали направление электрического тока, то отставленный на 90° большой палец укажет направление силы, действующей со стороны поля на проводник (см. *Альтернативное правило*).

**ПРАВИЛО (ПРИНЦИП) ЛЕНЦА.** Открыто в 1833 г. русским физиком Эмилем Христиановичем Ленцем. Позволяет определять направление индукционного тока в замкнутом проводнике, помещенном в переменное магнитное поле. Оно гласит: индукционный ток в замкнутом контуре имеет такое направление, что созданный им поток магнитной индукции через площадь, ограниченную контуром, стремится компенсировать те изменения потока магнитной индукции, которые вызвали появление индукционного тока. Это означает, что если магнитный поток нарастает, то поле индукционного тока стремится его ослабить и направ-

лено против первичного поля; если же поток уменьшается, то поле индукционного тока поддерживает поток, т. е. направлено по первичному полю.

**Примечания.** 1. Правило Ленца следует назвать принципом или законом. Это не предмет договоренности (т. е. это не “День знаний”, а день летнего солнцестояния). Это — принцип инерции, но менее важный, чем принцип механической инерции. 2. Более корректное изложение процессов, обусловленных индуцированным током, изложено в ст. *Электромагнитная индукция*.

**ПРАВИЛО МАКСВЕЛЛА (буравчика).** Выражает связь между направлением тока в проводнике и направлением вектора индукции магнитного поля, связанного с этим током. Оно гласит: если направление поступательного движения буравчика совместить с направлением тока в проводнике, то направление вращения ручки буравчика укажет направление вектора индукции магнитного поля.

**ПРАВИЛО МНОГОУГОЛЬНИКА.** Правило геометрического построения суммы нескольких векторов. Чтобы построить вектор, являющийся суммой нескольких векторов, нужно начало второго вектора совместить с концом первого, начало третьего — с концом второго и т. д. Затем построить вектор, начало которого совпадает с началом первого вектора, а конец — с концом последнего. Этот замыкающий вектор и будет искомым суммой векторов. *Правило треугольника* — геометрическое построение суммы двух векторов — частный случай правила многоугольника.

**ПРАВИЛО МОМЕНТОВ.** Тело, способное вращаться вокруг закрепленной оси, находится в равновесии, если сумма моментов сил относительно закрепленной оси, стремящихся повернуть тело по часовой стрелке, равна сумме моментов сил относительно той же оси, стремящихся повернуть его против часовой стрелки.

**ПРАВИЛО ПАРАЛЛЕЛОГРАММА.** Геометрическое построение, выражающее закон сложения векторных физических величин. Оно гласит: сумма двух векторов, исходящих из одной точки, есть вектор, направленный по диагонали параллелограмма, построенного на этих векторах как на сторонах, причем начало вектора суммы совпадает с началами суммируемых векторов, а конец — с концом диагонали в противоположной вершине параллелограмма. См. *Правило треугольника*, *Правило многоугольника*.

С помощью правила параллелограмма легко построить и разность двух векторов. Разность двух векторов, исходящих из одной точки, есть вектор, направленный по диагонали параллелограмма, построенного на этих векторах как на сторонах, причем начало вектора разности совпадает с концом вычитаемого вектора, а конец — с концом “уменьшаемого” вектора.

Легко видеть, что в параллелограмме, построенном на двух векторах, исходящих из одной точки, как на сторонах, вектор суммы направлен по одной диагонали параллелограмма, а вектор разности — по другой диагонали.

**ПРАВИЛО ПРАВОЙ РУКИ.** Выражает связь между направлением вектора индукции магнитного поля, направлением движения проводника в магнитном поле и направлением тока, возникающего в этом проводнике: Оно гласит: если расположить ладонь правой руки так, чтобы в нее входила линия индукции магнитного поля, а отставленный на 90° большой палец направить по движению проводника, то вытянутые четыре пальца руки укажут направление индукционного тока в проводнике (см. *Альтернативное правило*).

**ПРАВИЛО РЫЧАГА.** Рычаг находится в равновесии, когда действующие на него силы обратно пропорциональны плечам. Правило рычага есть другое выражение правила моментов.

**ПРАВИЛО ТРЕУГОЛЬНИКА.** Геометрическое построение, выражающее закон сложения векторных физических величин. Оно гласит: сумма двух векторов, конец первого из которых совпадает с началом второго, есть вектор, начало которого совпадает с началом первого вектора, а конец — с концом второго. См. *Правило параллелограмма, Правило многоугольника*.

**ПРЕДЕЛ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ.** Максимальное механическое напряжение, при превышении которого после снятия внешней нагрузки в образце наблюдается остаточная деформация.

**ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ.** Механическое напряжение, при превышении которого происходит разрушение тела.

**ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ.** Механическое напряжение, при котором в образце начинается развиваться пластическая деформация.

**ПРЕДЕЛ УПРУГОСТИ.** Максимальное механическое напряжение, при котором относительная остаточная деформация образца не превышает 0,1%.

**ПРЕДМЕТ МЫСЛИ.** Для достижения действительного понимания необходимо осмыслить, что означает выражение *предмет мысли*. Размышлять мы можем о чем угодно. Следовательно, предметом мысли может быть, во-первых, объективная реальность — мир вещей, во-вторых, субъективная (психическая) реальность — внутренний мир человека, в-третьих, мир знаков — естественный и искусственные языки; в-четвертых, отношения внутри каждого из миров и между ними. Психическую реальность принято делить на чувства и мысли (эмоциональную и рациональную сферы). Поскольку мы обсуждаем естественнонаучные и технические знания, эмоциональную сферу исключим из рассмотрения.

Таким образом, выражением (термином) *предмет мысли* обозначают универсальное множество, включающее в себя три подмножества: мир вещей, мир идей и мир знаков, а также отношения между ними. К миру вещей относят сами вещи и их *атрибуты*. К миру идей относят ощущения, восприятия и представления (чувственная ступень познания) и главные формы мысли — понятия, суждения и умозаключения (логическая ступень познания). Мир знаков включает в себя естественный язык (звуковую и письменную речь), инфонационную окраску голоса, жесты, мимику, типографские выделения, а также искусственные языки — язык схем, чертежей, математических выкладок, языки программирования и т. п.

Из сказанного следует, что значением термина может быть предмет мысли, принадлежащий к любому из трех названных подмножеств. Иными словами, термины могут служить именами вещей, именами идей и именами знаков (в частности, именами имен). Кроме того, для достижения понимания важное значение имеют слова, выражающие отношения между миром вещей, миром идей и миром знаков.

Нередко случается, что один и тот же термин в разных контекстах обозначает то одно, то другое, то третье. Например, в предложении “Атом водорода содержит один электрон” термин *электрон* является именем предмета из мира вещей. В предложении “Электрон и дырка — важнейшие понятия теории полупроводников” он же обозначает понятие. Наконец, в предложении “Электрон — имя существительное” речь идет о слове *электрон*, т. е. здесь это — имя имени. Давно принято имена имен выделять в печатных текстах либо курсивом, либо кавычками, а для раз-



личения имен вещей и имен идей типографские выделения не предусмотрены. Нередко это приводит к неправильному пониманию текста (смешению мира идей с миром вещей). В тех случаях, когда возможно ошибочное понимание, мы выделяем имена идей одиночными кавычками (например: “‘Электрон’ и ‘дырка’ — важнейшие понятия теории полупроводников”).

Каждый должен научиться, воспринимая текст, заметить, к какому миру принадлежит предмет мысли, обозначаемый любым термином. В противном случае возможны грубые ошибки. Например, как видно из написанного многими авторами, они считают, будто слова *понятие* и *термин* — синонимы, т. е. обозначают один и тот же предмет мысли. В действительности это не так. Понятие (см. *Понятие и термин*) — мысль, предмет из мира идей, а термин — предмет из мира знаков. Разница между ними примерно такая же, как между содержанием характеристики человека и его именем.

Довольно многие авторы смешивают предметы из мира идей с предметами из мира вещей, что часто наблюдается в текстах с именами *физических величин*. Американский физик-теоретик Дж. Синг придумал для этого психического явления шуточное название “синдром Пигмалиона<sup>1</sup>”.

**ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА.** Явление, состоящее в изменении направления распространения света при его переходе из одной среды в другую и обусловленное различием скоростей распространения света в этих средах.

**ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГАЛИЛЕЯ.** Уравнения классической механики, связывающие координаты и время движущегося тела в движущихся со скоростью  $v$  в направлении оси  $X$  друг относительно друга *инерциальных системах отсчета*  $K$  и  $K'$ :  $x = x' + vt'$ ;  $y = y'$ ;  $z = z'$ .

**ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛОРЕНЦА.** Уравнения специальной теории относительности, связывающие координаты и время движущегося тела в движущихся со скоростью  $v$  в направлении оси  $X$  друг относительно друга *инерциальных системах отсчета*  $K$  и  $K'$ :

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad y = y'; \quad z = z'; \quad t = \frac{t' + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

<sup>1</sup> Пигмалион — мифологический ваятель, влюбившийся в созданную им скульптуру женщины и силой своего чувства вдохнувший в нее жизнь.

**ПРИБОРНАЯ (ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ) ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ.** Составляющая *полной погрешности измерения*, связанная с погрешностью применяемых средств измерений. Погрешность стрелочных приборов (приборов со шкалами) определяют как половину цены наименьшего деления шкалы в используемом диапазоне измерений, цифровых приборов — как единицу последней значащей цифры на индикаторе прибора.

**ПРИЕМЫ НАУЧНОГО МЫШЛЕНИЯ.** В течение тысяч лет развития человеческого познания сформировались методы и приемы научного мышления, позволяющие при их сознательном применении получать достоверные результаты и выигрывать время. Наиболее плодотворные методы научного познания — методы материалистической диалектики. Важнейшие приемы научного мышления суть: *абстрагирование, анализ, аналогия, дедукция, декомпозиция, индукция, идеализация, конкретизация, обобщение, обоснование, синтез, систематизация, содержательная интерпретация, сравнение, формализация.*

**ПРИЗМА (ОПТИЧЕСКАЯ).** Тело из прозрачного вещества, по крайней мере две из ограничивающих плоскостей которого непараллельны. На них происходит либо преломление, либо отражение лучей, идущих из воздуха в призму, или из призмы в воздух. Существует два вида призм: спектральные (дисперсионные) и отражающие. Первые предназначены для получения спектров. Вторые, в которых используют явление полного внутреннего отражения, находят самое широкое применение в призматических биноклях.

**ПРИМЕСНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИК.** Полупроводник, тип проводимости которого (электронная или дырочная), а также значение удельной проводимости определяется типом и концентрацией примесей.

**ПРИНЦИП** [от лат. *principium* — основа, начало]. Термин используют в двух значениях. 1. Основное, исходное положение какой-либо теории, учения и т. д. 2. То же, что закон (например: “Принцип сохранения энергии” и “Закон сохранения энергии” — синонимичные выражения).

**ПРИНЦИП БЛИЗКОДЕЙСТВИЯ.** *Методологический принцип*, состоящий в утверждении, что любые взаимодействия объектов, не находящиеся в непосредственном контакте, осуществляются

посредством какого-то материального агента (электромагнитных волн, потоков корпускул и т. п.)

**ПРИНЦИП “БРИТВА ОККАМА”.** *Методологический принцип*, выдвинутый английским богословом и философом Уильямом Оккамом, в переводе с латинского звучащий так: “Сущностей не следует множить сверх необходимости”. Это научный аналог юридического принципа презумпции невиновности. Если некто в чем-то “обвиняет” природу, то он должен это доказывать, основываясь на господствующей научной картине мира. Ученый мир не примет заявления типа: “Я утверждаю то-то и то-то. Если вы не согласны, представьте опровержение”. С таким человеком просто перестают разговаривать до тех пор, пока он не предложит научно аргументированного обоснования. Например, иногда говорят: “Существование телепатии не доказано, но и не доказано ее отсутствие”. Это типично дилетантское, ненаучное утверждение.

**ПРИНЦИП ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ.** *Методологический принцип*, состоящий в утверждении, что экспериментальные результаты признают достоверными, если они воспроизводимы. Это значит, что эксперимент, выполненный в какой-либо лаборатории, может быть повторен и приведет к тем же результатам в любой другой лаборатории.

**ПРИНЦИП ГЮЙГЕНСА.** Предложен в 1690 г. голландским физиком Христианом Гюйгенсом. Он позволяет определить положение фронта волны (волновой поверхности) в момент времени  $t + \Delta t$ , если известно его положение в момент времени  $t$ . Принцип гласит: все точки, через которые проходит фронт волны в момент времени  $t$ , являются источниками вторичных сферических волн, а искомого положения фронта волны в момент времени  $t + \Delta t$  определяется поверхностью, огибающей фронты всех вторичных волн.

Принцип Гюйгенса позволяет объяснить законы отражения и преломления, а также качественно — дифракцию света.

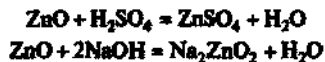
**ПРИНЦИП ГЮЙГЕНСА–ФРЕНЕЛЯ.** Предложен в 1818 г. французским физиком Огюстом Жаном Френелем как обобщение и дополнение принципа Гюйгенса. Принцип гласит: каждая точка фронта волны служит источником вторичных сферических волн; эти волны когерентны и при встрече в какой-либо точке пространства они интерферируют между собой. С помощью принципа Гюйгенса–Френеля удастся объяснить простейшие задачи

дифракции сферических волн, и в частности — кажущееся прямолинейное распространение света.

**ПРИНЦИП ДОПОЛНИТЕЛЬНОСТИ.** *Методологический принцип*, состоящий в утверждении о возможности совместить в представлении об объекте ранее несовместимые свойства, выдвинутый Нильсом Бором при разработке квантовой теории. Состоит он в следующем.

При изучении макромира сформировались понятия дискретности и континуальности (непрерывности). Физикам не было известно ни одного объекта, который обнаруживал бы и то, и другие свойства. Поэтому поведение микрообъектов вызвало замешательство среди ученых. Оказалось, что в камере *Дальсона* электроны ведут себя как частицы, а взаимодействуя с *дифракционной решеткой* — как волны. Бор предложил признать обнаруженную дуальность (двойственность) объективным свойством микрообъектов. Тем самым оказался возможным неклассически использовать классические (макроскопические) понятия.

Двойственность поведения свойственна не только микрообъектам, что проявляется в химических реакциях. Например, углерод в реакции с водородом ведет себя как окислитель (отбирает электроны), а в реакции с кислородом — как восстановитель (отдает электроны). Существуют оксиды, называемые амфотерными, которые проявляют либо основные, либо кислотные свойства: с кислотами они взаимодействуют как основания, а с основаниями — как кислоты. Например:



**ПРИНЦИП ЛЕ ШАТЕЛЬЕ—БРАУНА.** Внешнее воздействие, выводящее систему из состояния термодинамического равновесия, вызывает в системе процессы, стремящиеся ослабить эффект воздействия. Установлен французским химиком А. Ле Шателье в 1884 г. и обоснован немецким физиком К. Брауном в 1887 г.

**ПРИНЦИП МАТЕРИАЛЬНОСТИ.** *Методологический принцип*, состоящий в признании всего окружающего мира существующим объективно, т. е. вне сознания человека.

**ПРИНЦИП МИНИМАЛЬНОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ.** Если равновесие тела или системы тел обусловлено действием только потенциальных сил — сил тяготения, упругости

или электростатических сил, — то положению устойчивого равновесия соответствует минимальное значение потенциальной энергии.

**ПРИНЦИП НАБЛЮДАЕМОСТИ.** *Методологический принцип*, состоящий в требовании, чтобы все физические величины могли быть измерены. Впервые выдвинут Эрнстом Махом. Особенно остро обсуждался в период становления квантовой физики. Среди физиков были сторонники включать в теорию величины, не поддающиеся измерению, например, радиус орбиты и скорость электрона в атоме. Наиболее решительно против этого выступил В. Гейзенберг. В конце концов его точка зрения восторжествовала.

**ПРИНЦИП НАИМВЬШЕГО ДЕЙСТВИЯ.** Был введен в механику в 1744 г. французским ученым Пьером Лагранжем. Он гласит: действительное перемещение консервативной системы отличается тем, что для него действие минимально.

**ПРИНЦИП НАЛОЖЕНИЯ.** То же, что *Принцип суперпозиции*.

**ПРИНЦИП НЕЗАВИСИМОСТИ ДЕЙСТВИЯ СИЛ.** Частный случай *принципа суперпозиции*, используемый в механике. Состоит он в следующем. Если данное тело взаимодействует с  $n$  телами, то его ускорение  $a$  можно найти двумя способами.

1. Получить равнодействующую  $F_p$  сил  $F_k$  отдельных взаимодействий как их геометрическую сумму:

$$F_p = \sum_{k=1}^n F_k,$$

тогда

$$a = F_p / m.$$

2. Найти ускорения  $a_k$ , вызванные каждым отдельным ( $k$ -м) взаимодействием так, как будто остальные взаимодействия отсутствуют:

$$a_k = F_k / m.$$

Искомое ускорение получим как геометрическую сумму всех  $a_k$ :

$$a = \sum_{k=1}^n a_k.$$

Второй способ вычисления  $a$  составляет суть принципа независимости действия сил.

**Примечание.** Традиционная формулировка принципа "Если на тело действует несколько сил, то каждая из них сообщает телу такое же ускорение, что и при отсутствии других сил" неудовлетворительна по следующим соображениям: 1) на тело действуют не силы, а тела; 2) тело не может иметь нескольких ускорений; 3) формулировка не операциональна: не сказано, как применить принцип для вычисления  $a$ .

**ПРИНЦИП НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ (СООТНОШЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ).** Сформулирован в 1927 г. немецким физиком Вернером Карлом Гейзенбергом. В принципе выражено одно из фундаментальных положений квантовой механики, согласно которому динамические переменные (координаты и импульс, энергия и время), характеризующие состояние квантовой системы, не могут одновременно иметь точно определенные значения. Принцип гласит: произведение неопределенности в импульсе  $\Delta p_x$  частицы и неопределенности в ее координате  $\Delta x$  не может быть меньше постоянной Планка  $\hbar$  ( $\hbar = \hbar/2\pi = 1,05 \cdot 10^{-34}$  Дж·с), т. е.:

$$\Delta p_x \Delta x \geq \hbar.$$

Для энергии и времени соотношение неопределенностей имеет вид:

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar,$$

где  $\Delta E$  — неопределенность в энергии и  $\Delta t$  — время пребывания частицы в данном состоянии.

Принцип неопределенностей позволяет определять границы применимости классических понятий и представлений к микрообъектам.

**ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ** (в классической механике). Сформулирован в 1636 г. итальянским физиком Галилео Галилеем. Принцип гласит: во всех инерциальных системах отсчета все механические явления протекают одинаково.

**ПРИНЦИП ПАУЛИ.** Предложен в 1924—1925 гг. немецким физиком Вольфгангом Паули. В принципе выражено одно из фундаментальных положений, согласно которому в системе тождественных частиц с полуцелым спином (электронов, протонов, нейтронов и др.) не может быть двух частиц, находящихся в одном и том же состоянии. Принцип гласит: в квантовой системе тождественных частиц в одном и том же состоянии может находиться только одна частица.

Принцип Паули позволяет объяснить ряд свойств атомных ядер, молекул, кристаллов и, в частности, позволяет дать физическое обоснование периодического закона Менделеева.

**ПРИНЦИП ПРИЧИННОСТИ** *Методологический принцип*, состоящий в утверждении, что все процессы и события имеют причину (см *Причина, следствие и условие*)

**ПРИНЦИП ПОЗНАВАЕМОСТИ** *Методологический принцип*, состоящий в признании познаваемости мира

**ПРИНЦИП РАЗРЕШИМОСТИ** *Методологический принцип*, предложил немецкий физик Макс Борн. Состоит в том, что в науке допустимо использовать лишь такие понятия, относительно которых можно установить, что они соответствуют действительности

**ПРИНЦИП СООТВЕТСТВИЯ** *Методологический принцип*, предложен в 1913 г датским физиком Нильсом Бором. Принцип гласит: любая новая, более общая, теория должна быть такой, чтобы старая теория вытекала из нее как следствие

Принцип соответствия внес важный вклад в осмысление понятия истины (см *Истина, Элементы абсолютной истины*)

**ПРИНЦИП СООТНЕСЕНИЯ ТЕОРИИ С ПРАКТИКОЙ** *Методологический принцип*, заключающийся в том, что правила соотношения теории с практикой должны быть неотъемлемой частью теории, так как в противном случае неизвестно, как ее можно использовать, т. е. она не нужна (см *Правила знаков напряжения и тока*)

**Примечание.** Знания, в том числе теоретические, в конечном счете нужны для того, чтобы успешно взаимодействовать с окружающей средой. Человек — объект макроскопический. Поэтому правила соотношения должны быть изложены на обычном языке, дополненном терминологией классических наук.

**ПРИНЦИП СУПЕРПОЗИЦИИ (наложения)** Идея, состоящая в том, что аддитивность (суммируемость) причин вызывает аддитивность следствий. Иными словами, принцип суперпозиции утверждает, что результат одновременного воздействия на данный объект нескольких объектов может быть вычислен как сумма результатов воздействия каждого из них в отдельности. Используется в механике, электродинамике, теории электрических цепей, квантовой механике.

Например, в механике ускорение материальной точки, испытывающей одновременно несколько воздействий, можно вычислить, найдя сначала равнодействующую всех сил как их

геометрическую сумму. Но можно найти “частные” ускорения под влиянием каждой из сил в отдельности, а потом просуммировать их геометрически.

В электрической цепи, содержащей несколько источников, силу тока в любом проводе или напряжении между двумя любыми точками можно найти как алгебраическую сумму “частных” токов или напряжений, являющихся результатом действия только одного источника.

В электродинамике принцип суперпозиции состоит в следующем. Допустим, некоторому распределению зарядов и токов в пространстве соответствует электромагнитное поле, описываемое векторами  $E_1$  и  $H_1$ , а другому распределению — векторами  $E_2$  и  $H_2$ . Тогда совместному распределению этих зарядов и токов соответствует электромагнитное поле, описываемое векторами  $E = E_1 + E_2$  и  $H = H_1 + H_2$ .

**Примечания** · 1. Принцип суперпозиции применим только к линейным моделям (см. *Модели в науке*).

2 Принцип суперпозиции — расчетный прием. Его нельзя использовать для объяснения физического смысла. Так, например, при изложении явления самоиндукции нарастание тока в цепи с индуктивной катушкой обычно трактуют как протекание двух встречных токов “первоначального” и “экстратока замыкания”, что не имеет ничего общего с действительностью. В цепи протекает один ток, постепенно нарастающий подобно тому, как нарастает скорость разгоняемого тела.

**ПРИНЦИП ФЕРМА.** Сформулирован в 1660 г. французским ученым Пьером Ферма. Принцип гласит: свет распространяется из одной точки в другую по такому пути, для которого требуется наименьшее время по сравнению с любым другим путем между этими точками. Из этого принципа вытекают как следствие основные законы геометрической оптики.

**ПРИНЦИПЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ.** Принцип относительности Эйнштейна и принцип постоянства скорости света.

Принцип относительности Эйнштейна. Обобщает принцип относительности Галилея и гласит: во всех инерциальных системах отсчета все физические явления протекают одинаково.

Принцип постоянства скорости света состоит в утверждении: во всех инерциальных системах отсчета скорость света в вакууме не зависит от движения источника, она одинакова во всех направлениях и равна  $3 \cdot 10^8$  м/с.



**ПРИЧИНА, СЛЕДСТВИЕ И УСЛОВИЕ.** Наблюдая окружающую природу, люди издавна задавались вопросами: что происходит? где? когда? как? почему? при каких условиях? Особо важными оказались два последних вопроса. Дело в том, что наряду с нейтральными, безразличными для человека событиями и процессами происходили полезные и вредные. Очевидно, люди стремились узреть, почему и при каких условиях они происходят, чтобы использовать первые и нейтрализовать вторые. С течением времени люди обнаружили связи между природными процессами. Например, заметили, что после обильных дождей разливаются реки, после удара молнии загорается сухое дерево и т. п. Во всех подобных случаях процесс, событие или состояние появлялись как результат действия чего-то иного, неизбежно обнаруживаемый при наличии чего-то третьего. Ввиду многократного повторения подобных ситуаций в конце концов появились обобщающие понятия *причины*, *следствия* и *условия* (в прежние времена вместо термина *следствие* использовали слово *действие*).

Постепенно в обществе сложилась убежденность, что всякое событие, процесс, состояние и т. п. имеют какую-то причину. Когда ее не удавалось найти, изобретали богов. Со временем множество богов было заменено одним богом-творцом, создавшим все существующее из хаоса и постоянно управляющего всем и вся. Однако современная наука это представление также признает мифом. Наличие первопричины вообще отвергается. Подавляющее большинство ученых согласны с выдающимся голландским философом Б. Спинозой, утверждавшим, что природа является "причиной самой себя". Эти идеи получили название *принципа причинности*. В последние десятилетия развивается новое научное направление — *синергетика*, стремящаяся выявить и осмыслить процессы *самоорганизации* материи, приводящие к появлению все более сложно организованных объектов, в частности, жизни. Основатель этого направления бельгийский ученый И. Пригожин удостоен Нобелевской премии (1977 г.).

В XVIII веке под влиянием успехов механики у ряда ученых сложилось убеждение в том, что следствие и причина абсолютно жестко связаны между собой. Наиболее четко эту мысль выразил выдающийся французский астроном, математик и физик Лаплас. Он утверждал, что человек, знающий для какого-то момента времени координаты и составляющие скорости всех тел и располагающий неограниченными вычислительными возможностями, мог предсказать значения всех переменных для любого момента времени как в прошлом, так и в будущем. Авторитет Лапласа был чрезвычайно высок, и данная мысль овладела умами ученых.

Поэтому, когда создатели квантовой механики обнаружили, что предсказать поведение микрочастиц можно лишь с некоторой вероятностью, это явилось потрясением для физиков. Одни из них, как, например, А. Эйнштейн, до конца своих дней были уверены, что в будущем квантовую механику заменит наукой с причинностью лапласовского типа. Другие утверждали, что от понятия причинности следует вообще отказаться — она, мол, исчезла. Со временем, однако, возобладали диалектическая точка зрения, согласно которой следует признать, что существует два вида причинности (детерминизма) — лапласовская (часто называемая динамической) и вероятностная (хотя *причинность* и *детерминизм* синонимы, нередко термин *детерминизм* используют для обозначения только лапласовской причинности). Таким образом, принцип причинности сохранил свое значение как важнейший общенаучный принцип, являющийся одним из необходимых элементов научной картины мира.

Многие процессы в микромире (например, превращения ядер радиоактивных элементов) происходят, как говорят, спонтанно (самопроизвольно). Это не означает, однако, “беспричинно”. Отсутствует внешняя причина. Ядро распадается в результате взаимодействий, происходящих внутри него.

Случайные микропроцессы могут влиять на макрособытия. Так, например, энергия ядерного взрыва идентичных устройств может различаться в несколько раз в зависимости от того, какое число нейтронов положило начало цепной реакции, что не поддается контролю и управлению. Аналогично, мутации генов происходят случайно, но могут повлиять на особенности взрослого организма и его потомков. В большинстве случаев, однако, при анализе макросистем и невозможно, и нет необходимости учитывать микроявления, т. е. динамические законы адекватно описывают их природу (в последнее время обнаружено хаотическое (вероятностное) движение макроскопических систем).

Изучая причинно-следственные связи, необходимо учитывать следующие моменты.

1. Причина всегда предшествует следствию. Отсюда иногда возникает ложная мысль, будто событие, происходящее раньше другого, обязательно служит его причиной (возможность такой ошибки понятии уже древние римляне).

2. Причина и следствие иногда относительны. Рассмотрим, например, центральный удар движущегося бильярдного шара по неподвижному. Если нас интересует состояние второго шара, то мы скажем, что он пришел в движение вследствие того, что его ударил первый шар, или, иначе говоря, что причиной его движения

является первый шаг. Напротив, если нас интересует первый шаг, мы скажем, что причиной его остановки является второй шаг.

3. Для появления следствия причина и условие одинаково необходимы. Но характер их различен. Причина — “активная необходимость”. Именно она порождает следствие, отдавая свое движение (принято говорить энергию) или получая его. Условие же — “пассивная необходимость”. Различие между причиной и условием легко понять на примере анализа *самодвижения*.

4. Причинно-следственные отношения в физике часто выражают математической формулой, функциональной связью между переменными, именуемой законом науки. Например, формулу

$$\Delta l = k\Delta T \quad (1)$$

можно интерпретировать как выражающую тот факт, что причиной изменения длины  $\Delta l$  стержня является изменение его температуры  $\Delta T$ . Отметим, что данная причинно-следственная связь необратима. Если мы изменим длину стержня путем механического воздействия, температура его практически не изменится. Вместе с тем нередко формулы такого же вида, как (1), выражают обратимую причинно-следственную связь, т. е. каждая переменная может отображать как причину, так и следствие. Например, как известно (см. *Закон Гюка*), деформация  $x$  пружины связана с силой  $F$  формулой

$$F = kx, \quad (2)$$

где  $k$  — коэффициент жесткости пружины. Формулу (2) можно переписать для приращений:

$$\Delta F = k\Delta x. \quad (3)$$

Тогда по форме она не отличается от формулы (1). Однако физический смысл ее совсем иной. Мы можем лишь утверждать, что величины  $\Delta x$  и  $\Delta F$  взаимосвязаны линейной зависимостью. Но какая из них отображает причину, а какая — следствие, зависит от ситуации. Например, отводя назад затвор автомата, мы сжимаем возвратную пружину. В это время сила “первична” (отображает причину), а деформация — “вторична” (отображает следствие). Напротив, когда пружина, разжимаясь, перемещает затвор вперед, “первична” деформация, а “вторична” сила. Обусловлена эта двойственность тем, что пружина — *накопитель*. Ее состояние оценивают потенциальной энергией: при сжатии пружины человек или пороховые газы, как принято говорить, “совершают работу”. Разжимаясь же, работу совершает пружина. На подобное явление указывал уже Ньютон. Он говорил, что инертность тела проявляется в двух формах: “сопротивления”, когда тело ускоряют, и “напора”, когда оно тормозится, преодолевая сопротивление другого тела.

Таким образом, причинно-следственные связи могут быть как обратимыми, так и необратимыми. Но по виду формулы невозможно судить, с каким именно отношением мы имеем дело.

Наконец, функциональная связь может вообще не отображать причинно-следственную. Например, при равномерном прямолинейном движении со скоростью  $v$  приращение перемещения  $\Delta x$  пропорционально интервалу времени  $\Delta t$ .

$$\Delta x = v\Delta t, \quad (4)$$

т. е. математически мы имеем дело с той же функцией (см. (1) и (3)), но никому же придет в голову утверждать, что время является причиной перемещения.

В связи с тем, что сказанным необходимо обратить внимание на следующее психолингвистическое явление (психолингвистика — пограничная наука, включающая в себя элементы психологии и лингвистики, теория речевой деятельности). В математической записи

$$y = f(x)$$

переменную  $x$ , стоящую справа от знака равенства, принято называть аргументом, *независимой* переменной, а переменную  $y$ , расположенную слева от знака равенства, — функцией, *зависимой* переменной. Данные термины — внутриматематические. Однако, поскольку об этом никто не предупреждает, учащиеся обычно воспринимают их как отображающие причину и следствие соответственно. На этом “основании” могут возникать грубые ошибки. Например, при расчете электронного устройства необходимо вычислить сопротивления используемых в цепи резисторов. Делают это, зная требуемое напряжение  $u$  и силу тока  $i$ , по формуле  $R = u/i$ . Поскольку  $u$  и  $i$  находятся справа от знака равенства, у некоторых учащихся возникает мысль, будто сопротивление резистора зависит от напряжения и силы тока.

В психолингвистике подобные феномены называют *маршишей формы* или *маршей слов*. Надо научиться не попадать в такие ловушки.

5. Динамическое равновесие обусловлено конкуренцией противоположно действующих причин. Например, в полупроводниковом диоде хаотическое тепловое движение носителей вызывает их диффузию в соседние области. Если бы диффундировали нейтральные частицы, процесс продолжался бы до полного выравнивания концентраций. Однако электроны и дырки при встречном движении рекомбинируют (исчезают). В результате этого заряд ионов по обе стороны границы раздела слоев разного типа проводимости оказывается не скомпенсированным. Поэтому возникает

электрическое поле, препятствующее дальнейшей диффузии носителей (см. *Электронно-дырочный переход, Дiod*).

6. В физике при экспериментальном исследовании стремятся исключить влияние всех воздействий, кроме одного (изолируют изучаемый объект, помещая его в термостат, экранируя и т. п.). В учебниках часто приводят лишь результаты эксперимента, не оговаривая его условий, вследствие чего у учащихся создается впечатление о "прямолинейном" характере причинно-следственных связей. В действительности же любой объект связан со многими объектами, каждый из которых, в свою очередь, связан с другими. Поэтому причинно-следственные связи схематически могут быть представлены в виде бесконечного многомерного "кружева". Вместе с тем надо понимать, что существенное влияние на процессы оказывает обычно вполне обозримое число связей, что и обеспечивает возможность анализа и синтеза систем.

7. Как правило, обнаружение причины порождает вопрос о ее причине. Так может появиться "иерархия" причинно-следственных отношений, в которой выявление каждой следующей причины требует более глубокого проникновения в сущность природы. "Чистая физика" по сути дела этим и занимается (Резерфорд говорил: "Доискивайтесь первоосновы вещей"). Однако в инженерном деле ситуация совсем иная. Например, для того чтобы вполне грамотно пользоваться транзисторами при построении электронных устройств, теорию полупроводников знать не надо.

Есть ли принципиальные границы наиболее глубоких причин? Да, есть. Это так называемые фундаментальные взаимодействия — гравитационное, электромагнитное, ядерное слабое и ядерное сильное. Однако имеются и практические границы. Так, например, известно, что трение и упругость обусловлены электромагнитным взаимодействием. Однако вывести теоретически значения коэффициентов трения и жесткости не удастся. Поэтому в инженерной практике данные явления рассматривают как "первичные", наряду с инерцией и гравитацией.

**ПРОБИВНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ КОНДЕНСАТОРА.** Разность потенциалов между обкладками конденсатора, при которой происходит пробой (см. *Пробой конденсатора*).

**ПРИБЫВНОЙ ЗАРЯД** (пробное тело). Мысленная модель электрически заряженной частицы, введенная для количественного оценивания механического действия электрического поля и построенная как положительный точечный заряд, поле которого пренебрежимо мало искажает исследуемое электрическое поле.

**ПРОБОЙ КОНДЕНСАТОРА.** Электрический разряд через слой диэлектрика в конденсаторе (см. *Пробитое напряжение конденсатора*).

**ПРОВОДИМОСТЬ,  $G$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности проводника пропускать ток и равная отношению силы тока  $I$  в проводнике к напряжению  $U$  на концах этого проводника:  $G = I/U$  (величина, обратная *сопротивлению*:  $G = 1/R$ ).

**ПРОВОДНИКИ.** Вещества, в которых имеются свободные заряженные частицы (электроны, ионы), способные под действием электрического поля перемещаться, создавая электрический ток проводимости. Различают два рода проводников. Проводники первого рода, в которых прохождение электрического тока не сопровождается химическими процессами, а ток обусловлен движением электронов. Проводники второго рода, в которых прохождение электрического тока сопровождается химическими процессами, а сам ток обусловлен движением положительных и отрицательных ионов.

**ПРОДОЛЬНАЯ ВОЛНА.** Волна, в которой колебания происходят вдоль направления ее распространения.

**ПРОЕКЦИОННЫЙ АППАРАТ.** Прибор, предназначенный для формирования действительного и, как правило, увеличенного изображения предмета на экране.

**ПРОИЗВОДНАЯ ЕДИНИЦА СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН (производная единица).** Единица *производной физической величины*, образованная в соответствии с уравнением, связывающим ее с основными единицами или же с основными и уже определенными производными единицами.

**ПРОИЗВОДНАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА (производная величина).** Физическая величина, входящая в *систему величин* и определяемая через *основные величины* этой системы.

**ПРОСВЕТЛЕНИЕ ОПТИКИ.** Явление, состоящее в увеличении прозрачности оптических призмы (линзы) путем покрытия их тонкими пленками и обусловленное взаимным гашением друг друга (интерференцией) световых волн, отраженных от поверхности пленки и призмы (линзы).

**ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ.** Часто можно прочесть или услышать, что микрочастицы, поля и макротела существуют, движутся и взаимодействуют “в пространстве и времени”. По форме это утверждение совпадает с предложением “Все рыбы живут в воде”. Форма, как известно, содержательна. Поэтому может создаться впечатление, будто словосочетание “пространство и время” — имя некоего “аместителя” вещей. Так ли это?

О сущности пространства и времени писали многие философы, начиная с античных времен. Продолжают писать и сейчас. Так что краткий обзор мнений составить невозможно. Наиболее сложен вопрос о том, какой сфере — миру вещей или миру идей — принадлежат предметы мысли, именуемые терминами *пространство* и *время* (см. *Предмет мысли*). Например, Тит Лукреций Кар (I в. до н. э.), как видно из его знаменитой поэмы “О природе вещей”, полагал, что понятие ‘*времени*’ беспропорционально, т. е. в мире вещей нет предмета, им отображаемого, а понятие ‘*пространство*’ отражает объективную реальность.

Наиболее точно о сущности пространства и времени написал Энгельс, полемизируя с Негали (раздел “Диалектика” в книге “Диалектика природы”). Энгельс приводит слова Негали: “Мы точно знаем, что означает один час, один метр, один килограмм, но мы не знаем, что такое время, пространство, сила и материя, движение и покой, причина и действие” и разъясняет: “Это старая история. Сперва создают абстракции, отвлекая их от чувственных вещей, а затем желают познавать эти абстракции чувственно, желают видеть время и обонять пространство. Эмпирик до того вытягивается в привычное ему эмпирическое познание, что воображает себя все еще находящимся в области чувственного познания даже тогда, когда он оперирует абстракциями. Мы знаем, что такое час, метр, но не знаем, что такое время и пространство! Как будто время есть что-то иное, нежели совокупность-часов, а пространство что-то иное, нежели совокупность кубических метров! Разумеется, обе эти формы существования материи без материи суть ничто, пустые представления, абстракции, существующие только в нашей голове. Но ведь нам говорят, что мы не знаем также и того, что такое материя и движение! Разумеется, не знаем, ибо материю как таковую и движение как таковое никто еще не видел и не испытал каким-нибудь иным чувственным образом; люди имеют дело только с различными реально существующими вещами и формами движения. Вещество, материя есть не что иное, как совокупность вещей, из которой абстрагировано это понятие; движение как таковое есть не что иное, как совокупность всех чувственно воспринимаемых форм движения; такие слова как “материя” и “движение”, суть не более, как сокращения,

в которых мы охватываем, сообразно их общим свойствам, множество чувственно воспринимаемых вещей. Поэтому материя и движение можно познать лишь путем изучения отдельных вещей и отдельных форм движения; и поскольку мы знаем последние, постольку мы познаем также и материю и движение как таковые. Поэтому, когда Гегель говорит, что мы не знаем, что такое время, пространство, материя, движение, причина и действие, то... это точь-в-точь как указываемое Гегелем затруднение насчет того, что мы можем, конечно, есть вишни и сливы, но не можем съесть плод, потому что никто еще не ел плод как таковой”.

К сказанному Энгельсом полезно добавить обоснования для появления обобщающих слов *пространство* и *время*.

Издавна люди видели и осязали (чувственно воспринимали) все окружающее состоящим из отдельных вещей. Постепенно возникли имена их *отношений*: тела могут находиться на различных расстояниях друг от друга и от наблюдателя: одни к нам ближе, другие — дальше, одни — правее, другие — левее, одни — выше, другие — ниже и т.п. Одновременно сложились представления о свойствах, выраженные словами “большой”, “маленький”, “протяженный”, “длинный”, “короткий”, “широкий”, “узкий”, “высокий”, “низкий”, “удаленный”, “близлежащий” и т.п.

Разумно предположить, что на логической ступени познания эти конкретные свойства и отношения, являющиеся атрибутами вещей, были объединены (обобщены) абстрактным понятием ‘*пространство*’.

Подобно тому, как люди чувственно воспринимали пространственные отношения вещей, они ощущали, что какое-то событие произошло раньше другого, в другое, соответственно, позже. Они научились различать вчера, сегодня, завтра, прошлое, настоящее и будущее, фиксировать длительность (продолжительность) процессов, говорить, что процесс начинается (возникает), продолжается (тянется) и кончается (завершается); увидели повторяемость, периодичность, цикличность.

На логической ступени познания появилось абстрактное понятие ‘*время*’, в котором обобщены приведенные конкретные свойства и отношения (атрибуты) вещей.

Понять значение термина *время* труднее, чем термина *пространство*, так как его используют в двух значениях: им обозначают не только рассмотренное абстрактное понятие, но и физическую величину, предназначенную для количественного оценивания длительности (продолжительности) процесса (для оценивания пространственных свойств и отношений вещей используют физические величины, имеющие самостоятельные названия: длина, площадь, объем).



Таким образом говорить о существовании пространства и времени "как таковых", нет оснований. Это — абстракции, еще более удаленные от объективной реальности, чем понятие материи: 'материя' появилась как обобщение самих вещей, а 'пространство' и 'время' — как обобщение их атрибутов — свойств и отношений.

До начала XX в. пространство и время считались независимыми. Специальная теория относительности изменила это представление. Время вошло в математическое описание механического движения аналогично координатам (из этого не следует, что мир, в котором мы живем, является четырехмерным: в отличие от координат время множится на минимую единицу).

Со временем связан еще один парадокс, в принципе, ясный, но теоретически пока не разрешенный. Весь многовековой жизненный и научный опыт свидетельствует, что время необратимо. Но в уравнениях движения это пока не отражено.

**ПРОТИЙ** [от греч. *protos* — первый]. Самый легкий (массовое число 1) и наиболее распространенный изотоп водорода. Ядро атома протия состоит из одного протона.

**ПРОТОН**. Устойчивая элементарная частица, массой в 1836 электронных масс. Положительный заряд протона равен по модулю заряду электрона. Протон входит в состав всех атомных ядер.

**ПРОТОННО-НЕЙТРОННАЯ МОДЕЛЬ ЯДРА**. Мысленная модель ядра атома, введенная для объяснения устойчивости ядра и построенная как система, состоящая из нуклонов (протонов и нейтронов), удерживаемых сильными ядерными взаимодействиями.

- **ПРОТОН-ПРОТОННЫЙ ЦИКЛ** (водородный цикл). Один из возможных механизмов термоядерного синтеза ядер гелия  ${}^4\text{He}$  из ядер водорода (протонов), происходящего в недрах звезд.

**ПРОЦЕНТ** [от лат. *pro centum* — на сотню]. Внесистемная единица относительной величины — безразмерного отношения какой-либо величины к одноименной величине, принимаемой за исходную.  $1\% = 10^{-2} = 0,01$ .

**ПРОЦЕСС** [от лат. *processus* — продвижение]. Последовательная непрерывная смена *состояний системы* (состояние следует рассматривать как "моментальную фотографию" процесса; см. *Процесс и событие*).

**ПРОЦЕСС И СОБЫТИЕ.** Слово “процесс” используют тогда, когда обсуждают развитие (протекание) движений и взаимодействий во времени. Слово “событие”, напротив, применяют для обозначения самого факта какого-то изменения, чего-то происшедшего, безотносительно к тому, как оно протекало во времени. Причина различия этих ситуаций состоит в том, что природные движения и взаимодействия сильно различаются по времени развития (условно назовем их “быстрыми” и “медленными”). Когда мы изучаем медленные изменения, быстрые можно считать происходящими мигновенно, т. е. не рассматривать их развитие во времени. Естественно, существуют изменения, происходящие значительно быстрее, чем то движение, которое мы только что назвали быстрым. По отношению к ним оно оказывается “медленным”. Различие понятий, обозначаемых словами “процесс” и “событие”, иллюстрируем примером.

Артиллеристы издавна изучают движение снаряда. Соответствующую науку называют баллистикой. Существует два ее раздела — внутренняя баллистика и внешняя баллистика. Первая занимается движением снаряда в стволе орудия, и для нее выстрел — процесс. Вторая изучает движение снаряда в воздухе, и для нее выстрел — событие.

**ПРОЧНОСТЬ.** Свойство твердых тел сопротивляться разрушению и необратимому изменению формы под действием внешних нагрузок.

**ПРЯМОЕ ИЗМЕРЕНИЕ.** *Измерение*, в процессе которого непосредственно получают число, являющееся значением измеряемой величины (ср. *Косвенное измерение*).

**ПСИХОЛИНГВИСТИКА.** Теория речевой деятельности. Разрабатывают в психологии на основе психологических исследований школы Л.С. Выготского, А.Н. Леонтьева, А.Р. Лурия, в частности, теории деятельности, а в лингвистическом плане — на трудах Л.В. Щербы. В рамках теории речевой деятельности речь рассматривают как активную, целенаправленную и мотивированную деятельность, ее функции, мотивы, связь с мышлением, процессы порождения речевого высказывания, механизмы речи, виды речи, соотношение языка и речи, а также процессы овладения речью на родном и неродном языках.

**ПСИХРОМЕТР** (от греч. *psychria* — холод и ...метр). Прибор для измерения температуры и влажности воздуха по показаниям двух термометров — сухого и смоченного (см. *Гигрометр*).

**ПТИЧИЙ ЯЗЫК.** Иносказательное выражение, обозначающее неточный, темный, заумный язык, препятствующий пониманию. Это выражение встретилось нам в "Былом и думах" А.И. Герцена. В главе XXV он даже приводит отрывок текста, написанного "птичьим языком": "Конкретизирование абстрактных идей в сфере пластики представляет собой ту фазу самоощущающего духа, в которой он, определяясь для себя, потенцируется из естественной немоментности в гармоническую сферу образного сознания в красоте". Это предложение непонятно по двум причинам: во-первых, в нем использовано много неизвестных слов, во-вторых, тяжеловесна его конструкция. Но стоящее за лирическим смыслом может оказаться простое предложение, состоящее из известных слов, например: "Сила совершает работу".

**ПУДИНГОВАЯ МОДЕЛЬ АТОМА.** Мысленная модель атома, введенная для описания структуры атома и построенная как электрически нейтральная система, состоящая из равномерно заряженного положительного шара, в который вкраплены электроны подобно изюму в пудинге.

**ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА.** Прибор для обнаружения и регистрации движения заряженных частиц. Изобретен в 1952 г. американским физиком Дональдом Артуром Глезером. Действие камеры основано на всплывании пересростой жидкости вдоль траектории заряженной частицы. Удостоен Нобелевской премии по физике за 1960 г.

**ПУТЬ.** Расстояние между двумя геометрическими точками, отсчитанное вдоль следа движущегося тела.

**ПУЧНОСТИ СТОЯЧЕЙ ВОЛНЫ.** Точки пространства, в которых амплитуда стоячей волны максимальна.

**ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ (обратный).** Явление, состоящее в деформировании некоторых кристаллических диэлектриков при их помещении в электрическое поле и обусловленное смещением узлов молярной решетки под действием электрического поля.

**ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ (прямой).** Явление, состоящее в возникновении разноименных электрических зарядов на противоположных поверхностях некоторых кристаллических диэлектриков (пьезоэлектриков) при их механическом растяжении или сжатии и обусловленное смещением узлов молярной решетки кристаллов при деформации.

# Р

**РАБОТА.** Контекстуальное определение показывает, что термин *работа* используют в двух значениях. 1. Как имя процесса передачи движения от одного тела к другому, происходящего с сохранением или изменением формы движения материи. 2. Как имя физической величины, используемой для оценивания количества переданного движения.

**Примечание.** Первое значение в комментариях не нуждается. Например, когда говорят, что "работу по подъему груза совершает электродвигатель", недоумений не возникает. Иное дело — второе значение. Например, в учебниках и силу, и работу определяют как физические величины и вместе с тем пишут: "сила совершает работу" (одна физическая величина "совершает" другую физическую величину!). Что-либо более лишнее физического смысла, чем это утверждение, придумать трудно. Оно никак не следует из того факта, что работа  $A$ , сила  $F$  и перемещение в связаны между собой формулой  $A = F \cdot s$ . Ведь на основании того, что  $I = F \cdot \Delta t$ , никто не говорит, что "сила совершает импульс силы". По существу произведение  $F \cdot s$  — это энергия, которой оценивают интенсивность движения, переданного от одного объекта к другому. Иначе говоря, во втором значении *работа* — *непосредственный синоним термина энергия*, используемый в этом случае (см. *Энергия*). Однако называть одну и ту же физическую величину в одной формуле одним именем, а в другой — другим и использовать разные буквенные обозначения нецелесообразно, так как это затемняет суть дела.

**РАБОТА ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНА.** Наименьшая энергия, затрачиваемая на удаление электрона из твердого тела или жидкости в вакуум.

**РАБОЧЕЕ ТЕЛО.** Газообразное вещество, с помощью которого часть теплового движения молекул (внутренней энергии) нагревателя в тепловых двигателях преобразуется в механическое движение (работу), часть в виде определенного количества теплоты передается холодильнику. Примером рабочего тела может служить пар в паровых машинах и турбинах.

**РАВНОВЕСИЕ ТЕЛА.** Состояние тела, при котором все точки тела находятся в покое по отношению к рассматриваемой системе отсчета. Условием равновесия является равенство нулю геометрической суммы сил, характеризующих действие на тело других

тел, и геометрической суммы моментов этих сил относительно любой точки.

**РАДИАН.** Единица плоского угла, одна из двух дополнительных единиц единиц в СИ. Радиан — плоский угол с вершиной в центре окружности, вырезающий на окружности дугу, длина которой равна радиусу этой окружности. Обозначение — рад.  $1 \text{ рад} = 57^{\circ}17'44,7''$ .

**РАДИО...** [от лат. *radia* — излучать, испускать лучи]. Первая составная часть сложных слов, обозначающая: 1) относящийся к радио, связанный с радио, например, радиолокация; 2) относящийся к радио, к радиоактивности, радиации, например, радиолюминесценция.

**РАДИОАКТИВНОСТЬ** [от радио... и лат. *activus* — деятельный]. Явление, состоящее в испускании веществом элементарных частиц, ядер и жесткого электромагнитного излучения и обусловленное самопроизвольным превращением некоторых атомных ядер в другие.

**РАДИОВОЛНЫ.** Электромагнитные волны с длинами волн от  $10^{-4}$  до  $10^4$  м. Радиоволны используют в радиосвязи, радиолокации, радионавигации и т.д.

**РАДИОЛОКАЦИЯ** [от радио... и лат. *locatio* — размещение и расположение]. Совокупность методов и средств обнаружения и измерения координат и скорости удаленных объектов, а также распознавания их формы с помощью радиоволн.

**РАДИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ.** См. *Люминесценция*.

**РАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ.** Явление, состоящее в возникновении механического действия среды на помещенную в разреженную среду пластину, поверхности противоположных сторон которой имеют разные температуры, и обусловленное неодинаковым действием молекул среды на тела с разными температурами.

**РАДИУС-ВЕКТОР**, *r*. Математическое понятие. *Вектор*, начало которого совпадает с некоторой фиксированной точкой *O* пространства (обычно — с началом выбранной системы координат), а конец — с точкой *M*.

В физике трактуют как векторную *физическую величину*, введенную для количественного определения положения частицы

(тела) в пространстве и равную вектору, соединяющему начало координат с точкой расположения частицы.

**РАЗМЕРНОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН, ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ КОТОРЫХ В СИ ИМЕЮТ СОБСТВЕННЫЕ НАИМЕНОВАНИЯ.** Один из методов проверки правильности решения вычислительной учебной задачи состоит в сравнении размерностей физических величин обеих частей равенства, полученного в процессе решения. Их совпадение служит признаком правильности. Однако использование его вызывает у большинства учащихся затруднения. Вызваны они незнанием размерностей физических величин, особенно тех, которые имеют собственные наименования. Следующая таблица поможет преодолеть эти затруднения:

Наименование единицы	Обозначение	Размерность
Ампер	А	I
Безразмерн	Бк	$T^{-1}$
Ватт	Вт	$L^2MT^{-3}$
Вебер	Вб	$L^2MT^{-2}$
Вольт	В	$L^2MT^{-2}I^{-1}$
Герц	Гц	$L^2MT^{-2}I^{-1}$
Герц	Гц	$T^{-1}$
Грей	Гр	$L^2T^{-2}$
Джоуль	Дж	$L^2MT^{-2}$
Диоптрия	дптр	$L^{-1}$
Зиверт	Зв	$L^2T^{-2}$
Кандела	Кд	J
Кельвин	К	$\theta$
Килограмм	Кг	M
Кулон	Кл	TI
Люкс	лк	$L^{-2}$
Люмен	лм	J
Метр	м	L
Моль	моль	N
Ньютоном	Н	$LMT^{-2}$
Ом	Ом	$L^2MT^{-2}I^{-2}$
Паскаль	Па	$L^{-1}MT^{-2}$
Радян	рад	—
Секунда	с	T
Сименс	См	$L^{-2}M^{-1}TI^2$
Стерadian	ср	—
Тесла	Тл	$MT^{-2}I^{-1}$
Фарад	Ф	$L^{-2}M^{-1}TI^2$

**РАЗМЕРНОСТЬ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ (РАЗМЕРНОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ).** Выражение в форме произведения символов основных физических величин в различных степенях, выражающее связь данной величины с основными величинами. В соответствии с международным стандартом размерность обозначают знаком *dim*. Размерность основной величины состоит из одного символа, являющегося символом этой величины. Например, размерность длины  $\text{dim } L = L$ . Размерность массы  $\text{dim } M = M$ . Размерности производных величин следуют из определяющих формул. Например, скорость  $v = \Delta S / \Delta t$ , где  $\Delta S$  — перемещение,  $\Delta t$  — интервал времени. Отсюда  $\text{dim } v = LT^{-1}$ . Размерность энергии  $\text{dim } W = L^2MT^{-2}$ .

**Примечание.** Довольно часто размерность смешивают с *единицей измерения физической величины*. Например, пишут: “Складывать и вычитать можно только величины, имеющие одинаковую размерность”. Это — грубая ошибка (подробнее см. п. 9 в Примечаниях к ст. *Физические величины*).

**РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ,  $\Delta\varphi$ .** Скалярная физическая величина, введенная для оценивания способности электрического поля действовать на заряженные частицы и тела. Разность потенциалов между двумя точками электрического поля есть величина, равная отношению приращения кинетической энергии  $\Delta W$  положительно заряженной частицы, переместившейся в вакууме или диэлектрической среде из одной точки в другую, к ее заряду  $q$ :  $\Delta\varphi = \Delta W / q$ .

При движении электронов в проводе микроприращения их кинетической энергии, происходящие между двумя взаимодействиями с кристаллической решеткой, сразу превращаются в тепло (нагревание провода). Поэтому разность потенциалов между удаленными друг от друга точками провода определяют как отношение мощности  $P$  электромагнитного движения, преобразованного в тепло, к значению силы тока  $i$ :  $\Delta\varphi = P / i$ .

При описании процессов в электрических цепях разность потенциалов обычно называют *напряжением (электрическим)*.

**РАЗРЕШАЮЩАЯ СИЛА ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ,  $R$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности дифракционной решетки различать в спектре лучи с очень близкими длинами волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  и равная отношению длины волны первого луча к разности длин волн  $\Delta\lambda$  этих лучей:

$$R = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} = \frac{\lambda_1}{\Delta\lambda} = k \cdot N,$$

где  $k$  — порядок спектра,  $N$  — число штрихов в дифракционной решетке.

**РАЗРЯДНЫЙ ПРОМЕЖУТОК.** См. *Искровой промежуток*.

**РАКЕТА** [от нем. *Rakete* — веретено]. Самодвижущееся устройство, телом отдачи которого служат продукты сгорания топлива. Именно поэтому ракеты пригодны для космических полетов: они не нуждаются во внешнем теле отдачи (см. *Самодвижение*).

По виду топлива двигатели ракет делят на твердотопливные и жидкостные. В ракетах с жидкостными двигателями имеются баки для горючего и окислителя. В мощных ракетах в качестве окислителя используют жидкий кислород.

По назначению и возможностям ракеты весьма различны: сигнальные, осветительные, увеселительные, боевые (неуправляемые и управляемые), транспортные — используемые для выведения на орбиту космических аппаратов.

**РАСПАД НЕЙТРОНА.** Самопроизвольный распад нейтрона в свободном состоянии на протон и электрон с испусканием антинейтрино:  $n \rightarrow p + e + \bar{\nu}$ .

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БОЗОНОВ ПО КВАНТОВЫМ СОСТОЯНИЯМ (РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БОЗЕ—ЭЙНШТЕЙНА).** Закон квантовой статистической физики, применимый для систем тождественных частиц с нулевым или целочисленным спином — бозонов (фотоны, атомы и ядра с четным числом элементарных частиц, фононы и др.), не взаимодействующих между собой (модель идеального бозе-газа). Получено в 1924 г. индийским физиком Шатьендранатом Бозе. В том же году теория Бозе была развита Альбертом Эйнштейном в применении к молекулам идеального газа.

Распределение Бозе—Эйнштейна выражает зависимость среднего числа заполнения  $n_i$  дискретных квантовых состояний (среднего числа частиц в  $i$ -том состоянии) статистически равновесного бозе-газа от энергии  $\epsilon_i$  частицы в данном квантовом состоянии:

$$\bar{n}_i = \frac{1}{e^{(\epsilon_i - \mu)/kT} - 1},$$

где  $\mu$  — химический потенциал (для систем с постоянным числом бозонов  $\mu < 0$ , при переменном числе частиц, например, для



фотонного газа,  $\mu = 0$ ),  $k$  — постоянная Больцмана,  $T$  — термодинамическая температура. Эта зависимость представлена на рис. Р.1.

Так, как к бозонам неприменим принцип Паули, число заполнения  $n_i$  квантового состояния может быть любым целым числом от 0 до  $N$  (общего числа частиц в системе), а среднее число заполнения  $\bar{n}_i$  может принимать любые, не обязательно целые, значения.

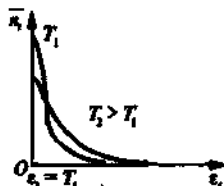


Рис. Р.1. Распределение Бозе-Эйнштейна при различных значениях температуры (распределение бозонов по квантовым состояниям)

Распределение Бозе-Эйнштейна используют при обосновании формулы Планка для теплового излучения, при построении современной теории теплоемкости твердых тел.

В поведении систем бозонов при низких температурах были экспериментально обнаружены необычные явления — сверхпроводимость и сверхтекучесть, непонятные с точки зрения классической статистики, которые удалось объяснить на основе квантовой статистики бозонов.

При низких  $T$  часть частиц системы (тем большая, чем меньше  $T$ ) переходит в нижнее энергетическое состояние с нулевым импульсом и не меняет состояния при столкновениях. Этот процесс, называемый бозе-конденсацией, является причиной *сверхтекучести* жидкого гелия при  $T < 2,17$  К и *сверхпроводимости* многих металлов при низких  $T$  (бозонами являются атомы гелия, а в случае сверхпроводимости — электроны, объединившиеся в так называемые куперовские пары с нулевыми суммарным спином и суммарным импульсом).

При малых числах заполнения  $\bar{n}_i \ll 1$  (высокие температуры и низкие плотности бозе-газа) можно пренебречь единицей в знаменателе формулы распределения, при этом оно переходит в классическое *распределение Максвелла-Больцмана*.

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСВЕЛЛА-БОЛЬЦМАНА ЧАСТИЦ ПО ЗНАЧЕНИЯМ ИХ ПОЛНОЙ ЭНЕРГИИ.** Один из основных законов классической статистической физики, полученный австрийским физиком Людвигом Больцманом путем обобщения закона *распределения молекул газа по скоростям (распределения Максвелла)*.

Закон применим к равновесным макроскопическим системам частиц, движение которых описывается законами классической механики и взаимодействие между собой пренебрежимо мало (используется модель идеального газа, находящегося во внешнем потенциальном силовом поле).

В соответствии с этим законом функция распределения частиц по координатам и импульсам  $f(x, y, z, p_x, p_y, p_z)$ , равная плотности вероятности определенных значений координат и проекций импульса частицы, зависит от отношения полной энергии

частицы  $\epsilon = \frac{p^2}{2m} + \epsilon_{\text{пот}}(x, y, z)$  к пропорциональной  $kT$  средней энергии теплового движения отдельной частицы:

$$f(x, y, z, p_x, p_y, p_z) = Ae^{-\left(\frac{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2}{2m} + \epsilon_{\text{пот}}(x, y, z)\right) / kT}$$

где  $m$  — масса частицы,  $\epsilon_{\text{пот}}$  — потенциальная энергия частицы в силовом поле,  $k$  — постоянная Больцмана,  $T$  — термодинамическая температура.

Распределение Максвелла—Больцмана может быть применено и для невырожденных квантовых идеальных газов как предельный случай *распределения фермионов по квантовым состояниям* и *распределения бозонов по квантовым состояниям*. В этом случае его помощью определяется среднее число заполнения  $\bar{n}_i$  квантового состояния с энергией  $\epsilon_i$ :

$$\bar{n}_i = Ae^{-\frac{\epsilon_i}{kT}}$$

Отличие этого распределения от внешне похожего на него *канонического распределения Гиббса* заключается в том, что последнее относится к системам частиц, для которых учитывается взаимодействие их между собой, поэтому нет квантовых состояний отдельных частиц и  $E_i$  в распределении Гиббса — энергия состояния всей системы.

Из распределения Максвелла—Больцмана получаются как следствия законы распределения Максвелла и Больцмана.

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФЕРМИОНОВ ПО КВАНТОВЫМ СОСТОЯНИЯМ (РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФЕРМИ—ДИРАКА).** Закон *квантовой статистической физики*. Открыт итальянским физиком Энрико Ферми в 1926 г. В том же году английский физик Поль Адриен Морис Дирак показал его связь с квантовой механикой, а в 1940 г. швейцарский физик Вольфганг Паули установил зависимость типа квантовой статистики от целочисленности или полуделочисленности *спина* частиц. Фермионами называются элементарные и составные частицы с полуделым спином: электроны, протоны, нейтроны, атомы и ядра, состоящие из нечетного числа элементарных частиц и др.

С помощью распределения Ферми-Дирака можно найти среднее число заполнения  $\bar{n}_i$  частицами равновесного идеального ферми-газа, состоящего из большого числа  $N$  тождественных фермионов, каждого квантового состояния с определенным значением энергии частицы  $\epsilon_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ). В соответствии с *принципом Паули*, в одном квантовом состоянии не может находиться более одного фермиона; поэтому  $0 \leq \bar{n}_i \leq 1$ . Энергия частиц квантовой системы, движение которых происходит в ограниченном объеме  $V$ , принимает ряд дискретных значений ("квантуется").

Математическое выражение распределения фермионов по состояниям с энергией  $\epsilon_i$  имеет вид:

$$\bar{n}_i = \frac{1}{e^{(\epsilon_i - \mu)/kT} + 1} = \frac{1}{e^{k(\epsilon_i - \epsilon_F)/kT} + 1},$$

где  $k$  — постоянная Больцмана,  $T$  — термодинамическая температура,  $\mu$  — химический потенциал, совпадающий с граничной (максимальной) энергией полностью заполненных при  $T = 0$  К состояний — энергией Ферми  $\epsilon_F$ .

График распределения Ферми-Дирака представлен на рис. Р.2 для  $T = 0$  К линией 1, имеющей вид прямоугольной ступеньки. При  $T > 0$  К резкая граница заполненных состояний размывается,  $\bar{n}_i$  плавно убывает с ростом  $\epsilon_i$  (линия 2 на рисунке), в пределе стремясь к нулю,  $\epsilon_F$  очень слабо меняется с температурой.

Значение  $\epsilon_F$ , пропорциональное  $\frac{1}{m} \left( \frac{N}{V} \right)^{2/3}$  ( $m$  — масса частицы), определяет для данной системы температуру Ферми  $T_F = \epsilon_F/k$ . При  $T \ll T_F$  идеальный ферми-газ является вырожденным: почти

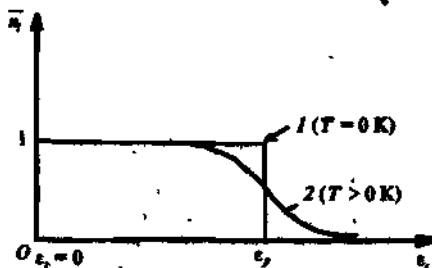


Рис. Р.2. Распределение Ферми-Дирака при различных значениях температуры (распределение фермионов по квантовым состояниям)

ние состояния с энергией ниже  $\epsilon_F$  полностью заполнены, поведение такой системы (примером ее является электронный газ в металлах, для которых  $T_F \sim 10^4$  K) резко отличается от классического идеального газа. Так, лишь те электроны в металлах, энергия которых близка к  $\epsilon_F$  участвуют в процессе электропроводности и вносят вклад (небольшой) в значение теплоемкости.

При  $T \gg T_F$  газ фермионов является невырожденным: большинство частиц имеют энергию, значительно превышающую  $\epsilon_F$ , и  $\bar{h} \ll 1$ , так что можно пренебречь единицей в знаменателе формулы распределения, которое при этом переходит в классическое распределение Максвелла-Больцмана. Пример невырожденного ферми-газа — совокупность электронов проводимости в полупроводнике.

**РАССЕЯНИЕ СВЕТА.** Явление, состоящее в отклонении лучей светового пучка во всевозможных направлениях при его распространении в среде. Явление обусловлено неоднородностью среды при взаимодействии света с частицами вещества, при котором изменяются направление распространения и частота колебаний световой волны.

**РАСТЯЖЕНИЕ ТЕЛ.** Явление, состоящее в увеличении длины тела под влиянием внешнего воздействия (или собственного веса), направленного перпендикулярно сечению тела и обусловленное увеличением расстояний между молекулами тела.

**РАСЧЕТНАЯ СХЕМА МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.** Мысленная модель механической системы, выраженная в графической форме, вводимая в начале теоретического исследования для ее расчета и построенная из мысленных моделей элементов системы (источник силы, источник скорости, инерционный элемент, упругий элемент, удалитель движения и др.).

**РАСШИРЕНИЕ ТЕЛ (тепловое).** Явление, состоящее в увеличении объема тела при его нагревании и обусловленное увеличением расстояния между составляющими тело частицами (атомами или молекулами).

**РЕАКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ.** В материальном производстве и в быту используется почти исключительно переменный ток, по форме близкий к синусоидальному. При переменном токе нередко процессы в электрической цепи определяются конденсаторами и индуктивными катушками. Происходит это потому, что и конденсатор, и катушка — накопители, т. е. элементы, способные

аккумулировать движение, в силу чего их состояние оценивают энергией. Энергия конденсатора  $W_C$  выражается формулами

$$W_C = \frac{Cu^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{qu}{2},$$

где  $C$  — емкость,  $u$  — напряжение,  $q$  — электрический заряд.

Энергия  $W_L$  индуктивной катушки выражается формулами

$$W_L = \frac{Li^2}{2} = \frac{\Psi^2}{2L} = \frac{\Psi i}{2},$$

где  $L$  — индуктивность,  $i$  — сила тока,  $\Psi$  — потокосцепление. (Обратите внимание на своеобразную симметрию формул для конденсатора и индуктивной катушки; ее называют *дуальностью*).

Упругий элемент механизма или машины оказывает сопротивление деформации, а инерционный элемент — разгону или торможению, поскольку эти элементы тоже накопители, и данные процессы требуют изменения энергии. Аналогично конденсатор “сопротивляется” изменению напряжения между его выводами, а индуктивная катушка — изменению тока в ней, так как и то, и другое связано с изменением энергии. При переменном токе почти синусоидальной формы это проявляется специфическим образом. Напряжение  $u_C$  между выводами конденсатора отстает по фазе на  $90^\circ$  от силы тока  $i_C$  (рис. P.3). Напротив, напряжение  $u_L$  между выводами индуктивной катушки опережает ток  $i_L$  в ней на угол  $90^\circ$  (рис. P.4).

Амплитуды напряжений  $U_m$  и токов  $I_m$  конденсатора и катушки связаны между собой следующими формулами:

$$U_{mC} = X_C I_{mC}; \quad U_{mL} = X_L I_{mL}.$$

Величины  $X_C$  и  $X_L$  называют реактивными сопротивлениями — емкостным и индуктивным соответственно. Они зависят от угловой частоты:

$$X_C = 1/\omega C; \quad X_L = \omega L.$$

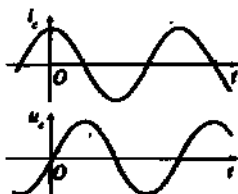


Рис. P.3. Временные диаграммы силы тока и напряжения на выводах конденсатора

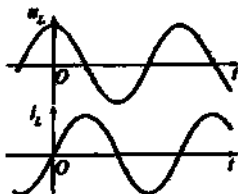


Рис. P.4. Временные диаграммы напряжения и силы тока на выводах индуктивной катушки

Сопротивление  $R$  резистора в теории переменных токов называют "активным" (название крайне неудачное). Напряжения и ток, измеренные на его выводах, совпадают по фазе.

При вычислении общего сопротивления ветви, содержащей последовательно соединенные разнородные элементы, их сопротивления из-за различия фаз следует складывать не арифметически, а геометрически. Например, для ветвей, показанных на рис. P.5, связь между амплитудами напряжений и токов выражается формулами

$$U_m = \left( \sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2} \right) I_m;$$

$$U_m = \left( \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \right) I_m;$$

$$U_m = \left( \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} \right) I_m.$$

**РЕДУКЦИОНИЗМ.** Ложная концепция, состоящая в том, будто закономерность поведения системы можно вывести из законов поведения ее элементов. Живучесть редукционизма вызвана тем, что его сторонники не понимают сущности системного подхода. Несостоятельность редукционизма легко увидеть на примере простейшей системы —  $LC$ -контура.

Произведя эксперименты с *индуктивной катушкой*, мы убедимся, что при согласном отсчете напряжения и силы тока (рис. P.6, а) ее поведение описывается *компонентным законом*

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (1)$$

(см. *Правила знаков напряжения тока*).

Аналогично, поведение *конденсатора* (рис. P.6, б) выражается другим *компонентным законом*:

$$i_C = C \frac{du_C}{dt} \quad (2)$$

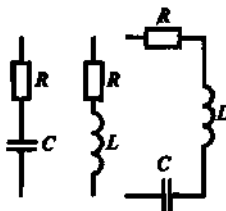


Рис. P.5. Ветви из разнородных элементов, соединенных последовательно

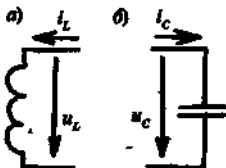


Рис. P.6. Условные графические обозначения индуктивной катушки (а) и конденсатора (б) с направлениями отсчета напряжения и тока

Необходимо осознать, что переменные  $u_L$  и  $i_L$  измерены на выводах катушки и поэтому не имеют ничего общего с переменными  $u_c$  и  $i_c$ , измеренными между выводами конденсатора. Отношения между ними определяют структурные законы — законы Кирхгофа, когда из двух элементов будет образована система (рис. P.7):

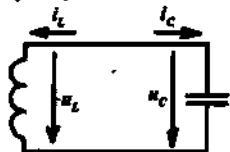


Рис. P.7. Схема LC-контура с указанием направлений отсчета токов и напряжений

$$i_L = -i_c; \quad (3)$$

$$u_L = u_c \quad (4)$$

Совместное решение уравнений (1)–(4) приводит к уравнению колебаний LC-контура:

$$\frac{d^2 u_c}{dt^2} + \frac{u_c}{LC} = 0$$

Очевидно, без структурных законов (3) и (4) получить его невозможно.

**РЕЗИСТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ.** Мысленная модель резистора, введенная для решения задач теории электрических цепей и построенная как элемент схемы замещения, представляющий собой двухполюсник, поведение которого точно описывает компонентный закон — закон Ома для участка цепи и  $u = Ri$ . Резистивный элемент используют в схемах замещения не только в качестве модели резистора, но и во всех тех случаях, когда необходимо отобразить превращение электромагнитного движения в материальное движение другой формы. Например, резистивный элемент может служить моделью электродвигателя.

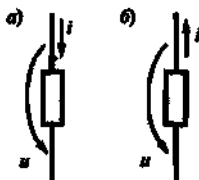


Рис. P.8. Условное графическое обозначение резистора и направлений отсчета напряжения и силы тока: согласного (а) и встречного (б)

**РЕЗИСТОР.** Элемент электрической цепи, двухполюсник. Условное графическое обозначение резистора с направлениями отсчета напряжения и силы тока (см. Правила знаков...) показано на рис. P.8. Поведение резистора приближенно описывается законом Ома для участка цепи. При согласном отсчете напряжения и силы тока (как на рис. P.8, а) формула имеет вид

$$u = Ri.$$

Если же напряжение и ток отсчитываются встречно (рис. P.8, б), в формуле появляется знак "минус":

$$u = -Ri.$$

Резисторы применяют как вспомогательные элементы в тех случаях, когда необходимо использовать линейную связь между напряжением и силой тока. Резистор является удалителем движения (см. *Динамические системы*): электромагнитное движение в нем преобразуется в тепловое. При постоянном токе увеличение энергии  $\Delta W$  молекулярного движения в резисторе за время  $\Delta t$  выражается законом Джоуля—Ленца:

$$\Delta W = Ri^2 \Delta t = \frac{u^2}{R} \Delta t.$$

Закон Ома для участка цепи  $u = Ri$  служит простейшей *математической моделью* резистора. Простейшей моделью он является по следующим причинам. Во-первых, реальная *вольтамперная характеристика* резистора не прямая. При протекании тока резистор нагревается. А с ростом температуры удельное сопротивление металла увеличивается. Поэтому по мере удаления от начала координат вольтамперная характеристика резистора постепенно отклоняется от прямой по направлению к оси напряжения. Во-вторых, при высоких частотах на поведение резистора начинают сказываться электрическое и магнитное поля, которые его окружают. Поэтому в ряде случаев, строя схему замещения электрической цепи, в качестве модели резистора, применяется использовать не одну лишь *резистивный элемент*, а *схему*, содержащую наряду с ним *индуктивный элемент* и *емкостный элемент*.

До недавнего прошлого резистор называли “сопротивлением”, т. е. так же, как и его параметр, физическую величину  $R$ . Двадцать-тридцать лет назад эту двусмысленность (см. *Понятие и термин*) уничтожили, введя термин *резистор*. Термин *сопротивление* сохранили за физической величиной. Этот факт — наглядный пример того, что при желании упорядочить терминологию вполне возможно.

**РЕЗИСТОР ПЕРЕМЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ.** *Элемент электрической цепи, резистор*, имеющий кроме обычных двух выводов третий вывод — от скользящего контакта (движка), который можно перемещать по проводящей поверхности. Условное графическое обозначение резистора переменного сопротивления показано на рис. Р.9, а. Используют его либо как резистор, сопротивление которого можно плавно изменять, либо как *потенциометр*. В первом случае его включают одним из двух способов, показанных на рис. Р.9, б, в.

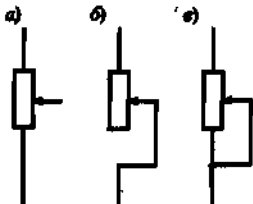


Рис. Р.9. Условное графическое обозначение резистора переменного сопротивления (а) и два способа включения его в цепь (б, в)



**РЕЗОНАНС** [от лат. *resonans* — дающий отзвук]. Явление, состоящее в сильном увеличении амплитуды *вынужденных колебаний* системы по мере приближения частоты возмущающего воздействия к собственной частоте колебаний системы и обусловленное улучшением условий передачи движения в систему от источника воздействия.

**РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ.** *Значение физической величины, найденное путем измерения.*

**РЕЗУЛЬТАТ НАБЛЮДЕНИЯ.** *Значение физической величины, получаемое при отдельном наблюдении.*

**РЕКОМБИНАЦИЯ** [от лат. *re* — снова и лат. *combinatio* — соединение]. Явление, состоящее в восстановлении ранее нарушенного единства. Известно три вида рекомбинации: *ион-ионная*, *электрон-ионная*, *электронно-дырочная*.

*Ион-ионная рекомбинация* — явление, состоящее в исчезновении ионов разных знаков при встрече и обусловленное их воссоединением в нейтральные молекулы (см. *Ионизация*).

*Электрон-ионная рекомбинация* — явление, состоящее в исчезновении свободных электронов и положительных ионов при столкновении и обусловленное их воссоединением в нейтральные атомы или молекулы.

*Электронно-дырочная рекомбинация* — явление, состоящее в исчезновении пары электрон-дырка в полупроводнике и обусловленное переходом электрона из зоны проводимости на свободное место в валентной зоне. Приводит к уменьшению концентрации носителей (ср. *Генерация пар электрон-дырка*).

**РЕЛАКСАЦИЯ** [от лат. *relaxatio* — уменьшение напряжения, ослабление]. Процесс постепенного возвращения в состояние равновесия какой-либо системы, выведенной из такого состояния, после прекращения действия факторов, выведших ее из состояния равновесия.

**РЕЛЕ** [от фр. *relayer* — сменить, заменить]. Элемент автоматического устройства, предназначенный для замыкания или размыкания цепи в результате внешнего воздействия. Наиболее распространенный тип — *электромагнитное реле*.

**РЕЛЯТИВИСТСКАЯ МЕХАНИКА.** Механика тел, движущихся со скоростями, близкими к скорости света в вакууме.

**РЕОСТАТ** [от греч. rheos — течение, поток и stator — стоячий, неподвижный]. Электрическое устройство для регулирования (плавно или ступенями) и ограничения тока или напряжения в электрической цепи. Реостаты бывают металлические, жидкостные и угольные.

**РЕПЕРНАЯ ТОЧКА.** Значение физической величины, соответствующее стабильному, эмпирически воспроизводимому состоянию какой-либо системы, используемое для калибровки средств измерений, например, температура плавления льда (см. *Эталон температуры*).

**РЕФЛЕКСИЯ** [от лат. reflexio — отражение]. Способность человеческой психики к сознательному изучению, осмыслению, оцениванию и преобразованию собственных эмоций, мыслей и действий.

**РЕФРАКТОМЕТР** [от лат. refractus — преломленный и ...метр]. Прибор для измерения показателя преломления света в газообразных, жидких и твердых веществах.

**РОТОР** [от лат. rotare — вращать]. Вращающаяся часть электрической машины (генератора, двигателя) или турбины.

# С

**САМОДВИЖЕНИЕ.** В зависимости от местонахождения источника движения целесообразно различать три вида механического движения: свободное — в отсутствие взаимодействия с другими телами (мысленный эксперимент Галилея), принужденное — возникшее под влиянием других тел и самодвижение — отличающееся тем, что *источник движения* (его причина) входит в состав тела. В первых двух случаях в качестве *мысленной модели* тела можно использовать материальную точку или абсолютно твердое тело. В случае самодвижения (локомотив, автомобиль, пешеход) эти модели неприменимы — они приводят к грубой ошибке. Рассмотрим ее.

Предположим, волейболист прыгает вверх с места. Обычно этот процесс описывают так. Чтобы возникло ускорение, направленное вверх, человек должен испытать воздействие со стороны опоры. Для этого он толкает опору, а опора — по третьему закону Ньютона — толкает его, сообщая ему ускорение. Ложность данного «объяснения» легко установить, вспомнив, что материальное движение, как и сама материя, несотворимо и неуничтожимо. Если волейболист пришел в движение, то должно существовать тело, которое передало ему движение. Очевидно, опора (неподвижная земля) таким телом не является. Только что сказанное можно выразить на языке физических величин. Несотворимость и неуничтожимость движения отражены в законе сохранения энергии. Если скорость человека увеличивается, растет его кинетическая энергия. Приращение ее, как принято говорить, равно работе силы. При постоянной силе  $F$  работа  $A$  равна произведению:  $A = F \cdot S$ , где  $S$  — перемещение точки приложения силы в направлении силы. В данном случае  $F$  — реакция опоры, отличная от нуля. Но  $S$  равно нулю, так как опора неподвижна. Следовательно, работа силы реакции опоры равна нулю. Поэтому реакция опоры не может служить причиной прыжка человека.

Против данного утверждения можно услышать три возражения. Первое: «Перенесем силу реакции опоры по направлению ее действия в центр масс человека». Однако оно несостоятельно: данное правило применимо только в случае абсолютно твердого (недеформируемого) тела. Второе: «Под действием человека опора прогибается. Выпрямляясь, она совершает работу». Однако легко показать количественно, что эта работа пренебрежимо мала ввиду

ничтожной деформации опоры. Подобный эффект наблюдается при большой деформации, например, пружинного гимнастического мостика, акробатической дорожки или батута. Третье: “Да, работа силы реакции опоры равна нулю. Но это — единственная внешняя сила, способная вызвать ускорение тела, работу же совершают другие, внутренние, силы”. Данное утверждение тоже несостоятельно. Сила, точка приложения которой неподвижна, не только не совершает работу, но и не может вызвать ускорение тела или его равномерное движение при наличии трения. Это легко понять на примере движения буксируемого автомобиля. Оно прекратится, если тягач остановится.

Самодвижущееся тело нельзя рассматривать как целое. Например, у выполняющего прыжок волейболиста следует различать “пассивную” часть тела (туловище с головой и руками), ножные мышцы — *двигатель* и стопы — *двигатель*. Прыжок состоит из двух этапов. На первом мышцы расталкивают в разные стороны пассивную часть тела и землю. Как только стопы оторвутся от опоры, пассивная часть тела, продолжая двигаться, увлекает за собой ноги. Земля необходима для самодвижения как тело отдачи, но причиной движения служит не ее реакция, а действие ножных мышц.

Причиной горизонтального движения пешехода, лошади с повозкой, локомотива, автомобиля подавляющее большинство авторов учебников и научно-популярных книг называют силу трения, “приложенную” со стороны дороги к подошвам, копытам или ведущим колесам, и третий закон Ньютона. Например, в одном из учебных пособий читаем: “Важно понимать, что тело самому себе ускорение сообщить не может: в соответствии со вторым и третьим законами Ньютона это могут сделать лишь другие тела. Поэтому выражение типа “мотор автомобиля сообщает ему ускорение” надо понимать как проявление юмора. Истина же состоит в том, что мотор толкает колеса, колеса — землю (опору), а уже земля (опора) толкает колеса (з с ними и автомобиль) в соответствии с третьим законом Ньютона”.

Встречаются утверждения, выглядящие более убедительно: “Все внутренние силы, возникающие в двигателе, не могут быть причиной изменения импульса системы. Единственные внешние силы, действующие на экипаж в горизонтальном направлении, — это силы трения, которые и являются причиной изменения импульса экипажа”.

Эти объяснения тоже несостоятельны. Невозможность сообщить самому себе движение относится к абсолютно твердому телу, а не к самодвижущемуся телу, содержащему источник движения

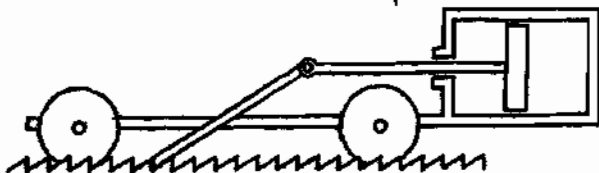


Рис. С.1. Кинематическая схема "ноготого" паровоза

внутри себя. Сила трения — та же реакция опоры. Перемещение точки ее приложения в лучшем случае (если отсутствует пробуксовка) равно нулю. Это очевидно в случае пешехода и лошади, но верно и для ведущего колеса. Вспомним: каждая точка катящегося колеса движется по циклоиде. В точке касания опоры элементарное перемещение  $\Delta s$  направлено вертикально, т. е. перпендикулярно к направлению действия силы трения. Следовательно, равно нулю работа силы трения и эта сила не может служить причиной увеличения кинетической энергии самодвижущегося объекта. Действительная причина — та же самая, что и в случае вертикального движения. Мышцы человека или лошади, пар (в паровозе) или продукты сгорания топлива (в автомобиле) расталкивают в разные стороны землю и пассивную часть самодвижущегося объекта. Это ясно видно на примере "ноготого" паровоза, предложенного кем-то до Стефенсона (рис. С.1).

Шток паровой машины шарнирно соединен с "ногой", нижний конец которой упирается в зубчатую рейку, прикрепленную к рельсу (т. е. имеется линейный крайовой механизм). Когда пар находится в передней части цилиндра, он расталкивает цилиндр и землю (через поршень, шток и ногу). Хотя поршень, шток и нога конструктивно принадлежат паровозу, функционально на данной стадии движения они составляют одно целое с землей. Перед началом этой стадии нижний конец ноги можно приваривать к рельсу — характер движения не изменится. В отличие от стационарной паровой машины, где относительно земли перемещается поршень, здесь поршень неподвижен, а цилиндр "сползает" с него вправо. Очевидно, работа силы давления пара на днище цилиндра больше нуля (в отличие от работы силы трения). Таким образом, сила пара, приложенная к днищу цилиндра, и совершает работу, и вызывает ускорение паровоза. Иначе и быть не может: в выражении кинетической энергии тела и его импульса (количества движения) входит одна и та же скорость. Из приведенного

примера также ясно, что систему, для которой "силы, возникшие в двигателе, являются внутренними", входит земля. Следовательно, под действием паровой машины не может измениться импульс системы, состоящей из паровоза и земли, а импульс паровоза измениться может. Силы пара стали бы внутренними для паровоза, если бы из-за неисправности парораспределительного механизма цилиндр сместился вправо настолько, что его (левая) крышка уперлась бы в поршень.

Принцип движения обычного паровоза или автомобиля точно такой же. Убедиться в этом труднее, так как двигатель связан с колесами через довольно сложные (особенно в автомобиле) механизмы. Однако сути дела это не меняет, так как любой механизм преобразует движение, а не порождает его.

Сцепление движущегося с землей, конечно, необходимо. Дело в том, что паровая машина или мышцы человека или животного (а также пружина и амортизатор) — элементы двухстороннего действия. Они не могут взаимодействовать с одним телом — только с двумя. Поэтому и прыгун, и паровоз могут прийти в движение только при условии, что они отталкиваются от опоры (которую уместно назвать "телом отдачи"). Поэтому при движении колесных транспортных средств трение о землю необходимо, но это — не причина движения, а его условие. Тело отдачи не только не передает свое движение самодвижущемуся телу, но само приходит в движение (если оно не столь массивно, как земля) под действием источника движения самодвижущегося объекта.

Таким образом, самодвижущийся объект нельзя рассматривать как *абсолютно твердое тело*. В большинстве случаев его необходимо представлять состоящим из трех частей: пассивной, *двигателя* и *двигателя*. Всякое самодвижение — реактивное: необходимо присутствие тела отдачи. При движении наземных транспортных средств таковым является земля. У ракет телом отдачи служат продукты сгорания горючего и окислителя, вырывающиеся из сопла реактивного двигателя.

Каковы причины появления и живучести заблуждений в объяснении самодвижения? Их пять.

1. Все великие механики работали до того, как был открыт закон сохранения энергии.

2. Видные ученые занимались почти исключительно небесной механикой (земная им была не интересна). Но в космосе из четырех элементов механических систем (см. *Динамические системы*) имеются лишь инертные тела (*динамические накопители*). Двигатели, пружины и элементы сопротивления отсутствуют. Поэтому

второй закон Ньютона, являющийся простейшей математической моделью инертного тела, в дальнейшем превратился в "основной закон динамики", а третий закон Ньютона стал "причиной" самодвижения.

3. Когда в XVIII в. начало развиваться машинное производство, потребовалось рассчитывать машины и механизмы. Специалистов не было. Но, как всегда, находились талантливые люди, которые полуэмпирически предлагали приемлемые методы расчета, не вдаваясь в обоснования. Не случайно в "Диалектике природы" Энгельс заметил: "Вычисления отучили механиков от мышления".

4. С самого начала развития механики среди ученых господствовало разномыслие. Сто лет назад на этот факт обратил внимание Э. Мах в книге "Механика: Историко-критический очерк". А в 1936 г. академик А.Н. Крылов в докладе, посвященном 250-летию опубликования "Начал" Ньютона указал на резкое противоречие, господствовавшее в понимании центробежной силы, и добавил: "Таких противоречий можно набрать сколько угодно, ибо они продолжают на протяжении 250 лет, восходя к временам Гюйгенса и Ньютона". Основная причина разномыслия — несформированность (до сих пор) самосогласованной системы понятий.

5. Особенности человеческой психики:

5.1. Импринтинг (детское закрепление). Невозможно допустить, чтобы авторы учебных и научно-популярных книг (многие — видные ученые) не поняли бы причину прыжка или горизонтального самодвижения, если бы задумались. Очевидно их "зомбировали" в молодые годы, сказав: "Этот вопрос давно решен!".

5.2. Догматичность (недиалектичность) мышления: "Как меня учили, так и я учу".

5.3. Конформность — неспособность противостоять мнению большинства.

**САМОДИФУЗИЯ ГАЗА.** Явление, состоящее в направленном переносе молекул в газе при наличии в нем порепада (градиента) плотности и обусловленное нарушением полной хаотичности теплового движения его молекул.

**САМОИНДУКЦИЯ.** См. *Электромагнитная индукция, саминдукция и взаиминдукция.*

**СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ.** Явление, состоящее в отсутствии электрического сопротивления у некоторых материалов ниже определенной (критической) для них температуры и обусловленное сверхтекучестью носителей заряда, возникающей при этих температурах. Явление объясняется квантовой теорией.

**СВЕРХПРОВОДНИКИ.** Вещества, обнаруживающие явление *сверхпроводимости*.

**СВЕТ** (видимое излучение). Электромагнитные волны в воспринимаемом человеческим глазом интервале длин волн  $(4-7,6) \cdot 10^{-7}$  м.

**СВЕТ, ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ ПО КРУГУ.** Свет, при распространении которого конец его электрического вектора описывает окружность.

**СВЕТИМОСТЬ,  $M$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания излучательной способности тел и равная отношению светового потока  $\Delta\Phi$ , излучения, исходящего с элемента светящейся поверхности, к площади  $\Delta S$  этого элемента:  $M = \Delta\Phi / \Delta S$ .

**СВЕТОВОД** (оптический волновод). Диэлектрическая структура, по которой может распространяться электромагнитное излучение в видимой и инфракрасной частях спектра. Используется для направленной передачи света, например, в устройствах оптической связи. Реальные световоды представляют собой гибкие волокна из прозрачных диэлектрических материалов. Свет распространяется по сердцевине, окруженной оболочкой, которая в свою очередь помещена в защитное покрытие (рис. С.2). В области сердцевины *показатель преломления* может быть постоянным или из-

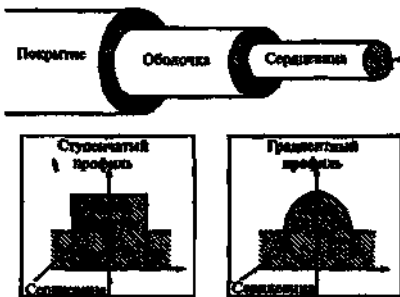


Рис. С.2. Конструкция световода и типичные зависимости показателя преломления от расстояния от оси световода



меняться по сечению, но для обеспечения направляющих свойств он должен быть больше показателя преломления оболочки. Диаметр сердцевины — от единиц до сотен микрометров.

**СВЕТОВОЕ ДАВЛЕНИЕ.** То же, что *давление света*.

**СВЕТОВОЙ ВЕКТОР.** Электрический вектор световой волны. Так назван потому, что электрическое поле вызывает большинство эффектов взаимодействия света с веществом.

**СВЕТОВОЙ ЛУЧ.** Иконическая модель пучка света, введенная для наглядного представления направления его распространения и построенная как геометрический луч, ограниченный с одного конца точечным источником света.

**СВЕТОВОЙ ПОТОК,  $\Phi$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания излучающей способности источника света в определенном направлении и равная произведению силы света  $I_v$  и телесного угла  $\Delta\Omega$ , охватывающего это направление:  $\Phi = I_v \cdot \Delta\Omega$ .

**СВЕТОФИЛЬТР.** Оптическое устройство, изменяющее спектральный состав и/или интенсивность падающего на него излучения.

**СВОЙСТВО.** *Фундаментальное понятие.* Термин *свойство* служат именем множества, элементами которого являются *прочность, инертность, гравитационность (гравитационная способность), упругость, текучесть, деформируемость, вязкость, пластичность, теплотворная способность, теплопроводность, электропроводность* и т. п. (см. *Определение через объем понятия; Номинальное определение*).

**СВОЙСТВО И ОТНОШЕНИЕ.** Выявление свойств было присуще уже первоначальной стадии человеческого познания. Проследим, как появилось понятие о свойстве. Добывая пищу, обороняясь от хищников, предохраняясь от холода и удовлетворяя другие потребности, наши далекие предки пользовались палками, камнями, шкурами и другими естественными предметами. Они заметили, что одни палки ломаются легче, другие — с большим тру-

дом. С течением времени люди научились располагать палки по этому признаку в виде упорядоченного ряда. На этой почве появились слова, эквивалентные современным прилагательным: *прочный, прочнее*. Аналогично люди обнаружили, что камнями разного сорта лучше или хуже обрабатывать другие камни, заострять палки, выскабливать шкуры и т. п. Так постепенно сформировались прилагательные, соответствующие современным: *твердый, тверже; мягкий, мягче; острый, острее; тупой, тупее*. Зверинные шкуры упорядочивали по способности предохранять от холода и т. д.

Постараемся осмыслить складывавшуюся тогда ситуацию. Люди стремились применять вещи. Одни из них годились для удовлетворения какой-то одной потребности, другие — другой. Эти факты были обобщены в виде мысли, что разные группы вещей различаются качеством. Кроме того, люди обнаружили, что в большинстве случаев в пределах одной и той же по качеству группы вещи могут быть упорядочены по интенсивности проявления этого качества, т. е. по количеству. Вначале это обстоятельство выражалось в виде прилагательных. Однако естественному языку присуще явление словообразования. В частности, из прилагательных образуются существительные, имеющие тот же корень, например: *прочный* → *прочность*, *твердый* → *твердость*, *острый* → *острота*. Такие существительные называют *отвлеченными (абстрактными)*, так как соответствующих им вещей в природе нет (существительные, обозначающие вещи, называют *конкретными*).

Так как человеческий мозг обладает способностью обобщать, в дальнейшем появились слова, эквивалентные современному слову *свойство*; являющемуся именем множества отвлеченных существительных: *прочность, твердость, инертность, гравитационность, вязкость, упругость, электропроводность, теплопроводность* (обратите внимание: это суждение представляет собой *номинальное определение слова свойство и обозначаемого им понятия через объем последнего, см. Определение через объем понятия*). Очевидно, что *свойств* — тоже абстрактное существительное.

Хотя имена конкретных свойств — абстрактные существительные, обозначаемые ими *предметы мысли* мы относим к миру вещей, так как вещи без них не существуют. (См. *Атрибут*).

Отметим далее следующее важное обстоятельство. Каждое конкретное свойство (т. е. элемент множества свойств) относят к той или иной определенной вещи (или множеству однотипных вещей). Однако обнаруживается оно только в присутствии другой

вещи, с которой данная вещь взаимодействует. Так, например, всем металлам свойственна электропроводность. Но проявляется она в замкнутой электрической цепи при наличии источника электричества. Иными словами, свойство проявляется лишь в отношении данной вещи к другим вещам.

Как видно из предыдущего предложения, 'отношение' — категория, родственная категории 'свойство'. Но между ними есть существенная разница. В отличие от понятия 'свойство' понятие 'отношение' неприменимо к одной вещи. Оно всегда применяется к взаимосвязи двух или большего числа предметов. Различают бинарные (парные), тернарные (тройственные) и другие отношения.

Отношения бесконечно разнообразны. Они существуют как в мире вещей, так и в мире идей. Например, различают пространственные отношения вещей (ближе—дальше, правее—левее и тому подобное); временные отношения (прошедшее—настоящее—будущее, раньше—позже); скоростные отношения (быстрее—медленнее); причинно—следственные отношения; производственные отношения; семейные отношения, международные отношения, математические отношения ( $<$ ,  $=$ ,  $>$ ) и др. Формулы, выражающие законы науки, суть отношения между физическими величинами.

Понятие 'отношение' является родовым по отношению к понятиям 'явление', 'движение', 'взаимодействие', 'процесс' и многим другим, так как все они отображают отношения вещей. Например, было бы бессмысленно говорить о быстроте перемещения тела самого по себе, безотносительно к другим телам, или о взаимодействии тела "ни с чем". И то, и другое — отношения.

**СДВИГ.** Деформация тела, вызываемая касательными механическими напряжениями.

**СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКИ.** Кристаллические диэлектрики, которые в отсутствие внешнего электрического поля содержат небольшие области с самопроизвольной ориентацией дипольных электрических моментов молекул (домены сегнетоэлектрические). Сегнетоэлектрики обладают рядом характерных только для них особенностей. Их диэлектрическая проницаемость может достигать нескольких тысяч. Зависимость электрического смещения и поляризованности от напряженности внешнего электрического поля не является линейной. При изменении внешнего поля значение

поляризованности, следовательно, и электрического смещения, отстает от напряженности электрического поля. Иными словами, имеет место диэлектрический гистерезис. Для каждого сегнетоэлектрика имеется температура, выше которой он утрачивает свои необычные свойства и становится обычным диэлектриком. Эту точку называют сегнетоэлектрической точкой (температурой) Кюри. Таким образом, сегнетоэлектрики среди диэлектриков занимают такое же положение, как ферромагнетики среди магнитных материалов. Поэтому за рубежом их называют ферроэлектриками. Примером типичных сегнетоэлектриков служат сегнетова соль, метатитанат бария и ниобат лития. Применяются в акустике, электро- и радиотехнике.

**СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ.** Явление, состоящее в спонтанной электризации некоторых диэлектриков (сегнетоэлектриков) в отсутствие внешних воздействий и обусловленное их доменной структурой.

**СЕКУНДА.** Единица времени, одна из семи основных единиц в СИ. Секунда — время, в течение которого происходит  $9\,192\,631\,770$  квантовых переходов между двумя определенными уровнями атома цезия-133.

**СЕМЕЙСТВО ХАРАКТЕРИСТИК.** Графическое представление на плоскости взаимосвязи трех переменных  $f(x, y, z) = 0$ , описывающей поведение какого-либо объекта (например, транзистора).

Функциональную связь двух переменных  $f(x, y) = 0$  (или  $y = \varphi(x)$ , что то же самое) графически можно представить в виде плоской кривой. Связь трех переменных  $f(x, y, z) = 0$  (или  $z = \varphi(x, y)$ , что то же самое) может быть представлена графически в виде поверхности в трехмерном пространстве (например, вроде холма или горного массива). Очевидно, что и изготовлять такую "игрушку", и пользоваться ею крайне неудобно. Люди давно придумали простой способ приближенного представления трехмерной поверхности на плоскости. Например, на географических картах используют горизонтали (линии равной высоты или глубины — линии равного уровня), используемые для изображения гор и океанских впадин. В математике их называют *линиями уровня*. В случае функций трех переменных (три координаты трехмерного

физического пространства) линии уровня определяют при различных постоянных значениях переменной  $z$  ("высоты")<sup>1</sup>:

$f(x, y, z)|_{z=C} = f(x, y, C) = 0$ . Очевидно, последнее равенство содержит уже только две переменные и ему соответствует некоторая кривая на плоскости. Семейство таких кривых при различных постоянных значениях  $z$  и представляет собой семейство линий уровня некоторой поверхности  $f(x, y, z) = 0$  (или  $z = \varphi(x, y)$ ). По семейству линий уровня можно сравнительно легко представить себе наглядный "образ" трехмерной поверхности, что и происходит, когда люди изучают географические карты.

Аналогично поступают и в технике. Для получения семейства характеристик фиксируют (устанавливают постоянным) значение одной из переменных и снимают экспериментально кривую, описывающую взаимосвязь двух других переменных. Изменяют значение фиксируемой переменной — и снова снимают аналогичную зависимость. Повторив эту процедуру 5–10 раз, получают семейство (множество) характеристик. Переменную, которой придают ряд фиксированных значений, называют *параметром* семейства характеристик. Примеры семейств характеристик приведены в статье *Биологический транзистор*.

**СЕРИЯ БАЛЬМЕРА.** Набор видимых спектральных линий водорода, частоты которых  $\nu = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ , где  $n = 3, 4, 5 \dots$  — целые числа;  $R$  — постоянная величина, равная  $3,28 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ . Разные линии соответствуют различным целочисленным значениям  $n$  (см. *Поглощение и излучение света атомами*).

**СЖАТИЕ** (тепловое). Явление, состоящее в уменьшении объема тела при его охлаждении и обусловленное уменьшением расстояния между частицами, составляющими тело (атомами или молекулами).

<sup>1</sup> В выборе переменной  $z$  на "роль" параметра присутствует некое предположение (физический смысл), что декартова система координат ориентирована так, что ось аппликат (ось  $Z$ ) направлена "вверх" и  $z$  — "высота". Понятно, что это вовсе не обязательно, а переменные  $x, y$  и  $z$  математически совершенно равноправны: любая из них может служить параметром при вычислении и построении семейства линий уровня. С точки зрения математики выбор одной из переменных в качестве параметра линий уровня означает, что исследуемую поверхность мы "проецируем" (в виде семейства линий уровня) на координатную плоскость двух оставшихся переменных.

**СЖИЖЕНИЕ ГАЗОВ.** Перевод вещества из газообразного состояния в жидкое. Сжижать газ можно только при температурах ниже критической, т. е. тогда, когда газ превращается в пар и увеличением давления его можно превратить в жидкость. Поэтому во всех устройствах сжижение газов достигается охлаждением их до температур ниже критической и последующим сжатием.

**СЖИМАЕМОСТЬ.** Способность вещества изменять свой объем под действием всестороннего сдвигания.

**СИГНАЛ.** Термин используют в четырех значениях.

1. Материальный объект или процесс, который люди используют для объективирования мысли при передаче сообщений, т. е. предмет, принадлежащий к миру знаков (см. *Предмет мысли*). Сигналами являются звуковые волны во время разговора, радиопередачи, передачи команд, следы чернил или полиграфической краски на бумаге, электрические колебания в телефонных проводах или проводниках в ЭВМ, электромагнитные волны, излучаемые радиостанциями, и т. д.

Объекты или процессы, служащие сигналами, упорядочены по определенным правилам, которые сложились либо стихийно (как в случае естественного языка), либо специально придуманы (как в случае радиопередачи). Они известны как лицу, передающему сообщение, так и лицу, принимающему его.

Шум леса, горной реки, прибоя — тоже звуковые волны, но это не сигналы, так как они не порождены человеком с целью передачи сообщения и поэтому специально не упорядочены. Более того, даже упорядоченный процесс может служить сигналом только в той системе, которая на него настроена. Например, сообщение на иностранном языке для человека, не знающего его, сигналом не является.

Иногда говорят, что запах дыма может служить сигналом пожара, а гром — сигналом грозы. Это неверно. Еще раз подчеркнем, что сигналом следует называть только процессы, порожденные людьми, изготовленными ими специальными устройствами, предназначенными для передачи сообщений (кроме случаев указанных в п. 4) или дрессированными животными. Дым и гром — не сигналы (знаки), а признаки пожара или грозы соответственно.

2. Процессы, генерируемые специальными приборами (генераторами сигналов), воздействующие на изучаемый объект в процессе эксперимента (см. *Наблюдение и эксперимент*), или имитирующие

реальные сигналы и используемые для проверки и настройки аппаратуры, предназначенной для работы с реальными сигналами.

3. Специальный процесс, генерируемый внутри измерительного прибора или другого технического устройства для организации его работы (см., например, *Осциллограф (электронный)*).

4. Процесс, воздействующий на входы усилителей в исследовательской аппаратуре, порожденный тем объектом, который человек включил в сферу своей познавательной деятельности (например, электромагнитные волны от астрономических объектов, воспринимаемые радиотелескопами).

**СИЛА, F.** В учебниках силу определяют как векторную величину, введенную для количественного оценивания взаимодействия тел.

Однако *контекстуальное определение* показывает, что термин *сила* используют еще в трех значениях.

1. Как синоним выражения *взаимодействие тел*. Например: "Известны четыре вида фундаментальных сил; гравитационные, электромагнитные, ядерные сильные и ядерные слабые".

2. Как синоним выражения *действие одного тела на другое*. Например: "Сила — это влияние одного тела на другое, вызывающее ускорение последнего".

3. Как имя мифического объекта, призрака. Например: "Сила совершает работу", "К телу приложена сила".

**Примечания.** 1. Во всех учебниках сила определена как физическая величина. О трех других значениях термина *сила* учебники умалчивают. Тем самым закладывается возможность неправильно понимать текст. Например, предложение "Сила совершает работу" относится к категории "нарочно не придумаешь": одна физическая величина "совершает" другую физическую величину!

