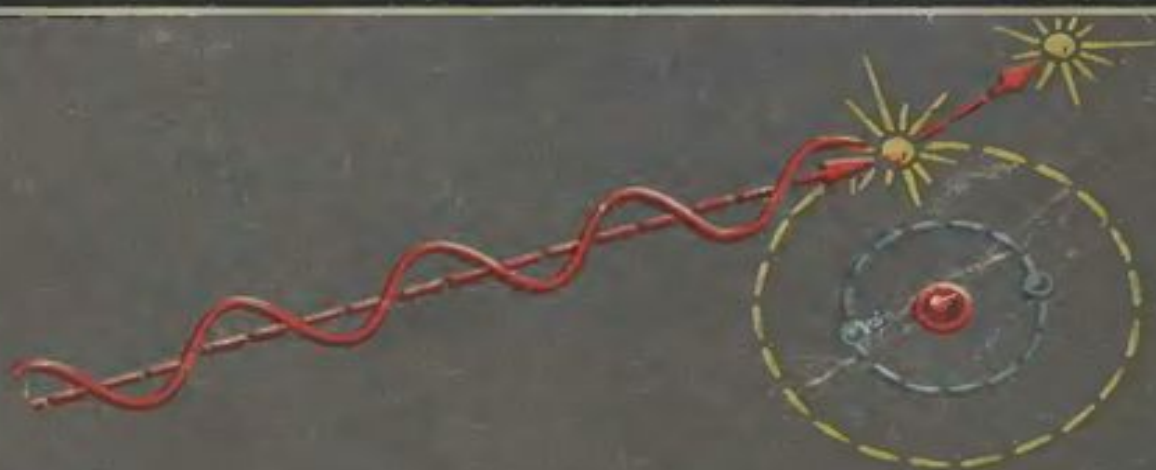


Научно-
Популярная
Библиотека
Военного издательства



Г. И. ПОКРОВСКИЙ, Л. И. СЛАБКИЙ

ФИЗИКА В ТЕХНИКЕ



Annotation

Значение техники в жизни человечества исключительно велико. Нельзя назвать ни одной области деятельности людей, где не применялись бы те или иные технические средства. Чтобы понять, какую роль современная техника играет в жизни человека, рассмотрим некоторые ее характерные примеры. На одно из первых мест следует поставить производство энергии, которое растет быстрее, чем машиностроение, производство продовольствия и предметов широкого потребления. Общее количество энергии, потребляемой человечеством, стремительно увеличивается.

-
- ○ [РАЗВИТИЕ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ В XVII–XIX веках](#)
 -
 - [Термодинамика и паровые машины](#)
 - [Гидромеханика и судостроение](#)
- [НОВЕЙШИЙ ЭТАП В РАЗВИТИИ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ](#)
 -
 - [Физические поля и элементарные частицы](#)
 - [Теория относительности и ускорители частиц](#)
 - [Электричество и электротехника](#)
 - [Молекулярная физика в химии и технике](#)
 - [Квантовая механика](#)
 - [Радиотехника](#)
 - [Полупроводники и вычислительные машины](#)
 - [Физическая оптика в науке и технике](#)
 - [Ядерная физика и ядерная энергетика](#)
 - [Роль физики в развитии ракетной техники](#)
 -
 - ▪ [Прочность материалов и конструкций](#)
 - [Проблемы использования приливных сил](#)
 - [Квантовые генераторы лучистой энергии](#)
 - [Проблемы создания управляемых термоядерных реакций](#)
-
- [notes](#)

- 1
 - 2
-

Г. И. ПОКРОВСКИЙ, Л. И. СЛАБКИИ

ФИЗИКА В ТЕХНИКЕ

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР
МОСКВА — 1963

Г. И. Покровский, Л. И. Слабкий
ФИЗИКА В ТЕХНИКЕ

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКИ

«Дальнейшие перспективы прогресса науки и техники определяются в настоящий период прежде всего достижениями ведущих отраслей естествознания. Высокий уровень развития математики, физики, химии, биологии — необходимое условие подъема и эффективности технических, медицинских, сельскохозяйственных и других наук».

Из Программы Коммунистической партии Советского Союза, принятой XXII съездом КПСС.

Значение техники в жизни человечества исключительно велико. Нельзя назвать ни одной области деятельности людей, где не применялись бы те или иные технические средства.

Чтобы понять, какую роль современная техника играет в жизни человека, рассмотрим некоторые ее характерные примеры.

На одно из первых мест следует поставить производство энергии, которое растет быстрее, чем машиностроение, производство продовольствия и предметов широкого потребления. Общее количество энергии, потребляемой человечеством, стремительно увеличивается.

Если взять отношение общей мощности всех источников энергии к количеству населяющих землю людей, то окажется, что, несмотря на увеличение численности населения земного шара, это отношение все же увеличивается и возрастает за среднее время жизни человека в несколько раз.

Огромное значение для технического прогресса имеет развитие научного познания объективных законов, опираясь на которые человек управляет многими явлениями природы, добиваясь определенных практических результатов.

Наука — это единая система знаний о природе, обществе и мышлении, об объективных законах их развития, исторически сложившаяся и непрерывно развивающаяся на основе общественной жизни человеческого общества. Эта система создается путем выявления простых и сложных, основных и общих законов природы, зная которые можно достаточно точно решать любую частную задачу.

Цель науки — открывать законы природы и развития общества. Прогресс науки — это все более глубокое и точное познание действительности.

Наука — это наиболее эффективный путь объединения коллективного творческого труда людей для достижения прогрессивных целей. Именно благодаря передовой, материалистической науке могут непрерывно и безгранично расти творческие коллективы и сохранять в себе все достижения предыдущих поколений.

Научные исследования, открытия, изобретения стали жизненно необходимы в современном обществе. Широкое их развитие — основа всех видов производства, а следовательно, и прогресса человечества.

Настоящий творческий труд может возникнуть и развиваться только в коллективе. Самые гениальные люди могут плодотворно работать и творить только тогда, когда они работают в коллективе и для коллектива.

Наука, техника, искусство, вообще любая область деятельности людей развиваются наиболее быстро и плодотворно тогда, когда переплетаются самые разнообразные пути исследования и творчества.

Космические ракеты, например, могли быть созданы только при комплексном использовании достижений энергетики, радиоэлектроники, автоматики, строительной механики, технологии материалов и многих других областей науки и техники.

Каждый день в газетах, журналах и книгах, по радио и телевидению сообщается о новых научных, культурных и технических достижениях, и мы, советские люди, живо откликаемся на все новое и

прогрессивное, творчески его перерабатываем и применяем на практике.

Мы знаем, что широкая осведомленность в вопросах науки и техники помогает лучше выполнять свою собственную работу.

Иногда кажется, что в тех или иных условиях ничего нового создать нельзя. Это неверно. Дело не в характере работы, а в том, насколько человек любит труд, в его кругозоре, в стремлении принести обществу как можно больше пользы.

Полноценное использование для нужд человечества какого-либо нового физического явления, открытия или изобретения станет возможным лишь в том случае, когда будет ясна его физическая сущность и будут установлены основные закономерности, необходимые для проведения соответствующих научных или технических расчетов. Только при этом условии можно будет надежно решать те или иные практические задачи.

Но не всегда то или иное техническое достижение, то или иное научное открытие можно сразу применить на практике. Чаще бывает, что они, эти достижения и открытия, требуют еще большой доработки, тщательной проверки и точных расчетов. И даже тогда, когда уже все доработано, рассчитано и проверено, возникает вопрос, как все это сделать достоянием широких масс, быстрее пустить в производство и использовать для нужд общества.

Так, например, огнестрельное оружие почти не имело существенного военного значения, пока Галилеем и Ньютоном в конце XVII века не были открыты основные законы движения, после чего стали быстро развиваться артиллерия и другие виды вооружения.

Люди пытались летать очень давно. Уже в «Молении Даниила Заточника» (XIII век) рассказывается, что во время праздников молодые люди влезали на крыши храмов и слетали оттуда на искусно сделанных крыльях. Однако настоящей авиации из этого не получилось и не могло получиться. Даже в конце XIX века попытки построить самолет не завершились успехом. Многие выдающиеся ученые поплатились жизнью за попытки решить техническую проблему полета человека без глубокого теоретического анализа.