2. Часто пишут, что под действием силы оба взаимодействующих тела испытывают ускорения. Это — тоже односторонняя формулировка: результатом взаимодействия тел может быть не только изменение скорости, но и деформация тела, и (при движении с трением) не изменение, а поддержание скорости (см. *Динамические системы, Закон Гюка, Закон Ньютона*).

**СИЛА АМПЕРА.** Сила, которой оценивают интенсивность механического действия магнитного поля на помещенный в него проводник, по которому течет электрический ток (см. *Закон Ампера*).

**СИЛА АРХИМЕДА.** Сила, которой оценивают интенсивность механического действия газа или жидкости на помещенные в них тела (см. *Закон Архимеда*).

**СИЛА КУЛОНА.** Сила, которой оценивают интенсивность механического действия электрического поля на помещенные в него заряженные тела (см. *Закон Кулона*).

**СИЛА ЛОРЕНЦА.** Термин используют в двух значениях. 1. Сила, которой оценивают интенсивность действия магнитного поля на помещенные в него движущиеся заряженные частицы:  $f = q[V \cdot B]$ . 2. Сила, которой оценивают интенсивность механического действия электромагнитного поля на помещенные в него заряженные частицы:  $f = qE + q[V \cdot B]$ .

**СИЛА НОРМАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ.** Составляющая силы, которой оценивают интенсивность механического действия на данное тело со стороны соприкасающегося с ним другого тела в направлении нормали к поверхности соприкосновения.

**СИЛА РЕАКЦИИ ОПОРЫ, ПОДВЕСА.** Сила, которой оценивают интенсивность противодействия, оказываемого телу со стороны опоры или подвеса.

**СИЛА СВЕТА.** Одна из семи основных физических величин в системе физических величин *LMTQJN*, служащей базой для построения Международной системы единиц СИ. Сила света — скаляр. Введена для количественного оценивания свечения источника видимого света в некотором направлении. Условное обозначение силы света и ее размерности — *J*. Единица силы света — *кандела*.

**Примечание.** Сила света — термин, ориентирующий неправильно. Его структура подобна структуре терминов *сила Архимеда*, *сила трения*, *сила тяжести* и т. п. Поэтому может создаться впечатление, будто сила света — вид силы. В действительности никакого отношения к физической величине 'сила' (см. *Сила*) сила света не имеет (см. *Могли слов*).

**СИЛА СОПРОТИВЛЕНИЯ СРЕДЫ.** Сила, которой оценивают интенсивность противодействия среды, возникающего при движении тела в вязкой среде (жидкости или газе) и направленного в сторону, противоположную скорости тела относительно среды.

**СИЛА ТРЕНИЯ.** Сила, которой оценивают интенсивность противодействия относительному перемещению соприкасающихся твердых тел, слоев жидкости и газа (см. *Трение*, *Коэффициент трения*).



**СИЛА ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ.** Сила, которой оценивают интенсивность противодействия относительному перемещению цилиндрических и шарообразных тел, катящихся без скольжения по плоской или изогнутой поверхности. Сила трения качения  $F_{тр}$  пропорциональна отношению силы нормального давления  $N$  к радиусу кривизны  $R$  катящегося тела:  $F_{тр} = \mu_k \frac{N}{R}$ ,  $\mu_k$  — коэффициент трения качения.

**СИЛА ТРЕНИЯ ПОКОЯ.** Сила, которой оценивают интенсивность противодействия, возникающего на границе соприкосновения тел при отсутствии их относительного движения. Сила трения покоя  $(F_{тр})_{max}$  максимальна в момент, непосредственно предшествующий началу движения тела. Она пропорциональна силе нормального давления  $N$ :  $(F_{тр})_{max} = \mu_n \cdot N$ , где  $\mu_n$  — коэффициент трения покоя.

**Примечание.** Обратите внимание на мысль "в момент, непосредственно предшествующий началу движения тела". Дело в том, что в покое сила трения  $F_{тр}$  может быть в пределах  $0 \leq F_{тр} \leq (F_{тр})_{max}$  и говорить об определенном значении коэффициента трения бессмысленно. Когда тело приходит в движение, сила трения уменьшается и не вполне определена (хотя и не сильно, но зависит от скорости). Поэтому конкретное значение имеет лишь  $(F_{тр})_{max}$ .

**СИЛА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ.** Сила, которой оценивают интенсивность противодействия, возникающего на границе соприкосновения тел при их относительном движении. Сила трения скольжения  $F_{тр}$  пропорциональна силе нормального давления  $N$ :  $F_{тр} = \mu_c \cdot N$ , где  $\mu_c$  — коэффициент трения скольжения, зависящий от свойств соприкасающихся поверхностей. Сила трения скольжения всегда меньше максимальной силы трения покоя.

**СИЛА ТЯГОТЕНИЯ, ГРАВИТАЦИОННАЯ СИЛА.** Сила, которой оценивают интенсивность взаимного притяжения двух тел (см. *Закон всемирного тяготения*).

**СИЛА ТЯЖЕСТИ.** Сила, которой оценивают интенсивность действия со стороны Земли на всякое тело, способная сообщить ему ускорение свободного падения:  $F = mg$ .

**СИЛА УПРУГОСТИ.** Сила, которой оценивают интенсивность реакции деформированного тела (см. *Закон Гука*).

**СИЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА** (сила тока). Одна из семи основных физических величин в *системе физических величин ЛМТЯН*, служащей базой для построения международной системы единиц СИ. Сила тока — скаляр. Введена для количественного оценивания интенсивности электрического тока. Измеряется стрелочными измерительными приборами (амперметрами). При изготовлении рабочих амперметров обеспечивают надлежащую точность путем передачи единицы силы тока от образцовых амперметров, получивших ее, в конечном счете, от *эталоны ампера*. Условное обозначение силы тока и ее размерности — *I*. Единица силы тока — *ампер (А)*.

**Примечания.** 1. Часто силу тока называют просто “током” (например: “Ток резистора пропорционален напряжению между его выводами”).

2. Термин *сила электрического тока* неправильно ориентирующий: к механической силе он никакого отношения не имеет (см. примечание к статье *Сила света*). По-видимому, было бы целесообразно, воспользовавшись аналогией с гидравликой, заменить его термином *расход электрического заряда*.

**СИЛОВОЕ ПОЛЕ.** Область пространства, при внесении в которую частиц (тел) они испытывают механическое (“силовое”) воздействие. Для нейтральных частиц (тел) силовым полем служит гравитационное поле. Для неподвижных заряженных частиц (тел) — электрическое поле, для движущихся заряженных частиц и проводников с током — электрическое и магнитное поля.

**СИЛОВЫЕ ЛИНИИ (МАГНИТНЫЕ).** См. *Линии магнитной индукции, Линии напряженности магнитного поля*.

**СИЛОВЫЕ ЛИНИИ (ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ).** См. *Линии напряженности электрического поля, Линии электрического смещения*.

**СИЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ.** Один из четырех видов фундаментальных взаимодействий элементарных частиц, характеризующийся наибольшей интенсивностью. Сильным взаимодействием обусловлены ядерные силы.

**СИМЕНС.** Единица электрической проводимости в СИ. Название дано в честь немецкого физика, электротехника и предпринимателя Эрнста Вернера Сименса. 1 сименс — проводимость резистора, сопротивление которого равно 1 Ом. Обозначение — *См.*

**СИНОНИМЫ.** Слова (или выражения, языковые конструкции), обозначающие один и тот же предмет мысли, но употреб-

ляемые применительно к разным ситуациям. Синонимы делят на полные (тождественные, абсолютные) и неполные. Первые взаимозаменяемы в любых корректных контекстах (например, электрический заряд и количество электричества). Вторые не обладают этим свойством (например, сила и вес).

**СИНТЕЗ.** Прием научного мышления, состоящий в построении системы по заданному закону ее поведения (ср. *Анализ*).

**СИСТЕМА.** Термин используют в двух значениях. 1. Совокупность взаимосвязанных элементов (подсистем), цельность которой (отделенность от среды) обусловлена тем, что взаимосвязь ее элементов между собой интенсивнее (сильнее), чем их взаимосвязь с элементами среды. Примеры: атом, молекула, семья, учебная группа (класс), спортивная команда. Совокупность предметов в рюкзаке системой не является, так как ее целостность обусловлена наличием внешней оболочки, а не взаимодействием элементов. 'Система' и 'элемент' — парные категории. Их определяют через отношение друг к другу (по отдельности они определены быть не могут). См. также *Системный подход*. 2. Мысленно выделенная для теоретического исследования совокупность предметов, взаимосвязь которых может иметь как объективный, так и субъективный характер. Примеры: система отсчета в механике, система уравнений.

**СИСТЕМА ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН** (система единиц). Совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами для данной системы физических величин.

**СИСТЕМА ОТСЧЕТА (В МЕХАНИКЕ).** Совокупность *тела* (или тел) отсчета и жестко связанных с ним системы координат и приборов для измерения времени (часов), пространственных переменных — координат и скоростей (например, радиолокаторов) и сил (например, динамометров). Ср. *Правила знаков напряжения и тока*.

**Примечание.** В учебниках и научно-популярных книгах средства измерения пространственных переменных и сил, как правило, не упоминают. Это неверно.

**СИСТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ.** Составляющая *полной погрешности измерения*, остающаяся постоянной или закономерно изменяющейся при повторных измерениях одной и той же

*физической величины*. В большинстве случаев систематическая погрешность может (и должна) быть выявлена и исключена из результатов измерения.

**СИСТЕМА ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН** (система величин). Совокупность основных и производных физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимаются за независимые (их называют *основными величинами*), а другие являются функциями независимых величин (их называют *производными величинами*)

**СИСТЕМАТИЗАЦИЯ (УПОРЯДОЧЕНИЕ)**. Прием научного мышления, состоящий в приведении разрозненных элементов в систему на основании выяснения их свойств и отношений между ними. Важнейший вид систематизации — *Классифицирование*.

**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД**. Системный подход начали осознавать как диалектический принцип сравнительно недавно — во второй половине XX в. Он не менее важен, чем исторический и комплексный (всесторонний) подходы.

Исходная идея системного подхода очень проста. Почти каждый объект является *системой*, состоящей из элементов (подсистем, компонентов). Существует иерархия систем. Например, ядро является системой, состоящей из нуклонов, и элементом системы "атом". Атом — система, состоящая из ядра и электронов, и элемент системы "молекула". Учебная группа — система, состоящая из студентов, и элемент системы "курс". Курс, в свою очередь, элемент системы "факультет" и т. п.

Понимание системного подхода чрезвычайно полезно для познания, обучения и проектирования. Если мы изучаем объект как элемент вышележащей системы, нас интересует только его поведение, но не внутреннее устройство. Такой подход называют *феноменологическим*, *функциональным*, *макроскопическим*, *биохимическим*, а изучаемый объект — "черным ящиком". Поведение элементов выражают в виде элементных (компонентных) законов. К их числу принадлежат, например, закон Ома для участка цепи  $i = Ri$ , формула, описывающая поведение конденсатора  $q = C\dot{u}$ , второй закон Ньютона  $F = ma$ , закон Гука  $F = kx$ .

При изучении объекта как системы рассматривают его внутреннее устройство: компонентный состав и структуру связей компонентов, отражаемую структурными законами. Такой подход называют *механистическим* (от слова *механизм*), *субстанциальным*, *микроскопическим*, *фундаментальным*, и т. п., а объект —

“прозрачным ящиком”. Примеры структурных законов — уравнения Кирхгофа. Таким образом, для вывода закона поведения системы необходимо использовать и компонентные, и структурные законы.

Системный подход позволяет преодолеть так называемый герменевтический круг, состоящий в утверждении: “Для того чтобы понять принцип действия системы, вначале надо механизмически изучить ее элементы, а для того чтобы изучить элементы, надо знать, какова их роль в системе”. Выход из круга состоит в том, что сначала изучают процессы в системе, используя ее структурные законы и феноменологические законы поведения элементов. После этого (в случае необходимости) можно изучать элементы механизмически.

Системный подход позволяет понять, как должно различаться обучение одной и той же дисциплине производителей и пользователей. Для первых в равной мере необходим и феноменологический, и механизмический подход, а для вторых — преимущественно феноменологический.

При проектировании разработчик должен уделять внимание трем соседним ступеням иерархической пирамиды. Средняя соответствует разрабатываемому объекту. Вышележащая задает технические требования. На нижележащей “расположены” элементы разрабатываемого устройства.

К сожалению, большинство авторов учебников физики еще не овладели системным подходом. Из-за этого материал излагается так, что у читателя создается впечатление, будто феноменологическое описание является неполноценным. В действительности выбор того или иного подхода определяется характером решаемой задачи. Очень точно эту мысль выразил видный теоретик В. Вайскопф, введя понятие квантовой лестницы: “Квантовая лестница позволяет раскрыть структуру Вселенной шаг за шагом. При исследовании явления на уровне энергии атомов нас не должна беспокоить внутренняя структура ядер; когда же мы изучаем механику газов, для нас не имеет значения внутреннее строение атомов. В первом случае можно рассматривать ядра как идентичные, неизменяемые объекты, т. е. как элементарные частицы; во втором случае так же можно рассматривать каждый атом”.

Еще один интересный пример привел Р. Фейнман. Несмотря на то, что законы Кирхгофа выводятся из уравнений Максвелла, невозможно последние прямо применять для анализа электрических цепей.

Владение системным подходом позволяет понять несостоятельность *редукционизма*; для вывода закономерности поведения системы необходимо использовать и компонентные, и структурные законы.

**СКАЛЯР** [от лат. *scalaris* — ступенчатый]. Величина, характеризующаяся только числовым значением (см. *Скалярные физические величины*).

**СКАЛЯРНОЕ ПОЛЕ.** Математическая модель области пространства, введенная для ее описания и построенная так, что каждой точке пространства ставит в соответствие скаляр как функцию координат. Используют как математический аппарат в тех случаях, когда наблюдается какая-либо пространственная неоднородность. Например, если твердое тело нагревать с одной стороны, то по мере удаления от места нагрева температура материала понижается. Ее распределение в теле может быть описано температурным полем, являющимся скалярным полем (ср. *Векторное поле*).

Необходимо научиться различать, когда термином *поле* обозначают объективную реальность, а когда — математическое понятие (авторы книг и учебников не всегда это оговаривают).

**СКАЛЯРНОЕ ПРОИЗВЕДЕНИЕ ВЕКТОРОВ A и B** Число (скаляр), обозначаемое символом  $(A \cdot B)$  и равно произведению модулей  $|A|$  и  $|B|$  этих векторов на косинус угла между ними:  $(A \cdot B) = |A| \cdot |B| \cdot \cos(\angle A, B)$  (ср. *Векторное произведение*).

**СКАЛЯРНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ.** Физические величины, характеризующиеся числовым значением и наименованием единицы измерения величины.

**СКИН-ЭФФЕКТ.** Явление, состоящее в затухании высокочастотного электромагнитного поля по мере его проникновения в глубь проводника и обусловленное возникновением в проводнике индукционных токов, препятствующих проникновению поля в глубь проводника.

**...СКОП** [от греч. *skopeo* — смотрю, рассматриваю, наблюдаю]. Вторая составная часть сложных слов, обозначающая “относящийся к наблюдению”. Например, микроскоп, спектроскоп, телескоп.

**СКОРОСТЬ, v.** Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания быстроты и направления движения

тела и равная отношению перемещения  $\Delta g$  тела к промежутку времени  $\Delta t$ , за которое произошло это перемещение:

$$v = \frac{\Delta g}{\Delta t}$$

**СЛАБОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ.** Один из четырех видов фундаментальных взаимодействий. Осуществляется между элементарными частицами при расстояниях менее нескольких аттометров. Приводит, в частности, к бета-распаду атомных ядер.

**СЛЕДСТВИЕ.** См. *Причина, следствие и условие.*

**СЛУЧАЙНАЯ ВЕЛИЧИНА.** Величина, принимающая (в зависимости от случайного фактора) те или иные значения с определенными вероятностями. Так, число очков, выпадающих на верхней грани игральной кости, представляет собой случайную величину, принимающую значения 1, 2, 3, 4, 5, 6 с вероятностью  $1/6$  каждое.

**СЛУЧАЙНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ.** Составляющая *малой погрешности измерения случайной величины.* Для ее оценивания используют результаты многократных измерений, из которых определяют *среднее квадратичное отклонение*  $\sigma_{<x>}$  среднего значения. После задания *доверительной вероятности*  $\alpha$  (обычно 0,68) и определения *коэффициента Стьюдента*  $t(\alpha, n)$ , где  $n$  — количество измерений, в качестве значения погрешности  $\Delta x$  используют ширину *доверительного интервала*  $\Delta x = \sigma_{<x>} t(\alpha, n)$ , определяющего область значений вокруг среднего значения, в который измеряемая величина попадает с данной доверительной вероятностью.

**СЛУЧАЙНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ.** В отличие от *приборной и систематической погрешностей* оценивание случайной погрешности многократного измерения проводят на основе методов теории вероятностей и математической статистики. При этом полагают, что влияние совокупности многих случайных факторов приводит к нормальному, или гауссову, виду распределения отдельных результатов, описы-

ваемому *плотностью вероятности*  $\rho(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} \exp\left(-\frac{(x - \langle x \rangle)^2}{2\sigma_x^2}\right)$ ,

где  $\langle x \rangle$  и  $\sigma_x^2$  — параметры распределения, среднее и дисперсия

соответственно. Измеряемая физическая величина получает название *случайной величины*, за ее измеренное значение принимают среднее арифметическое всех результатов  $\langle x \rangle$ . (Если вид распределения заранее не известен, его находят экспериментально посредством построения *гистограммы* распределения результатов измерений.)

Нормальное распределение является непрерывным, однако определение его параметров производят по ограниченному набору случайных результатов (см. *Среднее квадратичное отклонение случайной величины*). В таком случае среднее также является случайной величиной, распределение плотности вероятности которой можно установить теоретически или экспериментально. Связь дисперсии распределения среднего  $\sigma_{\langle x \rangle}^2$  и дисперсии отдельных результатов  $\sigma_x^2$  известна из математической статистики:  $\sigma_{\langle x \rangle}^2 = \sigma_x^2/n$ , где  $n$  — количество результатов многократного измерения. *Случайной величиной* является также среднее  $\langle x \rangle$ , соотношенное с дисперсией  $\sigma_{\langle x \rangle}^2$ , статистика этого отношения задана подробно изученным распределением Стьюдента. Используя свойства этого распределения, находят интервал значений вокруг  $\langle x \rangle$ , в котором измеренное значение среднего может оказаться с заданной вероятностью  $\alpha$  (обычно 0,68).

Границы указанного интервала  $(\langle x \rangle - k(\alpha, n)\sigma_{\langle x \rangle}, \langle x \rangle + k(\alpha, n)\sigma_{\langle x \rangle})$  определяет *коэффициент Стьюдента*  $k(\alpha, n)$ , который зависит как от  $\alpha$ , так и от количества  $n$  результатов многократного измерения. Коэффициент рассчитывают с учетом требуемого для точности измерения значения  $\alpha$ .

По выполнению описанной выше процедуры обработки результатов появляется возможность оценить интервал значений вокруг среднего (*доверительный интервал*), в который измеренное значение  $\langle x \rangle$  случайной величины попадает с вероятностью  $\alpha$  (*доверительной вероятностью*). Возможные отклонения  $\pm k(\alpha, n)\sigma_{\langle x \rangle}$  измеренного значения от среднего принимают за *погрешность* результата измерения, т. е.  $\Delta x = k(\alpha, n)\sigma_{\langle x \rangle}$ . Погрешность с заданной мерой вероятности характеризует неопределенность полученного результата. Необходимо четко представлять вероятностную природу подобной оценки; что в принципе не позволяет использовать понятие «истинного значения» физической величины, которое не имеет адекватного содержания.

**СМАЧИВАНИЕ (несмачивание).** Явление, состоящее в искривлении поверхности жидкости в месте соприкосновения ее с поверхностью твердого тела и обусловленное молекулярным взаимодействием жидкости со стенками трубки или с твердым телом.



**СМЕЩЕНИЕ,  $x$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания мгновенного значения отклонения частицы от положения равновесия и равная при гармонических колебаниях

$$x = X_m \sin(\omega t + \varphi)$$

(см. *Гармонические колебания*).

**СОБСТВЕННЫЙ ПОЛУПРОВОДНИК.** *Полупроводник* настолько чистый, что влиянием примесей можно пренебречь.

**СОБЫТИЕ.** См. *Процесс и событие*.

**СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ.** *Прием научного мышления*, состоящий в предметном истолковании результатов исследования формализованной модели объекта (ср. *Формализация*).

**СОЗЕРЦАНИЕ.** Вид эмпирического познания, состоящий в непреднамеренном (бездеятельном) восприятии окружающего. Оно сопутствует всем действиям человека в состоянии бодрствования. Даже когда человек чем-то занят и его внимание сосредоточено на этой деятельности, боковое зрение фиксирует другие предметы. Слух, обоняние и осязание также могут в это время порождать побочные ощущения. К большей части созерцательных ощущений человек остается равнодушен, но кое-что может привлечь его внимание и побудить заняться *наблюдением* и *экспериментом* (см. *Эмпирия и теория*).

**СОЗНАНИЕ.** См. *Материя и сознание*.

**СОКРАЩЕНИЕ ДЛИНЫ** (Лоренцово сокращение). Явление, состоящее в том, что длина тела (в направлении движения), измеренная из системы отсчета, по отношению к которой тело движется, меньше, чем длина, измеренная из системы, в которой тело покоится, и обусловленное независимостью скорости света в вакууме от движения источника.

**Примечание.** Этот факт — еще одно подтверждение того обстоятельства, что физическая величина не есть атрибут (неотъемлемое свойство) тела (см. *Измерение, Физические величины*).

**СОЛЕНОИД** [от греч. *solen* — трубка и *eidos* — вид]. Проволочная катушка, обычно в виде намотанного на цилиндрическую трубу из диэлектрика изолированного проводника, по которому

течет электрический ток. Если длина соленоида значительно больше диаметра, то вектор магнитной индукции поля внутри соленоида направлен параллельно его оси и поле почти однородное, а его напряженность  $H$  равна произведению плотности намотки  $n$  (отношение числа витков к длине соленоида) и силе тока  $I$ :  $H = nI$ .

**СОЛНЕЧНЫЙ ФОТОЭЛЕМЕНТ.** Элемент электрической цепи, полупроводниковый *двухполюсник*, источник электролитания. Основным фрагментом (частью) фотоэлемента, определяющим его свойства, является *электронно-дырочный переход*. Разделение заряженных частиц в нем происходит в результате перевода электронов в активное состояние под действием фотонов (квантов света). Фотоэлементы находят широкое применение в карманных калькуляторах и на искусственных спутниках Земли в составе так называемых солнечных батарей. Условное графическое обозначение солнечного фотоэлемента с направлениями отсчета напряжения и силы тока (см. *Правила знаков...*) показано на рис. С.3, а, а его вольт-амперная характеристика — на рис. С.3, б.

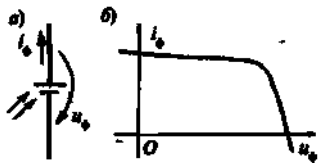


Рис. С.3. Условное графическое обозначение фотоэлемента (а) и его вольт-амперная характеристика (б)

**СОПРОТИВЛЕНИЕ,  $R$ .** То же, что *Электрическое сопротивление...*

**СОСТОЯНИЕ.** Слово *состояние* используют чрезвычайно широко. Говорят о состоянии общества, здоровья человека, его духа, атмосферы, популяции, динамической системы и ее элементов, транзистора и т. д. Как ни странно, оказалось возможным выделить значение этого термина, общее для всех случаев его употребления.

О любом объекте мы можем судить, лишь наблюдая то, как он взаимодействует с нами самими и другими вещами. Отсюда следует, что словом *состояние* мы обозначаем способность объекта в предстоящем взаимодействии обнаружить определенное поведение, т. е. проявить те или иные качества в том или ином количестве, а также способность к изменению поведения. Состояние следует рассматривать как "моментальную фотографию" процесса, а не нечто застывшее (см. *Процесс и событие*).

Для технических дисциплин особенно важно осмыслить значение термина *составные* применительно к тем системам, которые претерпевают непрерывные изменения. Их называют *динамическими системами*, и процессы в них описывают дифференциальными уравнениями. В таких системах происходит материальный обмен как между элементами самой системы, так и между системой и средой. Физическими величинами, наиболее обобщенно характеризующими этот обмен, служат *масса* и *энергия*. При анализе многих технических систем изменением массы можно пренебречь. В силу этого оказывается, что взаимодействия внутри системы и системы со средой заключаются в обмене движением между накопителями системы и между ними и средой, что количественно оценивают энергией. Наиболее абстрактно характер этих процессов отражен в виде энергетического портрета *динамической системы*.

**СПЕКТР** [от лат. *spectrum* — представление]. Совокупность различных значений какой-либо физической величины.

**СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ.** Различают спектры излучения: линейчатые, полосатые и сплошные (непрерывные). Линейчатые спектры, состоящие из отдельных линий, излучают светящиеся атомарные вещества, находящиеся в газообразном состоянии. Полосатые спектры, состоящие из отдельных полос, разделенных темными промежутками, излучают не связанные друг с другом молекулы светящегося вещества. Сплошные спектры излучают светящиеся тела, находящиеся в твердом или жидком состоянии.

**СПЕКТР ОПТИЧЕСКИЙ.** Электромагнитное излучение, разделенное каким-либо способом так, что по каждому направлению распространяется монохроматическая волна, имеющая определенную длину волны (частоту).

**СПЕКТР ПОГЛОЩЕНИЯ.** Совокупность линий поглощения (темных линий на фоне непрерывного спектра).

**СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СВЕТИМОСТИ,  $\zeta_{\lambda}$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания распределения лучеиспускающей способности тела по спектру и равная отношению энергетической светимости  $\Delta R$  излучения элемента спектра к ширине  $\Delta \lambda$  этого

$$\text{элемента: } \zeta_{\lambda} = \frac{\Delta R}{\Delta \lambda}$$

**СПЕКТРАЛЬНЫЕ ЛИНИИ.** Узкие, почти монохроматические участки в спектрах (оптических).

**СПЕКТРАЛЬНЫЕ СЕРИИ.** Упорядоченные совокупности спектральных линий, возникающие при переходах атома между некоторым фиксированным для данной спектральной серии уровнем и всеми более высокими уровнями энергии.

**СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ.** Физический метод качественного и количественного анализа химического состава веществ, основанный на изучении их спектров (оптических). Спектральный анализ отличается высокой чувствительностью и находит применение в химии, астрофизике, металлургии и т. д.

**СПЕКТРОГРАФ** [от спектр и ...граф]. Спектральный прибор для получения и одновременной регистрации всего спектра излучения, развернутого в фокальной плоскости оптической системы прибора.

**СПЕКТРОМЕТР** [от спектр и ...метр]. Спектральный прибор для получения спектров с помощью фотоэлектрических приемников излучения.

**СПЕКТРОСКОП** [от спектр и ...скоп]. Спектральный прибор для получения и визуального наблюдения спектров излучения.

**СПИДОМЕТР** [от англ. speed — скорость и греч. metro — измерять]. Прибор, предназначенный для измерения модуля скорости движения.

**СПИН.** Собственный момент импульса частицы или системы частиц (например атомного ядра). Спин частицы имеет чисто квантовую природу, он не связан с движением частицы в пространстве и не поддается объяснению с позиций классической физики (см. *Бозоны и Фермионы*).

**СПЛОШНОЙ СПЕКТР.** Спектр электромагнитного излучения, распределение энергии в котором по частотам или длинам волн выражается непрерывной функцией (см. *Линейчатые спектры*).

**СПОНТАННОЕ НАМАГНИЧИВАНИЕ.** Явление, состоящее в том, что в некоторых веществах (называемых ферромагнетиками) существуют области (именуемые доменами), самопроизвольно

(т. е. без внешнего воздействия) намагниченные до насыщения. Явление обусловлено сильным взаимодействием между спиновыми магнитными моментами электронов, приводящим к их параллельной ориентации.

**СРАВНЕНИЕ.** Прием научного мышления, позволяющий обнаружить аналогии, а также различия функций и структуры разных объектов. Служит предпосылкой систематизации и обобщения.

**СРЕДНЕЕ КВАДРАТИЧНОЕ ОТКЛОНЕНИЕ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ.** При многократных измерениях среднее квадратичное отклонение  $s$  используют в качестве экспериментальной оценки дисперсии  $\sigma_x^2$ . Вычисляют на основе отклонений отдельных результатов  $x_i$  измерений от их среднего  $\langle x \rangle$ :

$$s = \sqrt{\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}.$$

**Примечание.** При обработке результатов многократного измерения вычисление среднего квадратичного отклонения, которое служит оценкой дисперсии нормального распределения случайной величины, проводят по ограниченному количеству измерений  $n$  набору результатов  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), что существенно влияет на процедуру усреднения. Как показано в математической статистике, вместо выра-

жения  $\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}$ , дающего среднее арифметическое квадратов отклонений результатов измерений и справедливое при больших значениях  $n$ , должно быть использовано приведенное выше выражение

$\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}$ . Последнее особенно важно при малом количестве измерений. Например, при  $n = 1$  оценивание ширины распределения в принципе невозможно, что отражает форма записи среднего квадратичного отклонения.

**СРЕДНЕЕ КВАДРАТИЧНОЕ ОТКЛОНЕНИЕ СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЯ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ.** Используют для экспериментального оценивания дисперсии распределения измеренного (действительного) значения случайной величины. Характеризует неопределенность результата измерения. Вычисляют из среднего квадратичного отклонения случайной величины  $s$  и полного количества измерений  $n$ :

$$\sigma_{\langle x \rangle}^2 = \frac{s^2}{n} \text{ или } \sigma_{\langle x \rangle} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}.$$

**СРЕДНЯЯ АРИФМЕТИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ МОЛЕКУЛ ГАЗА.** Отношение суммы модулей скоростей всех молекул газа к их числу. Согласно молекулярно-кинетической теории, построенной на основе модели идеального газа, в случае, когда число молекул очень-очень велико, значение средней арифметической

скорости молекул газа можно вычислять по формуле:  $v = \sqrt{\frac{8RT}{\mu}}$ , где  $R$  — универсальная газовая постоянная,  $T$  — абсолютная температура, а  $\mu$  — молярная масса газа (ср. *Средняя квадратичная скорость молекул газа*).

**СРЕДНЯЯ КВАДРАТИЧНАЯ СКОРОСТЬ МОЛЕКУЛ ГАЗА.** Корень квадратный из отношения суммы квадратов скоростей всех молекул газа к их числу. Согласно молекулярно-кинетической теории, построенной на основе модели идеального газа, в случае, когда число молекул очень-очень велико, значение средней квадратичной скорости молекул газа можно вычислить по формуле:

$v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$ , где  $R$  — универсальная газовая постоянная,  $T$  — абсолютная температура,  $\mu$  — молярная масса газа (ср. *Средняя арифметическая скорость молекул газа*).

**СРЕДСТВО ИЗМЕРЕНИЙ.** Техническое средство, предназначенное для измерений и обеспечивающее в течение определенного интервала времени оговоренную точность измерений.

**СТАТИКА.** Раздел механики, изучающий и описывающий условия равновесия материальных тел при наличии взаимодействия с другими телами.

**СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА.** Фундаментальная теория (а также раздел теоретической физики), задачей которой является объяснение и предсказание свойств макроскопических систем (тел), состоящих из огромного множества частиц (молекул, атомов, электронов, фотонов и т. д.) на основе анализа присущих таким системам статистических закономерностей совокупного поведения частиц. Тепловые свойства таких систем изучает и *термодинамика*, основанная на использовании фундаментальных принципов (первый и второй законы, млн начала, термодинамики) и эмпирических законов, связывающих термодинамические величины (давление  $p$ , объем  $V$ , температуру  $T$ , внутреннюю энергию  $U$ ,

энтронпию  $S$  и др.). Однако объяснить связи величини, а тем более предсказать свойства макросистем без привлечения эмпирических данных термодинамика не может.

В отличие от нее статистическая физика рассматривает структуру систем и движение составляющих ее частиц с использованием законов движения отдельных частиц (классических или квантовомеханических, моделей строения системы и взаимодействия частиц, а также методов математической теории вероятностей для описания совместного поведения множества частиц, в котором проявляются статистические закономерности. Все это в комплексе составляет статистический метод исследования макросистем. Познание статистических закономерностей позволило избежать решения заведомо невыполнимой задачи микроскопического описания движения всех частиц системы. Достаточно найти распределения вероятностей различных значений координат, импульсов, энергий частиц, после чего найти средние значения этих величин, а с их помощью удастся определить величины, характеризующие макросостояние системы.

В соответствии с тем, какими законами может быть описано движение частиц системы — классической или квантовой механики, в статистической физике выделяют два раздела: *классическую статистическую физику (классическую статистику)* и *квантовую статистическую физику (квантовую статистику)*.

Статистическая физика позволила обосновать газовые законы, законы явлений переноса в различных телах (теплопроводности, диффузии, электропроводности), теорию теплового излучения, теплоемкости газов и твердых тел, объяснить необычные свойства квантовых макросистем (сверхпроводимость, сверхтекучесть) и т. д.

*Примечание.* Детальнее см. *Классическая статистическая физика; Распределение Максвелла—Больцмана частиц по значениям их полной энергии; Квантовая статистическая физика; Распределение фермионов по квантовым состояниям (распределение Ферми—Дирака); Распределение бозонов по квантовым состояниям (распределение Бозе—Эйнштейна); Каноническое распределение Гиббса.*

**СТАТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ** (режим постоянного тока). Строго говоря, ни электрическое напряжение, ни сила тока не могут быть полностью постоянными по двум причинам. Во-первых, электрическая цепь в зависимости от потребностей человека то разомкнута, то замкнута (простейший пример — карманный фонарик). Во-вторых, условия работы источника электропитания и других элементов электрической цепи все время изменяются. Изменяется

температура, давление, влажность воздуха, сами элементы цепи старятся и т. д. Все это сказывается на значениях напряжения и тока. Тем не менее во многих случаях считать ток постоянным вполне допустимо по следующим соображениям. После замыкания цепи переходный процесс, когда напряжения и токи изменяются, оканчивается сравнительно быстро. Изменения же условий происходят медленно, а порой и незначительно. Поэтому предположение о постоянстве напряжений и токов часто не приводит к существенным ошибкам.

Анализ электрических цепей при постоянном токе значительно проще, чем при переменном, так как не надо учитывать накопители — конденсаторы и индуктивные катушки, — их просто исключают из рассмотрения. Вместе с тем результаты, полученные при исследовании статического режима, допустимо в ряде случаев распространять на переменный ток до некоторого значения частоты, которое в каждом случае может быть оценено.

**СТАТОР.** неподвижная часть электрической машины (генератора, двигателя) и турбины.

**СТЕПЕНИ СВОБОДЫ В МЕХАНИКЕ.** Независимые движения, возможные для данной системы. Например, свободный атом имеет три степени свободы, он может независимо двигаться вдоль любой из трех взаимно перпендикулярных осей координат. Свободное твердое тело имеет шесть степеней свободы. Из них три соответствуют поступательному движению, а остальные три — вращательному движению. Наложение на систему механических связей уменьшает число степеней свободы.

**СТЕПЕНЬ ДИССОЦИАЦИИ.** Безразмерная физическая величина, введенная для количественного оценивания числа молекул, распавшихся на более простые частицы (атомы, ионы), и равная отношению числа распавшихся молекул к общему числу молекул вещества.

**СТЕПЕНЬ ИОНИЗАЦИИ.** Безразмерная физическая величина, введенная для количественного оценивания превращения нейтральных частиц (атомов, молекул) в ионы и электроны и равная отношению числа ионов к общему числу частиц.

**СТЕПЕНЬ ПОЛЯРИЗАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ,  $P$ .** Безразмерная физическая величина, введенная для количественного оценивания поляризации излучения и равная отношению интенсивности



поляризованной составляющей  $I_{\Pi}$  излучения к его полной интенсивности  $I_0$ :  $P = \frac{I_{\Pi}}{I_0}$ .

**СТЕРАДИАН.** Единица телесного (пространственного) угла, одна из двух дополнительных единиц СИ. 1 стерадиан — телесный угол с вершиной в центре сферы, вырезанный на поверхности сферы площадью, равную площади квадрата со стороной, длина которой равна радиусу этой сферы. Обозначение — ср.

**СТРУКТУРНЫЙ ЗАКОН.** Закон, отражающий свойства структуры системы, и не зависящий от специфических особенностей элементов (компонентов, подсистем), ее составляющих (см. *Системный подход*).

**СУБЛИМАЦИЯ** [от лат. *sublimare* — возношу].-См. *Возгонка*.

**СФЕРИЧЕСКАЯ АБЕРРАЦИЯ ЛИНЗЫ** [от лат. *aberratio* — отклонение]. Явление, состоящее в искажении изображения, получаемого с помощью линзы, и обусловленное тем, что пучок световых лучей, падающих на линзу параллельно главной оптической оси, не пересекаются в одной точке: лучи, идущие близко к оптической оси пересекаются в точке, лежащей ближе к линзе, чем лучи, прошедшие через отдаленные от оси части линзы.

**СФЕРИЧЕСКАЯ ВОЛНА.** Волна, волновые поверхности которой имеют вид концентрических сфер (ср. *Плоская волна*).

**СФЕРИЧЕСКОЕ ЗЕРКАЛО.** Зеркало, поверхность которого представляет собой часть сферы.

**СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ.** Математическая модель электрической цепи, выраженная в графической форме.

Первым шагом любого теоретического исследования является формирование мысленной модели объекта (см. *Модели в науке*). В науках, именуемых точными, это, как правило, *математическая модель*. Ее обычно представляют в форме уравнений. Однако весьма полезна благодаря своей наглядности графическая форма — расчетные схемы (называемые в теории электрических цепей схемами замещения).

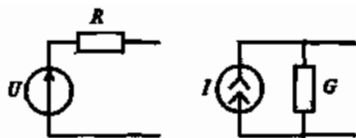


Рис. С.4. Пример эквивалентных друг другу схем замещения

Структура схемы замещения совпадает со структурой электрической цепи. Но элементы ее — абстрактные (идеальные) — мысленные модели реальных элементов. Благодаря более чем вековому опыту применения электрических цепей выработаны мысленные модели, позволяющие в большинстве случаев получать удовлетворительные по точности результаты вычислений. Так, например, элементами электрической цепи являются резистор, конденсатор и индуктивная катушка. Их поведение приблизительно описывается формулами  $u = Ri$ ,  $q = Ci$ ,  $\Psi = Li$  ( $\Psi$  — потокосцепление). В схеме замещения им соответствуют резистивный элемент, емкостный элемент и индуктивный элемент, которые определяют как идеальные двухполюсники, чье поведение описывается приведенными формулами точно.

Примечание: Часто в литературе схемы замещения называют «эквивалентными схемами». Это неудачно, так как «эквивалентный» означает «равносильный». Но мысленная модель не равносильна замещаемому ею объекту. Эквивалентными (друг другу) целесообразно называть схемы замещения, имеющие разный компонентный состав и конфигурантно, но одинаковое поведение. Например, схемы, показанные на рис. С.4, эквивалентны друг другу при условии, что  $G = 1/R$  и  $U = RI$  (см. *Источник тока*).

# Т

**ТАНГЕНЦИАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ** [от лат. *tangens* — касающийся; касательное ускорение],  $a_t$ . Составляющая ускорения тела, направленная по касательной к траектории его движения и равная отношению изменения значения скорости тела  $\Delta v$  к интервалу времени  $\Delta t$ , за которое произошло это изменение:

$$a_t = \Delta v / \Delta t.$$

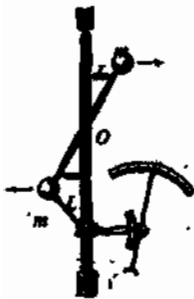


Рис. Т.1. Схема устройства тахометра

**ТАХОМЕТР** [от греч. *tachys* — быстрый, скорый и *metreo* — измеряю]. Прибор для измерения угловой скорости или частоты вращения твердого тела. Устройство одного из простейших тахометров изображено на рис. Т.1. Угол, на который отклоняется стержень, укрепленный на валу, пропорционален угловой скорости его вращения.

**ТВЕРДОЕ ТЕЛО.** Одно из агрегатных состояний характеризующееся стабильностью формы. В зависимости от взаимного расположения атомов различают аморфные тела и кристаллы.

**ТЕЛЕ...** [от греч. *tele* — вдале, далеко]. Первая часть сложных слов: а) обозначающая действующий на дальнее расстояние или осуществляемый на расстоянии (например телефон, телевидение); б) соответствующая по значению слову "телевизионный", например, телесантени, телестеатр.

**ТЕЛЕСКОП** [от греч. *tele* — далеко и ...скоп]. Прибор для наблюдения удаленных объектов (в основном небесных тел). По устройству и принципу действия различают рефракторы (линзовые), рефлекторы (зеркальные) (рис. Т.2) и комбинированные зеркально-линзовые телескопы.

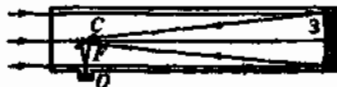


Рис. Т.2. Оптическая схема рефлектора

**ТЕЛЕСНЫЙ УГОЛ.** Термин используют в двух значениях.

1. Трехмерная пространственная фигура, образованная вращением плоского угла вокруг его оси симметрии (биссектрисы), т. е. геометрическая фигура, ограниченная конической поверхностью. Частными случаями телесного угла служат трехгранные и многогранные углы. 2. Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания размеров трехмерных (телесных) углов и равная отношению площади  $S$  фигуры, которую вырезает коническая поверхность на сфере радиуса  $R$  с центром в вершине конической поверхности, к квадрату радиуса  $R^2$  этой сферы:  $\Omega = S/R^2$ .

За единицу телесного угла в системе СИ принят *стерадиан*.

**ТЕЛЕФОН** [от греч. tele — далеко и ...фон]. Термин используют в двух значениях. 1. Электроакустический прибор для преобразования электрических колебаний в звуковые. Изобретен в 1876 г. Александром Грэхемом Беллом. По принципу преобразования различают электромагнитные, электродинамические и пьезоэлектрические телефоны. Телефон используют в телефонных аппаратах, телефонных коммутаторах, различных радиотехнических устройствах. В телефонной трубке телефон расположен в той ее части, которую прикладывают к уху. 2. То же, что телефонный аппарат.

**ТЕЛО.** Отдельный предмет в пространстве или некоторое количество вещества, ограниченное замкнутой поверхностью. Различают твердые, жидкие и газообразные тела (см. также *Твердое тело; Жидкость; Газ*).

**ТЕЛО ОТСЧЕТА.** Тело, условно принимаемое за неподвижное, относительно которого определяется положение другого тела.

**ТЕМПЕРАТУРА** [от лат. temperatio — состояние]. Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания степеней нагретости тел и измеряемая термометром. (См. также *Термодинамическая температура*.)

**ТЕМПЕРАТУРА КИПЕНИЯ,  $T_{\text{кип}}$**  Температура перехода вещества из жидкого состояния в газообразное, происходящего при постоянном давлении.

**ТЕМПЕРАТУРА КЮРИ.** Термин используют в трех значениях. 1. Общее название температуры фазового перехода второго рода. 2. Температура, выше которой ферромагнетики теряют свои ферромагнитные свойства и превращаются в парамагнетики. 3. Тем-

пература, выше которой сегнетоэлектрики теряют свои сегнетоэлектрические свойства и превращаются в диэлектрики с полярными молекулами.

**ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ,  $T_{пл}$ .** Температура перехода вещества из твердого состояния в жидкое, происходящего при постоянном давлении.

**ТЕМПЕРАТУРНАЯ ШКАЛА.** Шкала термометра, в которой каждое деление соответствует определенной температуре. Для получения такой шкалы (следовательно, для измерения температуры) используют зависящее от температуры и хорошо изученное свойство какого-либо эталонного тела. Кроме того, выбирают два состояния эталонного тела, для которых задают определенные значения температуры (реперные температуры). Например, по шкале Цельсия температуры плавления льда и кипения воды при нормальных условиях принимают равными  $0^\circ$  и  $100^\circ$  соответственно. По шкале Кельвина эти же температуры оказываются равны  $273,15^\circ$  и  $373,15^\circ$ . В качестве реперных температур выбирают также тройные точки воды или других веществ (см. также *Шкала Кельвина; Шкала Реомюра; Шкала Фаренгейта; Шкала Цельсия*).

**ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА,  $\alpha_p$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности газа изменить давление при нагревании при постоянном объеме и равная отношению относительного давления газа  $\Delta p/p_0$  к изменению его абсолютной температуры  $\Delta T$ :

$$\alpha_p = \Delta p/p_0 \Delta T.$$

**ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ,  $\alpha_R$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности тела изменять свое электрическое сопротивление при нагревании и равная отношению относительного изменения электрического сопротивления этого тела  $\Delta R/R_0$  к изменению его абсолютной температуры  $\Delta T$ :

$$\alpha_R = \Delta R/R_0 \Delta T.$$

**ТЕОРЕМА** (от греч. *theorema* — представление, зрелище). Математическое предложение, истинность которого устанавливают или опровергают при помощи доказательства. Термин математический, в физике используют довольно редко (например, *Теорема Карно*).

**ТЕОРЕМА КАРНО.** Коэффициент полезного действия  $\eta$  всех обратимых машин, работающих по *по циклу Карно*, одинаков (максимален) и не зависит от природы рабочего тела, а определяется только температурами  $T_1$  и  $T_2$  нагревателя и холодильника:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Теорему можно доказать от противного.

**Примечание.** Цикл работы реальных тепловых машин отличается от цикла Карно и их коэффициент полезного действия меньше вычисленного по приведенной формуле.

**ТЕОРЕМА КАРНО (ВТОРАЯ).** Коэффициент полезного действия  $\eta_n$  всех необратимых тепловых машин не больше коэффициента полезного действия  $\eta_0$  обратимых машин, работающих при тех же условиях:  $\eta_n < \eta_0$ .

Теорема доказывается методом от противного.

**ТЕОРЕМА О ЦИРКУЛЯЦИИ ВЕКТОРА НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ.** Циркуляция вектора напряженности  $\mathbf{H}$  магнитного поля по любому замкнутому контуру равна алгебраической сумме токов  $\sum I_k$ , пронизывающих этот контур.

$$\oint_L \mathbf{H} \, d\mathbf{l} = \sum I_k.$$

Это уравнение представляет собой одно из *уравнений Максвелла* для стационарных полей в интегральной форме.

**ТЕОРЕМА О ЦИРКУЛЯЦИИ ВЕКТОРА НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ.** Циркуляция вектора напряженности  $\mathbf{E}$  электростатического поля по любому замкнутому контуру  $l$  равна нулю:

$$\oint_L \mathbf{E} \, d\mathbf{l} = 0.$$

Это уравнение представляет собой одно из *уравнений Максвелла* для стационарных полей в интегральной форме.

**ТЕОРЕМА ОБ ИЗМЕНЕНИИ ИМПУЛЬСА СИСТЕМЫ.** Изменение импульса системы равно импульсу равнодействующей всех внешних сил, действующих на систему:

$$\sum m_k \mathbf{v} - \sum m_k \mathbf{v}_{k0} = \int \mathbf{R} \, dt,$$

где  $\mathbf{R} = \sum \mathbf{F}_i$  — равнодействующая всех внешних сил, действующих на систему;  $t$  — время действия внешних сил;  $\sum m_k \mathbf{v}_{k0}$  —

импульс системы в начальный момент времени;  $\sum m_k v_k$  — импульс системы по окончании действия внешних сил.

Из теоремы об изменении импульса системы вытекает очень важное следствие — закон сохранения импульса изолированной (замкнутой) системы.

**ТЕОРЕМА ОБ ИЗМЕНЕНИИ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ СИСТЕМЫ.** Изменение кинетической энергии системы равно суммарной работе, совершенной над системой внешними и внутренними силами:  $E - E_0 = A_{\text{внеш}} + A_{\text{внут}}$ . Здесь  $E_0$  и  $E$  — кинетическая энергия системы в начальный и конечный моменты времени;  $A_{\text{внеш}}$  и  $A_{\text{внут}}$  — работа внешних и внутренних сил.

Из этой теоремы вытекает важное следствие — закон сохранения механической энергии замкнутой системы.

**ТЕОРЕМА ОБ ИЗМЕНЕНИИ МОМЕНТА ИМПУЛЬСА СИСТЕМЫ.** Производная по времени от момента импульса механической системы относительно неподвижной точки равна сумме моментов внешних сил, действующих на тела, составляющие эту систему:  $dL/dt = \sum [r_k F_k]$ , где  $L = \sum L_k$  — момент импульса системы;  $\sum [r_k F_k]$  — сумма моментов внешних сил, действующих на тела, составляющие систему.

Из теоремы об изменении момента импульса системы вытекает очень важное следствие — закон сохранения момента импульса замкнутой системы.

**ТЕОРЕМА ОСТРОГРАДСКОГО—ГАУССА ДЛЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ.** Поток вектора магнитной индукции  $B$  сквозь любую замкнутую поверхность  $S$  равен нулю:

$$\oint_S B dS = 0.$$

Это уравнение представляет собой одно из четырех уравнений Максвелла в интегральной форме.

**ТЕОРЕМА ОСТРОГРАДСКОГО—ГАУССА ДЛЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ.** Поток вектора электрического смещения  $D$  электростатического поля сквозь любую замкнутую поверхность  $S$  равен алгебраической сумме свободных зарядов  $q$ , охватываемых этой поверхностью:

$$\oint_S D dS = \sum q.$$

Это уравнение представляет собой одно из четырех уравнений Максвелла в интегральной форме.

**ТЕОРЕМА ШТЕЙНЕРА.** Момент инерции  $I_a$  тела относительно произвольной оси  $a$  равен сумме момента инерции  $I_c$  тела относительно параллельной ей оси  $a_c$ , проходящей через центр масс  $C$  тела, и произведения массы  $m$  тела на квадрата расстояния  $d$  между этими осями:

$$I_a = I_c + md^2.$$

**ТЕОРИЯ.** Термин используют в двух значениях — широком и узком. 1. Одна из форм познания (широкое значение) (см. *Эмпирия и теория*). 2. Наиболее развитая форма научного знания о некоторой области действительности — объекте данной теории (например, теория электричества, специальная теория относительности) (узкое значение).

**ТЕПЛОВАЯ МАШИНА** (тепловой двигатель). Машина, предназначенная для преобразования теплового (молекулярного) движения в механическое.

Преобразование друг в друга разных форм движения материи различается степенью полноты. Например, механическое и электрическое движения могут превращаться в обоих направлениях почти стопроцентно. Они же стопроцентно превращаются в тепловое движение. Однако обратное превращение теплового движения в механическое или электрическое отличается сравнительно невысокими *коэффициентами полезного действия*. Тепло, отбираемое *рабочим телом* тепловой машины от *нагревателя*, должно быть обязательно частично отдано *холодильнику*, температура которого ниже температуры нагревателя. В механическое движение преобразуется лишь оставшая часть тепла. Теоретический (практически недостижимый) коэффициент полезного действия  $\eta$  тепловой машины выражается формулой

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где  $T_1$  — температура нагревателя;  $T_2$  — температура холодильника.

**ТЕПЛОВОЕ ДВИЖЕНИЕ.** Беспорядочное движение микро-частиц, из которых состоит все тела; одно из основных понятий *молекулярно-кинетической теории*.

**ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.** Явление, состоящее в излучении телами электромагнитных волн и обусловленное преобразованием



теплового движения частиц, оставляющих эти тела, в электромагнитное излучение.

**ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ.** Явление, состоящее в увеличении объема тела при его нагревании и обусловленное увеличением расстояний между атомами или молекулами, составляющими тело.

**ТЕПЛОВОЙ ДВИГАТЕЛЬ.** То же самое, что *тепловая машина*.

**ТЕПЛОВОЙ НАСОС.** Тепловая машина, предназначенная для перекачивания тепла от холодного тела к теплому. Непосредственно, без затрат энергии (движения) такой процесс невозможен, что отражено во втором начале термодинамики.

Тепловым насосом является холодильная установка в каждом холодильнике. Вместе с тем, тепловой насос может быть использован для обогрева помещения, если испаритель холодильной установки расположить вне дома, а радиатор — внутри. В этом случае количество тепла, поступающее в помещение, превышает то количество тепла, которое было бы получено от электронагревателя при одинаковом расходе электроэнергии, т. е. КПД теплового насоса превышает 100%. Его теоретическое (практически не достижимое) значение выражается формулой:

$$\eta = \frac{T_B}{T_B - T_H},$$

где  $T_B$  — высокая температура,  $T_H$  — низкая (в градусах Кельвина).