Только теоретические основы аэродинамики, разработанные Н. Е. Жуковским, стали тем фундаментом, на котором прочно обосновалась современная авиация.

То же самое можно сказать об электронике и радиотехнике. Опыты Герца с электромагнитными волнами предшествовали открытию радиосвязи А. С. Поповым, а широкое применение фотоэффекта в автоматике началось после исследования А. Г. Столетовым этого нового и интересного физического явления.

Подобных примеров можно привести очень много, и все они свидетельствуют о том, что без знания законов физики невозможно добиться значительных научных и технических достижений.

Но значение физики не исчерпывается этим. Физика дает нечто существенно более важное, чем понимание и практическое использование отдельных открытий и изобретений.

Дело в том, что основные закономерности физики представляют собой единую систему взаимосвязей, объединяющих материю в объективно существующую основу всего многообразия окружающего нас мира.

В. И. Ленин в работе «Материализм и эмпириокритицизм» указывал, что единство материи проявляется в сходстве тех математических формул, которые можно применить для выражения закономерностей, наблюдаемых в различных явлениях, с первого взгляда очень мало похожих одно на другое.

Вот это единство материи, познаваемое и выражаемое совокупностью основных законов физики, должен учитывать каждый человек, изучающий науку и технику. И только в этом случае можно сравнительно легко и быстро сопоставлять старое и новое и смело заглядывать вперед, предвидя громадные перспективы едва еще намеченных проблем.

Цель настоящей брошюры — показать на некоторых примерах, как развивались физика и техника, основные проблемы и задачи которых всегда имели и имеют глубокую взаимосвязь. Наличие такой взаимосвязи является непременным условием научного и технического прогресса.

РАЗВИТИЕ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ В XVII–XIX веках

Еще в глубокой древности ученые занимались наблюдением различных физических процессов и явлений. Так, Лукреций, Эпикур, Демокрит (VI в. до н. э. — II в. н. э.) высказывали идеи об атомистичности вещества; были открыты некоторые законы гидростатики (закон Архимеда), объяснен принцип работы рычага и некоторых других простейших механизмов.

Галилей положил начало экспериментальной физике, научно обосновал и сформулировал закон инерции, имеющий чрезвычайно важное значение в физике.

В 1687 г. Ньютон, который по праву считается одним из создателей механики, в своей работе «Математические начала натуральной философии» сформулировал один из основных законов механики о зависимости ускорения тела от его массы и действующей силы.

На основе законов Кеплера и закона всемирного тяготения, открытого Ньютоном, стало возможным заранее вычислять орбиты Луны и планет, т. е. появилась реальная научная база, на которой можно было строить небесную механику и прикладную астрономию.

Развитие мануфактурного и машинного производства потребовало решения множества задач, связанных с динамикой твердого тела, гидродинамикой и гидростатикой. В результате развитие техники привело к созданию основ гидродинамики — учения о движении жидкостей (закон Бернулли).

Широкое внедрение машинной техники во все отрасли производства стало возможным после изобретения паровой машины.

Работы Карно объяснили сущность взаимосвязи двух видов энергии — тепловой и механической. В результате были усовершенствованы паровые двигатели, которые в то время являлись основными механизмами, приводящими машины в действие.

Исследования Ломоносова и Лавуазье привели к систематическому изучению химических явлений на основе закона сохранения массы.

В первой половине XIX века были открыты электрический ток и электромагнитные явления. Эти открытия существенным образом

изменили представление о веществе и положили начало электротехнике, радиофизике и радиоэлектронике, атомной физике и др.

Как нередко бывает в жизни, открытие какого-либо нового явления часто вызывает сомнения в возможности его практического использования. В самом деле, мог ли человек, видевший, как под действием слабого электрического тока вздрагивает лапка лягушки или под действием непонятных в то время причин отклоняется стрелка компаса, находящегося вблизи проводника, по которому протекает электрический ток, представить себе, каково будет практическое применение таких «незначительных» явлений? Конечно, нет.

Только в процессе развития науки и техники, порой через много лет после открытия, становится понятным значение того или иного явления. Кто бы мог подумать, что открытие Резерфордом особенностей при рассеянии потока α -частиц тончайшей золотой фольгой приведет к созданию атомной физики и квантовой механики, а открытие радио-активности — к овладению ядерной энергией?

Прогресс техники невозможен без прогресса науки точно так же, как и наука не может развиваться без развития техники. В этом состоит диалектическое единство науки, в частности физики, с одной стороны, и техники — с другой.

Мы кратко рассказали о ходе развития физической науки и техники. Сейчас разберем подробнее некоторые примеры, показывающие взаимосвязь физики и техники.

Термодинамика и паровые машины

Итак, развитие науки и техники в конце XVIII и начале XIX века привело к созданию паровой машины, что явилось началом промышленного переворота, т. е. привело к широкому применению машинной техники.

Развитие промышленности и транспорта требовало достаточно мощных и надежных двигателей. Таким двигателем и явилась паровая машина. Различные типы металлорежущих станков, паровой молот и другие машины были созданы в сравнительно короткое время. Для усовершенствования их была необходима теоретическая база. Таким образом, перед наукой встала задача — исследовать характер процессов, протекающих в тепловых (паровых) машинах. Эта задача привела к возникновению новой отрасли науки — термодинамики, целью которой явилось изучение тепловых процессов в машинах.

В 1824 году Карно ввел понятие «тепловые циклы», затем немецкий ученый Клаузиус и англичанин Томсон сформулировали второе начало термодинамики и исследовали вопрос о существовании абсолютного нуля температуры.

В конце XIX и начале XX, века американский физик Гиббс изложил так называемый статистический метод, легший в основу статистической физики,

Большая роль в развитии термодинамики принадлежит русским ученым. В 1887 году В. А. Михельсон и Б. Б. Голицын исследовали законы термодинамики излучения, которые в дальнейшем на основе работ немецких ученых Вина и Планка привели к созданию квантовой механики.

Д. И. Менделеев и А. Г. Столетов внесли большой вклад в изучение так называемых критических состояний вещества, при которых наблюдается переход вещества из одного агрегатного состояния в другое (например, воды — в лед, жидкости — в пар).

Что же представляет собой термодинамика?

Слово термодинамика произошло от греческих слов «термо» — тепло и «динамик» — сила, т. е. это наука о законах теплового движения, о процессах передачи тепла и превращения тепловой энергии в механическую.

Метод термодинамики заключается в том, что на основе общих законов (например, закона сохранения энергии) исследуются процессы передачи и превращения тепла безотносительно к конкретным конструкциям той или иной тепловой машины. При этом метод термодинамики не основывается на конкретных представлениях о структуре вещества.

Термодинамические законы являются выражением статистических закономерностей, которые имеют место в системах, состоящих из огромного числа хаотически движущихся частиц.

Для исследования характера процессов, протекающих при работе тепловых машин, обычно пользуются методом циклов Карно. Цикл Карно отображает процесс в идеальной тепловой машине при условии отсутствия потери энергии на трение.

Метод циклов предполагает, что при работе тепловой машины существуют следующие стадии:

- 1) расширение пара, температура которого остается постоянной в течение всего времени расширения; при этом непрерывно подводится тепло;
- 2) расширение пара без подвода или отвода тепла;
- 3) сжатие пара при непрерывном отводе тепла (температура при сжатии остается постоянной);
- 4) сжатие пара без подвода или отвода тепла (температура пара при этом изменяется).