**Примечание.** Известны случаи, когда стойкоулавившие практически с тепловым насосом, но не зная его свойства, люди были поражены — предполагая, что опровергнут закон сохранения энергии либо что обнаружена холодная термоядерная реакция.

**ТЕПЛОЕМКОСТЬ, С.** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания тепловых свойств тел и равная отношению количества теплоты  $\Delta Q$ , полученного телом, к произошедшему при этом изменению температуры  $\Delta T$ :  $C = \Delta Q / \Delta T$ . Единица измерения в СИ — Дж/К. Прибор для измерения теплоемкости называют *калориметром*. (См. также *Удельная теплоемкость*.)

**ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ.** Движущаяся среда (*жидкость* или *газ*), через которую осуществляется *теплообмен*.

**ТЕПЛООБМЕН.** Общее название явлений, состоящих в нагревании или охлаждении тел при их взаимодействии с другими телами и обусловленных их атомно-молекулярным строением.

В зависимости от условий протекания различают: теплоотдачу — теплообмен между поверхностью твердого тела и соприкасающейся с ней средой (*теплоносителем* — жидкостью или газом), и теплопередачу — теплообмен между двумя теплоносителями через границу раздела между ними или через разделяющую их твердую стенку. В зависимости от механизма протекания различают: теплопроводность — теплообмен, обусловленный взаимодействием составляющих тело частиц (атомов, молекул, электронов); конвекцию (конвективный теплообмен) — теплообмен, обусловленный упорядоченным тепловым движением атомов или молекул этих тел, и тепловое излучение (лучистый теплообмен) — теплообмен, обусловленный испусканием или поглощением электромагнитного излучения атомами или молекулами тел.

**ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ГАЗА.** Явление, состоящее в направленном переносе тепла в газе при наличии в нем перепада (градиента) температуры и обусловленное нарушением подной хаотичности теплового движения его молекул.

**ТЕПЛОТА.** Термин используют в двух значениях. 1. То же, что *тепловое движение*. 2. В тех случаях, где это не вызывает недоразумений, то же, что *Количество теплоты*, например *Теплота плавления*.

**ТЕПЛОТА КОНДЕНСАЦИИ, г.** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания свойства вещества переходить из парообразного состояния в жидкое и равная количеству теплоты, выделенному при его переходе из парообразного состояния в жидкое при температуре кипения.

**ТЕПЛОТА ОТВЕРДЕВАНИЯ (кристаллизации), Л.** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания свойства тела (вещества) переходить из жидкого состояния в твердое и равная количеству теплоты, выделенному при его переходе из жидкого состояния в твердое при температуре отвердевания (*температуре плавления*).

**ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ, г.** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания свойства вещества переходить из жидкого состояния в парообразное и равная количеству теплоты, необходимому для его перевода из жидкого состояния в парообразное при температуре кипения.

**ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ, *L***. Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания свойства тела (вещества) переходить из твердого состояния в жидкое и равная количеству теплоты, необходимому для его перехода из твердого состояния в жидкое при температуре плавления.

**ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ, *q***. Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания теплотворной способности горючего вещества и равная количеству теплоты, выделенному при полном его сгорании.

**ТЕРА...**, Т [от греч. τέρας — чудовище]. Приставка к наименованию единицы физической величины для образования наименования кратной единицы, равной  $10^{12}$  исходных единиц. Например, 1 ТН (тераньютон) =  $10^{12}$  Н.

**ТЕРМИН.** См. *Понятие и термин*.

**ТЕРМИНЫ, ОРИЕНТИРУЮЩИЕ НЕПРАВИЛЬНО.** Главное требование терминоведения состоит в том, что термины должны способствовать осмыслению понятий. В связи с этим термины делят на правильно ориентирующие, нейтральные и ложно ориентирующие. К числу первых принадлежат, например, *паровоз, самолет, четырехугольник*, вторых — *рычаг первого рода*, третьих — *потокосцепление, ток смещения*. Подавляющее большинство неправильно ориентирующих терминов сложилось давно, и заменить их правильно ориентирующими очень трудно (стереотипы вообще чрезвычайно живучи). Поэтому необходимо научиться их распознавать, анализируя смысл обозначаемых ими предметов мысли.

**ТЕРМИЧЕСКАЯ ИОНИЗАЦИЯ** [от *термо...* и *ионизация*]. Образование катионов, анионов и электронов из атомов или молекул газа при его нагревании.

**ТЕРМО...** [от греч. θερμη — теплота]. В сложных словах указывает на их отношение к тепловым явлениям.

**ТЕРМОДИНАМИКА** [от *термо...* и *динамика*]. Теория тепловых явлений, в которой тела рассматривают без учета их атомно-молекулярного строения.

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРА (температура).

Одна из семи основных физических величин в системе физических величин *МТТЭЖН*, служащей основой для построения международной системы единиц СИ. Температура — скаляр. Введена для количественного оценивания степени нагретости тела. Измеряется термометрами. При изготовлении рабочих термометров обеспечивают надлежащую точность путем передачи им единицы температуры от образцовых термометров, получивших ее, в конечном счете, от эталона температуры. Условное обозначение температуры и ее размерности —  $\Theta$ . Единица температуры — Кельвин (К).

Примечание. Кроме температуры Кельвина допускается применять температуру Цельсия. Температура Цельсия определяется выражением  $T_{\text{д}} = T_{\text{к}} - T_0$ , где  $T_{\text{к}}$  — температура Кельвина,  $T_0 = 273,15$  К. Единица температуры Цельсия — градус Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ).  $1^{\circ}\text{C} = 1$  К.

**ТЕРМОМЕТР** [от *термо...* и *...метр*]. Прибор для измерения температуры. В зависимости от устройства и принципа действия различают *газовые термометры, жидкостные термометры, термометры сопротивления, пирометры* и др.

**ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ.** *Термометр*, принцип действия которого основан на зависимости электрического сопротивления тел от температуры.

**ТЕРМОСТАТ** [от *термо...* и *статика*]. Прибор для осуществления *изотермических процессов*. Первый термостат, построенный в 1770 г. французскими учеными Лавуазье и Лапласом, представлял собой два соосных металлических стакана, вставленных один в другой, пространство между которыми было заполнено льдом. Постоянство температуры процессов, осуществляемых во внутреннем стакане, обеспечивается постоянством температуры плавления льда.

**ТЕРМОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ** [от *термо...*, *электрон* и *эмиссия*]. *Эмиссия электронов* поверхностью тела при его нагревании.

**ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ** [от *термо, атомное ядро* и *синтез*]. Явление, состоящее в слиянии легких атомных ядер в более тяжелые, происходящее при сверхвысоких температурах и обусловленное преодолением электростатического отталкивания между ними отчасти за счет высоких скоростей взаимодействующих ядер, а отчасти — за счет *туннелирования*.

**ТЕСЛА**, Тл. *Единица магнитной индукции в СИ*. Названа в честь сербского ученого Николы Теслы. 1 тесла — магнитная индукция, при которой *магнитный поток* однородного магнитного поля сквозь поперечное сечение  $1 \text{ м}^2$  равен  $1 \text{ Вб}$  (вебер).

**ТИРАНИЯ ФОРМЫ**. Чаще всего человек выражает свои мысли в словесной форме — в устной или письменной речи. Наряду с естественным люди используют искусственные языки — язык математических выкладок, графиков, таблиц, схем, чертежей и т. п. Все языки (и естественный, и искусственные) имеют общее название — *знаковые системы*. Каждой знаковой системе свойственны определенные правила, в которых говорится о *форме построения предложений, записи формул, выполнения схем и т. п.* В естественном языке они сложились стихийно, для искусственных — специально разработаны. Слушатель или читатель способен понимать сказанное или написанное только потому, что и он, и автор сообщения знают и одинаково понимают правила. Это означает, что *форма содержит содержание*.

Неполная осмысленность значений слов часто приводит к неправильному пониманию, в частности из-за того, что форма «навязывает» ложное содержание. Очень распространено следующее заблуждение. Говоря о переменных в формуле  $y = f(x)$ , математики называют  $x$  аргументом, *независимой переменной*, а  $y$  — функцией, *зависимой переменной*. Данные термины — внутриматематические. Однако об этом никто не предупреждает, в силу чего у учащихся складывается впечатление, будто всегда переменной, стоящей справа от знака равенства, отображают причину, а стоящей слева — следствие. Аналогично при графическом представлении функции переменная, откладываемая по оси абсцисс, воспринимается как отображающая причину, а откладываемая по оси ординат — следствие. В обоих случаях с уверенностью можно сказать только, что переменные взаимосвязаны. Принадлежность же переменной к классу отображающих причину или отображающих следствие из формы представления не вытекает.

Разновидностью тирании формы является *мысли слов*. Очень часто она обнаруживается в предложениях с именами физических величин. Например, когда говорят, что энергия существует, *содержится, освобождается, превращается, передается и т. п.*, создается впечатление, будто энергия — имя не физической величины, а объективной реальности, подобной веществу. Аналогично предложение «На первичную обмотку трансформатора подали напряжение 220 В» заставляет думать, будто напряжение тоже

какой-то вид реальности. Прямо-таки мистически звучит утверждение "Сила совершает работу": ведь и сила, и работа определены как физические величины.

Другой пример магии слов связан с "круглыми числами". Как правило, люди придают им ничем не оправданное значение. Абсурдность этого легче всего понять, представив себе, что в результате антропогенеза у людей оказалось бы на руках не десять, а восемь пальцев. В этом случае мы пользовались бы не десятичной, а восьмеричной системой счисления, и обозначением восьми служила бы запись 10, а обозначением шестидесяти четырех — 100.

**ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ.** Ток источника электропитания при напряжении между его выводами, равном нулю (см. также *Источник тока*).

**ТОК СМЕЩЕНИЯ.** Понятие, введенное Максвеллом при создании теории электромагнитного поля (см. *Уравнения Максвелла в интегральной форме*).

Термин *ток смещения* — неправильно ориентирующий. Он противоречит определению электрического тока как упорядоченного движения электрически заряженных частиц. Появился этот термин, по-видимому, как продукт ложной мысли, будто магнитное поле является следствием электрического тока. Уяснить смысл понятия "ток смещения" проще всего, рассмотрев процесс зарядки конденсатора с воздушным диэлектриком. В присоединенных к нему проводах течет ток, и вокруг них есть магнитное поле. Между обкладками конденсатора тока нет, но изменяется электрическое поле, и вокруг него тоже существует магнитное поле, такое же, как вокруг проводов. Поэтому изменяющееся электрическое поле и получили иносказательное наименование *ток смещения*.

**ТОКАМАК** [сокр. от тороидальная камера с магнитными катушками]. Лабораторная установка для экспериментального изучения *термоядерного синтеза*.

**ТОКИ ФУКО.** То же, что *Вихревые токи*.

**ТОНКАЯ ЛИНЗА.** Линза, толщина которой пренебрежимо мала по сравнению с радиусами кривизны ее поверхностей и расстоянием предмета от линзы. В школьном курсе физики преимущественно рассматривают тонкие линзы.

**ТОННА,** т. Внесистемная единица массы, равная  $10^3$  кг.

**ТОЧЕЧНЫЙ ЗАРЯД.** *Мысленная модель* заряженного тела, введенная для решения задач о его движении и взаимодействии с другими заряженными телами и построенная так, что учитывают только его электрическое поле и инертность, а всеми остальными свойствами пренебрегают.

**ТОЧЕЧНЫЙ ИСТОЧНИК СВЕТА.** *Мысленная модель* источника света, введенная для решения задач о распространении света и построенная так, что размеры его пренебрежимо малы, а излучает он равномерно во все стороны.

**ТОЧКА КИПЕНИЯ.** То же, что *Температура кипения*.

**ТОЧКА КЮРИ.** То же, что *Температура Кюри*.

**ТОЧКА ПЛАВЛЕНИЯ.** То же, что *Температура плавления*.

**ТОЧКА РОСЫ.** Температура, при которой водяные пары, не насыщавшие воздух при более высокой температуре, становятся насыщенными.

**ТРАЕКТОРИЯ** [от лат. *trajectus* — передвижению]. *Истинская модель* движения *твердого тела*, представляющая собой множество точек, изображающих положение *центра инерции* движущегося тела в разные моменты времени.

**ТРАНЗИСТОР** (полупроводниковый триод). Полупроводниковый *трехэлектродник*, *вольтамперные характеристики* которого существенно нелинейны. Производят транзисторы двух типов: *биполярные* и *униполярные*.

**ТРАНЗИСТОРНЫЙ ЭФФЕКТ.** Физическое явление, состоящее в том, что будучи использован в качестве управляющего элемента *усилительного каскада*, транзистор обеспечивает такое соединение источника питания с нагрузкой, что энергия воздействия на нагрузку превосходит энергию сигнала, подводимого к входу транзистора, и обусловливает специфическим взаимодействием двух электронно-дырочных переходов, входящих в его состав.

**Примечание.** Часто можно прочитать, будто транзистор “усиливает” или “является усилителем”. Это неверно. Транзистор — *управляющий элемент усилительного каскада*. Его функция сходна с функцией выключателя — управлять отбором энергии источника питания. Усиление без источника питания невозможно.

## ТРАНСФОРМАТОР [от лат. transformare — преобразовывать].

Электротехническое устройство, позволяющее изменять амплитуды переменного напряжения и тока. Наиболее распространены силовые трансформаторы, предназначенные для работы с электричеством, производимым генераторами электростанций. Силовой трансформатор содержит магнитопровод (сердечник) и две или больше обмотки. Магнитопровод изготовлен из специальной листовой стали, называемой трансформаторной. Обмотку, подключаемую к электрической сети, называют первичной, остальные — вторичными. Двухобмоточный трансформатор, у которого число витков вторичной обмотки больше, чем первичной, называют повышающим, при обратной ситуации — понижающим.

Принцип действия трансформатора основан на явлении электромагнитной индукции. Простейшая математическая модель (см. также математическая модель в науке) трансформатора состоит из двух уравнений:

$$\frac{U_1}{w_1} = \frac{U_2}{w_2}, \quad w_1 I_1 = w_2 I_2,$$

где  $w_1$  и  $w_2$  — число витков первичной и вторичной обмоток соответственно;  $U_1$  и  $U_2$  — мгновенные значения напряжений первичной и вторичной обмоток;  $I_1$  и  $I_2$  — мгновенные значения токов первичной и вторичной обмоток.

Силовые трансформаторы применяют в электроснабжающих сетях и во всех приборах, где нужно изменять амплитуду напряжения или тока.

На рис. Т. 3 показан внешний вид малоомощного трансформатора (а), его разрез (б) и условное графическое обозначение (в).

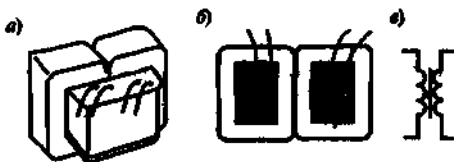


Рис. Т.3. Малоомощный трансформатор: внешний вид (а), вид в разрезе (б), условное графическое обозначение (в)

В усилителях радиоприемников и телевизоров и в другой электронной аппаратуре широко применяют высокочастотные, а также импульсные трансформаторы.



**Примечание.** В учебнике физики для II класса, а также в учебниках электротехники и электрических машин в описании принципа действия трансформатора действительные причинно-следственные отношения искажены. Происходит это из-за того, что ошибочно абсолютизируются направления причинно-следственных связей в двух случаях: быстрота изменения магнитного потока  $\rightarrow$  напряжение (ЭДС самоиндукции) и магнитодвижущая сила  $\rightarrow$  магнитный поток. Условия работы силового трансформатора таковы, что направление этих причинно-следственных связей противоположно. Дело в том, что первичная обмотка трансформатора подключена к электрической сети. Сеть специально проектируют и строят так, чтобы присоединение одноконтурного приемника практически не влияло на амплитуду и частоту напряжения. Поэтому при описании силового трансформатора "естественным аргументом" служит напряжение сети  $u_1$ . От него непосредственно зависит быстрота изменения магнитного потока  $d\Phi/dt = u_1/w_1$ . С последней однозначно связан сам поток  $\Phi$ ; с ним (в соответствии с основной кривой намагничивания) — магнитодвижущая сила  $F_M$ . Последняя равна алгебраической сумме ампервитков обеих обмоток — произведений силы тока и числа витков:

$$F_M = w_1 i_1 - w_2 i_2. \quad (1)$$

По отношению ко вторичному напряжению  $u_2$  определяющей величиной является быстрота изменения магнитного потока:

$$u_2 = w_2 \frac{d\Phi}{dt} = \frac{w_2}{w_1} u_1.$$

Вторичный ток  $i_2$  зависит от напряжения  $u_2$  и сопротивления  $R$  нагрузки:  $i_2 = \frac{u_2}{R}$ .

Поделив обе части равенства (1) на  $w_1$ , получим выражение для первичного тока:  $i_1 = i_{01} + i_2$ , где  $i_{01} = F_M/w_1$  — намагничивающий ток;  $i_2 = (w_1/w_2) \cdot i_2$  — ток вторичной обмотки, "приведенный" к первичной обмотке.

Теперь, в соответствии с вышеназванным, можно начертить структурную схему описания процессов в трансформаторе (рис. Т.4).

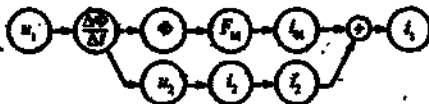


Рис. Т.4. Логическая схема, иллюстрирующая связи переменных, используемых при описании принципа действия трансформатора

**ТРЕК** [от англ. track — след, путь]. След, оставляемый заряженной частицей в веществе, заполняющем рабочий объем *трековых детекторов*. В отличие от *тректов* трек частицы вполне

реален. Например, в камере Вильсона он состоит из жидких капель; в пузырьковой камере — из пузырьков газа, а в ядерной фотоэмульсии — из твердых зерен. Треки заряженных частиц можно наблюдать визуально или фотографировать.

**ТРЕКОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ** [от *трек* и лат. *detector* — обнаруживающий]. Общее название приборов для обнаружения заряженных частиц (а также для изучения явлений, происходящих с их участием) по наблюдению следов (*треков*), оставляемых частицами в рабочем объеме прибора. (См. *Камера Вильсона, Пузырьковая камера, Искровая камера, Ядерные фотоэмульсии.*)

**ТРЕНИЕ** [от фр. *traîne* — длинный, волочащийся сзади подол женского платья; ислейф]. Явление, состоящее в сопротивлении относительному перемещению соприкасающихся твердых тел и обусловленное электромагнитным взаимодействием между частицами этих тел. Различают три вида трения: *трение качения*, возникающее при качении одного тела по поверхности другого; *трение скольжения*, возникающее при поступательном движении одного из тел по поверхности другого; и *трение покоя*, возникающее между взаимно неподвижными телами. Однако это деление несколько условно. Например, при качении твердого тела возникает проскальзывание, приводящее к возникновению трения скольжения. (См. также *Сила трения, Коэффициент трения.*)

**ТРЕТЬЯ КОСМИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ.** Скорость, при превышении которой космический летательный аппарат, запущенный с Земли, может покинуть Солнечную систему. У поверхности Земли третья космическая скорость  $v = 16,67$  км/с (ср. *Первая космическая скорость, Вторая космическая скорость*).

**Примечание.** Иногда можно прочитать, что летательный аппарат, движущийся со скоростью больше третьей космической, "продолевает притяжение Солнца". Это в точности, Солнце, равно как и другие небесные тела, притягивает тела, движущиеся относительно него с любой скоростью. Суть дела состоит в том, что при скорости меньшей, чем третья космическая, орбита тела представляет собой эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце. При скорости, превышающей третью космическую, эллипс "размыкается", превращаясь в гиперболу, и тело удаляется от Солнца безвозвратно.

**ТРЕХПОЛЮСНИК.** Наряду с *двухполюсниками* в электрических цепях используют многополюсники — элементы, у которых

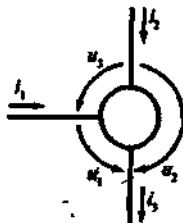


Рис. Т.5. Схематическое обозначение трехполюсника с направлениями отсчета напряжений и токов

число выводов больше двух. Среди них наиболее распространены трехполюсники.

Рассмотрим, как описывают поведение трехполюсника в *стационарном режиме*. На рис. Т.5 показано условное графическое обозначение абстрактного трехполюсника с направлениями отсчета всех напряжений и токов (см. *Правила знаков...*), которые можно изменить. Кажется бы, поведение трехполюсника должно описываться взаимосвязью шести переменных. Однако, воспользовавшись *законами Кирхгофа*, можно исключить один ток и одно напряжение, например, так:

$$i_3 = i_1 + i_2; \quad u_3 = u_2 - u_1.$$

Таким образом, остаются четыре переменных — два напряжения и два тока. Поведение трехполюсника описывают в виде пары зависимостей, например, в такой форме:

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= f_1(i_1, u_2) \\ i_2 &= f_2(i_1, u_2) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Возможны и другие формы записи, в которых в качестве «независимых»<sup>1</sup> использована другая пара переменных. Например,

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= f_1(i_1, i_2) \\ u_2 &= f_2(i_1, i_2) \end{aligned} \right\}.$$

Всего возможно 6 форм записей. Все они эквивалентны (равносильны) друг другу. Выбор той или иной из них определяется только удобством анализа цепи.

Самые распространенные трехполюсники — *транзисторы*. Для них зависимости (1) существенно нелинейны. Поэтому, как правило, их представляют в графической форме. Какой вид имеет взаимосвязь трех переменных? Зависимость, связывающая две переменные  $f(x, y) = 0$  (или,  $y = \varphi(x)$ , что то же самое) — это уравнение плоской кривой. Взаимосвязь же трех переменных

<sup>1</sup> Термины *независимая переменная* и *зависимая переменная* — внутренне-математические. В данном случае все четыре переменные — два напряжения и два тока — полностью равноправны. Любую пару из них можно выбрать за «независимые», тогда другая пара автоматически становится «зависимыми» переменными. «Зависимость» и «независимость» здесь только отражают выбор математической формы записи, а не физический смысл.

$f(x, y, z) = 0$  или  $z = \varphi(x, y)$  графически может быть представлена трехмерной поверхностью. Однако представлять ее в объемном виде нет необходимости, так как давно известен способ представления ее на плоскости (см. *Семейство характеристик*). Вспомним, как изображают горы и океанские впадины на географических картах: чертят так называемые горизонтали — линии равной высоты (в математике — линии уровня). Совершенно аналогично поступают и в данном случае, правда, не строя предварительно трехмерную поверхность, а сразу получая так называемые семейства (множества) характеристик. Делают это так (см. первую из формул (1)). Зафиксировав значение  $u_2$ , экспериментально снимают зависимость  $u_1$  от  $i_1$  и строят ее. Изменяют значение  $u_2$  и снова снимают зависимость  $u_1$  от  $i_1$  и т. д. Аналогично снимают и второе семейство характеристик — несколько раз при постоянных значениях тока  $i_1$ . Типичный для биполярных транзисторов вид обоих семейств характеристик показан в статье *Биполярный транзистор*.

**ТРИБОМЕТР** [от греч. *tribo* — растираю и *metreo* — измеряю]. Прибор для измерения силы трения или коэффициента трения. В простейшем случае представляет собой брусок (при измерении силы и коэффициента трения скольжения) или валик (при измерении силы и коэффициента трения качения), изготовленные из исследуемого материала и соединенные с динамометром. Прикладывая к свободному концу динамометра определенное усилие, заставляют брусок скользить, а валик катиться по поверхности исследуемого тела. Показания динамометра при этом равны измеряемой силе трения, а коэффициент трения может быть рассчитан по закону Кулона—Амонтона.

**ТРИБОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ** (электризация трением). Явление, состоящее в электризации тел при их соприкосновении и обусловленное переходом электронов с поверхности одного из тел на поверхность другого. Строго говоря, трение не является необходимым условием протекания этого явления, а лишь упрощает его наблюдение.

**ТРИОД**. Электронный прибор с тремя выводами — *триодоскопик*. Существуют вакуумные триоды, газоразрядные триоды (триодроны) и полупроводниковые триоды — *транзисторы*.

**ТРИТИЙ**,  $^3\text{H}$ ,  $T$  [от греч. *tritós* — третий]. Радиоактивный изотоп водорода, ядро которого (называемое тритоном) состоит

из одного протона и двух нейтронов. *Зарядовое число* — 1, *массовое число* — 3. Открыт в 1936 г. английским физиком Маркусом Олифантом.

**ТРОЙНАЯ ТОЧКА.** Температура, при которой имеет место устойчивое равновесие твердой, жидкой и газообразной фаз.

**ТРОЙНАЯ ТОЧКА ВОДЫ.** Температура, при которой все три фазы (состояния) воды (лед, вода, водяной пар) находятся в равновесии, основная реперная точка абсолютной термодинамической шкалы температур; равна 273,16 К (0,01 °C).

**ТРУБКА ТОКА.** *Иконическая модель течения жидкости*, представляющая собой геометрическую поверхность, образованную линиями тока, проведенными через мысленно выбранный внутри жидкости замкнутый контур.

**ТУННЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ.** Явление, состоящее в прохождении ("просачивании") микрочастиц сквозь потенциальный барьер и обусловленное волновыми свойствами частиц.

**ТУННЕЛИРОВАНИЕ** [от англ. tunnel — проезд, проход]. В терминах *квантовой теории* — прохождение (или, как иногда говорят, просачивание) микрочастицы через *потенциальный барьер*.

**ТУРБУЛЕНТНОСТЬ** [от лат. turbulentus — беспорядочный]. Явление, состоящее в интенсивном и нерегулярном перемешивании жидкости, сопровождающем ее течение или обтекание ею поверхности твердых тел и обусловленное *вихревым движением* составляющих жидкость частиц. На опыте о нерегулярности перемешивания судят по *флуктуациям* (от лат. fluctuatio — колебание) значенной скорости, температуры, плотности и давления жидкости.

**ТЯГОТЕНИЕ.** Явление, состоящее во взаимном притяжении, существующем между двумя любыми телами, то же самое что *гравитационное взаимодействие* между ними.

**ТЯЖЕЛАЯ ВОДА, D<sub>2</sub>O.** Химическое соединение, молекулы которого состоят из одного атома кислорода и двух атомов *дейтерия*. Одно из первых веществ, использовавшихся для замедления нейтронов.

**ТЯЖЕЛЫЙ ВОДОРОД.** То же, что *Дейтерий*.

# У

**УВЕЛИЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ПРИБОРА.** Отношение линейных (линейное увеличение) или угловых (угловое увеличение) размеров изображения предмета, получаемого с помощью оптической системы, к соответствующим размерам самого предмета.

**УГЛОВАЯ ДИСПЕРСИЯ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ,  $D$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности дифракционной решетки пространственно разделять лучи различных длин волн, равная отношению углового расстояния  $d\alpha$  между спектральными линиями, различающимися по длине волны, к разности длин волн  $d\lambda$  этих лучей:

$$D = \frac{d\alpha}{d\lambda} = \frac{k}{a \cdot \cos \alpha},$$
 где  $k$  — порядковый номер дифракционного максимума,  $a$  — шаг дифракционной решетки (см. также *Дифракционная решетка*).

**УГЛОВАЯ МИНУТА, ...'**. Внесистемная единица плоского угла.  $1' = (1/60)^\circ = 2,91 \cdot 10^{-4}$  рад.

**УГЛОВАЯ СЕКУНДА, ...''**. Внесистемная единица плоского угла.  $1'' = (1/3600)^\circ = 4,85 \cdot 10^{-6}$  рад.

**УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ,  $\omega$ .** Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания быстроты и направления вращения тела вокруг оси и равная отношению вектора углового перемещения  $\Delta\varphi$  тела к промежутку времени  $\Delta t$ , за который произошло это перемещение:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}.$$

Вектор угла поворота  $\Delta\varphi$  направлен вдоль оси вращения. Ориентация его определяется правилом буравчика.

**УГЛОВОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ,  $\Delta\varphi$ .** Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания изменения положения тела при вращательном движении, равная по модулю малому приращению угла поворота радиуса-вектора и направленная

вдоль оси вращения по правилу буравчика; из конца (острия) вектора  $\Delta\varphi$  поворот тела виден происходящим против часовой стрелки.

**УГЛОВОЕ УСКОРЕНИЕ,  $\varepsilon$ .** Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания изменения быстроты вращения тела и равная отношению изменения угловой скорости  $\Delta\omega$  к промежутку времени  $\Delta t$ , за который произошло это изменение угловой скорости:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}.$$

**УГЛОВОЙ КОЭФФИЦИЕНТ,  $\gamma$ .** Отношение приращения зависимой переменной физической величины  $\Delta y$  к приращению независимой переменной физической величины  $\Delta x$ :  $\gamma = \Delta y / \Delta x$ . Не путать с тангенсом угла наклона прямой! В отличие от тангенса угла наклона угловой коэффициент — именованная величина.

При косвенных измерениях, когда связь между измеряемыми величинами в каких-то координатах линейная, измерение искомой величины сводится к определению углового коэффициента. Например, зависимость электрического сопротивления  $R$  собственного полупроводника от абсолютной температуры  $T$  выражается формулой:

$$R = R_0 e^{\varepsilon/2kT}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  — ширина запрещенной зоны,  $k$  — постоянная Больцмана,  $R_0$  — сопротивление при определенной температуре. Прологарифмировав (1), получим выражение:

$$\ln R = \text{const} + \varepsilon/2kT, \quad (2)$$

Из (2) видно, что при постоянном значении ширины запрещенной зоны  $\varepsilon$  зависимость  $\ln R$  от  $1/T$  линейная, и ее угловой коэффициент  $\gamma = \varepsilon/2k$ .

Таким образом, если измерить температурную зависимость электрического сопротивления собственного полупроводника и представить результаты измерений графически в координатах  $\ln R$  и  $1/T$ , то, определив угловой коэффициент  $\gamma$  полученной прямой

$$\gamma = \frac{\Delta(\ln R)}{\Delta(1/T)} = \varepsilon/2k, \text{ можно вычислить значение ширины запрещенной зоны полупроводника } \varepsilon = 2k\gamma.$$

**УГЛЫ ЭЙЛЕРА.** Углы  $\varphi$ ,  $\psi$ ,  $\theta$ , которыми описывают положение одной прямоугольной декартовой системы координат  $Ox'y'z'$

относительно другой прямоугольной декартовой системы координат  $Ox_2y_2z_2$  той же ориентации (правой или левой). Введены Эйлером в 1748 г. Углы Эйлера можно трактовать как углы, на которые необходимо последовательно повернуть одну систему координат относительно осей другой, для того чтобы системы координат совпали. Первый поворот делают вокруг оси  $Oz$  на угол  $\varphi$ , затем промежуточную систему  $Ox_1y_1z_1$  поворачивают на угол  $\psi$  вокруг оси  $Ox_1$ , и, наконец, полученную систему поворачивают на угол  $\theta$  вокруг  $Oz'$ . Знак углов Эйлера учитывает направление поворота. Формулы перехода от координат  $x', y', z'$  к координатам  $x, y, z$  имеют вид:

$$\begin{aligned}x &= (\cos \varphi \cos \psi - \sin \varphi \sin \psi \cos \theta)x' - \\ &- (\cos \varphi \sin \psi + \sin \varphi \cos \psi \cos \theta)y' + \sin \varphi \sin \theta \cdot z'; \\ y &= (\sin \varphi \cos \psi + \cos \varphi \sin \psi \cos \theta)x' + \\ &+ (-\sin \varphi \sin \psi + \cos \varphi \cos \psi \cos \theta)y' - \cos \varphi \sin \theta \cdot z'; \\ z &= \sin \varphi \sin \theta \cdot x' + \cos \varphi \sin \theta \cdot y' + \cos \theta \cdot z'.\end{aligned}$$

Эти формулы используют в механике при изучении движения твердого тела с неподвижной точкой.

**УГОЛ БРЮСТЕРА.** Угол падения, при котором отраженный от диэлектрика свет максимально поляризован.

**УГОЛ ДИФРАКЦИИ.** Плоский угол с вершиной в точке падения на экран, образованный падающим лучом и направлением радиус-вектора в точку наблюдения.

**УГОЛ ЗРЕНИЯ.** Плоский угол с вершиной в центре глаза, образованный лучами, идущими от крайних точек рассматриваемого предмета.

**УГОЛ ОТРАЖЕНИЯ.** Плоский угол с вершиной в точке падения на границу раздела двух сред, образованный отраженным лучом и нормалью к границе раздела двух сред, восстановленной в точке падения.

**УГОЛ ПАДЕНИЯ.** Плоский угол с вершиной в точке падения на границу раздела двух сред, образованный падающим лучом и нормалью к границе раздела двух сред, восстановленной в точке падения.



**УГОЛ ПРЕЛОМЛЕНИЯ.** Плоский угол с вершиной в точке падения на границу раздела двух сред, образованный преломленным лучом и нормалью к границе раздела двух сред, восстановленной в точке падения.

**УГОЛ СКОЛЬЖЕНИЯ.** Плоский угол с вершиной в точке падения на границу раздела двух сред, образованный падающим лучом и поверхностью границы раздела двух сред.

**УГОЛ СМАЧИВАНИЯ.** См. *Кривой угол*.

**УДАЛИТЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ.** Элемент *динамической системы*, по функции противоположный *источнику движения*. В нем движение, по форме соответствующее изучаемой системе, преобразуется в движение другой формы и тем самым удаляется из системы в среду. В механических системах удалителями движения являются любые элементы трения, а также электрогенераторы, насосы, компрессоры и т. п. В электрических цепях удалители — элементы сопротивления (резисторы, нагреватели, осветительные лампы и т. п.), электродвигатели, устройства, предназначенные для разложения воды на водород и кислород, и другие электрохимические аппараты.

**УДАР.** Явление, состоящее в резком изменении характера движения твердых тел при их столкновениях и обусловленное их кратковременным взаимодействием.

**УДЕЛЬНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ,  $\sigma$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности материала проводить ток, равная отношению произведения проводимости  $G$  и длины  $l$  проводника к поперечному сечению  $S$  проводника:  $\sigma = \frac{G \cdot l}{S}$ . Величина, обратная удельному сопротивлению.

**УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ,  $C_v$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности материала накапливать тепло и равная отношению теплоемкости тела  $C$  к его массе  $m$ :  $C_v = \frac{C}{m}$ .

**УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА КОНДЕНСАЦИИ,  $r_v$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания

свойства вещества переходить из парообразного состояния в жидкое и равная отношению теплоты конденсации вещества  $r$  к его массе  $m$ :

$$r_y = \frac{r}{m}.$$

**УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ОТВЕРДЕВАНИЯ,  $\lambda_y$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания свойства вещества переходить из жидкого состояния в твердое и равная отношению теплоты отвердевания вещества  $L$  к его массе  $m$ :

$$\lambda_y = \frac{L}{m}.$$

**УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ,  $r_y$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания свойства вещества переходить из жидкого состояния в парообразное, равная отношению теплоты парообразования вещества  $r$  к его массе  $m$ :

$$r_y = \frac{r}{m}.$$

**УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ,  $\lambda_y$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания свойства вещества переходить из твердого состояния в жидкое, равная отношению теплоты плавления вещества  $L$  к его массе  $m$ :

$$\lambda_y = \frac{L}{m}.$$

**УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ,  $q_y$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания теплоотворной способности горючего вещества, равная отношению теплоты сгорания вещества  $q$  к его массе  $m$ :

$$q_y = \frac{q}{m}.$$

**УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ НУКЛОНОВ В ЯДРЕ,  $E_y$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания интенсивности взаимодействия между нуклонами в ядрах атомов, равная отношению энергии связи  $E_{св}$  нуклонов в ядре к массовому числу  $A$  ядра:

$$E_y = E_{св}/A.$$

**УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ,  $\rho$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности материала оказывать препятствие (противодействие) току, равная отношению произведения сопротивления  $R$  проводника и его поперечного сечения  $S$  к длине  $l$  проводника:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l}.$$

**УДЛИНЕНИЕ.** См. *Абсолютное удлинение.*

**УЗЕЛ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ.** Место регулярно расположения атома или иона в кристалле:

**УЗЕЛ СТОЯЧЕЙ ВОЛНЫ.** Точка пространства, в которой амплитуда колебаний все время равна нулю.

**УЗЕЛ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ.** Точка в разветвленной электрической цепи, в которой соединены не менее трех выводов элементов.

**УНИВЕРСАЛЬНАЯ ГАЗОВАЯ ПОСТОЯННАЯ,  $R$ .** Одна из фундаментальных постоянных, входящих в различные формулы и уравнения, например, в уравнение *Менделеева-Клапейрона*. Численно равна работе, совершаемой молей газа при его изобарическом нагревании на 1 К:  $R = 8,31$  Дж/моль·К.

**УНИПОЛЯРНЫЙ (ПОЛЕВОЙ) ТРАНЗИСТОР.** Транзистор, процессы в котором обусловлены движением только *основных носителей*. По типу затвора (см. дальше) униполярные транзисторы делят на два вида: транзисторы с управляющим  $p$ - $n$ -переходом и транзисторы с изолированным затвором.

Структура транзистора с изолированным затвором с каналом типа  $n$  схематически в разрезе показана на рис. У. 1, где 1 — подложка (полупроводник типа  $p$ ), 2 — области типа  $n$ , 3 — канал типа  $n$ , 4 — оксид кремния (изолятор), 5 — металлический затвор. От обеих областей типа  $n$  и затвора сделаны металлические выводы, которыми транзистор присоединяют к другим элементам электрической цепи.

Принцип действия транзистора состоит в следующем. По каналу между областями типа  $n$  может протекать электрический ток. Способность канала проводить его изменяется под действием

поперечного электрического поля, приложенного между затвором и подложкой. Благодаря этому можно управлять силой тока канала. Область типа *n*, из которой электроны (основные носители) входят в канал, называют истоком, а область, в которую они поступают из канала, — стоком.

На рис. У. 1 показан транзистор с встроенным каналом: его канал формируется при изготовлении транзистора. Производят также транзисторы с индуцируемым каналом. У них при изготовлении канал не формируется. Он возникает (индуцируется) под влиянием электрического поля, приложенного между затвором и подложкой.

Кроме транзисторов с каналом типа *n* производят транзисторы с каналом типа *p*.

Униполярные транзисторы с управляющим *p-n*-переходом имеют встроенный канал и отличаются типом затвора. При изменении электрического поля, приложенного к *электронно-дырочному переходу*, изменяется его толщина и, следовательно, сечение канала, находящегося под *p-n*-переходом.

**УПРУГАЯ ДЕФОРМАЦИЯ.** Деформация, исчезающая после прекращения вызывавшего ее действия,

**УПРУГИЙ ЭЛЕМЕНТ.** Простейшая мысленная модель упругого тела (*статического накопителя*), введенная для решения задач механики, элемент расчетной схемы механической системы, которому приписывают единственное свойство — точно “подчиняться” компонентному закону  $F = kx$  (см. Закон Гука).

**УПРУГОЕ ТЕЛО (ПРУЖИНА).** Элемент механической системы, поведение которого приближенно описывается законом Гука:

$$F = kx.$$

Пружина является *накопителем*, способным аккумулировать механическое движение в потенциальной форме. Энергия пружины выражается формулами:

$$W = \frac{kx^2}{2} = \frac{F^2}{2k} = \frac{Fx}{2}.$$

Пружина — дуальный аналог массивного тела.

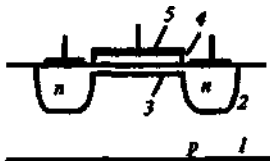


Рис. У.1 Схематическое изображение униполярного транзистора в разрезе

**УПРУГОСТЬ.** Свойство тел изменять форму и размеры под внешним воздействием и самопроизвольно восстанавливать свою конфигурацию после прекращения этого воздействия.

**УРАВНЕНИЕ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСА.** Предложено в 1875 г. голландским физиком Я.Д. Ван-дер-Ваальсом. В уравнении выражена количественная связь между давлением, объемом и абсолютной температурой для 1 моля газа с учетом межмолекулярного взаимодействия. Произведение давления 1 моля газа  $P$ , взятого с поправкой  $a/V^2$  на притяжение молекул, и его объема  $V$ , взятого с поправкой  $b$  на собственный объем молекул, учитывающей отталкивание молекул на близких расстояниях ( $a$  и  $b$  — экспериментальные константы), равно произведению универсальной газовой постоянной  $R$  и абсолютной температуры газа  $T$ , т. е.

$$(P + a/V^2)(V - b) = RT.$$

Уравнение Ван-дер-Ваальса применимо к количественному описанию реальных газов в области больших температур и малых давлений. Тем не менее, оно дает описание (но лишь качественное) поведения газа и при больших давлениях.

При больших объемах, а также для разреженных газов поправками  $a/V^2$  и  $b$  можно пренебречь. Тогда уравнение Ван-дер-Ваальса переходит в уравнение состояния идеального газа (см. *Уравнение Клапейрона, Уравнение Менделеева-Клапейрона*).

**УРАВНЕНИЕ КЛАПЕЙРОНА.** Предложено в 1834 г. французским физиком Бенуа Клапейроном. Уравнение выражает количественную связь между давлением, объемом и температурой данной массы газа. Произведение давления  $P$  данной порции (массы) газа и его объема  $V$ , деленное на абсолютную температуру  $T$ , есть величина постоянная, т. е.  $\frac{PV}{T} = const$ . Уравнение Клапейрона применимо для описания поведения газов только при низких давлениях и высоких температурах.

**УРАВНЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ.** *Математическая модель* колебательного процесса, задающая зависимость некоторой физической величины, которой характеризуют колебательный процесс, от времени, например:  $x = X_m \cos(\omega t + \psi)$ , где  $X_m$  — амплитуда колебаний,  $\omega$  — угловая частота,  $\psi$  — начальная фаза,  $(\omega t + \psi)$  — фаза колебаний. Колебания такой формы называют *гармоническими*.

**УРАВНЕНИЕ МАЙЕРА.** Предложено в 1842 г. немецким ученым Юлиусом Майером. Уравнение выражает количественную связь между молярными теплоемкостями при постоянном давлении и постоянном объеме. Молярная теплоемкость  $C_p$  при постоянном давлении равна сумме молярной теплоемкости  $C_v$  при постоянном объеме и универсальной газовой постоянной, т. е.  $C_p = C_v + R$ .

**УРАВНЕНИЕ МЕНДЕЛЕЕВА—КЛАПЕЙРОНА.** Предложено в 1874 г. на основании обобщения уравнения Клапейрона русским химиком и физиком Дмитрием Ивановичем Менделеевым. В уравнении выражена количественная связь между давлением, объемом, абсолютной температурой и числом молей газа. Произведение давления  $P$  газа и его объема  $V$  равно произведению числа молей газа  $\nu$ , универсальной газовой постоянной  $R$  и абсолютной температуры газа  $T$ , т. е.  $PV = \nu RT$ . Уравнение Менделеева—Клапейрона применимо при низких давлениях и высоких температурах, т. е. в тех случаях, когда в качестве *мысленной модели* газа можно использовать *идеальный газ*.

**УРАВНЕНИЕ (ОСНОВНОЕ) МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ (МКТ).** Получено в 1857 г. немецким физиком-теоретиком Рудольфом Клаузиусом. В уравнении выражена количественная связь между давлением газа, массой, концентрацией и среднеквадратичной скоростью молекул газа. Давление  $P$  газа пропорционально массе  $m$ , концентрации  $n$  и квадрату среднеквадратичной скорости  $V_{\text{ср}}$  молекул газа, т. е.  $P = \frac{1}{3} mn V_{\text{ср}}^2$ . Основное уравнение МКТ применимо в тех случаях, когда в качестве *мысленной модели* газа можно использовать *идеальный газ*.

**УРАВНЕНИЕ ПУАССОНА.** Предложено в 1823 г. французским математиком и физиком Симеоном Дени Пуассоном. В нем выражена количественная связь между давлением  $P$  (температурой  $T$ ), объемом  $V$  и *показателем адиабаты*  $\gamma$  данной порции (массы  $m$ ) газа при *адиабатическом процессе* (постоянной энтропии  $S$ ). Уравнение имеет вид:

$$PV^\gamma = \text{const} \text{ или } TV^{\gamma-1} = \text{const} \quad (m = \text{const}, S = \text{const}).$$

**УРАВНЕНИЕ ШРЁДИНГЕРА** в стационарной форме. Предложено в 1926 г. австрийским физиком Эрвином Шрёдингером. Уравнение представляет собой основное уравнение квантовой механики, описывающее динамическое поведение квантовой

системы в пространстве. Для частицы, движущейся с малыми по сравнению со скоростью света скоростями уравнение Шрёдингера имеет вид:

$$\Delta\psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - U)\psi = 0.$$

Здесь  $\Delta\psi = \partial^2\psi/\partial x^2 + \partial^2\psi/\partial y^2 + \partial^2\psi/\partial z^2$  — так называемый лапласиан  $\psi$ -функции,  $m$  — масса частицы,  $h$  — постоянная Планка,  $E$  и  $U$  — полная и потенциальная энергии частицы. Функцию  $\psi$  обычно называют волновой или пси-функцией, а волновые функции, удовлетворяющие уравнению Шрёдингера — собственными функциями.

Волновая функция представляет собой полную квантовую характеристику состояния микрочастицы: ею характеризуют объективное состояние этой частицы.

Основное утверждение квантовой механики заключается в том, что величина  $\psi^2\Delta V$  пропорциональна вероятности нахождения частицы в объеме  $\Delta V$  ( $\psi$  — амплитудное значение пси-функции). Следовательно, уравнение Шрёдингера, определяющее закон изменения пси-функции, дает только вероятность нахождения частицы в определенной области.

**УРАВНЕНИЕ ЭЙНШТЕЙНА ДЛЯ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА.** Предложено в 1905 г. Альбертом Эйнштейном. Уравнение представляет собой распространение закона сохранения энергии на фотоэлектрические явления. Оно выражает количественную связь между энергией кванта (частотой) света, работой выхода электрона из металла и максимальной скоростью  $V_{\max}$  фотоэлектронов. Энергия  $h\nu$  кванта света равна сумме работы выхода  $A_{\max}$  электрона из металла и максимальной кинетической энергии фотоэлектрона, т. е.  $h\nu = A_{\max} + \frac{mV_{\max}^2}{2}$ . Применимо при  $h\nu > A_{\max}$ .

**Примечание.** Термины *работа*, *количество теплоты* и *энергия* появились независимо друг от друга. Когда был осмыслен закон сохранения энергии, оказалось, что первые два термина являются синонимами синонимными терминам *энергия*. Продолжающееся использование их в текстах, кроме путаницы, ничего не дает. Иногда возникают аналогичные ситуации. Например, хотя физический смысл явления удаления электрона из атома или из кристалла тождественен, в первом случае говорят *энергия ионизации атома*, а во втором — *работа выхода электрона из металла*. Целесообразно было бы во втором случае тоже использовать термин *энергия*.

## УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА В ИНТЕГРАЛЬНОЙ ФОРМЕ.

В 1860—1865 гг. английский физик Джеймс Кларк Максвелл обобщил накопившиеся к тому времени сведения и предложил единую теорию электромагнитного поля, связанного с произвольной системой зарядов и токов. Свою теорию он сформулировал в виде системы четырех уравнений. Для стационарных полей они представляют собой совокупность четырех теорем.

*Теорема Гаусса для электрических полей:*

$$\oint_S \mathbf{D} d\mathbf{S} = \int_V \rho dV. \quad (1)$$

*Теорема о циркуляции вектора напряженности электростатического поля:*

$$\oint_L \mathbf{E} dl = 0. \quad (2)$$

*Теорема Гаусса для магнитных полей:*

$$\oint_S \mathbf{B} d\mathbf{S} = 0. \quad (3)$$

*Теорема о циркуляции вектора напряженности магнитного поля, связанной с системой постоянных токов:*

$$\oint_L \mathbf{H} dl = \int_S \mathbf{j} d\mathbf{S}. \quad (4)$$

В этих уравнениях  $\mathbf{D}$  — вектор электрического смещения,  $\mathbf{E}$  — вектор напряженности электрического поля,  $\mathbf{B}$  — вектор магнитной индукции,  $\mathbf{H}$  — вектор напряженности магнитного поля,  $\rho$  — объемная плотность заряда,  $\mathbf{j}$  — плотность тока,  $S$  — замкнутая поверхность,  $l$  — замкнутый контур,  $V$  — объем, занимаемый заряженными частицами.

Уравнения (1) и (3) остаются справедливыми и в случае нестационарных электрических и магнитных полей. Уравнение (2) видоизменяется и при переходе к нестационарным полям и принимает вид:

$$\oint_L \mathbf{E} dl = - \int_S (\partial \mathbf{B} / \partial t) d\mathbf{S}.$$

Чтобы написать уравнение (4), справедливое для нестационарных полей, Максвеллу пришлось выдвинуть очень смелую для того времени гипотезу о симметрии во взаимозависимости электрических и магнитных полей. А именно: если меняющееся со временем магнитное поле ( $\partial \mathbf{B} / \partial t$ ) создает электрическое поле, то следует ожидать, что меняющееся во времени электрическое поле ( $\partial \mathbf{D} / \partial t$ ) создаст магнитное поле. Он ввел два новых понятия:



плотность тока смещения  $I_{cv} = \partial D / \partial t$ , и ток смещения  $I_{cv} = \int_S (\partial D / \partial t) dS$ . В результате введения Максвеллом тока смещения уравнение (4) для нестационарных полей приняло вид:

$$\oint_L \mathbf{H} d\mathbf{l} = \int_S (\mathbf{J} + \partial \mathbf{D} / \partial t) d\mathbf{S}.$$

Таким образом, уравнения Максвелла для нестационарных электрических и магнитных полей в интегральной форме имеют вид:

$$\oint_S \mathbf{D} d\mathbf{S} = \oint_V \rho dV, \quad (1)$$

$$\oint_L \mathbf{E} d\mathbf{l} = - \int_S (\partial \mathbf{B} / \partial t) d\mathbf{S}, \quad (2)$$

$$\oint_S \mathbf{B} d\mathbf{S} = 0, \quad (3)$$

$$\oint_L \mathbf{H} d\mathbf{l} = \int_S (\mathbf{J} + \partial \mathbf{D} / \partial t) d\mathbf{S}. \quad (4)$$

Из уравнений Максвелла для нестационарных полей следует важный вывод о том, что электромагнитное поле может существовать без электрических зарядов и токов. При этом изменение электромагнитного поля носит волновой характер. Поля такого рода называют *электромагнитными волнами*.

Для нейтральной, однородной, изотропной, непроводящей среды, в которой отсутствуют токи и сторонние заряды, уравнения Максвелла в интегральной форме имеют вид:

$$\oint_S \mathbf{D} d\mathbf{S} = 0, \quad (1)$$

$$\oint_L \mathbf{E} d\mathbf{l} = - \int_S (\partial \mathbf{B} / \partial t) d\mathbf{S}, \quad (2)$$

$$\oint_S \mathbf{B} d\mathbf{S} = 0, \quad (3)$$

$$\oint_L \mathbf{H} d\mathbf{l} = \int_S (\partial \mathbf{D} / \partial t) d\mathbf{S}. \quad (4)$$

Теория Максвелла не только предсказала возможность существования электромагнитных волн, но и позволила установить (предсказать) их основные свойства. Она показала, что любая электромагнитная волна независимо от ее конкретной формы (это может быть гармоничная или волна произвольной формы)

характеризуется следующими свойствами: 1) Ее скорость распространения в непроводящей, нейтральной, неферромагнитной среде

$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$ , где  $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$ ; 2) векторы  $E$ ,  $H$  и  $V$  взаимно перпенди-

кулярны и образуют правовинтовую систему; 3) в электромагнитной волне векторы  $E$  и  $H$  всегда колеблются в одинаковых фазах. Между мгновенными значениями  $E$  и  $H$  существует связь  $\sqrt{\epsilon_0} \epsilon E = \sqrt{\mu_0} \mu H$ . Это означает, что  $E$  и  $H$  одновременно достигают минимума и максимума.

Понимание того, что из уравнений (2) и (4) вытекает возможность существования электромагнитных волн, позволило Максвеллу построить электромагнитную теорию света.

**Примечания.** 1. Обычно пишут, что электрическое поле "создается" электрическими зарядами, а магнитное поле — электрическими токами. Такое представление возникло в то время, когда еще не знали о существовании электронов и протонов и термином *заряд* обозначали нечто, якобы реально существующее (наподобие флюидона и теплорама).