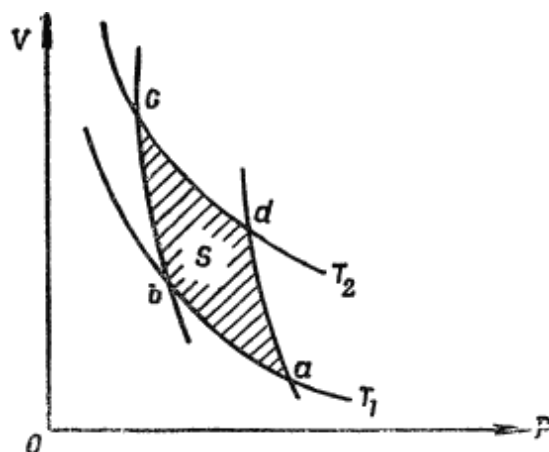


Рис. 1. График зависимости объема V от давления P при работе теплового двигателя

После завершения полного цикла работы тепловой машины система возвращается в свое исходное состояние, т. е. температура и давление пара принимают первоначальные значения. Работа, которую совершил при этом пар, может быть численно измерена площадью S , ограниченной кривыми a, b, c, d (рис. 1). При этом количество теплоты Q_1 , которое было передано пару от внешнего источника тепла, всегда больше количества теплоты Q_2 , переданной нагретым паром теплоприемнику (холодильнику) в процессе совершения рассмотренных четырех стадий. Разность $Q_1 - Q_2$ эквивалентна работе, совершенной паром, а коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины равен отношению этой работы к количеству тепла Q_1 , т. е.

$$\text{КПД} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} .$$

Для того чтобы пар совершал работу, необходимо наличие теплоотдатчика с высокой температурой и теплоприемника с более низкой температурой. При этом КПД тепловой машины не зависит от конструктивных особенностей и от свойств рабочего тела (пара), а определяется только температурой теплоотдатчика и теплоприемника.

Цикл Карно не учитывает потерь энергии на трение, излучение и т. д. Однако такие потери всегда имеют место в реальных тепловых машинах. Поэтому КПД реальных машин всегда меньше значения, вычисленного по приведенной формуле.

Изучение термодинамических циклов позволило изыскивать верные пути в работе над усовершенствованием тепловых машин, над повышением их экономичности.

Развитие машинной техники и науки привело к созданию паровых двигателей различных типов. Некоторые из них применяют и сейчас на железнодорожном и водном транспорте. Но на смену им уже приходят новые типы двигателей — паровые турбины, двигатели внутреннего сгорания, электродвигатели, а также реактивные и ракетные двигатели, создание и усовершенствование которых шло и идет в ногу с развитием физической науки.

Гидромеханика и судостроение

К началу XIX в. парусные суда уже не могли обеспечивать перевозку грузов в количестве, необходимом для удовлетворения потребностей промышленности, так как использование ветра в качестве движущей силы не позволяло достигать высоких скоростей при большом водоизмещении судна.

С использованием паровых машин в качестве двигателей значительно возросли скорость и водоизмещение судов. Так, если скорость лучших парусных судов XVIII в. составляла 20–25 км/час, а водоизмещение 3–5 тыс. т, то пароходы XIX в. с гребными винтами имели скорость до 40 км/час при водоизмещении 8–10 тыс. т. Первые пароходы передвигались с помощью гребных колес и лишь впоследствии колесо заменили гребным винтом.

Увеличение скорости движения судов, а также замена гребных колес на гребные винты тесно связаны с разработкой теории о движении тел различной формы в жидкости и о силах, действующих при этом движении.

Всеми этими вопросами занимается гидромеханика — наука о законах движения жидкости и взаимодействия ее с твердыми телами.

Начало развития гидромеханики было положено еще Леонардо да Винчи, Галилеем и Ньютоном, но их исследования в этой области носили лишь описательный характер и не всегда точно отражали сущность тех или иных явлений. Так, Ньютон, впервые сформулировав закон о пропорциональности силы сопротивления телу, движущемуся в жидкости, скорости движения этого тела, считал, что такое сопротивление обусловлено исключительно ударами частиц о носовую часть тела. В действительности же, как это было выяснено в дальнейшем петербургским академиком Эйлером и известным математиком Д. Бернулли, сопротивление при движении тела в жидкости зависит от вязкости последней и от возникновения вихрей, на образование которых затрачивается значительная энергия. При этом существенную роль играет величина поперечного сечения тела, движущегося в жидкости или газе: чем больше это сечение, тем больше и сила сопротивления движению. Бернулли была исследована задача о протекании жидкости по трубе с переменным сечением с учетом силы

тяжести. При этом выявилась интересная и важная закономерность: давление в жидкости тем меньше, чем больше скорость ее течения (рис. 2).