В настоящее время термином *электрический заряд* обозначают физическую величину, введенную для количественного оценивания способности частиц и тел к электромагнитному взаимодействию. Очевидно, *физическая величина* (предмет из мира идей) не может быть причинной объективной реальности — электромагнитного поля (см. *Предмет мысли*). Любое другое использование термина *электрический заряд* — устаревшее и поэтому вносказначательное.

Неверно было бы также говорить, что электрическое поле "создается" электроном. Поле — неотъемлемая составная часть электрона, присущая ему изначально, а не "порождаемая" им. Иными словами, электрон — частица, состоящая из центральной части и электромагнитной "атмосферы", "плотность" которой уменьшается по мере удаления от центра.

2. Электромагнитное поле — единая объективная реальность, которая продвигается по-разному в зависимости от характера взаимного перемещения взаимодействующих тел. Разделение ее на две составляющие — электрическое и магнитное поле — не более чем удачный прием описания этой реальности.

**УРОВЕНЬ.** Прибор для проверки горизонтальности линий и поверхностей.

**УРОВНИ ЭНЕРГИИ.** В квантовой теории возможные значения энергии атома, молекулы и других систем, состоящих из микрочастиц. Первые представления об уровнях энергии сформулировал в 1913 г. Нильс Бор (см. *Постулаты Бора*).

**УСИЛЕНИЕ.** Термин используют в двух значениях.

1. Физическое явление, состоящее в том, что энергия реакции объекта, которому присуще свойство усиления, на воздействии другого объекта превышает энергию воздействия, в развитой форме обусловленное наличием в объекте, способном к усилению, источника движения (питания) и управляющего элемента, соединяющего источник движения с нагрузкой (приемником) так, что энергия воздействия на нагрузку превышает энергию воздействия на вход управляющего элемента.

2. Свойство объекта, состоящее в способности реагировать на воздействие другого объекта с большей энергией, чем энергия воздействия, и обусловленное наличием в усиливающем объекте источника движения (энергии (2)) и физического или химического механизма отбора энергии.

Проще всего уяснить смысл явления усиления на примере сравнения карманных фонариков двух типов — динамического и батарейного. Для того чтобы светилась лампочка первого, человек

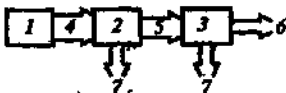


Рис. У.2. Энергетический портрет динамического карманного фонарика

должен периодически нажимать на рычаг. Механическое движение его кисти миниатюрным электромагнитным генератором преобразуется в электричество, а последнее — лампочкой — в свет. Данный процесс легче всего описать на языке энергии, так как эта физическая величина наиболее универсальна, т. е. подходит для количественного оценивания интенсивности любых видов движения. На рис. У.2 показан «энергетический портрет» рассматриваемого процесса, где 1 — человек, 2 — электрогенератор, 3 — лампочка, 4 — энергия механического движения, 5 — энергия электрического движения, 6 — энергия видимого света,



Рис. У.3. Энергетический портрет батарейного карманного фонарика

7 — потери энергии (тепло). При использовании батарейного карманного фонарика лампочка светится под действием электричества, производимого батарей элементов питания, а человек вырабатывает управляющий сигнал, энергия которого значительно меньше требуемой для свечения лампочки. Энергетический портрет этого процесса показан на рис. У.3, где 1 — человек, 2 — батарея элементов питания, 3 — управляющий элемент (выключатель), 4 — лампочка,

5 — энергия управляющего сигнала, 6, 7 — энергия электрического движения, 8 — энергия света, 9 — тепло.

С точки зрения физики, человек так резко выделялся из остального животного мира именно потому, что он овладел явлением усиления. Годовой энергетический ресурс всех животных, населявших Землю (включая обезьяноподобных предков человека) определялся массой выросших за год съедобных растений. Научившись использовать огонь, человек включил в свой годовой энергетический ресурс несъедобные части растений, выращенные за время, значительно превышавшее один год. Уже одно это сыграло очень важную роль. Тут — и защита от хищников, и обогрев в холодное время, и, главное, термообработка пищи: на ее переваривание организм затрачивает значительно меньшие внутренние резервы, чем на переваривание сырой пищи.

Благодаря тому, что человек выжигал, а не вырубал лес под посевы, энергетически выгодным стало растениеводство. Приручив в качестве рабочего скота волов и лошадей, человек приобрел дополнительный источник энергии: травоядные животные питаются несъедобными для него растениями.

Затем люди научились использовать ветер и падающую воду. И, наконец, начав добывать ископаемое топливо, человек включил в свой энергетический ресурс ту солнечную энергию, которую природа накапливала в течение сотен миллионов лет...

В современном материальном производстве человек, как правило, тратит свои усилия только на управление машинами, в результате чего производительность его труда многократно возрастает. Об этом легко судить, например, сопоставив следующие данные. Мощность здорового мужчины при продолжительной работе не превосходит 0,1 кВт, а мощность двигателя малолитражного автомобиля достигает 50 кВт. Энергетический портрет энерговооруженного механизированного труда показан на рис. У.4, где 1 — человек, 2 — источник движения, 3 — управляющий элемент, 4 — машина — двигатель, 5 — машина — орудие, 6 — предмет труда, 7 — энергия управляющего сигнала, 8, 9 — энергия электрического движения, 10, 11 — энергия механического движения.



Рис. У.4. Энергетический портрет энерговооруженного труда

Столетие назад и ранее источником движения служили либо водяные колеса (как на мельницах), либо паровые машины. В настоящее время на подавляющем большинстве предприятий используют электричество, производимое электростанциями.

Машинное производство вообще возможно только благодаря тому, что его энергетическая отдача многократно превосходит энергетические затраты человека. Производительность труда зависит, конечно, от совершенства рабочих машин, но определяется "коэффициентом усиления энергии" — величиной, равной отношению энергии, потребленной машинами при производстве продукта, к энергии, затраченной человеком на управление ими.

Человек сознательно использует явление усиления в своей производственной деятельности. Однако обнаруживается оно и вне человеческого общества. Усиление — атрибут всей живой материи, без которого жизнь невозможна. Это ясно понимал (не используя термина усиление) уже И.М. Сеченов.

В неразвитой форме явление усиления наблюдается и в неживой природе. Примерами могут служить лавины в горах, оползни и *батасские слякки*.

**УСИЛИТЕЛЬ.** Главный элемент технических средств познания, проектирования, управления и связи, а также бытовой электроники. В усилителе используется явление усиления, проявляющееся в выработке и передаче в нагрузку (приемник) сигнала, по

форме сходного с сигналом, поступающим от источника сигнала, энергия (или мощность  $P_2$ ) которого превосходит энергию (или мощность  $P_1$ ) сигнала источника (рис. У.5, где 1 — источник сигнала, 2 — усилитель, 3 — нагрузка (приемник), 4 — вход усилителя, 5 — выход усилителя).

Место, куда поступает сигнал источника, называют *входом усилителя*, место, откуда сигнал передается в нагрузку, — *выходом усилителя*.

Различают усилители, содержащие один каскад (ступень) усиления — *однокаскадные*, и содержащие несколько каскадов — *многокаскадные*.

Структура последнего показана на рис. У.6, где 1, 2, ..., N — усилительные каскады. Каждый *усилительный каскад (УК)* является усилителем в указанном выше смысле. Источником сигнала

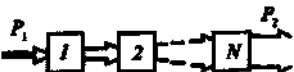


Рис. У.6. Структура многокаскадного усилителя

ла для всех УК, начиная со второго, служит предыдущий УК. Нагрузкой всех УК, кроме последнего, является следующий УК. Принцип действия УК описан в статье *Усилительный каскад*.

Существуют усилители, в которых используют разные формы движения материи, — гидравлические, пневматические, электро-механические, электронные. Наиболее распространены последние.

**Примечания.** 1. Слово *усилитель* является неправильно ориентирующим. Оно наводит на мысль, что речь идет об увеличении силы. Поэтому можно подумать, будто рычаг, клин, полиспаст и т. п. относятся к классу усилителей. Согласно определению усилителя — это не так. Для того чтобы устройство можно было назвать усилителем, оно должно обладать способностью увеличивать энергию (или мощность) сигнала. Например, естественным усилителем является лошадь.

2. Часто встречающееся словосочетание “сигнал усиливается” также может породить ложное понимание, образно представленное на рис. У.7. В действительности сущность усиления заключается в том, что входной сигнал управляет отбором энергии источника питания, находящегося в усилительном каскаде (см. рис. У.9 в ст. *Усилительный каскад* и поясняющий его текст).



Рис. У.7. Ошибочное представление принципа действия усилителя

**УСИЛИТЕЛЬНЫЙ КАСКАД.** Элемент многокаскадного усилителя, одна ступень усиления. Усилительный каскад (УК) имеет вход и выход (рис. У.8, где 1 — источник сигнала, 2 — усилительный каскад, 3 — нагрузка, 4 — вход УК, 5 — выход УК). На вход поступает сигнал от источника сигнала (им может служить звукосниматель проигрывателя грампластинок, магнитная головка магнитофона, микрофон, предыдущий УК в многокаскадном усилителе и т. п.). С выхода усиленный сигнал передается в нагрузку (ею может быть громкоговоритель, элемент буквопечатающего аппарата, элемент светового табло, следующий УК в многокаскадном усилителе и т. п.).

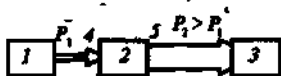


Рис. У.8. К определению термина усилительный каскад

Главное свойство усилительного каскада состоит в том, что энергия выходного сигнала превосходит энергию входного сигнала (так как обычно форма сигналов на выходе и входе сходна, можно вместо энергии говорить о скорости ее изменения, т. е. о мощности сигнала). Понять механизм этого эффекта легче всего, рассмотрев “энергетический портрет” усилительного каскада (рис. У.9, где

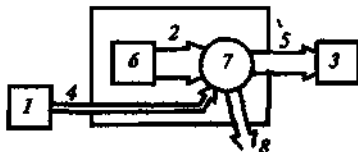


Рис. У.9. Энергетический портрет усилительного каскада

1 — источник сигнала, 2 — усилительный каскад, 3 — нагрузка, 4 — вход УК, 5 — выход УК, 6 — источник питания, 7 — управляющий элемент, 8 — потери энергии). Он содержит источник питания и управляющий элемент. Энергетический портрет — предельная абстракция: удаление любого элемента приводит к потере качества — оставшееся перестает быть "портретом" УК.

Источник питания строит так, что для данного УК его можно считать неисчерпаемым (источником бесконечной мощности).



Рис. У.10. Асимметрия влияния в управляющей системе

Усиление возможно благодаря тому, что существуют устройства, вход которых значительно сильнее влияет на выход, чем выход на вход (в образной форме эта мысль выражена на рис. У.10). Подобные устройства и используют в качестве управляющих элементов усилительных каскадов. Простейшие их примеры — водопроводный кран и электрический выключатель.

Управляющий элемент может, воспринимая входной сигнал, управлять отбором и передачей в нагрузку энергии источника питания так, что последняя превосходит энергию входного сигнала:

$$P_2 > P_1,$$

где  $P_1$  — мощность входного сигнала;  $P_2$  — мощность выходного сигнала.

Наиболее распространены электронные усилители и, следовательно, электронные усилительные каскады, в которых управляющим элементом служит *транзистор*. Существуют разные схемы УК. Однако все они являются вариациями двух базисных схем — последовательной и параллельной (рис. У.11, где 1 — источник сигнала со вспомогательными элементами, 2 — управляющий элемент (биполярный транзистор), 3 — источник питания, 4 — нагрузка, 5 — элемент, ограничивающий силу тока источника питания).

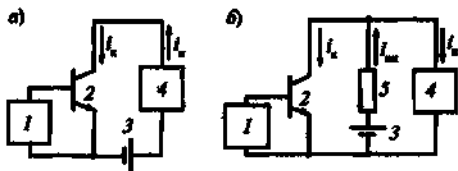


Рис. У.11. Две базисные схемы усилительного каскада — последовательная (а) и параллельная (б)

На рис. У.11, а показана последовательная схема с *биполярным* транзистором типа *п-р-п*. В ней выход транзистора (промежуток коллектор-эмиттер), источник питания и нагрузка соединены последовательно. Зависимость между током  $i_m$  нагрузки и выходным (коллекторным) током  $i_k$  транзистора (см. рис. У.11, а) — прямая:

$$i_k = i_m.$$

На рис. У.11, б показана параллельная схема. В ней выход транзистора, источник питания (с токоограничивающим элементом) и нагрузка соединены параллельно. Здесь зависимость между токами  $i_m$  и  $i_k$  — обратная:

$$i_m = i_{\text{см}} - i_k,$$

где  $i_{\text{см}}$  — ток источника питания.

Для последовательной схемы наилучшим является источник питания, вольтамперная характеристика которого возможно более близка к вольтамперной характеристике *источника напряжения*. Реальные источники питания именно такими и являются.

Для параллельной схемы наилучшим был бы источник питания, наиболее близкий к *источнику тока*. Поскольку в массовом производстве таковые отсутствуют, приходится приблизительно имитировать источник тока в виде двухдиодоснника, содержащего последовательно соединенные источник питания 3 и элемент 5, ограничивающий ток (см. рис. У.11, б).

**УСКОРЕНИЕ**, а. Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания изменения быстроты и направления движения тела, равная отношению изменения скорости  $\Delta v$  движения тела к промежутку времени  $\Delta t$ , за который произошло это изменение:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$



Единица ускорения в СИ —  $\text{м/с}^2$ . Прибор, предназначенный для измерения ускорения, называют *акселерометром*.

**УСКОРЕНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ,  $g$ .** Ускорение свободного тела, движущегося только под действием гравитационного поля Земли. Значение  $g$  зависит от высоты тела над уровнем моря и от географической широты. При решении большинства задач можно использовать значение  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

**УСКОРИТЕЛИ (заряженных частиц).** Общее название установок, используемых для ускорения *заряженных частиц (ионов, элементарных частиц и атомных ядер)* при изучении их свойств и явлений, происходящих с их участием.

**УСЛОВИЕ.** См. *Причина, следствие и условие*.

# Ф

**ФАЗА** [от греч. *phasis* — проявление]. Термин используют в двух значениях. 1. Отдельная составная часть какой-либо неоднородной физико-химической системы с одинаковыми химическими свойствами. Например, система “лед — вода — пар” состоит из трех фаз. 2. Определенный момент в развитии какого-либо процесса или явления.

**ФАЗА КОЛЕБАНИЙ**, *ф.* Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания состояния колебательно-го процесса в каждый момент времени и равная аргументу функции, описывающей этот процесс. При колебаниях, близких по форме к гармоническим, эта функция имеет вид:  $x = X_m \cos(\omega t + \varphi_0)$ ; соответственно фаза колебаний  $\varphi = \omega t + \varphi_0$ , где  $\omega$  — угловая частота колебаний;  $t$  — время,  $\varphi_0$  — начальная фаза колебаний. Единица измерения фазы колебаний — радиан.

**ФАРАД**, *Ф.* Единица емкости в СИ. Название дано в честь английского физика Майкла Фарадея. 1 фарад — емкость конденсатора, между выводами которого при заряде 1 Кл (кулон) напряжение равно 1 В (вольт).

**ФЕРМИОНЫ**. Частицы и квазичастицы с полуцелым спином, описываемые статистикой Ферми-Дирака. К фермионам относят электроны, протоны, нейтроны и др. (ср. *Бозоны*).

**ФЕМТО...**, *ф* [от лат. *quintus* — пятнадцать]. Приставка к наименованию единицы физической величины для образования наименования *дольной единицы*, равной  $10^{-15}$  от исходной. Например, 1 фКл (фемтокулон) =  $10^{-15}$  Кл.

**ФЕРРО...** [от лат. *ferrum* — железо]. В сложных словах указывает на их отношение к железу, или в более широком смысле — к ферромагнетикам.

**ФЕРРОМАГНЕТИКИ**. Кристаллические вещества, весь объем которых естественным образом (без вмешательства человека) разделен на домены — области спонтанной (самопроизвольной) намагниченности. Границы доменов не совпадают с границами

кристаллов. Внутри каждого домена все атомы ориентированы так, что их магнитные моменты параллельны друг другу, т. е. материал намагничен наиболее сильно (говорят “до насыщения”). Внешние образцы, изготовленный из ферромагнетика, может восприниматься как немагнитный, если векторы магнитных моментов доменов ориентированы относительно друг друга хаотически так, что их геометрическая сумма равна нулю.

При помещении образца во внешнее магнитное поле происходят два процесса: движение границ доменов и изменение ориентации атомов внутри доменов. Растут (увеличивается их объем) домены, магнитные моменты которых ориентированы в направлении внешнего магнитного поля. Векторы намагниченности поворачиваются в ту же сторону. В результате этого образец намагничивается, т. е. к внешнему магнитному полю добавляется уже имевшееся собственное магнитное поле доменов, упорядоченное благодаря воздействию внешнего поля. В силу этого магнитный поток  $n$ , следовательно, магнитная индукция увеличивается в сотни или тысячи раз. Таким образом, при наличии ферромагнетика магнитный поток  $\Phi$  складывается из магнитного потока внешнего поля  $\Phi_{\text{вн}}$  и магнитных потоков доменов  $\Phi_{\text{д}}$ :  $\Phi = \Phi_{\text{вн}} + \Phi_{\text{д}}$ .

Одна из основных зависимостей, которую используют для описания поведения ферромагнетика, — связь между напряженностью магнитного поля и магнитной индукцией. Она нелинейна и неоднозначна (см. *Гистерезис магнитный*). Для грубой оценки магнитных свойств материалов вводят величину  $\mu$ , именуемую магнитной проницаемостью:

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H},$$

где  $B$  и  $H$  — координаты точек основной кривой намагничивания;  $\mu_0$  — магнитная постоянная. Поскольку основная кривая намагничивания не прямая линия,  $\mu$  — не константа. Ее значение зависит от  $H$ , причем эта зависимость имеет максимум. У разных ферромагнитных материалов значение максимальной проницаемости колеблется от сотен до  $10^6$ . Величина  $\mu$  показывает, во сколько раз магнитный поток катушки (соленоида) при наличии замкнутого магнитопровода (например, в форме кольца) больше, чем магнитный поток той же катушки при той же силе тока в отсутствие магнитопровода. Если в магнитопроводе имеется поперечный зазор, магнитный поток уменьшается тем сильнее, чем шире зазор.

При нагревании ферромагнетика хаотическое тепловое движение усиливается, что в конце концов приводит к нарушению

взаимной ориентации атомов. В силу этого домены исчезают и материал становится парамагнетиком. Значение температуры, при котором это происходит, называют температурой (точкой) Кюри.

Способность ферромагнетиков увеличивать интенсивность магнитного поля находит широчайшее применение в электротехнических устройствах — электрогенераторах, электродвигателях, трансформаторах, электромагнитах и др. Не будь ферромагнетиков, не было бы и современной электротехники. Ферромагнетики применяют также и в других областях техники — всем известны магнитные ленты в магнитофонах, аналогичные ленты и магнитные диски применяют в ЭВМ, в них же используют новые запоминающие устройства, основанные на возможности формирования и перемещения в монокристаллической пластинке доменов цилиндрической формы диаметром немногим более 1 мкм.

У всех ферромагнетиков после снятия внешнего магнитного поля первоначальная форма доменов и хаотичность их ориентации восстанавливается не полностью. Однако степень выраженности этого свойства у разных материалов очень различна. Есть материалы, называемые магнито-жесткими, у которых сохраняется интенсивная намагниченность. Их используют для изготовления постоянных магнитов.

К числу ферромагнетиков принадлежат металлы — железо, никель, кобальт, их сплавы, некоторые окислы металлов и их соединения. Последние называют ферритами. По способу изготовления (прессование из порошка с последующим спеканием) и физическим свойствам (твердость, хрупкость, низкая электропроводность) ферриты представляют собой керамику.

**ФЕРРОМАГНИТНЫЙ ЭФФЕКТ.** Явление, состоящее в резком увеличении магнитного поля в ферромагнетиках и обусловленное ориентацией магнитных моментов доменов вдоль внешнего поля (см. также *Ферромагнетики*).

**ФИЗИКА.** Термин используют в двух значениях.

1. *Наука*, предметом изучения которой являются объекты естественной неживой природы: микрочастицы, поля и макротела — их состав, структура, свойства и отношения между ними.

Цель физики — знания, позволяющие объяснять и предсказывать результаты взаимодействия со средой и — через посредство изобретений — порождать новые технические средства и производственные процессы.

Как и в других науках (см. *Системный подход*), в физике одинаково необходимы два подхода — феноменологический (функциональный), дающий ответы на вопросы “что?”, “где?”, “когда?”, и механистический (субстанциональный) позволяющий ответить на вопросы “как?”, “почему?” и “при каких условиях?”, т. е. выявить причины происходящего (вопрос “для чего?” в науках о природе лишен смысла — он относится к человеческой деятельности). В обоих подходах, как и в других науках, называемых “точными”, одновременно с качественными соображениями рассматривают количественные отношения, т. е. ищут ответ на вопрос “сколько?”. Более того, большинство природных явлений наши органы чувств непосредственно не воспринимают. Поэтому, как правило, описание физических явлений ведут на языке математики, отличающемся, однако, тем, что используют не безымянные (как в математике), а *физические величины*, которыми оценивают степень выраженности свойств и отношений вещей.

Средствами изучения в физике служат эмпирия (эмпирическое исследование) и теория. Эмпирия — источник феноменологических знаний, т. е. знаний о явлениях; теория — механистических, т. е. знаний о сущности. Хотя эмпирия и теория тесно связаны, они принципиально различаются. При эмпирическом исследовании человек взаимодействует с *самим изучаемым объектом*, а при теоретическом использует знания о нем, полученные эмпирически. Таким образом, при эмпирическом исследовании человек участвует в обоих видах *деятельности* — и предметной, и умственной, а при теоретическом — только в умственной.

Результаты физических исследований, конкретизированных частными науками, используют в практической деятельности.

Физические знания служат основой для многих наук, что породило существование пограничных наук: физической химии, химической физики, биофизики, геофизики, физики моря, физики атмосферы, астрофизики, металлофизики, электрофизики и др.

**Примечание.** С конца XIX в. в физике начали различать два направления — экспериментальное и теоретическое. Немного позже появился третий вид — “приборная (инструментальная) физика” — для создания сложных экспериментальных установок. Затем осознали, что существует еще “информационная физика” — написание обзоров и монографий, доступных для понимания широкому кругу специалистов. В связи с появлением высокопроизводительных компьютеров обнаружилась возможность получать из физических законов качественно новые результаты в процессе выполнения вычислений огромного объема. Данное направление получило название “вычислительная физика”.

Мы полагаем, что разработка проблем обучения физике — самостоятельное научное направление, заслуживающее наименования “образовательная физика”.

## 2. Учебная дисциплина в средней и высшей школе.

Цели изучения курса физики. Большинство целей изучения физики является общими для учащихся средней и высшей школы. Различия состоит главным образом в глубине овладения предметом, особенно для студентов физических специальностей высших учебных заведений.

Общие цели учащихся средней школы и студентов нефизических специальностей вузов.

1. Сформированность познавательных интересов.
2. Убежденность в объективном (вне нашего сознания) существовании всего окружающего.
3. Уверенность в познаваемости природы.
4. Знание особенностей физики как науки.
5. Признание истинности знаний, произведенных физикой, и их необходимости для развития материального производства и выработки стратегии существования человечества.
6. Понимание различий между относительной истиной и элементом абсолютной истины. Знание *элементов абсолютной истины*.
7. Представление о том, как выполняют наблюдения и эксперименты, как производят и используют теоретические знания. Понимание принципиального различия между эмпирической и теоретической формами познания.
8. Знание конкретных разделов физики в объеме, указанном в программах.

Специальные цели изучения для студентов нефизических специальностей вузов.

1. Понимание того, как физические методы и знания используют в конкретных технических науках.
2. Умение использовать феноменологический или механистический подход в зависимости от характера решаемой задачи.
3. Понимание необходимости "лишних" знаний<sup>1</sup>, служащих важнейшим источником принципиально новых технических решений.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ.** Термин *физические величины* (кратко — *величины*) служит именем множества, элементами которого являются длина, масса, время, сила, энергия, мощность, электрический заряд, сила тока, температура и т. п.

<sup>1</sup> "Лишние" знания — знания, которые выходят за рамки используемых сегодня в той области техники, которой студенты овладевают профессионально в высшем учебном заведении.

Каждый человек независимо от характера его работы (от физика-теоретика до домохозяйки) прямо или косвенно имеет дело с измерениями. Современное производство невозможно без выполнения расчетов при проектировании и проверки готовых изделий и их частей на соответствие техническим требованиям. Все исходные для расчетов числа, за редким исключением, являются продуктами измерений; в контроле главную роль также играют измерительные процедуры. Источником первичных сведений в физике служат эксперимент, основное содержание которого также составляют измерения. Более того, в большинстве случаев даже качественное описание материальных процессов мы вынуждены вести на языке физических величин, так как непосредственно мы воспринимаем очень немногие природные явления.

Сформулированное в первом абзаце утверждение вряд ли может вызвать серьезные возражения. Однако сущность физических величин разные авторы понимают различно. Одни полагают, что величины — атрибут (неотъемлемое свойство) вещей, т. е. существуют объективно, принадлежат миру вещей. Другие, напротив, считают, что физические величины были придуманы людьми в качестве средства количественного оценивания степени выраженности (разности, интенсивности проявления) свойств и отношений вещей, т. е. принадлежат миру идей.

Почему существуют столь разные мнения об одном из важнейших понятий физической науки? Анализ ошибочных взглядов мы дадим в "Примечаниях", а сейчас расскажем, как, по нашему мнению, следует рассуждать правильно.

*Физические величины* — термин, имя некоторого предмета мысли. И нам необходимо выяснить его значение, т. е. узнать, какой предмет мысли им обозначают, дать *номинальное определение* (см. *Определение*).

Подобно тому как при экспериментальном исследовании решают вопрос о методе измерений, когда возникает задача определения термина, необходимо решить вопрос о виде (способе) определения. Анализ показывает, что *классификационное определение* физических величин не получается, так как не удастся подобрать подходящее родовое понятие. С нашей точки зрения единственно приемлемым в данном случае методом определения является процедура *введения абстрактных выражений*. Ее начинают с *операционального определения* абстракции первого слоя (см. *Понятие и термин*).

Наиболее массовое предметное действие, связанное с физическими величинами, — *измерение*. С него и следует начинать. Мы

установили, что измерение есть сравнение в определенном отношении изучаемой вещи с мерой — величию, специально для этого предназначенной. Результатом измерения является число, показывающее, во сколько раз данная вещь больше или меньше в этом отношении, чем мера, размер которой по договоренности принят равным единице. Например, количественно оценивая протяженность вещи, ее сравнивают с линейкой, а количественно оценивая гравитационность, вещь сравнивают с гириями.

Сравнение по протяженности с масштабной линейкой, рулеткой или другими средствами измерений приводит к множеству значений: 210 мм, 27 м, 3 линии, 8 дюймов, 5 вершков, 7 ярдов, 42 195 м и т. д. Элементы этого множества называют *значениями длины*. Каждое из них состоит из двух компонентов: числового и буквенного. Первый называют *числовым значением*, второй — *единицей длины*. Буквенный компонент является условным обозначением, в котором выражено два вида знаний: 1) какое именно свойство или отношение оценивалось и 2) какая была использована мера. В рассматриваемом примере все буквенные обозначения свидетельствуют, что оценивалась протяженность, но меры использовались разные. Все приведенные и другие подобные результаты измерений — продукт первого шага абстрагирования, так как получены в процессе предметных действий (действий с вещами). Следующий шаг абстрагирования — присвоение имени этому множеству, т. е. *определение через объем понятия*. Множество, элементами которого являются значения длины, носит имя *длина*. Метр, дюйм, линия, фут и т. п. — единицы длины.

Аналогично, сравнивая вещи по гравитационности, мы получим множество именованных чисел: 30 г, 2 кг, 7 золотников, 22 фунта, 5 пудов и т. д. Каждое из них называют *значением массы*, а само множество — *массой*. Грамм, килограмм, золотник, фунт и т. д. — *единицы массы*. Точно так же, двигаясь от измерений, введем термины *время*, *скорость*, *энергия* и т. д.

Наконец, последний шаг абстрагирования состоит в том, что мы присваиваем имя множеству, элементами которого являются длина, масса, время, скорость, ускорение, сила, энергия, мощность и т. д., т. е. снова используем определение через объем. Это имя и есть *физические величины* (кратко — *величины*). Элементы множеств длины, массы, времени и т. д. называют *значениями физических величин* (кратко — *значениями величин*). Буквенные компоненты значений величин именуют *единицами измерения физических величин* (короче — *единицами величин* или просто *единицами*).



Таким образом, *физические величины* — имя существительное третьего рода абстракции, т. е. предмета из мира идей, а не объективной реальности.

*Атрибутивные и обобщенные величины.* Пока мы говорили об оценивании свойств вещей. Отношения вещей тоже поддаются оцениванию с помощью физических величин. Величины первого типа можно назвать *атрибутивными*, второго — *обобщенными*. Сказанное хорошо иллюстрируется законом всемирного тяготения  $F = G m_1 m_2 / r^2$ . Взаимодействуют два тела, чему соответствуют две массы. Но интенсивность взаимодействия (т. е. отношение между телами) одна. Ей соответствует одна сила.

*Основные и производные величины.* Каждую величину можно ввести независимо от других. Нет сомнения, что наши предки, естественно, не догадываясь о существовании обобщенного понятия физической величины, так и поступали, ибо потребность количественно оценивать важные свойства и отношения появилась задолго до того, как были научно установлены связи между ними. Однако с течением времени эти связи устанавливались, и оказалось, что практически удобнее (дешевле, точнее и т. п.) иметь немного величин, условно называемых *основными*, а все остальные величины, именуемые *производными*, определять через них. Подчеркнем: деление это чисто условное, не объясняемое каким-либо физическим смыслом — производные величины ничуть не “хуже” основных. Например, если бы были разработаны средства измерения мгновенной скорости, превосходящие по точности средства измерения длины, вероятно, была бы достигнута договоренность о включении скорости в число основных величин взамен длины. В том, что это принципиально возможно, убеждает нас пример с электрическим зарядом. Казалось бы, это “более важная” величина, чем сила тока. Существуют “естественные эталоны” заряда — электрон и протон. Но как ими воспользоваться для измерений, неизвестно. Поэтому в СИ основной величиной выбрана сила тока. Число и вид основных величин определяются теоретическими, практическими и историческими соображениями. Для СИ основными признаны семь величин: длина  $L$ , масса  $M$ , время  $T$ , сила электрического тока  $I$ , температура  $\Theta$ , количество вещества  $N$ , сила света  $J$ .

*Определение физических величин.* Для облегчения понимания изучаемого материала определения однородных предметов мысли целесообразно унифицировать (см. *Единая схема построения определений физических величин*). В частности, для физических величин уместна следующая схема: 1) название; 2) указание, что это —

элемент множества физических величин; 3) указание, для оценивания какого свойства или отношения введена величина; 4) вид величины (скаляр или вектор); 5) как, в принципе, ее можно измерить. Пятый пункт раскрывают по-разному в случае основных и производных величин. Для основных указывают эталон (это может быть очень сложная установка), путем сравнения с копиями которого их измеряют. Для производных указывают определяющее уравнение (формулу), согласно которому она введена в систему. Последовательность определяющих уравнений выбирается такой, чтобы каждое последующее уравнение содержало только одну новую физическую величину. Вся эта процедура нужна для построения системы величин. Что касается практики измерений — это другой, технический вопрос. Например, чтобы узнать скорость автомобиля, шоферу не надо измерять отрезок пути и соответствующий отрезок времени, чтобы поделить потом первое число на второе: существует прибор — спидометр, который непосредственно показывает мгновенную скорость.

Размерность физической величины называют формулу, представляющую собой произведение символов основных величин в различных степенях. Она показывает, как производная величина выражается через основные. Размерность основной величины просто совпадает с ее символом (например, размерность длины —  $L$ ). Размерность производной величины находят, подставляя в правую часть определяющей формулы вместо обозначений величин их размерности. Размерность величины обозначают либо буквами  $\dim$ , либо квадратными скобками. Например, скорость определяют формулой  $v = \Delta s / \Delta t$ . Если вместо  $\Delta s$  и  $\Delta t$  подставить символы длины и времени, мы получим размерность скорости:

$$\dim v = LT^{-1}.$$

Наконец, два уточнения.

1. В соответствии с существующей терминологией, указывая оценку протяженности какого-либо конкретного предмета, следовало бы говорить, что значение его длины столько-то метров. Однако, как правило, пользуются краткой формулой: «длина предмета — столько-то метров». Таким образом, термин *длина* оказывается двузначным: им обозначают множество значений длины и используют как синоним выражения *значение длины*. То же самое происходит и с именами других величин.

2. Когда мы определяем термины, являющиеся именами конкретных величин, то, например, говорим «Масса — физическая величина...». По своему смыслу это — непредикативное определение, означающее, что масса — элемент множества физических величин.

Примечания. 1. Нам известны две серьезные попытки дать определение физической величины через род и видовое отличие (см. *Классификационное определение*). В первой по времени родовым понятием выбрано 'свойство', а видовым отличием — общность в качественном отношении многим физическим объектам, но в количественном отношении — индивидуальность для каждого из них. Однако этим признакам обладает каждое *свойство*. Поэтому, пользуясь ими, невозможно выделить в множестве свойств какое-либо подмножество. Следовательно, данное суждение определенным не является. В более позднем определении родовым выбрано понятие 'характеристика свойства', видовое отличие — то же, что и в первом. Однако понятие 'характеристика свойства' не определено, и тем самым предложенная дефиниция повисает в воздухе. Попытка самостоятельно понять, что такое 'характеристика свойства', к успеху не приводит (см. *Характеристика*).

2. Даже если бы физические величины принадлежали множеству свойств, их нельзя было бы считать существующими объективно: ведь термин *свойство* — отвлеченное (абстрактное) сущностное. Наше определение показывает, что физическая величина — предмет из мира идей, а не из мира вещей (см. *Предмет мысли*). Разумно предположить, что заблужденно, будто физические величины — объективная реальность, поддерживается "магический слог" (см. *Тирания формы*). На эту мысль наводит выражение "Измерение физических величин". Видимо, его воспринимают как свидетельство реального их существования. Например, в литературе можно встретить следующий "аргумент": "Чтобы измерять, нужно иметь, что измерять". Часто измерение определяют как сравнение измеряемой величины с ее единицей. Однако из всего изложенного в данной статье и в статье *Измерение* должно стать ясным, что сравниваемы мы вещи, а не абстракции. Следовательно, выражение "измерение физической величины" — метафора, которая, однако, не осознается как иносказательное выражение.

3. Иногда можно прочесть, что физическими величинами оценивают состояния, явления и процессы. Однако можно убедиться, что все они могут быть сведены к категориям 'свойство' и 'отношение'.

4. Анализируя тексты с именами физических величин, мы часто сталкиваемся с проявлением "синдрома Пигмалиона" (см. *Предмет мысли*). Например, когда говорят "Тело обладает массой". *Тело* — имя предмета из мира вещей, а *масса* — имя предмета из мира идей. Тело не может обладать массой. Масса введена как абстрактное понятие для оценивания гравитационности и инертности тела. Или можно прочесть, что к "первичной обмотке трансформатора приложено напряжение 220 В". Нелепость подобных формулировок становится ясной, если задуматься: мог ли ученик 5 класса в сочинении "Как я провел лето?" написать следующее: "В середине июля яволь улыбка почти вплотную к нашему крыльцу выкопал канаву шириной один метр для прокладки водопровода. Я легко перепрыгивал ее, а бабушке приходилось далеко обходить. Я нашел на свалке широкую доску два метра и перебросил ее через канаву. Бабушка была довольна". Нелепость словосочетания "широкая доска два

метра" понятна каждому из опыта обыденной жизни. Однако научного опыта у учащихся еще нет. Поэтому такие выражения, как "приложено напряжение 220 В", не воспринимаются как бессмысленные. По мере взросления же, человек привыкает к ним и начинает сам говорить и писать так же.

5. В настоящее время реже, но все еще встречаются формулировки такого рода: "Давление есть сила, приходящаяся на единицу площади"; "Плотность есть масса единицы объема". В их недокорректности легко убедиться на примере следующего рассуждения. Зададимся вопросом: чему равна масса 2 л воды? Очевидно, 2 кг. А 1,5; 1,2; 1,0; 0,8; 0,5 л воды? Так же очевидно, что 1,5; 1,2; 1,0; 0,8; 0,5 кг соответственно. Масса 1 л (единицы объема) воды равна 1 кг, а не 1 кг/л. Масса образца любого размера есть масса. Плотность же — другая физическая величина. Ее надо определять как величину, равную отношению массы образца к его объему.

6. Лишено физического смысла понятие '*истинное значение физической величины*'. Вообще термин, состоящий из прилагательного и существительного, является именем понятия, подчиняющим для которого является понятие, называемое тем же существительным, но без прилагательного. Стало быть, родовым для понятия '*истинное значение физической величины*' является понятие '*значение физической величины*'. Согласно правилам логики, все признаки родового понятия присущи видовому. Важнейший признак понятия '*значение физической величины*' — быть продуктом измерения. Но сами же авторы метрологических справочников утверждают, что получить истинное значение путем измерения невозможно. Следовательно, это — сорное понятие. В 1992 г. петербургские метрологи отказались от этого понятия применительно к практике измерений, но сохранили его в теоретических исследованиях. Мы убеждены, что спустя некоторое время им перестанут пользоваться и в теории.

7. Бессмысленно также словосочетание "размер физической величины". Физическая величина — предмет из мира вещей. Она существует только в форме множества ее значений, т. е. чисел. Что такое "размер множества чисел"? Термин *размер* применим к вещи, а не к физической величине.

В связи с этим тоже наблюдается любопытная ситуация. И в обыденной жизни, и в производстве (машиностроение, строительство, деревообработка и др.) чрезвычайно широко используют слово *размер*. Например, говоря о шкафе или другом предмете, по форме напоминающем параллелепипед, мы называем его *линейными размерами* длину, ширину и высоту. В этом контексте слово *длина* не является именем физической величины. Здесь им обозначают больший из горизонтальных размеров шкафа (а шириной — меньший). Для количественного оценивания этих размеров, очевидно, надо использовать физическую величину, измеряемую длиной. Таким образом, строго говоря, следовало бы сказать: "длина более протяженной стороны шкафа — 2 м" (или, короче, "длина длинной шкафа — 2 м"). Аналогично: "длина ширины шкафа..." Так не говорят. В результате оказывается, что слова *длина, ширина, высота, глубина, диаметр* и т. д. оказываются двузначными — ими обозначают размер вещи (т. е. протяженность в определенном направлении) и используют в качестве

неполного синонима термина *длина*. Более того, в некоторых текстах ширина, высота, глубина и т. п. выглядят как разные (но "однородные") величины. Например, можно прочитать, что "длина и диаметр детали — однородные величины". Однако "разные виды длины" (ширина, высота, глубина, диаметр и т. п.) — бессмыслица. Дело в том, что все количественные оценки протяженности базируются на одном *эталоны метра*. Нет специальных эталонов ширины, высоты, глубины, диаметра и т. д. Следовательно, нет и таких физических величин.

8. Подобно тому, как нет разных видов длины, нет разных видов энергии и силы. Энергия и сила — производные величины. Но их измерение базируется на определенных эталонах единиц основных величин. Существуют разные виды взаимодействий: гравитационное, электромагнитное, упругое, трение и др. Но интенсивности их всех оценивают одной физической величиной — энергией. Когда говорят о разных видах силы или энергии, то неявно подразумевают не физические величины, а другие предметы мысли, обозначаемые теми же словами (см. *Сила, Энергия*). Чтобы не вносить путаницы, так и следует говорить: существуют разные виды взаимодействий и разные виды движения (а не разные виды сил и энергий).

9. Нередко пишут, будто складывать и вычитать "допустимо только физические величины, имеющие одинаковую размерность". Говоря так, имеют в виду не написание формул в буквах, а сложение значений величин, т. е. именованных чисел. Поэтому данное утверждение ошибочно. Например, одинаковую размерность имеют энергия и момент силы, но попытка складывать их (даже в буквах) лишена физического смысла. Более того, одинаковую размерность в системах СИ и СГС имеют длина, масса, сила, энергия и многие другие величины. Но единицы их различаются: длины — в  $10^2$  раз, массы — в  $10^3$  раз, силы — в  $10^5$  раз и т. д. (только единица времени одна и та же — секунда). Следовательно, складывать и вычитать можно только значения одной и той же величины, выраженные в одинаковых единицах.

10. Возмутительная ситуация с синонимами термина *физическая величина*. Анализ текстов показывает, что в качестве таковых используют слова: *мера, характеристика, координата* (не только для обозначения пространственных величин), *переменная, параметр* и даже *показатель*. Этот разномыслие препятствует пониманию материала. Термины *переменная* и *параметр*, вообще говоря, применять допустимо, поскольку в математике это имена видов величин (изменяющаяся и не изменяющаяся в определенных условиях величины). Но и тут не все в порядке. Например, в молекулярной физике и термодинамике параметрами называют переменные величины ("параметры состояния"). В некоторых текстах эти термины используют как синонимы.

11. Желательно не использовать союз "с" в выражениях подобного типа: "тело с массой 5 кг". Следует говорить "тело массой 5 кг". Это становится ясным из следующего сравнения. Можно сказать "ведро с водой", но нельзя "ведро с вместимостью 12 л".

12. Не следует термин *величина* использовать как синоним термина *значение величины*, так как *величина* — краткий термин выражения *физическая величина*.

13. Нередко значение величины (именованное число) называют числовым значением. Это неверно. Числовое значение — “голое” число. Например, 5 м — значение длины, а 5 — числовое значение.

14. В распространенном учебном пособии для поступающих в вузы можно прочитать: “Любое измерение сводится к сравнению значения измеряемой величины с другим значением, принятым за единичное, т. е. с эталоном”. Кроме слова “сравнение” все остальное здесь неверно. Значение физической величины — именованное число. Для того чтобы его сравнить (очевидно, с другим числом), его по меньшей мере надо иметь. Но значение величины — продукт измерения, до измерения его нет. Далее. Сравнение чисел — операция умственная. А измерением называют эмпирическое действие. Наконец, эталон — это не число, а вещь — средство измерения, мера, изготовленная с наивысшей точностью.

**ФИЗИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ (ЯВЛЕНИЕ).** *Фундаментальное понятие. Термин физическое явление служит именем множества, элементами которого являются механическое движение, гравитация, инерция, деформирование, диффузия, течение (жидкости или газа), электрический ток, электромагнитная индукция, магнитострикция, отражение света и т. п. (см. Определение через объем понятия; Номинальное определение).*

**ФЛУКТУАЦИИ.** *Случайные отклонения измеряемых значений величин от их средних значений. Обусловлены хаотическим тепловым движением молекул, атомов, электронов или специфическими особенностями движения микрообъектов, отраженных в соотношениях неопределенностей Гейзенберга.*

**ФОКУС** [от лат. focus — очаг]. Точка, в которой после прохождения через линзу света, подошедшего к ней в виде параллельного пучка, собираются преломленные этой линзой лучи (или их продолжения). Если пучок света падает на линзу параллельно ее главной оптической оси, то фокус лежит также на этой оси; в этом случае его называют главным фокусом линзы. При наклонном падении пучка света на линзу преломленные ею лучи пересекаются в точках, лежащих в плоскости, проходящей через главный фокус линзы перпендикулярно ее главной оптической оси; эту плоскость называют фокальной плоскостью, а множество ее точек — побочными фокусами линзы.

**ФОКУСНОЕ РАССТОЯНИЕ, *F*.** Расстояние от оптического центра линзы до ее главного фокуса.

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ.** Прием научного мышления, состоящий в идеализации объекта в форме математической модели, позволяющей применить для его исследования логические и математические методы (ср. *Содержательная интерпретация*).

**ФОРМУЛА** [от лат. formula — форма, правило, предписание]. Комбинация математических знаков, выражающая какое-либо утверждение в математической форме. Например:

$$2 \times 2 = 4, \quad a^2 - b^2 = (a - b)(a + b), \quad u = Rl, \quad F = kx.$$

**ФОРМУЛА БАЛЬМЕРА.** Формула для вычисления длин волн  $\lambda$  спектральных линий в видимой области спектра атома водорода:  $\lambda = B \frac{n^2}{n^2 - 4}$ , где  $B = 3645,6 \text{ \AA}$  — постоянная;  $n = 3, 4, 5, \dots$  — последовательные натуральные числа. Установлена в 1885 г. швейцарским ученым Иоганном Бальмером.

**ФОРМУЛА БАЛЬМЕРА—РИДБЕРГА.** Формула для вычисления частот  $\nu$  в спектре излучения водородоподобных атомов (в основном водорода и гелия):  $\nu = Z^2 R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$ , где  $Z$  — зарядовое число атома,  $R$  — постоянная Ридберга,  $n = 1, 2, 3, \dots$ ;  $m = n + 1, n + 2, n + 3, \dots$  — целые числа. Установлена в 1890 г. шведским физиком Иоганном Ридбергом, обобщившим формулу Бальмера.

**ФОРМУЛА ДЕ БРОЙЛЯ.** В 1923 г. французский физик Луи де Бройль высказал очень смелую для того времени гипотезу о том, что каждой микрочастице с импульсом  $P$  и энергией  $E$  соответствует волна (названная впоследствии волной де Бройля) с частотой  $\nu = E/h$  и длиной  $\lambda_0 = h/p$ , где  $h$  — постоянная Планка. Гипотеза де Бройля получала подтверждение в опытах по дифракции электронов и других микрочастиц. Развитие представлений о волнах де Бройля австрийским физиком Эрвинном Шрёдингером привело к понятию волновой функции и созданию квантовой механики.

**ФОРМУЛА КОМПТОНА.** Формула для вычисления изменения длины волны  $\Delta\lambda$  электромагнитного излучения при его рассеянии на свободных или слабо связанных электронах:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_0 (1 - \cos\theta),$$

где  $\lambda$  и  $\lambda'$  — длины волн падающего и рассеянного излучения,  $\theta$  — угол рассеяния,  $\lambda_0 = 2,43 \cdot 10^{-12}$  м — постоянная (комптоновская длина волны). Экспериментально установлена в 1922 г. американским физиком Артуром Комптоном.

**ФОРМУЛА ЛАПЛАСА.** Формула для вычисления перепада гидростатического давления  $\Delta P$  на поверхности раздела двух сред:  $\Delta P = P_1 - P_2 = \varepsilon \sigma$ , где  $P_1$  и  $P_2$  — давление с вогнутой и выпуклой сторон поверхности,  $\varepsilon = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$  — средняя кривизна поверхности в рассматриваемой точке,  $\sigma$  — коэффициент поверхностного натяжения. Установлена в 1806 г. французским ученым Пьером Лапласом (см. *Капиллярные явления*).

**ФОРМУЛА ЛОРЕНЦА.** Формула для вычисления силы Лоренца  $F_L$ :  $F_L = qE + q[vB]$ , где  $E$  — напряженность электрического поля,  $B$  — магнитная индукция,  $q$  — электрический заряд,  $v$  — скорость частицы, движущейся в электрическом и магнитном полях.

**ФОРМУЛА ПЛАНКА.** Формула для вычисления энергии  $E$  фотона:  $E = h\nu$ , где  $\nu$  — частота электромагнитного излучения,  $h$  — *постоянная Планка*. Предложена в 1900 г. Максом Планком.

**ФОРМУЛА СТОКСА.** Формула для вычисления силы  $F_C$  сопротивления среды (жидкости или газа) движению в ней тел при их медленном равномерном поступательном движении:  $F_C = A\eta v$ , где  $\eta$  — коэффициент вязкости среды,  $r$  — характерный размер тела (например, для шара — его радиус),  $v$  — скорость тела,  $A$  — постоянная, значение которой различно для тел разной формы (например, для шара  $A = 6\pi$ ).

**ФОРМУЛА ТОМСОНА.** Формула для вычисления периода  $T$  свободных колебаний в колебательном контуре:

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

где  $L$  — индуктивность катушки,  $C$  — емкость конденсатора.

**ФОРМУЛА ТОНКОЙ ЛИНЗЫ:**  $\frac{1}{d} \pm \frac{1}{f} = \pm \frac{1}{F}$ , где  $F$  — фокусное расстояние линзы,  $d$  и  $f$  — расстояния от предмета до линзы и от



его изображения до линзы. Знак "+" относится к собирающей линзе, а знак "-" — к рассеивающей.

**ФОРМУЛА ТОРРИЧЕЛЛИ.** Формула для вычисления скорости  $v$  истечения жидкости из малого отверстия в открытом сосуде:  $v = \sqrt{2gh}$ , где  $h$  — высота сосуда, отсчитываемая от центра отверстия,  $g$  — ускорение свободного падения. Установлена в 1641 г. итальянским ученым Эванджелистой Торричелли.

**ФОРМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СВЯЗИ МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКИМИ ВЕЛИЧИНАМИ.** Существующие между различными физическими величинами связи представляют в четырех формах: *табличной, графической, аналитической и вербальной (словесной).*

В виде таблиц обычно представляют зависимость между величинами, снятую непосредственно в процессе эксперимента. Следовательно, табличная форма наиболее точно выражает эту зависимость. Основное достоинство таблиц — точность, основной недостаток — отсутствие надежности.

Для большей наглядности те же данные представляют в виде *графика*. При *косвенных измерениях*, если связь между измеренными величинами в каких-то координатах линейная, график может стать одним из средств, позволяющих определять значение искомого величины (см. *Условий коэффициент*).

В *аналитической форме* связь между величинами получают в результате построения теории явления на основе конкретной мысленной модели или в результате обобщения данных, представленных в табличной и графической формах.

*Вербальная форма* представляет собой перевод данных, представленных в одной из трех других форм, на естественный язык.

**ФОТО...** [от греч. photos — свет]. В сложных словах означает их отношение к свету.

**ФОТОИОНИЗАЦИЯ.** Явление, состоящее в образовании под действием фотонов положительных и отрицательных ионов, а также появлении свободных электронов из электрически нейтральных атомов и молекул. В диэлектриках и полупроводниках фотоионизация проявляется в виде *внутреннего фотоэффекта* и в этом смысле является его механизмом.

**ФОТОЛУМИНЕСЦЕНЦИЯ.** Явление, состоящее в свечении некоторых веществ, возникающем после предварительного освеще-

щения, и обусловленное переходом атомов этих веществ из возбужденного состояния (в котором они могут находиться сравнительно долго, не излучая свет) в основное состояние. Время, в течение которого наблюдается фотолюминесценция вещества после прекращения его освещения, называют временем послесвечения.

**ФОТОН,  $\gamma$ .** Стабильная элементарная частица, квант электромагнитного взаимодействия. Масса покоя фотона  $m_\gamma = 0$  (точнее,  $m_\gamma < 4 \cdot 10^{-21} m_e$ , где  $m_e$  — масса покоя электрона), электрический заряд  $q_\gamma = 0$ .

**ФОТОПРОВОДИМОСТЬ (ВНУТРЕННИЙ ЭФФЕКТ).** Явление, состоящее в увеличении проводимости полупроводника под действием света, обусловленное увеличением в полупроводнике концентрации свободных носителей заряда (электронов и дырок).

**ФОТОСИНТЕЗ.** Явление открыл в 1771 г. английский ученый Джозеф Пристли. Оно состоит в образовании органических веществ в растениях и бактериях под действием света путем усвоения углерода неорганических веществ. Фотосинтез протекает за счет света, поглощенного хлорофиллом и другими пигментами, и сопровождается выделением кислорода. В простейшем случае, когда конечным продуктом фотосинтеза являются углеводы, фотосинтез в растениях можно выразить формулой



В существовании на Земле всего живого фотосинтез играет определяющую роль — это начальная стадия производства всех органических веществ. Без фотосинтеза жизнь существовать не может.

На основе описанных признаков фотосинтеза можно составить его полное определение. Фотосинтез — явление, состоящее в производстве органических веществ в растениях и бактериях под влиянием света, сопровождающееся выделением кислорода и обусловленное химической реакцией, протекающей в их клетках.

**ФОТОУПРУГОСТЬ.** Явление, состоящее в превращении оптически изотропных твердых тел в оптически анизотропные (в возникновении двулучепреломления) при их одностороннем сжатии или растяжении, обусловленное преимущественной ориентацией анизотропных молекул в направлении деформации.

**ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ.** Название группы явлений, объединенных общим условием, при котором они наблюдаются. Явления, состоящие в изменении электрических свойств некоторых веществ под действием света и обусловленные взаимодействием фотонов с частицами вещества.

**ФОТОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ.** Испускание электронов твердыми телами и жидкостями под действием света. Происходит в три этапа: поглощение электронами фотонов; движение части этих электронов к поверхности тела; выход электронов в другую среду через поверхность раздела. Проявляется во внешнем фотоэффекте и в этом смысле является его механизмом.

**ФРОНТ ВОЛНЫ.** Иконическая модель волны, введенная для наглядного представления границ области пространства, охваченного волной, построенная как совокупность точек, до которых дошла волна.

**ФУЛЛЕРЕНЫ.** Молекулы  $C_{60}$ , состоящие из 60 атомов углерода (см. *Аллотропия*).

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПОНЯТИЯ (КАТЕГОРИИ).** Среди научных понятий (см. *Понятие и термин*) можно выделить понятия, называемые фундаментальными, так как они в той или иной форме либо явно присутствуют в научных взглядах, либо косвенно влияют на них. К их числу относятся: материя, сознание, отношение, явление, свойство, движение, взаимодействие, пространство, время, процесс, событие, состояние, вещество, поле, система, элемент, причина, следствие, условие, предмет мысли, научная картина мира, мировоззрение, качество, количество, модель, закон, физическая величина.

По поводу фундаментальных понятий написаны тысячи книг. И вместе с тем каждый человек, стремящийся к научному пониманию, должен хотя бы представлять себе, о чем идет речь. Поэтому мы рассказываем о них в нашем словаре.

Фундаментальные понятия формировались стихийно, независимо друг от друга. Поэтому они в какой-то мере пересекаются. Рассмотрим некоторые примеры. С одной стороны, если любое изменение в мире мы называем движением, то оказывается, что 'движение' наряду с 'материей' — понятие наиболее общее. С другой стороны, достаточно ясно, что о существовании движений мы узнаем только потому, что они "являются" нам. Отсюда следует,

что понятие 'явление' столь же фундаментально, что и 'движение'. Однако это не все. Даже простое механическое движение — перемещение — мы можем наблюдать лишь потому, что свет взаимодействует с движущимися, неподвижными предметами и с сетчаткой глаза. Отсюда следует, что понятие 'взаимодействие' тесно связано с понятиями 'движение' и 'явление'.

В некоторых случаях оказывается, что понятия 'явление', 'свойство' и 'закон' почти идентичны. Допустим, мы изучаем реакцию воды, заполняющей сосуд с погруженным в него телом, на локальное сжимающее воздействие. Мы обнаружим наличие явления, состоящего в том, что в условиях этого эксперимента воздействие передается водой во все стороны так, что добавочное давление на стенки сосуда и тела оказывается всюду одинаковым. Изменив условия эксперимента и используя другие жидкости, мы увидим, что это явление универсально, и поэтому можем констатировать, что каждой жидкости присуще описанное свойство. И вместе с тем мы знаем, что данное утверждение давно называют *законом Паскаля*.

Фундаментальные понятия — понятия наиболее высокого уровня обобщения, поэтому "привычным" способом — через род и видовое отличие (см. *Классификационное определение*) — определять фундаментальные понятия невозможно: для них не удастся подобрать родовые понятия. Поэтому необходимо реконструировать историю их возникновения и использовать процедуру *введения абстрактных выражений*, состоящую в многократном применении *определения через объем понятия*. Многие из фундаментальных понятий являются парными, т. е. не могут быть определены по отдельности — только совместно (см. *Парные категории*).

# Х

**ХАРАКТЕРИСТИКА.** Слово *характеристика* используют как в обыденной речи, так и в научных текстах. Согласно толковым словарям, в обыденной речи оно означает описание характерных свойств чего-нибудь или кого-нибудь; официальный документ — отзыв о служебной, общественной или иной деятельности человека.

В математике *характеристикой* называют целую часть логарифма.

Что касается физических и технических текстов, ситуация значительно хуже. В некоторых словарях (Философский словарь, Физический энциклопедический словарь) это слово вообще отсутствует. Там, где оно есть, его определяют как имя взаимосвязи величин, характеризующей какие-либо объекты (вольтамперная характеристика, амплитудно-частотная характеристика, градуировочная характеристика и т. п.). Однако контекстуальный анализ (см. *Контекстуальное определение*) показывает, что значительно чаще термин *характеристика* используют как синоним выражения *физическая величина*. Так, можно прочесть, что характеристиками являются: энергия, энтропия, масса, спин, электрический заряд, сила электрического тока, электрическое сопротивление, индуктивность, емкость, плотность, удельная теплоемкость, магнитная проницаемость и т. д.

С нашей точки зрения, это недопустимо. Термин *физические величины* в синонимах не нуждается. Характеристикой следует именовать только связь физических величин.

Иногда материал излагают так, что у читателя создается впечатление, будто характеристика — *атрибут* изучаемого объекта. В действительности характеристика — один из способов описания свойств объекта, придуманный человеком.

Продуктивнее всего рассматривать характеристику как траекторию движения точки, изображающей состояние объекта (изображающей точки). Этот образ легко понять, рассмотрев методику получения характеристики на экране *осциллографа* (см. *Осциллограф (электронный)*). Предельно упрощенная схема для снятия *вольтамперной характеристики дугостойки* показана на рис. X.1, а. Здесь Г — генератор, формирующий *сигнал*, напряжением которого по форме близко к синусоидальному, а Д — исследуемый двухполосник.

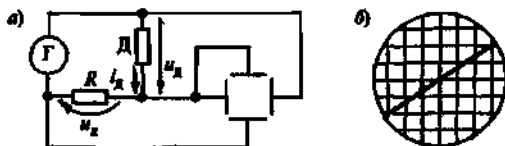


Рис. X.1. Наблюдение вольт-амперной характеристики двухполосника на экране осциллографа: предельно упрощенная схема установки (а) и вид характеристики резистора на экране (б)

Луч электроннолучевой трубки отклоняется пропорционально напряжению сигнала, поданного на пластины. Выводы двухполосника Д соединены с горизонтально отклоняющими пластинами. Поэтому отклонение  $x$  луча по горизонтали пропорционально напряжению  $U_D$ :  $x = k_x U_D$ . Чтобы отклонение по вертикали оказалось пропорциональным току  $i_D$  двухполосника, ток  $i_D$  протекает через резистор  $R$ , и напряжение  $U_R$  между его выводами будет пропорционально току:  $U_R = R i_D$ . Выводы резистора соединены с вертикально отклоняющими пластинами (см. рис. X.1, а) и, следовательно,  $y = k_y U_R = k_y R i_D$ .

Усилитель осциллографа отрегулирован так, что при  $U_D = 0$  след луча (светящееся пятно) находится в центре экрана. Предположим, частота сигнала генератора равна 0,1 Гц и включается он в тот момент, когда напряжение равно нулю, а затем начинает нарастать. Пусть изучаемый двухполосник — резистор. Под действием сигнала растет и  $U_D$ , и  $i_D$ , и светящееся пятно движется вправо вверх. Через 2,5 с оно поползет обратно, при  $t = 5$  с вернется в начало координат, а дальше будет двигаться влево вниз. Траектория движения пятна (изображающей точки) показана на рис. X.1, б. Это и есть вольтамперная характеристика резистора.

**ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ** [от лат. (al)chemia — (al)химия и люминесценция]. В 1699 г. гамбургский купец Хеннинг Бранд получил небольшое количество белого воскообразного вещества, которое светилось в темноте. Это вещество он назвал фосфором [от греч. phos — свет и phoros — несущий; дословно — светонесный], а его свечение — фосфоресценцией. Однако в дальнейшем было установлено, что светится не фосфор, а его оксид, образующийся при взаимодействии фосфора с кислородом воздуха. Было установлено также, что в отличие от теплового излучения свечение некоторых химических веществ (соединений фосфора и других

соединений) не сопровождается повышением их температуры и продолжается в течение определенного времени после прекращения химических реакций, вызвавших это свечение. В дальнейшем это явление получило название хемилюминесценция, а термин фосфоресценция в настоящее время используется для обозначения свечения тел, продолжающегося значительное время после прекращения его возбуждения.

**Примечание.** Хемилюминесценцию обычно объясняют превращением энергии, выделяемой в результате химических реакций, в световую. Это не так. Приведенное соображение является своеобразным прочтением закона сохранения энергии для хемилюминесценции, а не механизмом этого явления, который состоит в следующем. Молекулы продуктов некоторых экзотермических реакций образуются в возбужденном состоянии, в котором они могут находиться сравнительно долго. Переходя из возбужденного состояния в основное, они излучают свет; этим и объясняется хемилюминесценция. Иными словами, хемилюминесценция — явление, состоящее в свечении некоторых веществ, продолжающемся после прекращения химических реакций, в результате которых они были получены, и обусловленное скачкообразным переходом молекулы этих веществ из возбужденного состояния в основное (см. также *Люминесценция, Коактивный переход*).

**ХИМИЧЕСКИЙ ЭКВИВАЛЕНТ.** Физическая величина, равная отношению молярной массы химического элемента к его валентности.

**ХОЛОДИЛЬНИК.** Термин используют в трех значениях. 1. Входящий в состав *тепловой машины* термостат, способный поглощать практически неограниченное количество тепла при постоянной температуре, которая ниже температуры *нагревателя*. 2. Аппарат (обычно в форме шкафа или прилавка), предназначенный для хранения скоропортящихся продуктов в домашних условиях или в магазинах. Содержит холодильную установку, принцип действия которой основан на использовании обратного цикла *Карно* — “перекачке” тепла от холодного тела к тепловому путем затраты на этот процесс механического или теплового движения, как правило, получаемого в конечном счете от электрической сети. Холодильную установку называют также *тепловым насосом*. 3. Сооружение или устройство, основанное на том же или других принципах, применяемое в промышленности или при хранении продуктов для охлаждения.

**ХОЛОДИЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ,  $\chi$ .** Безразмерная физическая величина, введенная для количественного оценивания степени энергетического совершенства холодильных машин, равная отношению количества теплоты  $Q$ , отведенной от машины, к энергии  $A$  работы, совершенной в машине:  $\chi = \frac{Q}{A}$ . Холодильный коэффициент может принимать значение больше единицы. См. также *Холодильник* (2).

**ХРОМАТИЧЕСКАЯ АБЕРРАЦИЯ ЛИНЗЫ** [от греч. *chroma* — цвет и лат. *aberratio* — отклонение]. Явление, состоящее в появлении у изображения, получаемого с помощью линзы, цветных контуров и обусловленное тем, что световые лучи различных длин волн преломляются в линзе по-разному и собираются после прохождения линзы на различном расстоянии от нее.

**ХРУПКОСТЬ.** Свойство материала разрушаться при механических воздействиях без заметной пластической деформации (ср. *Пластичность*).



# Ц

**ЦВЕТ.** Субъективное восприятие (ощущение) электромагнитных волн, объективно существующих в природе. Волны длиной от 400 до 750 нм воспринимаются нашими глазами. Ощущение, испытываемое нами от волн длинноволновой части спектра, мы называем красным, от волн коротковолновой части — фиолетовым. Никаких экспериментальных средств узнать, одинаковы ли эти ощущения у разных индивидов, не существует. Деление спектра видимого света на “цвета радуги” также субъективно. Спектр солнечного света непрерывен: никаких границ в нем не существует. В русском языке принято делить спектр на 7 частей, в Европе — на шесть (европейцы не различают синий и голубой). Есть народы, в языке которых существует только два слова для обозначения цветов (“теплый”, по-русски — “красно-желтый” и “холодный” — “фиолетово-зеленый”). Некоторые люди страдают дефектом зрения, именуемым дальтонизмом, — они не различают цветов.

**ЦЕНТНЕР, ц.** Внесистемная единица массы.  $1 \text{ ц} = 10^2 \text{ кг}$ .

**ЦЕНТР ИНЕРЦИИ ТЕЛА.** Воображаемая точка, лежащая на пересечении линий действия таких сил, которые ответственны только за поступательное (не вращательное) движение тела.

**ЦЕНТР МАСС.** То же, что *центр инерции*.

**ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ.** Почти то же, что *центр инерции*.

**ЦЕНТРИФУГА.** Термин используют в двух значениях.

1. Аппарат, предназначенный для разделения эмульсий и суспензий на составные части.

Если натуральное молоко налить в прозрачный сосуд, то через 10-20 часов мы увидим, что оно расслоилось на сливки и обрат (обезжиренное молоко). Происходит это потому, что жир нерастворим в воде, а так как плотность его меньше плотности воды, частицы жира всплывают. Молоко и подобные ему в этом отношении смеси называют *эмульсиями*. Существует их аналог — *суспензии*. Они состоят из жидкости и твердых частиц (простейший пример — грязная вода из лужи на проселочной дороге). Твердые

частицы суспензии, плотность которых выше плотности жидкости, постепенно оседают на дно.

Эмульсии и суспензии разделяются на составляющие их вещества в поле земного тяготения, но происходит это медленно. Чтобы ускорить процесс, используют центрифуги. Основная часть центрифуги — полый цилиндр, заполненный разделяемой смесью, быстро вращающийся вокруг своей оси. Принцип действия центрифуги состоит в следующем. Смесь увлекается вращающимся цилиндром и тоже начинает вращаться. Более тяжелые частицы “стремятся” двигаться по касательной к траектории (инерция) и благодаря этому приближаются к стенкам сосуда. Более легкие частицы вытесняются ими с периферии и, тем самым, перемещаются по направлению к оси вращения. Процесс разделения смесей в центрифуге называют *центрифугированием*. Наиболее распространенный пример центрифуги — сепаратор для молока.

2. Установка для испытания аппаратуры или исследования состояния и тренировки людей (летчиков, космонавтов) в условиях перегрузки.

Примечание. Обычно пишут, что центрифугирование обусловлено действием центробежной силы. Если руководствоваться общепринятым определением *центростремительной* и *центробежной* силы, это неверно: центробежной (т. е. направленной от центра вращения) силой называют силу, действующую на стенки сосуда, а не на частицы смеси.

**ЦЕНТРОБЕЖНАЯ СИЛА.** Сила, которой оценивают действие тела, движущегося по дуге окружности, на тело, называемое *связью*, заставляющее его вращаться. Направлена по радиусу от центра окружности (см. *Центростремительная и центробежная сила*).

**ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНАЯ И ЦЕНТРОБЕЖНАЯ СИЛА.** Тело, не испытывающее взаимодействий с другими телами, либо покоится, либо движется равномерно и прямолинейно. Движение тела по дуге окружности возможно потому, что на него действует другое тело, называемое *связью*, что приводит к изменению направления вектора скорости, т. е. имеется ускорение  $a = \Delta v / \Delta t$ . Поскольку оно направлено к центру окружности, такое ускорение называют *центростремительным*. Соответствующую ему силу  $F = ma$ , которой оценивают действие связи на данное тело, тоже называют *центростремительной*. Взаимодействие двух тел принято оценивать двумя силами (см. *3-й закон Ньютона*). Силу, которой

оценивают действие вращающегося тела на связь, называют центробежной, поскольку она направлена по радиусу от центра окружности.

Примечания. 1. Центробежная сила не вызывает центробежного ускорения связи — она ее деформирует.

2. Иногда понятие центробежной силы используют неправильно. Например, в учебнике для 9-го класса после того, как определены центростремительная и центробежная силы, сказано, что грязь слетает с колеса автомобиля под действием центробежной силы и при центробежном литье расплавленный металл заполняет пустоты формы под действием центробежной силы. Это неверно. Правильное объяснение данных процессов состоит в следующем. Допустим, грязь, прилипшая к колесу, двигалась по окружности. В какой-то момент комок отпал от шины. Тогда он начинает двигаться по инерции — по касательной к окружности в точке отрыва. При центробежном литье расплавленный металл увлекается вращающейся формой и тоже начинает вращаться. В результате его частицы “стремятся” (инерция) двигаться по касательным к окружностям. Но этому препятствуют периферийные стенки формы, оказывая на металл центростремительное действие. Как известно, любое локальное сжимающее воздействие на жидкость передается ею во все стороны так, что добавочное давление на стенки емкости (сосуда), в которой налита жидкость, или тела, в нее погруженного, оказывается всюду одинаковым (см. *Закон Паскаля*), что и заставляет расплавленный металл заполнить пустоты.

В сборнике научно-популярных статей видного механика академика Л.И. Седова можно прочесть, что сила инерции приложена не к связи, а к движущемуся телу и что спутник Земли движется по круговой траектории потому, что центробежная сила уравновешивает силу тяготения. Оценим это утверждение. Представим себе (мысленный эксперимент), что гравитационное поле Земли внезапно исчезло. Как с этого момента будет двигаться спутник? По касательной к окружности. Следовательно, двигаться по окружности его “заставляет” (ничем не скомпенсированное) притяжение к Земле. Между прочим, в “Математических началах натуральной философии” Ньютон писал, что Луна обращается вокруг Земли под действием центростремительной силы.

**ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ.** Ускорение тела, движущегося по дуге окружности, направленное по радиусу к центру окружности (см. *Центростремительная и центробежная сила*). При движении тела, траектория которого представляет собой произвольную кривую, центростремительное ускорение — составляющая ускорения, направленная по нормали к траектории его движения, или, как иногда говорят, к центру кривизны траектории. Модуль центростремительного ускорения вычисляют по формуле  $a = v^2/R$ , где  $v$  — линейная скорость тела,  $R$  — радиус кривизны траектории.

**ЦЕПНАЯ ЯДЕРНАЯ РЕАКЦИЯ.** Реакция деления тяжелых атомных ядер, происходящая под действием нейтронов, в результате которой вновь образуются нейтроны, вызывающие следующий акт реакции, и т. д. Характеризуется *коэффициентом размножения*.

**ЦИКЛ.** Такое изменение состояния системы, в результате которого она возвращается в исходное состояние.

**ЦИКЛ КАРНО** Термодинамический цикл, состоящий из двух *изотермических* и двух *адиабатных процессов*. КПД цикла определяется *теоремой Карно*. Назван в честь французского физика Сади Карно, рассмотревшего данный цикл теоретически.

**ЦИРКУЛЯРНО ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ СВЕТ** То же, что свет, поляризованный по кругу.

# Ч

**ЧАС**, ч. внесистемная единица времени,  $1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$ .

**ЧАСТИЦА**. Тело очень малого, но конечного размера.

**ЧАСТИЧНО ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ СВЕТ**. Свет, представляющий собой смесь *естественного* и *плоско (линейно) поляризованного* света.

**ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ**,  $n$ . Скалярная *физическая величина*, введенная для количественного оценивания быстроты вращения твердого тела и равная (при равномерном вращении) отношению числа оборотов тела  $N$  ко времени вращения  $t$ :  $n = N/t$ . Единица частоты вращения в СИ — секунда в минус первой степени ( $\text{с}^{-1}$ ); внесистемные единицы — оборот в секунду (об/с) или оборот в минуту (об/мин). На практике измеряется *тахометром*.

**ЧАСТОТА КОЛЕБАНИЙ**,  $\nu$ . Скалярная *физическая величина*, введенная для количественного оценивания быстроты повторяемости периодических процессов и равная отношению числа  $N$  колебаний в течение определенного интервала времени  $t$  к этому интервалу:  $\nu = N/t$ . Величина, обратная *периоду колебаний*  $T$ :  $\nu = 1/T$ . Единица частоты колебаний в СИ — *Герц*. Частоту электрических колебаний измеряют *частотомером*.

**ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ**. См. *Модуляция*.

**ЧАСТОТОМЕР**. Прибор для измерения частоты периодических процессов (главным образом электрических колебаний). Существует несколько разновидностей частотомеров. Например, частотомер на основе вибрационного электроизмерительного механизма состоит из электромагнита, возбуждаемого током, частота которого измеряется, и набора стальных пластинок, частоты собственных колебаний которых образуют дискретный ряд значений с определенным шагом (обычно не менее 0,2 Гц). При совпадении удвоенной частоты тока с собственной частотой колебаний одной из пластинок амплитуда ее колебаний в результате *резонанса* резко возрастает. Это и позволяет измерить частоту переменного тока.

**ЧАСЫ.** *Мера времени.* Действие часов основано на использовании определенных периодических процессов: суточного вращения Земли (солнечные часы), колебания маятника (маятниковые часы), кварцевой пластинки (кварцевые часы), атомов и молекул (атомные и молекулярные часы).

**ЧИСЛО АВОГАДРО.** То же, что *постоянная Авогадро.*

**ЧИСЛО СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ,  $i$ .** Количество независимых переменных (координат), с помощью которых может быть задано положение системы. Так, положение одноатомной молекулы в любой момент времени можно определить заданием значений трех ее координат. Поэтому говорят, что одноатомная молекула имеет три степени свободы поступательного движения. Чтобы определить положение свободного *твердого тела*, нужно задать три координаты его центра инерции, характеризующие *поступательное движение*, и три угла (*углы Эйлера*), характеризующие *вращательное движение* вокруг неподвижной точки. Следовательно, твердое тело имеет шесть степеней свободы: три поступательного и три вращательного движения.

**ЧИСЛО ФАРАДЕЯ.** То же, что *постоянная Фарадея.*

# Ш

**ШКАЛА КЕЛЬВИНА.** Предложена английским физиком Уильямом Томсоном (Кельвином). *Температурная шкала*, в которой, как и в *шкале Цельсия*, интервал между значениями температуры таяния льда и кипения воды при нормальном атмосферном давлении разделен на 100 равных частей, но за 0 принят абсолютный нуль температуры, а не температура таяния льда. Температуру по шкале измеряют в *кельвинах* (К). Перевод температуры по шкале Кельвина в температуру по шкале Цельсия производят по формуле  $T^{\circ}\text{C} = 273,15 + t^{\circ}\text{K}$ . Из формулы пересчета следует, что температура таяния льда равна 273,15 К, а температура кипения воды — 373,15 К, и что изменение температуры на 1 К соответствует изменению температуры на 1 °С.

**ШКАЛА РЕОМЮРА.** Предложена в 1730 г. французским естествоиспытателем Рене Антуаном Фершо де Реомюром. *Температурная шкала*, в которой интервал между значениями температуры таяния льда и кипения воды при нормальном атмосферном давлении разделен на 80 равных частей. Температура по шкале измеряется в градусах Реомюра (°R), причем температура таяния льда принята равной 0 °R, а кипения воды — 80 °R. Перевод температуры по шкале Реомюра в температуру по шкале Цельсия производят по формуле:  $t^{\circ}\text{C} = 1,25^{\circ}\text{R}$ .

**ШКАЛА СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ** (шкала) [от лат. *scala* — лестница]. Часть показывающего устройства *средства измерений*, представляющая собой упорядоченный ряд отметок вместе со связанной с ней последовательностью чисел (подобно ряду черточек и чисел на масштабной линейке). Кроме шкалы в состав показывающего устройства входит подвижная стрелка.

**ШКАЛА ФАРЕНГЕЙТА.** Предложена в 1714 г. голландским физиком Габриелем Даниелем Фаренгейтом. *Температурная шкала*, основанная на трех фиксированных точках. Первая из них — температура смеси льда, воды и нашатыря при нормальном давлении, принята за 0° F; вторая — температура льда и воды, отмеченная как 32° F, и третья — температура кипения воды, — соответствующая 212° F. Эту шкалу до сих пор используют в Англии и США. Перевод температуры по шкале Фаренгейта в температуру по шкале Цельсия производят по формуле:  $t^{\circ}\text{C} = 5/9(t^{\circ}\text{F} - 32)$ .

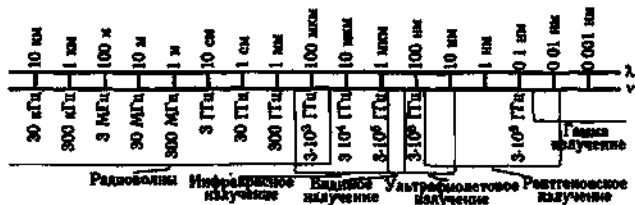


Рис. Ш.1. Шкала электромагнитных волн

**ШКАЛА ЦЕЛЬСИЯ.** Предложена в 1742 г. шведским астрономом Андресом Цельсием. *Температурная шкала*, в которой интервал между значениями температуры таяния льда и кипения воды при нормальном атмосферном давлении разделен на 100 равных частей. Температура по шкале измеряется в градусах Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ), причем температура таяния льда принята равной  $0^{\circ}\text{C}$ , а кипения воды —  $100^{\circ}\text{C}$ .

**ШКАЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН.** Последовательность значений длины (или частоты) электромагнитных волн, в соответствии с которой производят их классификацию (рис. Ш.1). Следует иметь в виду, что деление электромагнитных волн по типам условно, т. е. между отдельными диапазонами шкалы не существует резких границ.

**ШУНТ.** Термин используют в двух значениях. 1. *Резистор*, подключаемый параллельно *амперметру* для расширения пределов измерения прибора. 2. Любой двухполюсник, подключенный параллельно данному элементу. Такое подключение называют *шунтированием*.



# Э

**ЭДС.** См. *Электродвижущая сила.*

**ЭКВИВАЛЕНТ** [от лат. *aequivalens*]. Равноценное, равносильное, равнозначное, равный по величине (в физике — по значению величины).

**ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА ИЗЛУЧЕНИЯ,  $D_{экв}$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания биологического воздействия ионизирующего излучения на живые организмы и равная произведению поглощенной дозы излучения  $D$  и коэффициента относительной биологической эффективности (коэффициент качества излучения) КОБЭ:  $D_{экв} = D \cdot КОБЭ$ . Единица эквивалентной дозы излучения в СИ — *Зиверт*.

**ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ СХЕМЫ.** Термин используют в двух значениях. 1. То же, что *схемы замещения*. 2. Схемы замещения, имеющие разную структуру и компонентный состав, но одинаковое поведение.

**ЭКВИПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ.** Иконическая модель распределения поля в пространстве, представляющая собой множество точек, которым соответствует одно и то же значение потенциала.

**ЭКСА..., Э** [от греч. *hex* — шесть; в данном случае — шестая степень тысячи]. Приставка к наименованию единицы физической величины для образования наименования кратной единицы, равной  $10^{18}$  от исходной. Например, 1 Эм (эксаметр) =  $10^{18}$  м.

**ЭКСПЕРИМЕНТ.** Вид эмпирического познания, состоящий в организации преднамеренного воздействия на познаваемый объект и восприятии реакции на это воздействие (см. *Наблюдение и эксперимент*).

**ЭКСПОЗИЦИОННАЯ ДОЗА ИЗЛУЧЕНИЯ, ЭДИ.** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания ионизирующей способности излучения и равная отношению суммар-

ного электрического заряда  $Q$  ионов, образовавшихся под действием излучения, к массе вещества  $m$ : ЭДИ =  $Q/m$ . Единица экспозиционной дозы излучения в СИ — Кл/кг. На практике иногда используют внесистемную единицу — рентген (Р);  $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ .

**ЭКСТРАПОЛЯЦИЯ** [от лат. extra — сверх, вне + (интер)поляция]. Приближенное вычисление неизвестных значений функции по ряду известных ее значений при условии, что значения аргумента, при которых вычисляют неизвестные значения функции, лежат *вне* промежутка значений аргумента, при которых значения функции известны. Так, если известны значения  $y_1, \dots, y_n$  функции  $y = f(x)$  в точках (при значениях аргумента)  $x_1, \dots, x_n$  ( $x_1 < \dots < x_n$ ), принадлежащих отрезку  $[x_1, x_n]$ , экстраполяция — это приближенное вычисление значений функции в точках (при значениях аргумента), лежащих *вне* отрезка  $[x_1, x_n]$  (ср. *Интерполяция*). Используют при обработке результатов эксперимента.

**ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ**. Термин используют в двух значениях.

1. В широком смысле — название группы явлений, объединенных по общему признаку проявления. Явления, состоящие в переходе тел из электрически нейтрального в электрически заряженные состояние под внешним воздействием и обусловленные различным влиянием этого воздействия на разноименные частицы тела.
2. В узком смысле — то же, что *Триэлектрический эффект*.

**ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПОСТОЯННАЯ**,  $\epsilon_0$ . Скалярная физическая величина, введенная для удобства записи законов электрического поля в форме, соответствующей международной системе единиц, и равная  $\epsilon_0 = 1/(4\pi \cdot 9 \cdot 10^9) \text{ Ф/м} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ .

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ**. Среди разнообразных технических устройств, в которых используют электромагнитное поле, очень важное место занимают электрические цепи. В связи с этим существует и активно развивается теория электрических цепей. Ее отличительной особенностью является то, что понятие об электромагнитном поле и соответствующих ему физических величинах не применяется. Вместо них используют другие понятия, однозначно связанные с полевыми, но характер этой связи устанавливается вне теории электрических цепей — в электродинамике. Изучая электрические цепи, следует помнить о факте существования такой связи, но знать конкретный ее характер нет необходимости. Иными словами, теория электрических цепей фактически автономна.

Электрической цепью, таким образом, называют систему, совокупность взаимосвязанных устройств (элементов цепи), в которой некоторый полезный эффект достигается благодаря использованию электромагнитного поля, а описание процессов ведут, применяя не полевые, а иные понятия, однозначно связанные с полевыми. Простейший пример электрической цепи мы находим в батарейном карманном фонарике. Он, не считая корпуса, рефлектора и стекла, содержит: батарейку — источник питания, выключатель — управляющий элемент, лампочку — приемник, или нагрузку, соединительные проводники и изоляторы, предназначенные для канализации электромагнитного поля, распространяющегося от источника к приемнику. Полезный эффект в данном случае, очевидно, заключается в свечении лампочки и возможности им управлять. Элементы этих пяти типов имеются во всех электрических цепях (кроме того, цепи содержат элементы, которые можно назвать вспомогательными, например трансформаторы, а также резисторы, конденсаторы и индуктивные катушки в электронных цепях).

Для описания процессов в электрических цепях используют следующие переменные величины: *электрический заряд* (количество электричества)  $q$ ; *потокосцепление*  $\Psi$ ; *силу тока* (ток)  $i = dq/dt$ ; *электрическое напряжение* (напряжение)  $u = d\Psi/dt$ ; *быстроту изменения тока*  $di/dt$ ; *быстроту изменения напряжения*  $du/dt$ ; *энергию*  $W$ ; *мощность* (быстроту изменения энергии)  $P = dW/dt$ .

Структуру электрической цепи с указанием типа ее элементов представляют в форме электрической принципиальной схемы. Все условные графические обозначения на ней соответствуют реальным объектам.

Для решения задач о цепях необходимо использовать *структурные законы* — *законы Кирхгофа* и *компонентные законы* — математические модели элементов цепи. Первым, и важнейшим, этапом решения задачи является построение схемы замещения цепи<sup>1</sup>, служащей ее *мысленной моделью*, представленной в графической форме. Условные графические обозначения на ней соответствуют абстрактным (идеальным) элементам — *мысленным моделям* реальных. Данный этап состоит в выборе математических моделей всех компонентов. Это неформальная, неалгоритмизируемая процедура. Однако опыт предшествующих исследователей и инженеров

<sup>1</sup> В литературе схемы замещения часто неудачно называют эквивалентными схемами. Слово *эквивалентный* означает “равносильный”. Однако схема замещения не равносильна реальной цепи — она ее *мысленная модель* (см. *Модели в науке*).

обычно позволяет успешно использовать придуманные ранее мысленные модели. Так, например, обычно (но не всегда) удовлетворительной математической моделью *резистора* служит закон Ома для участка цепи  $u = Ri$ .

Электрические цепи, в которых главными элементами являются *электронные приборы*, часто называют *электронными цепями*. Применяют также термин *транзисторные цепи*.

**Примечания.** Физика как наука перестала интересоваться электрическими цепями в середине XIX в., а авторы учебников почему-то не считают нужным учитывать полученные с тех пор результаты по теории электрических цепей. В результате в учебниках сохранилось много нелепостей. Не затрагивая вычислительных методов, развитых в теории электрических цепей, остановимся на качественных соображениях по этому поводу.

1. Структурные законы — уравнения Кирхгофа — преподносят как правила, облегчающие вычисления.

2. Формулировки “правил Кирхгофа” таковы, что их невозможно применить к современным цепям, в частности, содержащим транзисторы.

3. *Законы Ома* преподносят как основу расчета любых цепей постоянного тока. В действительности закон Ома для участка цепи — простейшая *математическая модель* одного из элементов цепи — резистора (компонентный закон, кстати сказать, используемый и при анализе цепей переменного тока). Закон Ома для полной цепи — не что иное, как ответ к простейшей задаче о цепи, содержащей два элемента (источник и приемник), при условии, что допустима линейная аппроксимация их характеристик.

4. Совершенно игнорируют физическую величину *потокосцепление*, хотя при изучении электрических цепей она не менее значима, чем *электрический заряд*. Так, простейшей математической моделью конденсатора является формула  $q = C\varphi$ , а простейшей математической моделью индуктивной катушки — аналогичная формула  $\Psi = LI$ .

5. Полностью игнорируют графический метод решения задач, находящий широкое применение при анализе электронных цепей, и чрезвычайно простой.

6. При решении задач игнорируют этап перехода от схемы цепи к схеме замещения.

7. Математические модели преподносят чуть ли не как законы природы.

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДИПОЛЬ.** Мысленная модель полярной молекулы, введенная для решения задач о ее поведении во внешних электрических полях и построенная как система, состоящая из двух одинаковых по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов, расстояние между которыми пренебрежимо мало по сравнению с расстоянием до точки наблюдения.

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД,  $q$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности тел к электромагнитному взаимодействию и равная произведению силы  $I$  постоянного тока, протекающего через проводник, и промежутка времени  $\Delta t$ , в течение которого течет этот ток:  $q = I\Delta t$ . Единица электрического заряда в СИ — *кулон* (Кл).

**Примечание.** Приведенное определение представляется парадоксальным. Известно, что способность к электромагнитным взаимодействиям — *атрибут электрона и протона*, присущий им “изначально” (например, при образовании пары частиц электрон-позитрон из гамма-кванта обе частицы “рождаются” с данным свойством). В связи с этим непонятно, причем тут сила тока...

Действительно, с точки зрения природы вещей, логично было бы в качестве основной электрической величины взять электрический заряд. Однако при выборе основных физических величин важны не только “принципиальные” соображения, но и (прежде всего!) потребности повышения точности измерений. Это и побудило в качестве основной электрической величины выбрать силу тока.

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД В ГАЗАХ.** Физическое явление, состоящее в возникновении электрического тока в разрядном промежутке, заполненном газом, и обусловленное встречным движением ионов и электронов под действием электрического поля. Если электрический разряд происходит только под действием внешнего ионизатора, его называют *несамостоятельным разрядом*. Электрический разряд, продолжающийся и после прекращения действия внешнего ионизатора, называют *самостоятельным*.

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК.** *Физическое явление*, состоящее в упорядоченном движении электрически взаимодействующих частиц (электронов, ионов).

**ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ.** Одно из проявлений (одна из составляющих) *электромагнитного поля*. В зависимости от источника различают стационарное электрическое поле, созданное неподвижными заряженными телами или частицами, и переменное, созданное ускоренно движущимися заряженными телами или частицами или переменным магнитным полем. Для количественного оценивания интенсивности электрического поля используют две величины — *напряженность* и *потенциал*, а для наглядного представления его распределения в пространстве — *силовые линии* и *эквипотенциальные поверхности*. Стационарное электрическое поле изображают силовыми линиями, начинающимися на положительно

заряженных телах и оканчивающимися на отрицательно заряженных (или "уходящими в бесконечность"). Силовые линии, изображающие переменное электрическое поле, замкнуты, поэтому такое поле иногда называют вихревым. Представление об электрическом поле, а также о способах его описания и изображения ввел английский физик Майкл Фарадей в 30-х годах XIX в.

**ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СМЕЩЕНИЕ,  $D$ .** Векторная физическая величина, введенная для количественного оценивания свойств электрического поля с учетом поляризации среды и равная произведению абсолютной диэлектрической проницаемости  $\epsilon_0$  среды и напряженности  $E$  электрического поля:  $D = \epsilon_0 \cdot E$ .

**ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ,  $R$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания способности резистора, провода и других токопроводящих или изолирующих элементов электрической цепи оказывать противодействие электрическому току и равная отношению напряжения  $U$  между выводами элемента к значению силы тока  $I$  в выводах:  $R = \frac{U}{I}$ . Единица электрического сопротивления в СИ — Ом.

**ЭЛЕКТРИЧЕСТВО.** Совокупность физических явлений, связанных с движением и взаимодействием заряженных тел или частиц.

**ЭЛЕКТРО...** [от греч. *elektron* — янтарь, смола]. В сложных словах указывает на их отношение к электричеству. Еще древние греки заметили, что янтарь, потертый тканью, приобретает способность притягивать легкие перышки. Подобными свойствами обладают и другие тела, но янтарь стал классическим примером целого класса физических явлений, названных электрическими.

**ЭЛЕКТРОД** [от электро... и греч. *hodos* — дорога, путь]. Для осуществления электролиза в раствор электролита обычно опускают два металлических стержня, соединенных с полюсами источника электропитания. В 1834 г. английский ученый Майкл Фарадей назвал их электродами; электрод, соединяемый с положительным полюсом, он назвал *анодом*; а с отрицательным — *катодом*.

**ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА (ЭДС).** Термин используют в двух значениях.

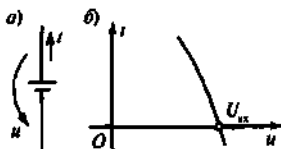


Рис 3.1 К определению термина напряжение холостого хода

станциях электроны перемещаются в обмотках *статора* под влиянием вихревого электрического поля индукции, возникающего в результате вращения магнитного поля *ротора*. В *солнечных фотоэлементах* электроны переводятся в активное состояние фотонами (квантами света). В *генераторах Ван-де-Граафа* происходит механическая транспортировка электронов на поверхности бесконечной ленты, изготовленной из электроизоляционного материала. В одном из видов ядерного источника электроны испускаются радиоактивным веществом, нанесенным на поверхность одного электрода, и улавливаются другим

2. То же, что *напряжение холостого хода* — напряжение между выводами (полюсами) разомкнутого (ненагруженного) источника электропитания (рис 3.1, а), т.е. напряжение при силе тока, равной нулю ( $U_{кх}$  на рис. 3.1, б).

Примечания 1. Материал об электродвижущей силе обычно излагают так, что двусмысленность термина ЭДС не подчеркивается. В силу этого у читателя создается впечатление, будто причиной протекания электрического тока служит физическая величина (ЭДС во втором значении). Это бессмыслица, так как абстрактное понятие (напряжение) не может служить причиной природного явления (движения электрических частиц)

2. В отечественных учебниках разделение заряженных частиц в источнике питания объясняют действием на них "стороннего поля" незлектрического происхождения и лишут формулу, связывающую ЭДС с напряженностью этого поля. В действительности стороннее поле, а именно вихревое электрическое поле, вызванное *электромагнитной индукцией*, существует только в электромашинах генераторах. В других источниках его нет. Поэтому попытка универсального объяснения причины разделения заряженных частиц несостоятельна, а упомянутая выше формула отображает объективную реальность только при анализе электромашинного генератора

3. Использовать самостоятельную букву ( $E$ ) для обозначения напряжения холостого хода нецелесообразно — это создает видимость "особого статуса" этой величины по отношению к "обычному" напряжению. В действительности единственное ее отличие состоит в том, что это напряжение источника при силе тока, равной нулю (см. рис 3.1, б). Ска-

1. Причина, приводящая к разделению противоположно заряженных частиц в *источниках электропитания*. В источниках различных типов причины весьма различны. В электрохимических элементах (неверно называемых "батареями") это химические реакции. В *электромашинах генераторах* на электро-

занное становится особенно ясным, если принять во внимание что не существует электроизмерительных приборов пользуясь которыми можно было бы отличить ЭДС от напряжения

4 Понятие "ЭДС самоиндукции" препятствует пониманию явления самоиндукции (см *Электромагнитная индукция самоиндукция и взаимная индукция*)

**ЭЛЕКТРОДИНАМИКА** [от электро и динамика] Общая теория электромагнитного взаимодействия

**ЭЛЕКТРОЕМКОСТЬ** (емкость),  $C$  Скалярная физическая величина, *параметр конденсатора*, введенная для оценивания способности конденсатора "сопротивляться" изменению напряжения между его выводами, аналог величины, обратной жесткости пружины Используют в качестве коэффициента пропорциональности в простейшей математической модели конденсатора — формуле, связывающей заряд  $q$  с напряжением  $u$  между его выводами

$$q = Cu, \quad (1)$$

а также в выражении энергии  $W$  конденсатора

$$W = \frac{Cu^2}{2} \quad (2)$$

Взяв производную по времени от обеих частей равенства (1), получим описание поведения конденсатора в другой форме

$$i = C du/dt, \quad (3)$$

где  $i$  — сила тока в выводах

Единица измерения электроемкости — *Фарад* (Ф)

**Примечание** Емкостью называют также величину, которой оценивают способность уединенного тела накапливать электрический заряд

**ЭЛЕКТРОЛИЗ** [от электро и греч *lysis* — разложение] Физическое явление, состоящее в выделении вещества на *электродах*, опущенных в раствор электролита, при прохождении через него электрического тока и обусловленное превращением на электродах ионов этих веществ в нейтральные атомы и молекулы

**ЭЛЕКТРОЛИТ** [от электро и греч *lytos* — растворенный] Жидкое или твердое вещество, обладающее *ионной проводимостью*

**ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ДИССОЦИАЦИЯ** [от лат *dissociatio* — разделение] Распад молекул твердого вещества на ионы



при его растворении. Первые представления об электролитической диссоциации ввел в 1884 г. шведский физикохимик Сванте Аррениус.

**ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ** [от электро... и люминесценция]. Физическое явление, состоящее в свечении некоторых веществ при прохождении через них электрического тока и обусловленное рекомбинацией носителей заряда. Первоначально явление наблюдалось при электрическом разряде в газах.

**ЭЛЕКТРОМАГНИТ** [от электро... и магнит]. Устройство, состоящее из токопроводящей обмотки и ферромагнитного сердечника, который намагничивается при прохождении по обмотке электрического тока. Используется в различных приборах и промышленных установках в качестве источника магнитного поля.

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ.** Явление, состоящее в возникновении электрического тока в замкнутом контуре, помещенном в переменное магнитное поле, и обусловленное вихревым электрическим полем, вызванным этим магнитным полем. (См. также *Электромагнитная индукция, самоиндукция и взаимная индукция.*)

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ, САМОИНДУКЦИЯ И ВЗАИМОИНДУКЦИЯ.** Явление электромагнитной индукции было открыто М. Фарадеем. Состоит оно в следующем. Свернем в кольцо отрезок проволоки и между концами включим индикатор — прибор, позволяющий обнаружить протекание электрического тока. Если постоянный магнит быстро вдвинуть в кольцо или выдвинуть из него, то, пока он движется, индикатор покажет наличие тока. Ток в кольце обнаруживается также, если магнитное поле внутри него изменяется иным способом — путем изменения тока в другом проволочном кольце, расположенном рядом. Таким образом, при любом изменении магнитного поля, пронизывающего кольцо, в кольце возникает электрический ток. Если магнитное поле изменяется вне кольца, тока в нем не возникает.

Этот эффект объяснил Дж.К. Максвелл. Он понял, что даже без проволочного кольца в пространстве вокруг изменяющегося магнитного поля возникает кольцеобразное электрическое поле, называемое вихревым. Если присутствует замкнутое проволочное кольцо, это поле вызывает движение электронов, т. е. электрический ток. Однако при изменении магнитного поля электроны

могут двигаться не только в проводящем кольце, но и в кольцеобразной трубке, из которой удален воздух (т. е. создан глубокий вакуум), — таков принцип действия циклических ускорителей заряженных частиц.

Если проводочный контур не замкнут, т. е. электрический ток не течет, электрическое поле, возбужденное (наведенное, индуцированное) изменяющимся магнитным полем, концентрируется между концами кольца. Присутствие его можно обнаружить, измерив электрическое напряжение между ними (обычно это напряжение неслучайно называют электродвижущей силой индукции).

Интегрально интенсивность магнитного поля, пронизывающего контур, оценивают физической величиной  $\Phi$ , называемой *магнитным потоком*.

Индукированное напряжение  $u$  пропорционально скорости изменения магнитного потока:

$$u = - \frac{d\Phi}{dt}. \quad (1)$$

Интенсивность магнитного поля внутри проводочного кольца определяется не только внешним воздействием, но зависит и от того, разомкнуто оно или замкнуто. Если кольцо разомкнуто, то магнитный поток  $\Phi$  обусловлен исключительно внешней причиной (т. е. движущимся магнитом или изменением силы тока во втором кольце, расположенном рядом). Если же кольцо замкнуто и, следовательно, в нем течет индуцированный ток, то с ним связано собственное магнитное поле. Э.Х. Ленц показал, что индуцированное поле сонаправлено убывающему первичному полю и противоположно нарастающему. Таким образом, при одинаковом нарастании внешнего магнитного поля магнитное поле внутри разомкнутого кольца интенсивнее, чем внутри замкнутого. Иными словами, ток, наведенный в кольце, как бы вытесняет из него магнитное поле. Если кольцо сверхпроводящее, то внешнее магнитное поле внутри него вообще не проникает.

При уменьшении внешнего магнитного поля знак  $d\Phi/dt$  изменяется на противоположный и наведенный в замкнутом кольце ток меняет направление. В силу этого изменяется и направление связанного с ним магнитного поля, т. е. оно совпадает с направлением убывающего внешнего поля. Вследствие этого при уменьшении внешнего магнитного поля магнитное поле внутри замкнутого кольца спадает медленнее, чем внутри разомкнутого.

Связь интенсивности электрического поля с быстротой изменения магнитного поля, выраженная формулой (1), универсальна. Она не зависит от происхождения полей, т. е. справедлива и при

отсутствии внешнего магнитного поля. В этом случае  $d\Phi/dt$  — быстрота изменения потока магнитного поля, связанного с собственным током проволочного кольца. Если внутри кольца отсутствуют ферромагнетики, то магнитный поток пропорционален силе тока:

$$\Phi = Li, \quad (2)$$

где  $L$  — коэффициент пропорциональности, называемый индуктивностью.

Вспользовавшись формулами (1) и (2), получим связь электрических величин — напряжения между концами кольца и быстротой изменения силы тока в нем:

$$u = L \frac{di}{dt}. \quad (3)$$

Связь электрического поля кольца с изменением собственного магнитного поля называют явлением самоиндукции.

Хотя все сказанное относительно одного кольца справедливо, в подавляющем большинстве случаев по техническим причинам используют не одиночные кольца, а многовитковые катушки, намотанные изолированным проводом. Катушку можно рассматривать как систему, состоящую из многих последовательно соединенных колец. Благодаря этому напряжение между выводами катушки равно сумме напряжений отдельных витков. Обычно конструкция электромагнитных устройств такова, что все витки катушки взаимодействуют практически с одним и тем же магнитным полем (см. *Потокоцепление*). Поэтому, используя формулу (1) для одного витка, легко получить формулу, связывающую напряжение  $u_w$  между выводами катушки с быстротой изменения магнитного потока:

$$u_w = w \frac{d\Phi}{dt}, \quad (4)$$

где  $w$  — число витков.

Связь между электрическими величинами  $u$  и  $di/dt$  для катушки выражается формулой (3), причем величина  $L$  пропорциональна квадрату числа витков.

Если имеются две катушки, расположенные вблизи друг друга так, что магнитное поле первой проникает во вторую, то магнитное поле второй проникает в первую. Следовательно, наличие взаимное влияние катушек, являемое взаимной индукцией. Для определения его интенсивности оказывается необходимым и достаточным ввести одну величину — взаимную индуктивность (коэффициент взаимной индукции)  $M$ .

$$u_1 = M \frac{di_2}{dt}, \quad u_2 = M \frac{di_1}{dt},$$

где  $u_1$  — напряжение, наведенное в первой катушке изменением тока второй;  $u_2$  — напряжение, наведенное во второй катушке изменением тока первой;  $di_1/dt$  — быстрота изменения тока первой катушки;  $di_2/dt$  — быстрота изменения тока второй катушки.

Примечания. 1. Обычно напряжение  $u$  в формуле (1) называют “электроиндукционной силой индукции”, а саму формулу пишут иначе:

$$E = - \frac{d\Phi}{dt}. \quad (5)$$

Это нехорошо по следующим соображениям. Каким бы ни был измерительный прибор, подключенный к концам разомкнутого кольца, он не дает возможности отличить ЭДС от напряжения, и, следовательно, говорить о двух разных величинах бессмысленно — это противоречит *принципу наблюдаемости*. Далее, о знаке “минус” в формуле (5) пишут, что он отображает принцип Ленца. Данное утверждение также лишено физического смысла по двум причинам. Во-первых, рассуждать о знаке любой величины можно только после того, как оговорено направление отсчета (см. *Правила знаков напряжений и токов*). Во-вторых, если направление отсчета установлено, то знак в формуле (5), кроме принципа Ленца, определяют еще три общепринятые соглашения: о знаке заряда электрона (отрицательный), о положительном направлении магнитного поля (от северного полюса к южному) и об использовании правой (а не левой) системы координат.

2. Явление самоиндукции во всех известных нам учебниках (и школьных, и вузовских) описано неверно. Во-первых, напряжение  $u$  в формуле (3) называют “ЭДС самоиндукции” (а не напряжением) и правую часть пишут со знаком “минус”. И то, и другое несправедливо в силу уже изложенных соображений. Во-вторых, причинно-следственные отношения излагают так, что создается впечатление, будто изменение силы тока всегда первично, а появление электрического поля, обнаруживаемое путем измерения напряжения, — вторично. В действительности можно лишь утверждать, что величинами  $u$  и  $di/dt$  взаимосвязаны линейной зависимостью. Что из них первично, а что вторично, зависит не от самого кольца или катушки, а от свойств других элементов электрической цепи. Так, например, если к катушке подключить источник постоянного напряжения, то воздействующим окажется именно электрическое поле, и быстроту изменения тока в кольце можно вычислить,

“переворнув” формулу (3):  $\frac{di}{dt} = \frac{u}{L}$ .

3. Процессы в электрической цепи с индуктивной катушкой обследуют также неверно. Рассмотрим обычно описываемый опыт (рис. Э.2, а). Параметры цепи легко выбрать так, чтобы сопротивление провода катушки было много меньше сопротивлений  $R_0$  и  $R$ . Поэтому, когда ключ замкнут, ток катушки

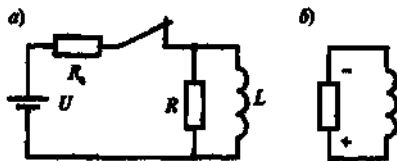


Рис. Э.2. Схема цепи с индуктивной катушкой до размыкания выключателя (а) и после (б)

$$I_0 = \frac{U}{R_0} \quad (6)$$

с достаточной точностью. После размыкания ключа ток катушки уменьшается до нуля не мгновенно, а постепенно. Объясняют это тем, что уменьшение магнитного поля вызывает появление ЭДС самоиндукции, которая, якобы, и поддерживает ток катушки. Это объяснение принципиально неверно. В действительности процессы развиваются так. После размыкания ключа (см. рис. Э.2, а) остается цепь, содержащая два элемента — индуктивную катушку и резистор  $R$  (рис. Э.2, б). Ток катушки продолжает протекать потому, что в любой момент времени он однозначно связан с энергией ее магнитного поля:

$$W = \frac{LI^2}{2}, \text{ откуда } i = \sqrt{\frac{2W}{L}}.$$

Природа такова, что многим ее объектам свойственна инерция. Проявляется она, в частности, в том, что накопленное движение стремится сохраниться. Количественно это выражается в невозможности мгновенного конечного (не бесконечно малого) изменения энергии. Следовательно, как только ключ разомкнулся, значение тока катушки останется неизменным, т. е. равным  $I_0$ . Этот ток течет через резистор  $R$ , чему соответствует напряжение между его выводами:

$$U_0 = RI_0 \quad (7)$$

Это напряжение вовсе не причина протекания тока, а, напротив, его следствие. Более того, полярность напряжения такова (см. “+” и “-” на рис. Э.2, б), что она соответствует уменьшению тока катушки.

Обратим внимание на формулу (7). Чем меньше сопротивление  $R$ , тем меньше и напряжение  $U_0$ . В пределе, когда мы имеем сверхпроводящий контур, это напряжение (“ЭДС самоиндукции”) равно нулю, а ток, не уменьшаясь, течет неограниченно долго. Чем больше  $R$  и, следовательно,  $U_0$ , тем быстрее спадает ток.

Этот процесс полностью аналогичен торможению разогнанного тела в вязкой среде. Скорость тела (аналог силы тока) мгновенно не уменьшается, так как она однозначно связана с кинетической энергией тела:

$$W = \frac{mv^2}{2}, \text{ откуда } v = \sqrt{\frac{2W}{m}}.$$

Если среда отсутствует, тело движется с постоянной скоростью неограниченно долго (аналог сверхпроводящего контура). Чем больше вязкость (сопротивление) среды, тем больше сила трения и тем быстрее останавливается тело. Напряжение в цепи на рис. Э.2, б — аналог силы трения, а совсем не “ЭДС самоиндукции, поддерживающая протекание тока катушки”.

Процессы в цепи с индуктивной катушкой, происходящие при нарастании тока, объясняются в учебниках также неверно. В некоторых книгах авторы используют понятия ‘экстремум замыкания’ и ‘экстремум размыкания’. Это сорные, ложные понятия, искаженно отображающие процессы в объективной реальности.

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ.** Одно из фундаментальных взаимодействий (наряду с гравитационным, сильным и слабым), осуществляемое посредством электромагнитного поля.

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.** Термин используют в двух значениях. 1. Явление, состоящее в испускании электромагнитных волн заряженными частицами, движущимися с ускорением — в классической электродинамике или фотонов при изменении состояния квантовой системы (атома, молекулы, атомного ядра) — в квантовой электродинамике (см. *Излучатель*). 2. Распространяющиеся в пространстве электромагнитные волны — в классической электродинамике или фотоны — в квантовой электродинамике (см. *Альфа-, Бета-, и Гамма-излучение, Ультрафиолетовые лучи, Инфракрасные лучи, Космические лучи, электромагнитные волны*).

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ.** Одно из физических полей (наряду с гравитационным, полем сильного взаимодействия и полем слабого взаимодействия). Посредством электромагнитного поля осуществляется взаимодействие между электрически заряженными частицами.

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ.** Электромагнитные колебания, распространяющиеся в пространстве с конечной скоростью (скоростью света).

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ.** Взаимосвязанные изменения электрического поля, сосредоточенного в конденсаторе, и магнитного поля, сосредоточенного в индуктивной катушке, соединенных параллельно.

Обычно описываются через изменение напряжения, измеренного между выводами конденсатора, и силой тока, идущего через катушку:

$$u = U_m \cos \omega_0 t; \quad i = I_m \cos \left( \omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right),$$

где  $i$  и  $u$  — мгновенные, а  $I_m$  и  $U_m$  — амплитудные значения силы тока и напряжения,  $t$  — время, а  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  — собственная частота колебаний, где  $L$  — индуктивность катушки, а  $C$  — емкость конденсатора.

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В СРЕДЕ.** Взаимосвязанные колебания электрического и магнитного полей, составляющих единое электромагнитное поле.

**ЭЛЕКТРОМАШИННЫЙ ГЕНЕРАТОР.** *Источник электрической энергии* на электростанциях или передвижных установках, предназначенный для производства электричества, используемого в материальном производстве и в быту. Принцип действия основан на применении явления электромагнитной индукции. Главные составные части — статор (неподвижная) и ротор (вращающаяся). Приводится в движение турбинами (паровой, газовой или гидравлической) или двигателем внутреннего сгорания. Подавляющее большинство электромашинных генераторов производят трехфазный переменный ток частотой 50 Гц (в США — 60 Гц).

**ЭЛЕКТРОМЕТР** (от электро... и греч. μέτρο — измерю). Прибор для измерения малых значений различных электрических величин.

**ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ АНАЛОГИИ.** См. *Динамические системы*.

**ЭЛЕКТРОН,  $e^-$ .** Стабильная элементарная частица. Заряд электрона  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл, масса покоя  $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг. Экспериментально обнаружен в 1897 г. английским физиком Джозефом Джоном Томсоном.

**ЭЛЕКТРОНВОЛЬТ, эВ.** Внесистемная единица энергии. Электронвольт равен изменению энергии электрона или протона при прохождении ним электрического поля между эквипотенциаль-

ными поверхностями, потенциал которых различается на 1 В.  $1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Дж. Допускается применение кратных единиц:  $1 \text{ кэВ} = 10^3 \text{ эВ}$ ,  $1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ}$ ,  $1 \text{ ГэВ} = 10^9 \text{ эВ}$ .

**ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ.** Механизм электропроводности металлов и примесных полупроводников, в которых основные носители — электроны. Состоит в упорядоченном движении электронов под действием внешнего электрического поля.

**ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕОРИЯ.** То же, что *Классическая электронная теория*.

**ЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ** [от электрон и лат. emissio — испускание; испускание электронов]. Эмиссия электронов веществом, происходящая с поверхности вещества, находящегося в конденсированном состоянии. Различают несколько видов электронной эмиссии: *термоэлектронная эмиссия, фотоэлектронная эмиссия* и др.

**ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЙ ПЕРЕХОД ( $p$ - $n$  переход).** Основной фрагмент (часть) подавляющего большинства типов современных полупроводниковых приборов. Представляет собой кристалл, который благодаря применению специальных технологий состоит из двух слоев полупроводника противоположного типа проводимости (рис. Э.3). Границу их раздела называют металлургическим переходом. По обе стороны металлургического перехода расположена область, электрические свойства которой резко отличаются от свойств  $n$ - и  $p$ -областей. В частности, она бедна носителями (вблизи от металлургического перехода их концентрация близка к концентрации носителей собственного проводника). Обусловлено это следующими свойствами и явлениями. Концентрации электронов и дырок в слоях различны, и они диффундируют навстречу друг другу через металлургический переход. Двигаясь в  $p$ -области, электроны рекомбинируют с имеющимися там дырками. То же самое происходит с электронами, попавшими в  $n$ -область. Так как электроны и дырки исчезают, по обе стороны металлургического перехода остаются ионы, заряд которых не скомпенсирован зарядом



Рис. Э.3. Схематическое изображение кристалла, состоящего из двух слоев полупроводника противоположного типа проводимости



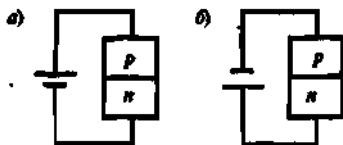


Рис. Э.4. Подключение источника питания к (р-п)-переходу: прямое (а) и обратное (б)

носителей. Бедную носителями область и называют электронно-дырочным (р-п)-переходом, или областью пространственного заряда. Поведение большинства полупроводниковых приборов определяется процессами в этой области. Рассмотрим, как она проводит электрический ток.

Если источник питания подключен так, как показано на рис. Э.4, а, то говорят, что (р-п)-переход смещен в прямом направлении. В этом случае дырки из р-слоя перетекают в п-слой, а электроны — в противоположном направлении. Так как и те, и другие — *основные носители*, т. е. концентрация их велика, течет относительно большой ток. Его называют *прямым*. Если источник включен иначе (рис. Э.4, б), то говорят, что (р-п)-переход смещен в обратном направлении. Ток в этом случае обусловлен неосновными носителями. Он относительно невелик и его называют *обратным током*.

**ЭЛЕКТРОННО-ИОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ.** Механизм электропроводности газов и плазмы, в которых основные носители — положительные ионы и электроны.

Большую часть заряда переносят электроны, так как их подвижность (см. *Подвижность носителей заряда*) многократно превышает подвижность ионов. Роль ионов в механизме электропроводности — компенсация пространственного заряда электронов, ограничивающего их ток в вакуумной лампе.

**ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ.** *Элементы электрической цепи*, прохождение тока в которых обусловлено движением электронов в вакууме, газе или полупроводнике.

**ЭЛЕКТРОННЫЕ ЦЕПИ.** *Электрические цепи*, в которых основными элементами, определяющими специфические особенности их функционирования, являются *электронные приборы* (в настоящее время — почти исключительно полупроводниковые).

**ЭЛЕКТРОННЫЙ ГАЗ.** Мысленная модель совокупности свободных электронов в металле, введенная для разработки электронной теории проводимости металлов и построенная путем наделения ее свойствами идеального одноатомного газа.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ.** См. *Осциллограф (электронный)*.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ ПАРАМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС.** Явление, состоящее в резонансном поглощении энергии переменного электромагнитного поля радиочастотного диапазона парамагнетиком, находящимся в постоянном магнитном поле, и обусловленное магнетизмом молекул и атомов.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ ПОЛУПРОВОДНИК** (полупроводник *n*-типа). *Примесный полупроводник*, в котором преобладает *донорная примесь* *n*, следовательно, его *основные носители* — электроны.

**ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТЬ.** Явление, состоящее в возникновении тока в веществе при его помещении в электрическое поле, обусловленное направленным действием поля на заряженные частицы, находящиеся в веществе.

**ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ ИНДУКЦИЯ (ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ЧЕРЕЗ ВЛИЯНИЕ)** Явление, состоящее в электризации проводников при их помещении в электрическое поле, обусловленное перемещением положительно и отрицательно заряженных частиц проводника в противоположные стороны.

**ЭЛЕКТРОСТРИКЦИЯ.** Явление, состоящее в изменении объема (плотности) кристаллических, жидких и газообразных диэлектриков (пропорциональное квадрату напряженности электрического поля) при помещении их в электрическое поле, обусловленное ориентацией молекул вещества вдоль поля.

**ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ЯЧЕЙКА КРИСТАЛЛА.** *Мысленная модель* строения кристалла, построенная для его наглядного представления и представляющая собой часть атомной структуры кристалла, параллельными переносами которой (трансляциями) в трех измерениях можно построить всю *кристаллическую решетку*.

**ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ.** В точном значении — первичные, далее неделимые частицы, из которых состоит материя.

В современной физике этот термин используют не в точном значении, а менее строго — для наименования большой группы мельчайших частиц, не являющихся атомами или атомными ядрами (исключение составляет *дрезон* — ддро атома водорода). В эту группу помимо протона входят, в частности: *нейтрон*, *электрон*, *нейтрино*; их античастицы: *антипротон*, *антинейтрон*, *позитрон* и *антинейтрино*; а также элементарные частицы — *кванты физических взаимодействий* — *фотон*, *пи-мезон*, *промежуточный векторный бозон* и пока не обнаруженный экспериментально *гравитон*. Общее же количество открытых к настоящему времени элементарных частиц — около тысячи.

**ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД**, а Постоянная физическая величина, равная  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

**ЭЛЕМЕНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ.** Электрическая цепь — система, образованная из элементов (компонентов). Элемент электрической цепи состоит из “тела” и выводов (полюсов) — проводников, служащих для присоединения его к другим элементам. По числу выводов элементы делят на *двухполюсники* и *многполюсники*. Среди многополюсников наиболее распространены *трехполюсники*.

В соответствии с *системами подходов* внутреннее строение элементов в теории электрических цепей не изучают, их рассматривают как “черные ящики”, т. е. описывают только их поведение. Поведение представляют в форме функциональных связей между переменными (см. *Электрические цепи*).

**ЭЛЕМЕНТЫ АБСОЛЮТНОЙ ИСТИНЫ.** Слово *истина* используют как самостоятельно, так и в сочетании с прилагательным *объективная*, *описательная* и *абсолютная*. Словосочетание *объективная истина* нередко используют в качестве синонима выражения *объективная реальность*, т. е. слово *истина* использовано в нем множественно.

С точки зрения гносеологии (теории познания), любая истина относительна: познавая природу, люди стремятся к абсолютной истине, никогда не достигая ее. Действительно; мы не можем утверждать, например, что для описания процессов, происходящих в “черных дырах”, пригодны законы, которыми мы успешно пользуемся применительно к области Космоса, доступной нашей деятельности. Однако надо помнить, что сама относительность относительна.

В практической предметной деятельности некоторые знания уже достигли уровня абсолютной истины. В.И. Вернадский по этому поводу писал: "В течение времени медленно выделяется из материала науки ее остов, который может считаться общеобязательным и непреложным для всех, не может и не должен возбуждать сомнений". К числу элементов абсолютной истины принадлежат законы сохранения, второе начало термодинамики, общенаучные методологические принципы, а также классические науки — согласно принципу соответствия в границах их применимости.

Элементы абсолютной истины служат критериями истинности рабочих гипотез и осуществимости идей новых устройств и процессов. Например, утверждение, будто открыт новый вид взаимодействия, происходящего без передающего его материального агента, можно не рассматривать, так как оно противоречит *принципу близкодействия*. Аналогично предложения о создании тепловой машины, действующей вопреки второму началу термодинамики, или "инерционда" — самоподвижущейся машины, не нуждающейся, в обход закона сохранения импульса, в теле отдачи (отопре), от которого она должна отталкиваться, можно отвергнуть без дальнейшего анализа.

Признание существования элементов абсолютной истины убережет талантливых людей от бессмысленной траты времени и умственных усилий на попытки изобрести машины или процессы, которые принципиально невозможны в пределах доступной нам области Космоса.

**ЭЛЛИПТИЧЕСКИ ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ СВЕТ.** Свет, при распространении которого конец электрического вектора электромагнитной волны описывает эллипс.

**ЭМИССИЯ.** Явление, состоящее в испускании твердым или жидким телом заряженных частиц — электронов или ионов и обусловленное в случае электронов либо их возбуждением (сообщением энергии), либо туннелированием, а в случае ионов — только возбуждением.

**ЭМИССИЯ ЭЛЕКТРОНОВ.** Явление, состоящее в испускании (испарении) веществом электронов под действием внешних возбудителей, обусловленное взаимодействием возбудителя с электронами в веществе.

Если внешним возбудителем является нагревание, эмиссия называется термоэлектронной; если свет — фотоэмиссия (масштаб

эффект); если электрическое поле — автоэлектронной эмиссией; если электроны или ионы — вторичной электронной эмиссией.

**ЭМИТТЕР.** Один из двух наружных слоев *биполярного транзистора*. Тип проводимости его совпадает с типом проводимости второго наружного слоя — *коллектора*. Основные носители эмиттера поступают (инжектируются) в средний слой — *базу*. Из базы их экстрагирует коллектор.

**ЭМПИРИЧЕСКИЙ ЗАКОН.** Закон, полученный индуктивно в процессе прямого обобщения результатов эмпирического исследования.

**ЭМПИРИЧЕСКОЕ ОБОБЩЕНИЕ.** То же, что *Эмпирический закон*.

**ЭМПИРИЯ И ТЕОРИЯ.** Формы познания. Эмпирическое исследование отличается тем, что человек взаимодействует с *самим изучаемым объектом* (см. *Наблюдение и эксперимент*). Исторически эмпирическая форма познания предшествовала теоретической. Однако уже давно обе они тесно переплелись. В частности, мало кто ведет эксперимент для наблюдения “наобум”. Теоретически предсказывают возможные результаты эксперимента или наблюдения, поставленного определенным образом, и проверяют эти предсказания. Теоретическое исследование состоит в том, что, основываясь на ранее собранных фактах и (или) специально поставленных экспериментах, исследователь формирует в своем сознании *мысленную модель объекта* (см. *Модели в науке*) и работает с ней, подвергая ее “мысленным экспериментам”. В физике, за редким исключением, мысленная модель представляет собой математическую модель — уравнение или систему уравнений. В настоящее время для их решения, как правило, используют компьютер. Специфическую форму использования компьютера называют “компьютерным (машинным) экспериментом”, или “вычислительным экспериментом”. Надо понимать, что это метафоры. Поскольку взаимодействие с самим изучаемым объектом отсутствует, компьютерный (вычислительный) эксперимент, а также мысленный эксперимент относятся к теоретической форме познания. Критерием правильности теории они служить не могут.

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОСВЕЩЕННОСТЬ,  $E_e$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания

интенсивности падающего на облучаемую поверхность излучения, равная отношению потока излучения  $d\Phi_n$  к площади  $dS$  этой поверхности:  $E_n = \frac{d\Phi_n}{dS}$ .

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СВИТИМОСТЬ (ИНТЕГРАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ),  $R$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания интенсивности лучеиспускательной способности тел, равная отношению энергии  $dW$  излучения тела к произведению площади  $ds$  ее поверхности и времени  $dt$  излучения:  $R = \frac{dW}{ds \cdot dt}$ .

**ЭНЕРГИЯ.** *Контекстуальное определение* показывает, что термин *энергия* используют в трех значениях. 1. Как имя физической величины, введенной для наиболее обобщенного количественного оценивания всех форм движения материи, сго передачи и преобразования (пример: "Энергия ионизации атома водорода равна 13,6 эВ"). 2. Как синоним выражения *движение* (или форма движения) *материи* (пример: "Электродвигатель предназначен для преобразования электрической энергии в механическую"). 3. Как имя мифической несуществующей субстанции (пример: "При делении ядра тяжелого атома образуются более легкие ядра, нейтроны или другие элементарные частицы и выделяется энергия").

Эта многозначность служит причиной разнообразных противоречивых высказываний. Например, когда говорят, что "Существуют разные виды энергии" (механическая, электрическая, химическая и т. д.), к физической величине это не относится: существуют разные формы движения, интенсивность которых никак обобщенно оценивают одной и той же величиной — энергией. В этом легко убедиться, сообразив, что никто не скажет "брючная длина", "молочный объем", "колбасная масса", "воздушная температура" ... Говорят "длина брюк", "объем молока", "масса колбасы", "температура воздуха". Если полагать, будто электростанция действительно производит "электроэнергию", то придется признать, что пивные заводы производят "пивообъем".

Выражения "механическая энергия", "электрическая энергия", "кинетическая энергия", "потенциальная энергия" — шизоказательные. Разных видов одной и той же физической величины, в том числе энергии, не существует. Энергия как мерило движения аналогична деньгам как всеобщему эквиваленту стоимости

(нет разных денег: продовольственных, промтоварных, транспортных и т. д.). Аналогично физические величины не “передаются”, не “накапливаются”, не “расходуется” и т. п. Эти и подобные им слова относятся к движению материи.

Понимание физического смысла величины ‘энергия’ затруднено также тем, что наряду с термином *энергия* используют его неполные синонимы *работа* и *количество теплоты*. Первым обозначают энергию движения, переданного одним телом другому, вторым — энергию молекулярного движения. Из-за различия названий и буквенных обозначений (внутренняя энергия —  $U$ , работа —  $A$ , количество теплоты —  $Q$ ) создается впечатление, будто это разные физические величины. Сложилось такое представление до того, как был открыт закон сохранения энергии. В те времена не было еще известно, что разные формы движения способны переходить друг в друга, и интенсивность каждого из них оценивали своей физической величиной. От этой точки зрения во существу давно отказались, но устаревшая форма сохранилась.

Таким образом, *работа* и *количество теплоты* — неполные синонимы термина *энергия*, а не имена самостоятельных физических величин.

Надежда на то, что многозначность термина *энергия* будет в скором времени ликвидирована, т. е. им станут обозначать только физическую величину, несостоятельна. Обусловлено это как привычкой, так и тем обстоятельством, что не всегда легко сконструировать правильно построенное предложение. Поэтому каждому, кто изучает физику, необходимо научиться распознавать, в каком значении этот термин использован в конкретном случае.

**ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ НУКЛЕОНОВ В ЯДРЕ,  $E_{\text{св}}$ .** Скалярная физическая величина, введенная для количественного оценивания интенсивности взаимодействия между нуклонами в ядрах атомов и равная произведению дефекта масс  $M$  и квадрата скорости света в вакууме:  $E_{\text{св}} = Mc^2$ .

**ЭНТРОПИЯ,  $S$ .** Скалярная физическая величина, введенная в термодинамике для количественного оценивания состояния термодинамической системы и происходящих в ней процессов. Измеряют в Дж/К.

Энтропия — однозначная функция состояния термодинамической системы. При равновесном переходе от одного состояния

термодинамической системы в бесконечно близкое соседнее состояние при температуре  $T$  изменение энтропии  $dS$  равно

$$dS = \frac{dQ}{T},$$

где  $dQ$  — теплообмен между системой и окружающей средой. Если система получает теплоту извне, то  $dQ > 0$  и энтропия возрастает. Если же система отдает теплоту ( $dQ < 0$ ), то энтропия системы уменьшается. Для равновесных процессов

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}.$$

В каждом определенном (равновесном или неравновесном) состоянии система имеет одно определенное значение энтропии. Однако одному значению энтропии может соответствовать некоторое множество различных состояний системы. Поэтому возможны изэнтропические процессы, при которых состояние системы изменяется, но энтропия остается постоянной. Если система совершает замкнутый процесс, то ее энтропия возвращается к первоначальному значению, т. е.  $\oint \frac{dQ}{T} = 0$ .

Энтропия системы тел или частиц равна сумме энтропии составных частей.

Энтропию рассматривают также как меру вероятности существования различных состояний термодинамических систем. По формуле Л. Больцмана

$$S = k \ln W;$$

где  $k$  — постоянная Больцмана,  $W$  — термодинамическая вероятность данного состояния. При переходе из неравновесных состояний в равновесное величина  $W$ , а следовательно, и энтропия возрастают.

**ЭТАЛОН АМПЕРА.** Государственный первичный эталон ампера — токовые весы — представляет собой установку, основными частями которой являются рычажные весы и система, состоящая из соленоидов. В ней с удовлетворительной погрешностью воспроизводится единица силы электрического тока (ампер).

**ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ (эталон).** Официально утвержденное в этом качестве средство измерения, задающее (определяющее) или воспроизводящее единицу физической величины, изготовленное с наивысшей точностью.



В международном масштабе и в каждой стране должно быть обеспечено *единство измерений*. Главными техническими средствами, служащими этой цели, являются *верхние эталоны*, с которыми сверяют вторичные и специальные эталоны, предназначенные для поверки образцовых мер и измерительных приборов, используемых, в свою очередь, для поверки рабочих средств измерений.

В нашей стране создано и применяется более 130 государственных эталонов около 70 единиц физических величин, наиболее важных для народного хозяйства.

Особое значение имеют эталоны единиц основных величин, так как именно они определяют единицы основных, а тем самым и производных величин. Большинство эталонов — сложные установки, разработанные и изготовленные с использованием новейших достижений науки, техники и технологии. По мере развития науки и производства эталоны основных единиц заменяют более точными, в связи с чем изменяют и определения (определения) единиц основных величин. Например, в 1799 г. Национальное Собрание Франции определило метр как одну десятичную часть четверти земного меридиана, и была изготовлена линейка (концевая мера) из платины, расстояние между торцами которой должно было соответствовать этому значению длины. В дальнейшем выяснилось, что длина меридиана была измерена неточно. В 1872 г. Международная комиссия отказалась от естественного эталона, и метр был определен как расстояние между осями штрихов, нанесенных на новом эталоне длины, изготовленном из сплава платины и иридия. В 1960 г. метр был определен как 1 650 763,73 длин волны излучения криптона в вакууме. И, наконец, в 1983 г. Генеральная конференция по мерам и весам определила метр как длину, проходимую в вакууме светом за  $1/299\,792\,458$  секунды.

Наиболее прост эталон массы. Он состоит из гири массой 1 кг и двух весов высочайшей точности: гири массой 1 кг можно сравнить на них с точностью до 10 мкг. В 1878 г. было изготовлено 40 копий гири — в виде цилиндра высотой и диаметром примерно 39 мм из сплава платины (90%) и иридия (10%). Одна из них Генеральной конференцией по мерам и весам утверждена в качестве международного прототипа килограмма, остальные по жребию распределены между участниками Метрической конвенции 1889 г. Россия получила две копии, одна из которых стала государственным эталоном килограмма.

Хранят эталоны в специальных помещениях, где автоматически поддерживаются постоянная температура и влажность воздуха и создаются другие условия для поддержания точности эталонов.

**Примечание.** В нормативных рекомендациях по метрологической терминологии при определении термина *эталон* используют такую формулировку, что создается впечатление, будто для всех величин единица первична, а эталон — вторичен (эталон определен как средство, предназначенное для воспроизведения и(или) хранения единицы физической величины, а воспроизведенным названа материализованная единица эталоном). Это верно применительно к большинству производных величин: их единицы определяют через единицы других величин и на этом основании разрабатывают и строят эталоны. Однако единицы основных величин задают эталонами. Например, килограмм — это масса гири, хранящейся в пригороде Парижа Севре. Бессмысленно было бы спрашивать: «Как узнали, что масса международного прототипа точно равна 1 кг?». Это значение массы не узнали, а назначили: «Будем считать, что 1 кг — масса данного цилиндра». Определения единиц основных величин время от времени изменяют. Но делают это отнюдь не умозрительно, а только после того, как появилась научная и техническая возможность изготовить новый эталон, который задаст данную единицу с меньшей неопределенностью, чем прежний. Таким образом, для основных величин первичен эталон, а единица вторична: эталон не «воспроизводит» ранее определенную единицу, а определяет (вводит, задает) ее.

**ЭТАЛОН КАНДЕЛЫ.** Последнее определение *канделы*, принятое XVI Генеральной конференцией по мерам и весам (1979), не устанавливает способа построения эталона. Поэтому каждая страна разрабатывает его самостоятельно. (В СССР новый эталон был создан в 1983 г.)

**ЭТАЛОН КЕЛЬВИНА.** Первичным эталоном температуры служит газовый термометр. В качестве *реперной точки* в газовом термометре взята температура *тройной точки воды*. Для низких температур в газовом термометре используют водород или гелий, для высоких — азот. Сложность применения газового термометра побудила метрологов создать практическую шкалу температур, основанную на использовании реперных точек, задаваемых с помощью газового термометра. В качестве реперных точек используют тройную точку водорода (13,81 К), тройную точку кислорода, тройную точку воды, точку затвердевания цинка, точку затвердевания золота и др. Для измерения температуры в промежутках между реперными точками используют платиновые термометры сопротивления (от 13,81 К до 903 К) и платино-родиевые термометры (выше 903 К). Кроме того, разработаны и используются специальные эталоны для более низких температур (от 1,5 К) и более высоких (до 150 000 К).

**ЭТАЛОН КИЛОГРАММА.** Цилиндр из сплава платины и иридия, хранящийся в Международном бюро мер и весов в пригороде Парижа Севре. В России имеется две его копии. (См. *Эталон единицы физической величины.*)

**ЭТАЛОН МЕТРА.** XVII Генеральной конференцией по мерам и весам (1983 г.) был введен единый эталон частоты—времени—длины, изготавливаемый на основе лазерной техники. Этим решением скорость света была постулирована равной точно 299 792 458 м/с.

Бессмысленно было бы спрашивать, как узнали, что скорость света равна приведенному значению. Такой вопрос имел физический смысл в то время, когда существовали самостоятельные эталоны метра и секунды. Однако при выведении нового, единого, эталона значение скорости изменили: "При измерении частоты, времени и длины будем исходить из того, что скорость света равна 299 792 458 м/с".

**ЭТАЛОН СЕКУНДЫ.** См. *Эталон метра.*

**ЭФФЕКТ ВАВИЛОВА—ЧЕРЕНКОВА.** Явление, состоящее в свечении чистых прозрачных сред под действием *гамма-лучей* (квантов) и обусловленное излучением электронов, выбитых из атомов (молекул) среды *гамма-квантами* и движущихся в этих средах со сверхсветовыми скоростями.

**ЭФФЕКТ ДЖОЗЕФСОНА (ТУННЕЛИРОВАНИЕ ПАР).** Явление, состоящее в протекании сверхпроводящего тока через тонкий слой диэлектрика, разделяющего два сверхпроводника, обусловленное туннелированием куперовских пар.

**ЭФФЕКТ ДЖОУЛЯ—ТОМСОНА.** Явление, состоящее в изменении температуры газа при стационарном адиабатическом протекании его через пористую перегородку, обусловленное изменением расстояния между молекулами (объема) газа.

**ЭФФЕКТ ДОПЛЕРА.** Явление, состоящее в изменении частоты волны (звуковой, электромагнитной), воспринимаемой наблюдателем, движущегося относительно *источника* волн, обусловленное *нормальностью* частоты волны в различных системах отсчета.

**ЭФФЕКТ ЗЕЕМАНА.** Явление, состоящее в расщеплении спектральных линий в спектрах испускания или поглощения.

атома или других атомных систем, помещенных в магнитное поле, и обусловленное расщеплением энергетических уровней атомов и молекул во внешнем магнитном поле.

**ЭФФЕКТ КЕРРА.** Явление, состоящее в превращении оптически изотропного вещества в анизотропное (в возникновении двулучепреломления) при помещении его в однородное электрическое поле, и обусловленное ориентацией молекул вещества вдоль поля.

**ЭФФЕКТ КОТТОНА-МУТОНА (ФОГГА).** Явление, состоящее в превращении оптически изотропных веществ в оптически анизотропные (в возникновении двулучепреломления) при их помещении в магнитное поле и обусловленное преимущественной ориентацией магнитных моментов анизотропных молекул вещества вдоль поля.

**ЭФФЕКТ МЕЙСНЕРА.** Явление, состоящее в полном вытеснении магнитного поля из вещества при его переходе в сверхпроводящее состояние, обусловленное экранирующим действием незапускающего тока, возникающего в тонком поверхностном слое сверхпроводящего образца и при наличии внешнего магнитного поля.

**ЭФФЕКТ МЁССБАУЭРА.** Явление, состоящее в резонансном поглощении (излучении) гамма-квантов атомными ядрами в твердом теле и обусловленное переходом ядра из основного состояния в возбужденное (из возбужденного в основное) без расхода энергии на отдачу ядра.

**ЭФФЕКТ ПОККЕЛЬСА.** Явление, состоящее в изменении двойного лучепреломления в кристаллах, не обладающих центром симметрии, при их помещении во внешнее электрическое поле и обусловленное изменением собственной частоты колебаний ионов кристаллической решетки в поле.

**ЭФФЕКТ ФАРАДЕЯ.** Явление, состоящее в превращении оптически неактивного кристалла в оптически активный при помещении в магнитное поле и обусловленное различными изменениями в магнитном поле скоростей распространения циркулярно право- и левополяризованных составляющих линейно поляризованного света.

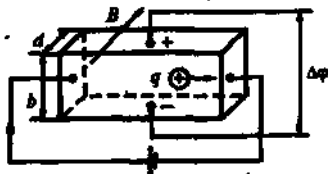


Рис. Э.5. Схема установки для наблюдения эффекта Холла в плоской пластине исследуемого вещества

**ЭФФЕКТ ХОЛЛА.** Открыт в 1879 г. американским физиком Эдвином Гербертом Холлом. Суть эффекта Холла заключается в следующем. Если тонкую проводящую пластинку, вдоль которой течет постоянный электрический ток, поместить в перпендикулярное к ней магнитное поле (рис. Э.5), то между параллельными току и магнитному полю гранями пластинки возникает электрическое поле.

Им же экспериментальным путем было установлено, что значение *разности потенциалов*  $\Delta\varphi$  электрического поля, возникающего между этими гранями, связано с шириной пластинки  $b$ , плотностью тока  $j$ , индукцией магнитного поля  $B$  соотношением:

$$\Delta\varphi = RbjB, \quad (1)$$

где  $R$  — различный для различных образцов коэффициент, получивший название коэффициента Холла.

Эффект был открыт на золоте. В дальнейшем было показано, что он наблюдается во всех проводниках и полупроводниках.

Механизм протекания эффекта Холла был установлен только после появления в 1900 г. классической электронной теории проводимости металлов, созданной немецким физиком Паулем Карлом Людвигом Друде и развитой голландским физиком Хендриком Антоном Лоренцом. Согласно этой теории, ток в металлах обусловлен переносом электрически заряженных частиц. Магнитное поле отклоняет движущиеся со скоростью  $v$  заряженные частицы в направлении, перпендикулярном к направлению и тока, и магнитного поля. В результате этого на верхней грани пластинки накапливаются положительно заряженные частицы, а на нижней — отрицательно заряженные. Накопление заряженных частиц происходит до тех пор, пока вызванное ими электрическое поле не уравновесит действие на заряженные частицы магнитного поля.

Сила Лоренца, характеризующая действие на заряженную частицу со стороны магнитного поля, в данном случае [ $\alpha = Lv, B = \pi/2$ ] равна

$$F_L = q \cdot v \cdot B. \quad (2)$$

По закону Кулона сила, характеризующая действие на заряженную частицу со стороны электрического поля, равна

$$F_K = q \cdot E. \quad (3)$$

Напряженность  $E$  электрического поля связана с разностью потенциалов соотношением:  $E = \Delta\phi/b$ . Тогда выражение (3) запишем в виде

$$F_K = \frac{q \cdot \Delta\phi}{b}. \quad (4)$$

Стационарное состояние наступает при равенстве сил  $F_L = F_K$  или

$$q \cdot v \cdot B = \frac{q \cdot \Delta\phi}{b}. \quad (5)$$

Среднюю скорость  $v$  упорядоченного движения заряженных частиц в проводнике можно выразить через плотность тока  $j$ , заряд частицы  $q$  и концентрацию  $n$  носителей заряда:

$$v = \frac{j}{qn}. \quad (6)$$

Подставив значение  $v$  из (6) в (5), получим

$$\Delta\phi = \frac{1}{qn} \cdot b \cdot j \cdot B. \quad (7)$$

Из сравнения формул (1) и (7) вытекает, что коэффициент Холла

$$R' = \frac{1}{qn}. \quad (8)$$

Знак коэффициента Холла обусловлен знаком заряда частиц, а его значение обусловлено их концентрацией.

В лабораторной практике обычно измеряют силу тока  $I$ . Поэтому холловскую разность потенциалов целесообразно выражать через силу тока  $I = jS = j \cdot d \cdot b$ , т. е. в виде

$$\Delta\phi_x = \frac{1}{qn} \cdot \frac{IB}{d}. \quad (9)$$

В науке и практике измерение коэффициента Холла широко используют для определения знака и концентрации носителей

заряда в полупроводниках. На основе эффекта Холла созданы устройства для измерения индукции магнитного поля.

На основе описанных признаков эффекта Холла составим его полное определение.

**Эффект Холла** — это физическое явление, состоящее в возникновении в проводнике (полупроводнике) с током, помещенном в магнитное поле, электрического поля, направленного перпендикулярно к направлению тока и направлению магнитного поля и обусловленное действием магнитного поля на движущиеся заряженные частицы.

**ЭФФЕКТ ШТАРКА.** Явление, состоящее в расщеплении спектральных линий в спектрах испускания и поглощения атома и других атомных систем, помещенных в неоднородное электрическое поле, и обусловленное расщеплением энергетических уровней атомов и молекул во внешнем электрическом поле.

**ЭФФЕКТ ЭДИСОНА.** Явление, состоящее в возникновении электрического тока в разрядном промежутке (в пространстве между катодом и анодом) при нагревании катода, обусловленное испусканием электронов нагретыми твердыми телами.

# Ю

**ЮСТИРОВКА** [от нем. justieren — точно выверять, пригонять, лат. justus — справедливый, правильный]. Совокупность операций по приведению меры, измерительного или оптического прибора в состояние, обеспечивающее надлежащую точность.



# Я

**ЯВЛЕНИЕ.** Материя (объективная реальность) существует вне сознания и отображается им. Вместе с тем надо понимать, что сама природа и ее отображение (т. е. знание о ней) — не одно и то же: отображение зависит не только от свойств объекта, но и от свойств субъекта. Однако некоторые, даже выдающиеся ученые (А. Эйнштейн, Б. Рассел) полагали, будто знания, как и сама природа, от человечества не зависят. Вот слова Эйнштейна: “Я не могу доказать, что научную истину следует считать истинной, справедливой независимо от человечества, но я в этом твердо убежден”. Первой же точки зрения придерживались А.И. Герцен, К. Маркс, В.И. Вернадский, Н. Бор и другие мыслители. В.И. Вернадский писал: “Напрасно стал бы человек научно строить мир, отказавшись от себя и стараясь найти какое-нибудь независимое от его природы понимание мира... В научно выраженной истине всегда есть отражение — может быть чрезвычайно большое — духовной личности человека, его разума”. Этот взгляд может быть достаточно убедительно обоснован. В самом деле, естественнонаучные знания нужны людям в конечном счете для того, чтобы предсказывать вероятные результаты будущих взаимодействий с природной средой. Взаимодействуют две системы — человечество и среда. Очевидно, что результат взаимодействия может быть предсказан верно, если в знаниях отражены свойства обеих систем. Следовательно, истина есть верное знание не о природе как таковой, самой по себе, а о том, как мы, люди, с ней взаимодействуем.

Сказанное только что о содержании знаний находит косвенное выражение в слове *явление*, о чем свидетельствует его корень. Окружающий мир “является” нам, т. е. воздействует на наши анализаторы, в результате чего мы его и воспринимаем. Иными словами, налицо по меньшей мере два участника явления — природный объект и познающий субъект, человек (третьим “участником” может быть измерительная установка). По сути дела физика — наука о явлениях и теориях, их объясняющих. Иногда, развивая теорию, физикам удается предсказать наличие природных объектов и явлений. Например, П. Дирак предсказал существование микрочастицы (позитрона), а Б. Джозефсон — явления, названного его именем (эффект Джозефсона). Оба эти открытия, полученные теоретически, в дальнейшем были подтверждены экспериментально.

Наряду со словом *явление* используют его синонимы — *феномен* и *эффект*.

Изучая явления, необходимо принимать во внимание историю их познания. В настоящее время эксперимент и его интерпретация (объяснение) возможны только в рамках определенной теории, так что природа всегда "является" нам в определенном свете, в виде ответа на предложенный теорией вопрос. Например, гравитацию сегодня мы называем явлением. Но взаимное притяжение вещей мы не наблюдаем непосредственно. Мы: 1) ощущаем собственный вес и тяжесть предмета, который мы держим; 2) обнаруживаем деформацию поверхности земли под действием лежащего на ней камня; 3) видим, что, будучи выпущены из рук, все тела падают на землю; 4) наблюдаем, что циклически изменяется положение Солнца, Луны и всех прочих небесных тел на небосводе. Идея об универсальном притяжении (всемирном тяготении) — это изобретение, продукт деятельности мысли, а не непосредственный результат работы анализаторов (органов чувств). Аналогично *электронную эмиссию* мы называем явлением. Но непосредственно она не наблюдается. При определенных условиях обнаруживается (и то не прямо, а по показанию прибора) протекание электрического тока в вакууме. Так что и здесь мы имеем дело не только с реакцией наших анализаторов, но и с работой мысли.

Несколько слов о неполноте терминосистем. К сожалению, даже научный язык далек от совершенства. Лишь в редких случаях мы располагаем разными терминами для обозначения явления, свойства (или отношения) и физической величины, используемой для оценивания интенсивности проявления свойства или отношения. Например: *инерция* — имя явления, *инертность* — имя свойства и *масса* — имя величины. Как правило же, термины категорично многозначны. Например, терминами *диамагнетизм*, *парамагнетизм* и *ферромагнетизм* обозначают как явление, так и свойство. Очень часто отсутствует имя свойства, а есть только термин, обозначающий соответствующую ему величину. В таких случаях выражения оказываются иносказательными. Например, *диэлектрический гистерезис* мы называем явлением, т. е. относим его к миру вещей. А потом говорим, что он состоит в неоднозначной зависимости поляризации сегнетоэлектрика от напряженности внешнего электрического поля. Поляризация и напряженность поля — *физические величины*, предметы из мира идей. Явление гистерезиса не состоит в этой зависимости, а характеризуется (описывается) ею. Необходимо научиться самостоятельно обнаруживать подобные ситуации.

Во избежание путаницы следует знать, что в физике и философии термин *явление* используют по-разному. Физик, проговоря слово

"явление", имеет в виду как внешнее проявление некоторого специфического движения или взаимодействия, т. е. то, что мы наблюдаем, так и скрытый от глаз механизм происходящего. В философии же термин *явление* обозначают только первое, т. е. внешнее проявление, а внутренний механизм называют *сущностью*.

Наряду с естественными, природными явлениями существуют явления искусственные, созданные человеком. Например: преобразование опускания гири в незатухающие колебания маятника в стенных часах, искусственная радиоактивность, ядерный взрыв.

Воспользовавшись *определением* через объем понятия, можно сформулировать дефиницию: *явление* есть термин, используемый для обозначения множества, элементами которого являются: инерция, гравитация, упругость, деформирование, трение, электропроводность, теплопроводность, электромагнитная индукция и т. д.

**ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА.** Явление, состоящее в направленном переносе в теле вещества, тепла, электричества и др. при наличии в нем неоднородностей состава, температуры, электрического поля и др., обусловленное нарушением полной хаотичности теплового движения частиц, его составляющих.

**ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА.** Раздел физики, занимающийся изучением структуры атомных ядер, процессов радиоактивного распада и механизмов ядерных реакций.

**ЯДЕРНАЯ ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ЭМУЛЬСИЯ.** Фотографическая эмульсия, используемая для регистрации *трек* заряженных частиц.

**ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.** Превращение атомных ядер при их взаимодействии с частицами или друг о другом.

**ЯДЕРНЫЙ МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС.** Явление, состоящее в резонансном поглощении энергии переменного электромагнитного поля радиочастотного диапазона веществом, находящимся в постоянном магнитном поле, и обусловленное магнетизмом атомных ядер.

**ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР.** Устройство, предназначенное для осуществления управляемой цепной ядерной реакции. Первый ядерный реактор построен в США в 1942 г. под руководством Энрико Ферми.

**ЯДРО АТОМА.** Центральная часть атома, состоящая из нуклонов (протонов и нейтронов).

## ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

**АБРИКОСОВ** Алексей Алексеевич (р. 1928) — российско-американский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 2003 г.

**АВОГАДРО** Амедео (1776—1856) — итальянский физик.

**АЛФЁРОВ** Жорес Иванович (р. 1930) — российский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 2000 г.

**АМПЕР** Андре Мари (1775—1836) — французский физик.

**АНГСТРЕМ** Андерс Йонас (1814—1874) — шведский физик и астроном.

**АНДЕРСОН** Карл Дэвид (1905—1991) — американский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1936 г.

**АРРЕНИУС** Сванте Август (1859—1927) — шведский физико-химик, лауреат Нобелевской премии по химии за 1903 г.

**АРХИМЕД** (около 287—221 г. до н. э.) — древнегреческий ученый.

**БАЛЬМЕР** Йоган Якоб (1825—1898) — швейцарский физик и математик.

**БАРДИН** Джон (1908—1991) — американский физик, лауреат Нобелевских премий по физике за 1956 и 1972 г.

**БАСОВ** Николай Гиннадиевич (1922—2001) — советский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1964 г.

**БЕРНУЛЛИ** Даниил (1700—1782) — петербургский академик, физик итальянского происхождения.

**БЕККЕРЕЛЬ** Антуан Анри (1852—1908) — французский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1903 г.

**БЮ** Жан Батист (1774—1862) — французский физик.

**БОЗЕ** Джагадис Чандра (1858—1937) — индийский физик и физиколог.

**БОЙЛЬ** Роберт (1627—1691) — английский химик, физик и философ.

**БОЛЬЦМАН** Людвиг (1844—1906) — австрийский физик-теоретик.

**БОР** Нильс Хендрик Давид (1885—1962) — датский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1922 г.

**БРАНД** Хеннинг (около 1630 г.—после 1710 г.) — гамбургский аптекарь, открывший в 1669 г. фосфор.

**БРАУН** Карл Фердинанд (1850—1918) — немецкий физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1909 г.

**БРОЙЛЬ** Луи де (1893—1987) — французский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1929 г.

**БРОУН** Роберт (1773—1858) — английский ботаник.

**БРЮСТЕР** Дэвид (1781—1868) — шотландский физик.

**БУНЗЕН** Роберт Вильгельм (1811—1899) — немецкий химик.

**ВАВИЛОВ** Сергей Иванович (1891—1951) — советский физик.

**Ван де ГРААФ** Роберт (1901—1967) — американский физик.

Ван дер ВААЛЬС Ян Дидерик (1837—1923) — нидерландский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1910 г.

ВЕБЕР Вильгельм Эдуард (1804—1891) — немецкий физик.

ВЕРНАДСКИЙ Владимир Иванович (1863—1945) — советский естествоиспытатель.

ВИЛЬСОН Чарльз Томсон Рис (1869—1959) — английский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1927 г.

ВИН Вильгельм (1864—1924) — немецкий физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1911 г.

ВОЛЬГА Алессандро (1745—1827) — итальянский физик, химик и философ.

ГАБОР Деннис (1900—1979) — английский физик венгерского происхождения, лауреат Нобелевской премии по физике за 1971 г.

ГАЛИЛЕЙ Галилео (1564—1642) — итальянский физик.

ГАЛЬВАКС Вильгельм (1859—1922) — немецкий физик.

ГАЛЬВАНИ Луиджи (1737—1798) — итальянский физик и физиолог.

ГАУСС Карл Фридрих (1777—1855) — немецкий математик, астроном и физик.

ГЕЙЗЕНБЕРГ Вернер Карл (1901—1976) — немецкий физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1932 г.

ГЕЙ-ЛЮССАК Жозеф Лун (1778—1850) — французский физик и химик.

ГЕНРИ Джозеф (1797—1878) — американский физик.

ГЕРЦ Генрих Рудольф (1857—1894) — немецкий физик.

ГЕРЦЕН Александр Иванович (1812—1870) — русский философ-материалист.

ГЕСС Виктор Франц (1883—1964) — австрийский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1936 г.

ГИББС Джозайя Уиллард (1839—1903) — американский физик-теоретик.

ГИНЗБУРГ Виталий Лазаревич (р. 1916) — российский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 2003 г.

ГЛЕЗЕР Дональд Артур (р. 1926) — американский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1960 г.

ГРЕЙ Лун Гарольд (1905—1965) — английский физик и радиобиолог.

ГУК Роберт (1635—1703) — английский физик.

ГЮЙГЕНС Христиан (1629—1695) — голландский физик.

ДАЛЬТОН Джон (1766—1844) — английский физик и химик.

ДЖИНС Джеймс Холлвуд (1877—1946) — английский физик и астрофизик.

ДЖОЗЕФСОН Брайан Дэвид (р. 1940) — английский физик, лауреат Нобелевской премии за 1973 г.

- ДЖОУЛЬ Джеймс Прескотт** (1818—1889) — английский физик.
- ДИРАК Поль Адриен Морис** (1902—1984) — английский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1933 г.
- ДОПЛЕР Христиан** (1803—1853) — австрийский физик, математик и астроном.
- ДРУДЕ Пауль Карл Людвиг** (1863—1906) — немецкий физик.
- ЖАМЕН Жюль Селестен** (1818—1886) — французский физик.
- ЖОЛИО-КЮРИ Ирен** (1897—1956) — французский физик и радиохимик, лауреат Нобелевской премии по химии за 1935 г.
- ЖОЛИО-КЮРИ Фредерик** (1900—1958) — французский физик, лауреат Нобелевской премии по химии за 1935 г.
- ЗЕЕМАН Питер** (1865—1943) — нидерландский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1902 г.
- ЗИВЕРТ Рольф** (1896—1966) — шведский ученый, занимавшийся медицинской физикой.
- КАПИЦА Петр Леонидович** (1894—1984) — советский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1978 г.
- КАРНО Никола Леонард Садн** (1796—1832) — французский физик и инженер.
- КЕЛЬВИН см. ТОМСОН Уильям.**
- КЕПЛЕР Иоганн** (1571—1630) — немецкий физик и астроном.
- КЕРР Джон** (1824—1907) — шотландский физик.
- КИРХГОФ Густав Роберт** (1824—1887) — немецкий физик.
- КЛАПЕЙРОН Бенуа Поль Эмиль** (1799—1864) — французский физик и инженер.
- КЛАУЗИУС Рудольф Юлиус Эммануэль** (1822—1888) — немецкий физик-теоретик.
- КОМПТОН Артур Холли** (1892—1962) — американский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1927 г.
- КОТТОН Эме** (1869—1951) — французский физик.
- КОУЭН Клайд** — американский физик.
- КУЛОН Шарль Огюстен** (1736—1806) — французский физик.
- КЮРИ Мария** (1867—1934) — французский физик и химик польского происхождения, лауреат Нобелевских премий по физике за 1903 г. и по химии за 1911 г.
- КЮРИ Пьер** (1859—1906) — французский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1903 г.
- ЛАВУАЗЬЕ Антуан Лоран** (1743—1794) — французский химик.
- ЛАНДАУ Лев Давидович** (1908—1968) — советский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1962 г.
- ЛАМБЕРТСОН Г.** — американский физик.

- / **ЛАУЭ** Макс Феликс Теодор фон (1879—1960) — немецкий физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1914 г.  
**ЛЕБЕДЕВ** Петр Николаевич (1866—1912) — русский физик.  
**ЛЕНЦ** Эмилей Христьянович (1804—1865) — русский физик.  
**ЛЕ-ЩАТЕЛЬЕ** Анри Луи (1850—1936) — французский химик.  
**ЛИННИК** Владимир Павлович (1889—1984) — советский физик.  
**ЛОДЫГИН** Александр Николаевич (1847—1923) — русский электротехник.  
**ЛОРЕНЦ** Хендрик Антон (1853—1928) — нидерландский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1902 г.  
**МАЙЕР** Юлиус Роберт (1814—1878) — немецкий врач.  
**МАЙКЕЛЬСОН** Альберт Абрахам (1852—1931) — американский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1907 г.  
**МАКСВЕЛЛ** Джеймс Кларк (1831—1879) — английский физик.  
**МАЛЮС** Этьен Луи (1755—1812) — французский физик.  
**МАРИОТТ** Эми (1620—1684) — французский физик.  
**МАРКони** Гульельмо (1874—1937) — итальянский физик, инженер и предприниматель, лауреат Нобелевской премии по физике за 1909 г.  
**МЕЙССНЕР** Вальгер Фриц (1882—1974) — немецкий физик.  
**МАРКС** Карл (1818—1883) — мыслитель и общественный деятель, основоположник марксизма.  
**МЕНДЕЛЕЕВ** Дмитрий Иванович (1834—1907) — русский химик и физик.  
**МЭСБАУЭР** Рудольф Людвиг (р. 1929) — немецкий физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1961 г.  
**МИЛЛИКЕН** Роберт Эндрюс (1868—1953) — американский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1923 г.  
**НИКОЛЬ** Уильям (1768—1851) — шотландский физик.  
**НЬЮТОН** Исаак (1643—1727) — английский физик и математик.  
**ОККАМ** Уильям (ок. 1300 г.—1350 г.) — английский богослов и философ.  
**ОМ** Георг Симон (1787—1854) — немецкий физик.  
**ОСТРОГРАДСКИЙ** Михаил Васильевич (1801—1862) — русский математик и механик.  
**ПАСКАЛЬ** Блез (1623—1662) — французский математик, физик и философ.  
**ПАУЛИ** Вольфганг (1900—1958) — физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1945 г.  
**ПЕРРЕН** Жан Батист (1870—1942) — французский физик и физико-химик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1926 г.  
**ПИЧЧОНИ** Орест (р. 1915) — американский физик итальянского происхождения.

**ПЛАНК** Макс Карл Эрнст Людвиг (1858–1947) — немецкий физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1918 г.

**ПОККЕЛЬС** Фридрих Карл (1865–1913) — немецкий физик.

**ПОПОВ** Александр Степанович (1859–1906) — русский физик и электротехник.

**ПРИГОЖИН** Илья (1917–2003), бельгийский физик и физико-химик, лауреат Нобелевской премии по химии за 1977 г.

**ПРИСТЛИ** Джозеф (1733–1804) — английский химик, физик и философ.

**ПРОХОРОВ** Александр Михайлович (1916–2002) — советский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1964 г.

**ПУАССОН** Симеон Дени (1781–1840) — французский математик и физик.

**РАЙНЕС** Фредерик (р. 1918) — американский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1995 г.

**РЕЗЕРФОРД** Эрнест (1871–1937) — английский физик лауреат Нобелевской премии по химии за 1908 г.

**РЕЛЕЙ (СТРЕТТ)** Джон Уильям (1842–1919) — английский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1904 г.

**РЕОМИЮР** Рене Антуан Фершо (1683–1757) — французский естествоиспытатель.

**РИГИ** Аугусто (1850–1921) — итальянский физик.

**РИДБЕРГ** Иоганнес Роберт (1854–1919) — шведский физик и математик.

**РИТТЕНГАУЗ** Дэвид (1732–1796) — американский ученый.

**САВАР** Феликс (1791–1841) — французский физик.

**СЕГРЕ** Эмилио (1905–1989) — итальянский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1959 г.

**СЕМЕНОВ** Николай Николаевич (1896–1986) — советский физик и химик, лауреат Нобелевской премии по химии за 1956 г.

**СИМЕНС** Эрнест Вернер (1816–1892) — немецкий физик, электротехник и предприниматель.

**ШНЕЛЛИУС** Виллеброрд (1580–1626) голландский ученый.

**СПЕРРИ** Роджер Уолкотт (1913–1994) — американский нейрофизиолог, лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине за 1981 г.

**СТЕФАН** Йозеф (1835–1893) — австрийский физик.

**СТОКС** Джордж Габриэль (1819–1903) — английский физик и математик.

**СТОЛЕТОВ** Александр Григорьевич (1839–1896) — русский физик.

**ТАММ** Игорь Ефимович (1895–1971) — советский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1958 г.



ТАУНС Ч.Х. (р. 1915) — американский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1964 г.

ТЕСЛА Никола (1856—1943) — сербский электротехник и радиотехник.

ТОЛМЕН Ричард Чейс (1881—1948) — американский физик.

ТОМСОН Джозеф Джон (1856—1940) — английский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1906 г.

ТОМСОН (КЕЛЬВЕН) Уильям (1824—1907) — английский физик.

ТОРРИЧЕЛЛИ Эванджелиста (1608—1647) — итальянский физик и математик.

УАТТ Джеймс (1736—1819) — шотландский изобретатель.

ФАРАДЕЙ Майкл (1791—1867) — английский физик.

ФАРЕНГЕЙТ Даниель Габриэль (1686—1736) — голландский физик.

ФЕРМА Пьер (1601—1665) — французский математик и физик.

ФЕРМИ Энрико (1901—1954) — итальянский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1938 г.

ФИК Адольф (1829—1901) — немецкий ученый.

ФОЙГТ Вольдемар (1850—1919) — немецкий физик-теоретик.

ФРАНК Илья Михайлович (1908—1990) — советский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1958 г.

ФРАУНГОФЕР Йозеф (1787—1826) — немецкий физик.

ФРЕНЕЛЬ Огюстен Жан (1788—1827) — французский физик.

ФУКО Жан Бернар Леон (1819—1868) — французский физик.

ФУРЬЕ Жан Батист Жозеф (1768—1830) — французский математик и физик.

ХОЛЛ Эдвин Герберт (1855—1938) — американский физик.

ЦЕЛЬСИЙ Андрес (1701—1744) — шведский физик и астроном.

ЧЕМБЕРЛЕН Оуэн (р. 1920) — американский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1959 г.

ЧЕРЕНКОВ Павел Алексеевич (1904—1990) — советский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1958 г.

ЧЭДВИК Джеймс (1891—1974) — английский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1935 г.

ШАРЛЬ Жак Александр Цезар (1746—1823) — французский физик.

ШРЁДИНГЕР Эрвин (1887—1961) — австрийский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1933 г.

ШТАРК Йоганн (1874—1957) — немецкий физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1919 г.

ШТЕЙНЕР Якоб (1796—1863) — швейцарский математик.

ВГТЕРН Отто (1888—1969) — немецкий физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1943 г.

**ЭДИСОН** Томас Алява (1847–1931) — американский физик и изобретатель.

**ЭЙЛЕР** Леонард (1707–1783) — математик, механик и физик.

**ЭЙНШТЕЙН** Альберт (1879–1955) — физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1923 г.

**ЭНГЕЛЬС** Фридрих (1820–1895) — немецкий мыслитель и общественный деятель, один из основателей марксизма.

**ЮНГ** Томас (1773–1829) — английский физик.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абсолютная влажность воздуха 16  
 Абсолютная погрешность измерения 16  
 Абсолютная скорость 16  
 Абсолютная температура 16  
 Абсолютное удлинение 16  
 Абсолютно неупругий удар 16  
 Абсолютно пластичное (неупругое) тело 16  
 Абсолютно твердое тело 17  
 Абсолютно упругое тело 17  
 Абсолютно упругий удар 17  
 Абсолютно черное тело 17  
 Абсолютный 17  
 Абсолютный нуль температуры 17  
**АБСТРАГИРОВАНИЕ 18**  
**АБСТРАКТНЫЕ СУЩЕСТВИТЕЛЬНЫЕ 18**  
 Автоколебания 18  
 Агрегатные состояния вещества 20  
 Аддитивность 20  
 Алгебра 20  
 Алгебраический процесс 20  
 Аккумулятор 20  
 Акселерометр 21  
 Аксиома 21  
 Аксиоматический метод 21  
 Активность источника радиоактивного излучения 21  
 Аккумуляционная привода 21  
 Аллотропия 21  
 Альтернативное правдо 23  
 Альфа 24  
 Альфа-излучение 24  
 Альфа-лучи 24  
 Альфа-распад 24  
 Альфа-частицы 24  
 Аморфное состояние 24  
 Ампер 24  
 Ампервольметр, вольтметр, тестер 24  
 Амперметр 25  
 Амплитуда 25  
 Амплитуда импульса 25  
 Амплитудная модуляция 25
- АНАЛИЗ 25**  
 Анализатор 26  
**АНАЛОГИЯ 26**  
 Ангстрем 26  
 Анероид, барометр-анероид 26  
 Анизотропия 26  
 Аннон 27  
 Аннигиляция 27  
 Анод 27  
 Антенна 27  
 Анти... 28  
 Антистр 28  
 Антинейтрин 28  
 Антинейтрон 28  
 Антипротон 29  
 Античастица 29  
**АПРОКСИМАЦИЯ 29**  
 Ареометр 29  
 Атмосфера Земли 29  
 Атмосферное давление 30  
 Атом 30  
 Атомная единица массы 30  
 Атомная физика 30  
 Атомная энергия 30  
 Атомное ядро 30  
 Атомные спектры 30  
**АТРИБУТ 30**  
 Ато... 31
- База 32  
 Баллистическая кривая 32  
 Барометр 32  
 Батавские слезки 32  
 Безразмерная физическая величина 33  
 Беккерель 33  
 Бел 33  
 Бета 33  
 Бета-излучение 33  
 Бета-лучи 33  
 Бета-распад 33  
 Бета-частица 34  
 Би... 34  
 Бизеркало 34

Биометаллическая пластинка 35  
Бинокль 35  
Биологический эквивалент рентгена 35  
Биполярный транзистор 35  
Близкодействие 37  
Близорукость 37  
Блок 38  
Бозоны 38  
Болометр 38  
Броуновское движение 38  
Бор 38

Вакуум 39  
Вакуумметр 39  
Вагеталия 39  
Ватт 39

## ВВЕДЕНИЕ АБСТРАКТНЫХ ВЫРАЖЕНИЙ 39

Вебер 40  
Веберметр 40  
Вектор 40  
Векторное поле 40  
Векторное произведение векторов 40  
Векторные физическое величины 41  
Вентильный фотоэффект 41  
Вес тела 41  
Весы 41  
Вечный двигатель второго рода 41  
Вечный двигатель первого рода 41

## ВЕЩЕСТВО И ПОЛЕ 42

Взаимодействие 43  
Взаимнодействие 43  
Выбратор 43  
Выбратор Герца 43  
Выборка 43  
Видимое излучение 43  
Вихтовое движение 43  
Вискозиметр 43  
Вихревое движение 43  
Вихревое поле 44  
Вихревое токи 44  
Влажность воздуха 44  
Взаимосвязь единиц физической величины 44

Внешний фотоэффект 44  
Внутреннее трение в газах 46  
Возгонка 46  
Волна 46  
Волновая оптика 46  
Волновая поверхность 46  
Волны 46  
Воды де Бройля 47  
Вояж 47  
Водя-высверная характеристика 47  
Вольтметр 48  
Вращательное движение 48  
Вращение плоскости поляризации света 48  
Время 48  
Время жизни 49  
Время релаксации 49  
Вторая космическая скорость 49  
Второе начало термодинамики 49  
Выключатель 49  
Вынужденное излучение 49  
Вынужденные колебания 50  
Выпрямитель 50  
Выпрямление переменного тока 52  
Вязкость 52

Газ 53  
Газ Ван-дер-Ваальса 53  
Газовые законы 53  
Гальванический элемент 54  
Гальванизм... 54  
Гальванометр 54  
Гальваностатика 54  
Гальваностегия 54  
Гамма-излучение 54  
Гамма-квант 54  
Гамма-лучи 54  
Гармонические колебания 54  
Гекто... 55  
Генератор 55  
Генератор Ван-де-Графа 55  
Генерация пар "электрон-дырка" 56  
Герц 56  
Геометрическая оптика 56  
Герметизация 56  
Герметичность системы (оборуд.) 56

Герц 56  
Гига.. 56  
Гидро . 57  
Гигрометр 57  
Гигроскопичность 57  
ГИПОТЕЗА 57  
Гиря 57  
Гистерезис 57  
Гистерезис (диэлектрический) 57  
Гистерезис (магнитный) 57  
Гистограмма (столбчатая диаграмма) 60  
Главная оптическая ось, линзы 60  
Главная оптическая ось сферического зеркала 60  
Главная плоскость кристалла 60  
Главный фокус линзы 60  
Главный фокус сферического зеркала 60  
Глиэ 60  
Голография 61  
Горение 61  
Гравитационный постоянный 61  
Гравитационное взаимодействие 61  
Гравитационное поле 61  
Гравитационность 61  
Гравитация 61  
Гравитон 62  
Градуровка средств измерений 62  
Градус температурный 62  
Градус угловой 62  
Градус Цельсия 62  
Грэм 62  
...граф. 62  
...графия 63  
Грей 63  
Громкость звука 63  
Громоотвод 63  
  
Давление 64  
Давление газа 64  
Давление жидкости 64  
Давление насыщающего пара 64  
Давление света 64  
Дальний порядок 66

ДАЛЬНОДЕЙСТВИЕ 66  
Дальнозоркость 66  
Двигатель 67  
ДВИЖЕНИЕ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ 67  
Двигатель 69  
Двойной электрический слой 69  
Двулучепреломление света 69  
Двуполюсник 69  
ДЕДУКЦИЯ 70  
Демонизация 71  
Действительное значение физической величины 71  
Действующее значение напряжения 71  
Действующее значение силы тока 71  
Декарий 73  
Дейтрон 73  
Дека .. 73  
ДЕКОМПОЗИЦИЯ 73  
Деление атомных ядер 73  
Делитель напряжения 74  
Дефект масс 74.  
Дефекты кристаллической структуры 74  
ДЕФОРМИЦИЯ 74  
Деформация 75  
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ 75  
Джоуль 75  
Диафрагма 75  
Диамагнетизм 75  
Диамагнетик 76  
Диамагнитный эффект 76  
Динамика 76  
ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ 76  
Динамометр 85  
Дюма 85  
Дюотрия 87  
Дюэль (электрический) 87  
Дипольный электрический момент 87  
Дислокация 88  
Дисперсия света 88  
Дисперсия случайной величины 88  
Диссипативный элемент 88

Дифракционная решетка 88  
Дифракция волн 89  
Дифракция света 89  
Диффузия 89  
Диэлектрики 89  
Диэлектрическая проницаемость 89  
Длина 89  
Длина волны 90  
Длина пути 90  
Длина свободного пробега молекул газа 90  
Доверительная вероятность 90  
Доверительный интервал 90  
Доза излучения 90  
Диаметр 91  
Дольная единица физической величины 91  
Домены 91  
Двойная прямая 91  
Доноры 91  
Дочернее ядро 91  
Дуальность 91  
Дуговой электрический разряд 92  
**ДУХОВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО** 92  
Дырка 92  
Дырочная проводимость 93  
Дырочный полупроводник 93  
Двойн 93

Единая схема построения определенной системы физических величин, имеющих собственные наименования 94  
Единая схема построения определенных физических величин 94  
Единая схема построения определенных физических величин 95  
Единая схема построения определенных физических величин 95  
Единица измерения физической величины 95  
Единство измерений 97  
Единые схемы построения определенных относительных физических величин 98  
Емкостное сопротивление 99

Емкостный элемент 99  
Емкость 99  
Естественная радиоактивность 99  
Естественный свет 100

Жесткость 101  
Жесткость излучения 101  
Жидкость 101

Зависимая физическая величина 102  
Заземление 102  
**ЗАКОН** 102  
Закон Авогадро 105  
Закон Ампера 105  
Закон Архимеда 106  
Закон Бернулли 106  
Закон Бюа 106  
Закон Буа-Савара-Лапласа 106  
Закон Бойля-Марриотта 107  
Закон Броуэстера 107  
Закон всемирного тяготения 108  
Закон Гей-Люссака 108  
Закон Гука 108  
Закон Дальтона 109  
Закон Джоуля-Ленца 109  
Закон излучения Вина 110  
Закон излучения Планка 110  
Закон излучения Релея-Джинса 111  
Закон Кирхгофа (оптический) 111  
Закон Кулона 112  
Закон Малюса 112  
Закон Ньютона 113  
1-й закон Ньютона 113  
2-й закон Ньютона 113  
3-й закон Ньютона 114  
**ЗАКОН ОМА ДЛЯ ЗАМКНУТОЙ ЦЕПИ** 114  
**ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ** 117  
Закон отражения света 117  
Закон Паскаля 118  
Закон преломления света 118  
Закон прямолинейного распространения света 118  
Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы 118  
Закон радиоактивного распада 119.

- Закон распределения молекул газа во внешнем потенциальном поле (распределение Больцмана) 119  
 Закон распределения молекул по скоростям (распределение Максвелла) 119  
 Закон сложения скоростей в классической механике 120  
 Закон сложения скоростей в релятивистской механике 120  
 Закон смещения Вина 121  
 Закон сохранения импульса механической системы 121  
 Закон сохранения массы 121  
 Закон сохранения механической энергии 121  
 Закон сохранения момента импульса 122  
 Закон сохранения электрического заряда 122  
 Закон сохранения энергии 122  
 Закон Стефана—Больцмана 123  
 1-й закон термодинамики 123  
 2-й закон термодинамики 123  
 Закон Фика 124  
 Закон Фурье 124  
 1-й закон фотоэффекта 125  
 2-й закон фотоэффекта 125  
 Закон Шарля 125  
 1-й закон электролиза 125  
 2-й закон электролиза 125  
 Закон электромагнитной индукции (Фарадея) 126  
**ЗАКОНЫ КИРХГОФА** 126  
 1-й закон Кирхгофа 126  
 2-й закон Кирхгофа 127  
 Законы Ньютона, отражающие движение тела в жидкости 128  
**ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ** 129  
 Замедление времени 129  
 Замедление нейтронов 129  
 Замедлители нейтронов 129  
 Замкнутая (изолированная) система 129  
 Запрещенная зона 129  
 Заряд 129  
 Зарядовое число 129  
 Затухание колебаний 130  
 Звук 130  
 Зеркало 130  
 Зеркальная (абсолютно отражающая) поверхность 130  
 Зигорт 130  
 Значения физической величины 130  
 Зона проводимости 131  
 Зоны Френеля 131  
 Зондальная труба 131  
**ИДЕАЛИЗАЦИЯ** 132  
 Идеальная модель 132  
 Идеальная несжимаемая жидкость 132  
 Идеальный газ 132  
 Изгиб 132  
 Излучатель 132  
 Излучение 132  
**ИЗМЕРЕНИЕ** 133  
 Измерительная установка 136  
 Измерительный преобразователь 136  
 Измерительный прибор 136  
 Изо... 137  
 Изобары 137  
 Изобарический (изобарный) процесс 137  
 Изобары 138  
 Изолятор 138  
 Изомеры 138  
 Изопроцессы в газах 139  
 Изотерма 139  
 Изотермический процесс 139  
 Изотопы 140  
 Изотопы 140  
 Изотропия 141  
 Изокора 141  
 Изокорический (изокорный) процесс 141  
 Изотропический процесс 142  
 Иконическая модель 143  
 Импульс силы 143  
 Импульс тела 143  
 Индуктивная катушка 143  
 Индуктивное сопротивление 144  
 Индуктивность 144

Индуктивный элемент 144  
**ИНДУКЦИЯ** 145  
Индукция магнитного поля 145  
Индукцированное излучение 145  
Извертность 145  
Инерциальная система отсчета 146  
Инерционный элемент 146  
Инерция 147  
Интерполяция 147  
Интерференционные картины 147  
Интерференция волн 147  
Интерференция света 147  
Интерферометр 147  
**ИНФОРМАЦИЯ** 148  
Инфра... 150  
Инфразвук 150  
Инфракрасные лучи 150  
Ионизация 150  
Ионизирующее излучение 150  
Ионная проводимость 151  
Ионосфера 151  
Ионы 151  
Искровой (разрядный) пробойник 151  
Искусственная радиоактивность 151  
Истерезис 152  
**ИСТИНА** 152  
Истинное значение физической величины 152  
Источник движения 152  
Источник напряжения 152  
Источник силы 152  
Источник скорости 152  
Источник тока 153  
Источник электронитания 154  
Источник электромагнитной энергии 154  
  
**Калориметр** 155  
Калория 155  
Камера Вильсона 155  
Камера-обскура 155  
Калеврон 156  
Кандела 156  
Квантовое распределение Гиббса 156  
Квантовая теория адронов 157

Квантметр 157  
Квантовые элементы 157  
Кариотип 157  
**КАТЕГОРИРОВАНИЕ** 158  
**КАТЕГОРИЯ** 158  
Катод 158  
Катод 158  
Качество (см. Качество и количество) 158  
**КАЧЕСТВО И КОЛИЧЕСТВО** 158  
Квант... 159  
Квантовый процесс 159  
Квантовая сила 159  
Квант света 159  
Квантовая механика 160  
Квантовая оптика 160  
Квантовая статистическая физика 160  
Квантовый период 161  
Кварк 161  
Кельвин 161  
Кевотрон 161  
Кельв... 161  
Кислотность 161  
Кислотность 162  
Кислород 162  
Клеточная энергия 162  
Кипение 162  
**КЛАССИФИКАЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ** 162  
**КЛАССИФИЦИРОВАНИЕ** 164  
Классическая статистическая физика 164  
Классическая электродинамика 165  
Когерентность 165  
Когерентные волны 165  
Колба 165  
Коллекторное движение 165  
Коллекторный контур 165  
Количество (см. Качество и количество) 165  
Количество вещества 165  
Количество движения 166  
Количество теплоты 166  
Количество электричества 166  
Коллектор 166



Колыматор 166  
Кольца Ньютона 166  
Компенсированный полупроводник 166  
КОМПОНЕНТНЫЙ ЗАКОН 167  
Комптон-эффект 167  
Конвекция (термическая) 167  
Конденсатор 167  
Конденсация 168  
Конический маятник 168  
КОНКРЕТИЗАЦИЯ 168  
КОНКРЕТНЫЕ СУЩЕСТВИТЕЛЬНЫЕ 168  
Консервативная сила 168  
Консервативная система 168  
КОНТЕКСТУАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ 168  
Концентрация носителей заряда 169  
Коронный электрический разряд 169  
Корпускула 169  
Корпускулярно-волновой дуализм 169  
Косвенные измерения 169  
Космические лучи 170  
Космические скорости 170  
Коэффициент внутреннего трения 170  
Коэффициент вязкости 170  
Коэффициент динамической вязкости 170  
Коэффициент диффузии 170  
Коэффициент жесткости (упругости) 171  
Коэффициент качества излучения 171  
Коэффициент кинематической вязкости 171  
Коэффициент линейного расширения 171  
Коэффициент объемного расширения 171  
Коэффициент отражения 172  
Коэффициент поверхностного натяжения 172  
Коэффициент поглощения 172  
Коэффициент полезного действия 172

Коэффициент полезного действия тепловой машины 172  
Коэффициент пропускания 172  
Коэффициент размножения нейтронов 173  
Коэффициент сжимаемости жидкости 173  
Коэффициент Стюдента 173  
Коэффициент теплопроводности 173  
Коэффициент трансформации 173  
Коэффициент трения качения 174  
Коэффициент трения покоя 174  
Коэффициент трения скольжения 174  
Красной угол 174  
Кратные единицы 175  
Кристалл 175  
Критическая масса 175  
Критическая температура 175  
Критический объем 175  
Критическое давление 175  
Критическое магнитное поле 175  
Критическое состояние 175  
Круговой процесс (цикл) 175  
Крутильные весы 175  
Кручение 176  
Кулон 176  
Куранметр 176

Лазер 177  
Лампа 177  
Лампа накаливания 177  
НАТР 177  
Лептоны 177  
Лицеваризация 177  
Линейная плотность заряда 178  
Линейно поляризованный свет 178  
Линейчатые спектры 178  
Линза 178  
Линии магнитной индукции 178  
Линии напряженности магнитного поля 178  
Линии напряженности электрического поля 179  
Линии Фраунгофера 179

Линия электрического смещения 179  
Луна 179  
Луч 179  
Лучеспускание 179  
Люкс 179  
Люксметр 179  
Люмен 179  
Люминесценция 180  
Люминофоры 180

## **МАГНИЯ СЛОВ 181**

Магнетизм 181  
Магнетика 181  
Магнит 181  
Магнитная восприимчивость 181  
Магнитная индукция 181  
Магнитная ловушка 181  
Магнитная постоянная 182  
Магнитная проницаемость 182  
Магнитостатическое поле 182  
Магнитный гистерезис 182  
Магнитный момент контура 182  
Магнитный момент электрона в атоме 182  
Магнитный поток 182  
Магнитное-статическое поле 183  
Магнитострикция 183  
Мазер 183  
Макро... 183  
Манометр 183  
Масса 183  
Массивное тело (груз) 184  
Массовое число 184  
Масс-спектрограф 184  
Математика 184  
Математическая модель 184  
Математический маятник 186  
Материал 186  
Материальная точка 186  
Материнское ядро 186  
**МАТЕРИЯ 187**  
**МАТЕРИЯ И СОЗНАНИЕ 187**  
Машина Карно 188  
Маятник 188  
Мгновенное значение переменной величины 188

Мега... 189  
Международная система единиц физических величин 189  
Мезоны 189  
Мембрана 189  
Менiskus 189  
Мера 189  
Мера физической величины 189  
Металлы 190  
Метастабильное состояние 190  
Метод парных точек 190  
**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ 190**  
Метр 191  
...метр 191  
Метрология 191  
Механика 191  
**МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА 191**  
Механическое движение 192  
Мидиум... 192  
Микро... 192  
Микрометр 193  
Микрометр 193  
Микрон 193  
Микроскоп 193  
Микрофон 193  
Миллиметр ртутного столба 193  
Минута 194  
**МИРОВОЗЗРЕНИЕ 194**  
**МОДЕЛИ В НАУКЕ 194**  
Модель 205  
Модельная погрешность (погрешность метода измерения) 205  
Модуль 205  
Модуль Юнга 205  
Модуляция 205  
Молекула 206  
Молекулярная масса 206  
Молекулярная физика 206  
Молекулярно-кинетическая теория 206  
Молекулярный спектр 207  
Мощная 207  
Моль 207  
Молярная масса 207  
Молярная теплоспособность 207

Молярная теплоемкость газа при постоянном давлении 207  
Молярная теплоемкость газа при постоянном объеме 207  
Молярная теплота сгорания 208  
Молярная теплота плавления 208  
Момент импульса 208  
Момент инерции 208  
Момент силы относительно неподвижной точки 208  
Момент силы относительно оси, проходящей через точку 208  
Моно... 209  
Монокристалл 209  
Мономолекулярный слой 209  
Монохроматическая волна 209  
Монохроматор 209  
Мощность 209  
**МЫСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ** 209  
Мю-мезоны 210  
Мюоны 210

Наблюдение 211  
**НАБЛЮДЕНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ** 211  
Нагреватель 211  
Наиболее вероятная скорость 212  
Накачка 212  
Законитель движения 212  
Намагниченность 213  
Намагничивание 213  
Нано... 213  
Нанотехника 213  
Насадки (механическое) 214  
Насадки (электрическое) 214  
Напряжение коллоидного хода 214  
Напряженность магнитного поля 214  
Напряженность электрического поля 214  
Насыщенный пар 215  
**НАУКА** 215  
**НАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА И МИРОВОЗЗРЕНИЕ** 215  
Невесомость 217  
Неизвестная поровая величина 217

Нейтрально 217  
Нейтрон 217  
Необратимый процесс 217  
Необыкновенный луч 217  
Неосновные носители 218  
**НЕОСОЗНАВАЕМАЯ МОДЕЛЬ МИРА** 218  
**НЕПОЛНЫЕ СИНОНИМЫ** 219  
**НЕПРЕДИКАТИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ** 219  
Нобелевская премия по физике 220  
**НОМИНАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ** 221  
Нормальное ускорение 221  
Нормальные условия 221  
Нормальный элемент 221  
Носители заряда 221  
Нуклиды 222  
Нуклоны 222  
Ньютон 222

**ОБОБЩЕНИЕ** 223  
Обобщенные планы изучения элементов научных знаний по физике 223  
Обобщенный план изучения единиц физических величин, применяемых собственно наименования 223  
Обобщенный план изучения метода измерения физической величины 223  
Обобщенный план изучения модели 224  
Обобщенный план изучения прибора 224  
Обобщенный план изучения физических величин 224  
Обобщенный план изучения физического закона 224  
Обобщенный план изучения физической теории 224  
Обобщенный план изучения физического явления 225  
**ОБОСНОВАНИЕ** 225  
Обработка результатов измерений 225  
Обратная тепловая машина 226

Обратный (идеальный) адиабатический процесс 227  
Обратный (идеальный) изотермический процесс 227  
Обратный процесс 227  
Объектив 227  
Объем 227  
Объемная плотность заряда 227  
Обыкновенный луч 227  
Одноосные кристаллы 228  
Однородное поле 228  
Однородность времени 228  
Однородность пространства 228  
Окуляр 228  
Ом 228  
Омметр 228  
ОПЕРАЦИОНАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ 228  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ 229  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧЕРЕЗ БЛИЖАЙШИЙ РОД И ВИДОВОЕ ОТЛИЧИЕ 230  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧЕРЕЗ ЗАКОН 230  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧЕРЕЗ ОБЪЕМ ПОНЯТИЯ 231  
Оптика 232  
Оптическая активность 232  
Оптическая длина пути 232  
Оптическая ось кристалла 232  
Оптическая ось линзы 232  
Оптическая ось сферического зеркала 232  
Оптически активные вещества 232  
Оптический центр линзы 232  
Оптический центр сферического зеркала 232  
Оптическое излучение 233  
Опыт 233  
Опыты Лебедева 233  
Опыты Майкельсона 233  
Опыты Майкельсона-Морли 233  
Опыты Милликена 233  
Опыты Перрена 233  
Опыты Резерфорда 235  
Опыты Столетова 236  
Опыты Стюарта-Томпсона 236  
Опыты Штерна 236

Орбита (орбиталь) электрона 238  
Освещенность 238  
Основные единицы системы единиц физических величин 238  
Основные физические величины 238  
Основные носители 238  
Остаточная магнитная индукция 238  
Остаточная намагниченность 239  
ОСТЕНСИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ 239  
Осциллограмма 239  
Осциллограф (электронный) 239  
Осциллятор (классический) 243  
Ось вращения 245  
Осаждение 245  
Отверждение 246  
Отвес 246  
ОТВЛЕЧЕННЫЕ (АБСТРАКТНЫЕ) СУЩЕСТВИТЕЛЬНЫЕ 246  
Относительная влажность 247  
Относительная погрешность измерения 247  
Относительная скорость 247  
Относительное удлинение 247  
ОТНОШЕНИЕ 247  
ОТБРАЖЕНИЕ 247  
ОТРАЖЕНИЕ 247  
Отражение света 248  
Очки 248  
Пар 249  
Параллельное соединение 249  
Параллельное соединение индуктивных катушек 249  
Параллельное соединение источников электропитания 249  
Параллельное соединение конденсаторов 249  
Параллельное соединение резисторов 250  
Парамагнетизм 250  
Парамагнетизм 250  
Парамагнитный эффект 250  
Параметр 250  
Пара сил 251  
ПАРНЫЕ КАТЕГОРИИ 251  
Парообразование 251

- Парциальное давление 251  
 Паскаль 251  
 Первая космическая скорость 251  
 Первый закон Ньютона 252  
 Первый закон (первое начало) термодинамики 252  
 Первый закон Фарадея 252  
 Перегретая жидкость 252  
 Перемагничивание 252  
 Переменная физическая величина 252  
 Переменный ток 252  
 Перемещение 252  
 Переносная скорость 252  
 Перейожденная жидкость 253  
 Перемещенный пар 253  
 Период 253  
 Период вращения 253  
 Период дифракционной решетки 253  
 Период колебаний 253  
 Период кристаллической решетки 253  
 Период полураспада 253  
 Перигеум мобиле второго рода 254  
 Перигеум мобиле, первого рода 254  
 Пета... 254  
 Пикнометр 254  
 Пико... 254  
 Пи-мезон 254  
 Пион 254  
 Параметр 254  
 Пирозлектрический эффект 254  
 Плавление 254  
 Плазма 255  
 Планетарная модель атома (по Бору) 255  
 Планетарная модель атома (по Резерфорду) 255  
 Пластическая деформация 255  
 Пластичность 255  
 Плечо пары сил 255  
 Плечо силы 255  
 Плоская волна 255  
 Плоский угол 255  
 Плоскопараллельная пластинка 256  
 Плоскополяризованный свет 256  
 Плоскость колебаний 256  
 Плоскость поляризации 256  
 Плотность вероятности случайной величины 256  
 Плотность тела 256  
 Плотность тока 257  
 Плотность тока смещения 257  
 Площадь 257  
 Поверхностная плотность заряда 257  
 Поверхностное натяжение 257  
 Поглощение и излучение света атомами 258  
 Поглощение света 261  
 Поглощенная доля излучения 261  
 Погрешность результата измерения 262  
 Подвижность носителей заряда 262  
 Подъемная сила воздушного шара 262  
 Позитрон 262  
 Позитронный распад 263  
 Показатель аднабиты 263  
 Показатель преломления 263  
 Поле (физическое) 263  
 Полевой транзистор 263  
 Поликристаллы 263  
 Полная погрешность измерения 263  
 Полное внутреннее отражение света 264  
 Пополный спектр 264  
 Полупроводники 264  
 Полупроводник *n*-типа 266  
 Полупроводник *p*-типа 266  
 Полупроводниковые приборы 266  
 Полос сферического зеркала 266  
 Поляризатор 266  
 Поляризация диэлектриков 266  
 Поляризация света 266  
 Поляризованность 266  
 Попирок 267  
**ПОНИМАНИЕ 267**  
**ПОНЯТИЕ И ТЕРМИН 269**  
 Поперечная волна 272  
 Порог слышимости 272  
 Последовательное соединение 272  
 Последовательное соединение индуктивных катушек 272  
 Последовательное соединение источников электротока 273

Последовательное соединение конденсаторов 274  
Последовательное соединение резисторов 274  
Постоянная Авогадро 275  
Постоянная Больцмана 276  
Постоянная Планка 276  
Постоянная Ридберга 276  
Постоянная Фарадея 276  
Постоянный ток 276  
Поступат 276  
Поступать Бора 276  
Поступательное движение 277  
Потенциал электрического поля 277  
Потенциальная энергия 277  
Потенциальная яма 277  
Потенциальное поле 277  
Потенциальный барьер 277  
Потенциальный порог 278  
Потенциометр 278  
Поток вектора магнитной индукции 278  
Поток вектора напряженности магнитного поля 278  
Поток вектора напряженности электрического поля 278  
Поток вектора электрического смещения 279  
Поток излучения 279  
Потокообразование 279  
Правая и левая системы координат 280  
Правила знаков напряжения и тока 281  
Правила Кирхгофа 283  
Правила обращения с приближенными числами 283  
Правила округления результатов математических действий с приближенными числами 284  
Правило 284  
Правило квантования 284  
Правило левой руки 284  
Правило Ленца 284  
Правило Максвелла 285  
Правило многоугольника 285

Правило моментов 285  
Правило параллелограмма 285  
Правило правой руки 286  
Правило рычага 286  
Правило треугольника 286  
Предел пропорциональности 286  
Предел прочности 286  
Предел текучести 286  
Предел упругости 287  
ПРЕДМЕТ МЫСЛИ 287  
Преломление света 288  
Преобразования Галилея 288  
Преобразования Лоренца 288  
Приборная (инструментальная) погрешность измерения 289  
ПРИЕМЫ НАУЧНОГО МЫШЛЕНИЯ 289  
Призма (оптическая) 289  
Привесный телуароложник 289  
Принцип 289  
ПРИНЦИП БЛИЗКОДЕЙСТВИЯ 289  
ПРИНЦИП "БРИТВА ОККАМА" 290  
ПРИНЦИП ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ 290  
Принцип Гюйгенса 290  
Принцип Гюйгенса-Френеля 290  
ПРИНЦИП ДОПОЛНИТЕЛЬНОСТИ 291  
Принцип Ле Шателье — Брауна 291  
ПРИНЦИП МАТЕРИАЛЬНОСТИ 291  
Принцип минимальности потенциальной энергии 293  
ПРИНЦИП НАБЛЮДАЕМОСТИ 292  
Принцип наименьшего действия 292  
Принцип наложения 292  
Принцип независимости действия сил 292  
Принцип неопределенностей (соотношение неопределенностей) 293  
Принцип относительности 293  
Принцип Паули 293  
ПРИНЦИП ПРИЧИННОСТИ 294

ПРИНЦИП ПОЗНАВАЕМОСТИ 294  
ПРИНЦИП РАЗРЕШИМОСТИ 294  
ПРИНЦИП СООТВЕТСТВИЯ 294  
ПРИНЦИП СООТНЕСЕНИЯ ТЕОРИИ С ПРАКТИКОЙ 294  
Принцип суперпозиции 294  
Принцип Фэрри 295  
Принципы специальной теории относительности 295  
ПРИЧИНА, СЛЕДСТВИЕ И УСЛОВИЕ 296  
Пробное напряжение конденсатора 300  
Пробный заряд 300  
Пробой конденсатора 301  
Проводимость 301  
Проводники 301  
Продо́нная волна 301  
Проекционный аппарат 301  
Произвольная единица системы единиц физических величин 301  
Производная физическая величина 301  
Прозвучивание оптики 301  
ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ 302  
Против 304  
Протон 304  
Протонно-нейтронная модель ядра 304  
Протон-протонный цикл 304  
Промент 304  
Процесс 304  
ПРОЦЕСС И СОБЫТИЕ 305  
Прочность 305  
Прямое измерение 305  
ПСИХОИНГВИСТИКА 305  
Психрометр 305  
ПУТЧИЙ ЯЗЫК 306  
Пушкинская модель атома 306  
Пузырьковая камера 306  
Путь 306  
Пучность стоячей волны 306  
Пьезоэлектрический эффект (обратный) 306  
Пьезоэлектрический эффект (прямой) 306

РАБОТА 307  
Работа выхода электрона 307  
Рабочее тело 307  
Радиоволна 307  
Радиан 308  
Радио... 308  
Радиоактивность 308  
Радиоволны 308  
Радиовокация 308  
Радиоломинесценция 308  
Радиометрический эффект 308  
Радиус-вектор 308  
Размерности физических величин, единицы измерения которых имеют собственные наименования 309  
Размерность физической величины 310  
Разность потенциалов 310  
Разрешающая сила дифракционной решетки 310  
Разрядный промежуток 311  
Ракета 311  
Распад нейтрона 311  
Распределение бозонов по квантовым состояниям (распределение Бозе—Эйнштейна) 311  
Распределение Максвелла—Больцмана частиц по этакетиям полной энергии 312  
Распределение фермионов по квантовым состояниям (распределение Ферми—Дирака) 313  
Рассеяние света 315  
Растяжение тел 315  
Расчетная схема механической системы 315  
Расширение тел 315  
Реактивное сопротивление 315  
РЕДУКЦИОНИЗМ 317  
Резистивный элемент 318  
Резистор 318  
Резистор переменного сопротивления 319  
Резонанс 320  
Результат измерения 320  
Результат наблюдения 320

Рекombинация 320  
Релаксация 320  
Реле 320  
Релятивистская механика 320  
Ростат 321  
Ротерная точка 321  
РЕФЛЕКСИЯ 321  
Рефрактометр 321  
Ротор 321

## САМОДВИЖЕНИЕ 322

Самодиффузия газа 326  
Самондукция 326  
Сверхпроводимость 326  
Сверхпроводники 327  
Свет 327  
Свет, поляризованный по кругу 327  
Светимость 327  
Световод 327  
Световое давление 328  
Световой вектор 328  
Световой луч 328  
Световой поток 328  
Светофильтр 328  
СВОЙСТВО 328  
СВОЙСТВО И ОТНОШЕНИЕ 328  
Сдвиг 330  
Сегнетоэлектрики 330  
Сегнетоэлектрический эффект 331  
Секунда 331  
Семейство характеристик 331  
Серия Бальмера 332  
Сжатие 332  
Сжатие газов 333  
Сжимаемость 333  
Сигнал 333  
СИЛА 334  
Сила Ампера 334  
Сила Архимеда 334  
Сила Кулона 335  
Сила Лоренца 335  
Сила нормального давления 335  
Сила реакции опоры; подвеса 335  
Сила света 335  
Сила сопротивления среды 335  
Сила трения 335  
Сила трения качения 336

Сила трения покоя 336  
Сила трения скольжения 336  
Сила тяжести, гравитационная сила 336  
Сила тяжести 336  
Сила упругости 336  
Сила электрического тока 337  
Силовое поле 337  
Силовые линии (магнитные) 337  
Силовые линии (электрические) 337  
Сильное взаимодействие 337  
Символ 337  
СИНОНИМЫ 337  
СИНТЕЗ 338  
Система 338  
Система единиц физических величин 338  
Система отсчета (в механике) 338  
Систематическая погрешность 338  
Система физических величин 339  
Систематизация (упорядочение) 339  
СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД 339  
Скаляр 341  
Скалярное поле 341  
Скалярное произведение векторов 341  
Скалярные физические величины 341  
Скин-эффект 341  
...ском 341  
Скорость 341  
Слабые взаимодействия 342  
Следствие 342  
Случайная величина 342  
Случайная погрешность измерения 342  
Случайные погрешности с точки зрения теории вероятностей 342  
Смачивание 343  
Смещение 344  
Собственный полупроводник 344  
Событие 344  
СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ 344  
СОЗЕРЦАНИЕ 344  
Созвучие 344  
Сокращение длины 344  
Соленоид 344  
Солнечный фотоэлемент 345



- Сопротивление 345  
**СОСТОЯНИЕ** 345  
 Спектр 346  
 Спектр излучения 346  
 Спектр оптической 346  
 Спектр поглощения 346  
 Спектральная плотность энергетической светимости 346  
 Спектральные линии 347  
 Спектральные серии 347  
 Спектральный анализ 347  
 Спектрограф 347  
 Спектрометр 347  
 Спектроскоп 347  
 Спидометр 347  
 Синий 347  
 Склонной спектр 347  
 Спонтанное излучивание 347  
**СРАВНЕНИЕ** 348  
 Среднее квадратичное отклонение случайной величины 348  
 Среднее квадратичное отклонение среднего значения случайной величины 348  
 Средняя арифметическая скорость молекул газа 349  
 Средняя квадратичная скорость молекул газа 349  
 Средство измерения 349  
 Статика 349  
 Статистическая физика 349  
 Статистический режим 350  
 Статор 351  
 Степени свободы в механике 351  
 Степень диссоциации 351  
 Степень ионизации 351  
 Степень поляризации излучения 351  
 Стерилизация 352  
**СТРУКТУРНЫЕ ЗАКОНЫ** 352  
 Сублимация 352  
 Сферическая абберация линзы 352  
 Сферическая волна 352  
 Сферическое зеркало 352  
 Схема замещения электрической цепи 352  
 Тангенциальное ускорение 354  
 Тахометр 354  
 Твердое тело 354  
 Тале... 354  
 Телескоп 354  
 Телесный угол 355  
 Телефон 355  
 Тело 355  
 Тело отсчета 355  
 Температура 355  
 Температура кипения 355  
 Температура Кюри 355  
 Температура плавления 356  
 Температурная шкала 356  
 Температурный коэффициент давления газа 356  
 Температурный коэффициент электрического сопротивления 356  
 Теорема 356  
 Теорема Кирхгофа 357  
 Теорема Кирхгофа (вторая) 357  
 Теорема о циркуляции вектора напряженности магнитного поля 357  
 Теорема о циркуляции вектора напряженности электростатического поля 357  
 Теорема об изменении импульса системы 357  
 Теорема об изменении кинетической энергии системы 358  
 Теорема Остроградского—Гаусса для магнитного поля 358  
 Теорема об изменении момента импульса системы 358  
 Теорема Остроградского—Гаусса для электростатического поля 358  
 Теорема Штейнера 359  
 Теория 359  
 Тепловая машина 359  
 Тепловое движение 359  
 Тепловое излучение 359  
 Тепловое расширение 360  
 Тепловой двигатель 360  
 Тепловой насос 360  
 Теплоемкость 360  
 Теплоноситель 360  
 Теплообмен 360

Теплопроводность газа 361  
Теплота 361  
Теплота конденсации 361  
Теплота отвердевания 361  
Теплота парообразования 361  
Теплота плавления 362  
Теплота сгорания 362  
Терм... 362  
**ТЕРМИН 362**  
**ТЕРМИНЫ, ОРИЕНТИРУЮЩИЕ НЕПРАВИЛЬНО 362**  
Термическая notation 362  
Термо... 362  
Термодинамика 362  
Термодинамическая температура 363  
Термометр 363  
Термометр сопротивления 363  
Термостат 363  
Термоэлектронная эмиссия 363  
Термоэлектрический эффект 363  
Тесла 364  
**ТИРАНИЯ ФОРМЫ 364**  
Ток короткого замыкания 365  
Ток смешения 365  
Токамак 365  
Токи Фуко 365  
Тонкая линия 365  
Тонна 365  
Точечный заряд 366  
Точечный источник света 366  
Точка кипения 366  
Точка Кюри 366  
Точка плавления 366  
Точка росы 366  
Траектория 366  
Транзистор 366  
Транзисторный эффект 366  
Трансформатор 367  
Трек 368  
Трековые детекторы 369  
Трение 369  
Третья космическая скорость 369  
Трехлопастник 369  
Трибометр 371  
Трибоэлектрический эффект 371  
Триод 371

Триод 371  
Тройная точка 372  
Тройная точка воды 372  
Трубка тока 372  
Туннельный эффект 372  
Туннелирование 372  
Турбулентность 372  
Тяготение 372  
Тяжелая вода 372  
Тяжелый водород 372  
Увеличение оптического прибора 373  
Угловая дисперсия дифракционной решетки 373  
Угловая минута 373  
Угловая секунда 373  
Угловая скорость 373  
Угловое перемещение 373  
Угловое ускорение 374  
Угловой коэффициент 374  
Углы Эйлера 374  
Угол Брюстера 375  
Угол дифракции 375  
Угол зрения 375  
Угол отражения 375  
Угол падения 375  
Угол преломления 376  
Угол скольжения 376  
Угол смешения 376  
Удалитель движения 376  
Удар 376  
Удельная проводимость 376  
Удельная теплоемкость 376  
Удельная теплота конденсации 376  
Удельная теплота отвердевания 377  
Удельная теплота парообразования 377  
Удельная теплота плавления 377  
Удельная теплота сгорания 377  
Удельная энергия связи нуклонов в ядре 377  
Удельное сопротивление 378  
Удлинение 378  
Узел кристаллической решетки 378  
Узел стоячей волны 378  
Узел электрической цепи 378

Универсальная газовая постоянная 378  
Униполярный (пальсовый) транзистор 378  
Упругая деформация 379  
Упругий элемент 379  
Упругое тело (пружина) 379  
Упругость 380  
Уравнение Ван-дер-Ваальса 380  
Уравнение Клапейрона 380  
Уравнение колебаний 380  
Уравнение Майера 381  
Уравнение Менделеева—Клапейрона 381  
Уравнение (основное) молекулярно-кинетической теории (МКТ) 381  
Уравнение Пуассона 381  
Уравнение Шредингера 381  
Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта 382  
Уравнения Максвелла в интегральной форме 383  
Уровень 385  
Уровни энергии 385  
Усиление 386  
Усилитель 388  
Усижительный каскад 389  
Ускорение 391  
Ускорение свободного падения 392  
Ускорители (заряженных частиц) 392  
УСЛОВИЕ 392

Фаза 393  
Фаза колебаний 393  
Фарад 393  
Фермионы 393  
Фемто 393  
Ферро 393  
Ферромагнетик 393  
Ферромагнитный эффект 395  
ФИЗИКА 395  
ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ 397  
Физическое явление (явление) 405  
Флуктуация 405  
Фокус 405  
Фокусное расстояние 405  
ФОРМАЛИЗАЦИЯ 406

Формула 406  
Формула Бальмера 406  
Формула Бальмера—Ридберга 406  
Формула де Бройля 406  
Формула Комптона 406  
Формула Лапласа 407  
Формула Лоренца 407  
Формула Планка 407  
Формула Стокса 407  
Формула Твиссоти 407  
Формула тонкой линзы 407  
Формула Торричелли 408  
Формы представления связей между физическими величинами 408  
Фото. . 408  
Фотоионизация 408  
Фотолюминесценция 408  
Фотон 409  
Фотопроводимость (внутренний фотоэффект) 409  
Фотосинтез 409  
Фотоупругость 409  
Фотоэлектрические явления 410  
Фотоэлектронная эмиссия 410  
Фронт волны 410  
Фуллерены 410  
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПОНЯТИЯ (КАТЕГОРИИ) 410

Характеристика 412  
Хемилюминесценция 413  
Химический эквивалент 414  
Холодильник 414  
Холодильный коэффициент 415  
Хроматическая аберрация 415  
Хрупкость 415

Центр 416  
Центнер 416  
Центр инерции тела 416  
Центр масс 416  
Центр тяжести 416  
Центрифуга 416  
Центробежная сила 417  
ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНАЯ И ЦЕНТРОБЕЖНАЯ СИЛА 417

- Центростремительное ускорение 418  
 Цепная ядерная реакция 419  
 Цикл 419  
 Цикл Карно 419  
 Циркулярно поляризованный свет 419
- Час 420  
 Частица 420  
 Частично поляризованный свет 420  
 Частота вращения 420  
 Частота колебаний 420  
 Частотная модуляция 420  
 Частотомер 420  
 Часы 421  
 Число Авогадро 421  
 Число степеней свободы 421  
 Число Фарадея 421
- Шкала Кельвина 422  
 Шкала Реомюра 422  
 Шкала средства измерений 422  
 Шкала Фаренгейта 422  
 Шкала Цельсия 423  
 Шкала электромагнитных волн 423  
 Шунт 423
- ЭДС** 424  
 Эквивалент 424  
 Эквивалентная доза излучения 424  
 Эквивалентные слои 424  
 Эксплотивная довержность 424  
 Эка... 424  
 Эксперимент 424  
 Экспозиционная доза излучения, ЭДИ 424  
 Экстраполяция 425  
 Электризация 425  
 Электрическая постоянная 425  
 Электрические цепи 425  
 Электрический диод 427  
 Электрический заряд 428  
 Электрический разряд в газах 428  
 Электрический ток 428  
 Электрическое поле 428  
 Электрическое смещение 429  
 Электрическое сопротивление 429  
 Электричество 429
- Электро... 429  
 Электрод 429  
**ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА (ЭДС)** 429  
 Электродинамизм 431  
 Электроемкость 431  
 Электролиз 431  
 Электролит 431  
 Электромагнитная диссоциация 431  
 Электромагнитная индукция 432  
**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ, САМОИНДУКЦИЯ И ВЗАИМОИНДУКЦИЯ** 432  
 Электромагнитное взаимодействие 437  
 Электромагнитное излучение 437  
 Электромагнитное поле 437  
 Электромагнитные волны 437  
 Электромагнитные колебания в колебательном контуре 437  
 Электромагнитные колебания в среде 438  
 Электромеханический генератор 438  
 Электрометр 438  
**ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ АНАЛОГИИ** 438  
 Электрон 438  
 Электронвольт 438  
 Электронная проводимость 439  
 Электронная теория 439  
 Электронная зависимость 439  
 Электронно-дырочный переход 439  
 Электронно-ионная проводимость 440  
 Электронные приборы 440  
 Электронные цепи 440  
 Электронный газ 441  
 Электронный осциллограф 441  
 Электронный парамагнитный резонанс 441  
 Электронный полупроводник 441  
 Электропроводность 441  
 Электростатическая индукция (электризация через индукцию) 441  
 Электростатика 441

- Элементарная ячейка кристалла 441  
 Элементарные частицы 441  
 Элементарный электрический заряд 442  
 Элемент электрической цепи 442  
**ЭЛЕМЕНТЫ АБСОЛЮТНОЙ ИСТИНЫ 442**  
 Эллиптически поляризованный свет 443  
 Эмиссия 443  
 Эмиссия электронов 443  
 Эматтер 444  
 Эмпирический закон 444  
 Эмпирическое обобщение 444  
**ЭМПИРИЯ И ТЕОРИЯ 444**  
 Энергетическая освещенность 444  
 Энергетическая светимость (интегральная плотность излучения) 445  
**ЭНЕРГИЯ 445**  
 Энергия связи нуклонов в ядре 446  
 Эйтрония 446  
 Эталон ампера 447  
**ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ 447**  
 Эталон канделы 449  
 Эталон кельвина 449  
 Эталон килограмма 450  
 Эталон метра 450  
 Эталон секунды 450  
 Эффект Вавилова—Черенкова 450  
 Эффект Джозефсона (туннелирование пар) 450  
 Эффект Джоуля—Томсона 450  
 Эффект Доплера 450  
 Эффект Зеемана 450  
 Эффект Керра 451  
 Эффект Коттона—Мутона (Фогта) 451  
 Эффект Мейснера 451  
 Эффект Мёсбауера 451  
 Эффект Поккельса 451  
 Эффект Фарадея 451  
 Эффект Холла 452  
 Эффект Штарка 454  
 Эффект Эдисона 454  
 Юстировка 455  
**ЯВЛЕНИЕ 456**  
 Явления переноса 458  
 Ядерная физика 458  
 Ядерная фотографическая эмульсия 458  
 Ядерные реакции 458  
 Ядерный магнитный резонанс 458  
 Ядерный реактор 458  
 Ядро атома 458

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
Введение для школьников и студентов .....	7
Введение для учителей и преподавателей, а также студентов педагогических вузов .....	9
А.....	16
Б.....	32
В.....	39
Г.....	53
Д.....	64
Е.....	94
Ж.....	101
З.....	102
И.....	132
К.....	155
Л.....	177
М.....	181
Н.....	211
О.....	223
П.....	249
Р.....	307
С.....	322
Т.....	354
У.....	373
Ф.....	393
Х.....	412
Ц.....	416
Ч.....	420
Ш.....	422
Э.....	424
Ю.....	453
Я.....	456
Именной указатель .....	459
Предметный указатель .....	466

*Учебное издание*

Санитарно-эпидемиологическое заключение  
№ 77.99.60.953.Д.002845.03.08 от 31.03.2008 г.

Подписано в печать 01.09.09. Формат 70 × 100<sup>1</sup>/<sub>32</sub>.  
Печать офсетная. Печ. л. 15,5. Тираж 3000 экз. Заказ № 6084, 6085

ООО «Перспект»  
111020, г. Москва, ул. Боровая, д. 7, стр. 4.

Отпечатано с готовых файлов заказчика в ОАО «ИПК  
«Ульяновский Дом печати», 432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14

# ФИЗИКА

## ТОЛКОВЫЙ СЛОВАРЬ ШКОЛЬНИКА И СТУДЕНТА

Под редакцией **Н. Н. Гомоюнова, В. И. Козлова**

### 2-е издание

Словарь содержит более тысячи четырехсот терминов. Преобладающее большинство из них встречаются в различных разделах курса физики средней и высшей школы: в механике, молекулярной физике и термодинамике, электричестве и магнетизме, геометрической, волновой и квантовой оптике, атомной и ядерной физике, физике элементарных частиц. В словарь включены толкования нескольких десятков терминов из психологии, логики, лингвистики, знание которых необходимо учащимся для понимания изучаемого в курсе физики материала.

Для физических явлений, моделей, физических величин и единиц физических величин, имеющих собственное наименование, приведены полные определения, построенные по единым схемам.

Словарь составлен по алфавитному принципу, снабжен иллюстрациями.

Для школьников, абитуриентов, студентов средних специальных и высших учебных заведений, а также учителей, авторов учебников и родителей, которые стараются помочь сво



• ПРОСПЕКТ •

Издательство «ПРОСПЕКТ»  
(495) 967-1572  
e-mail: mail@prospekt.org  
www.prospekt.org

интернет-магазин

**OZON.ru**



25549231