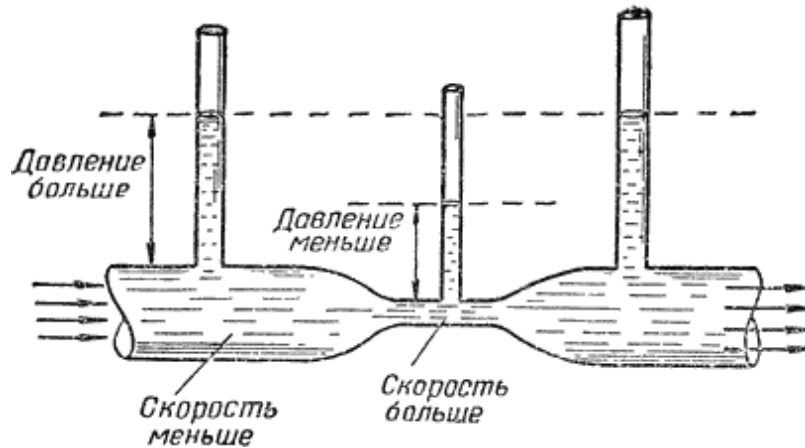


Рис. 2. При течении жидкости по трубе переменного сечения наименьшее давление будет в наиболее узкой части трубы

Почему так происходит? В чем причина такого, на первый взгляд, парадоксального явления?

Рассмотрим уравнение Бернулли, которое в упрощенном виде можно записать так:

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

Здесь P — давление, ρ — плотность жидкости, v — скорость. Обозначение const указывает, что это некоторая постоянная величина («константа»).

Для того чтобы сумма этих двух слагаемых оставалась постоянной, необходимо, чтобы при уменьшении (или увеличении) одного из этих слагаемых другое слагаемое увеличивалось (или уменьшалось) на такую же величину.

Поскольку плотность жидкости — величина постоянная (жидкость почти несжимаема), то увеличение скорости ее течения должно уменьшать давление, и наоборот. Уравнение Бернулли выведено с

помощью высшей математики; оно основывается на законе непрерывности течения и законе сохранения массы.

Эффект уменьшения давления в жидкости при увеличении скорости течения можно наблюдать, если в струю воды, направленную вверх, поместить легкий пробковый шарик. Такой шарик будет все время «стараться» находиться ближе к центру струи, где скорость ее течения максимальна, за счет давления со стороны более медленно движущихся слоев воды на границе струя — воздух.

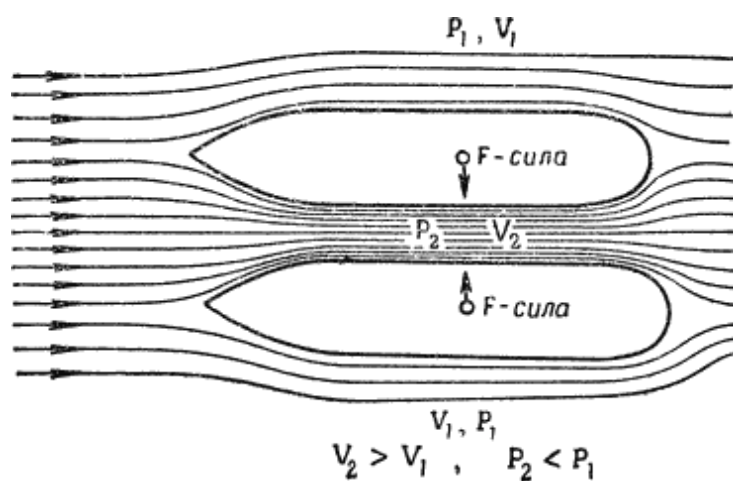


Рис. 3. При движении двух судов вблизи друг друга они притягиваются

Такой как первый взгляд «безобидный» эффект может привести к далеко не столь безобидным результатам. Известны случаи, когда два судна, движущиеся параллельным курсом на небольшом расстоянии друг от друга, сталкивались между собой вследствие того, что скорость потока воды между ними оказывалась больше скорости потока вне их. Такое увеличение скорости движения жидкости между судами объясняется тем, что «ворота» между кораблями, в которые должна пройти вода, сужаются и поэтому нужна большая скорость, чтобы всей массе воды пройти сквозь более узкие «ворота» (рис. 3).

Используя уравнение Бернулли, Н. Е. Жуковский, С. А. Чаплыгин и другие ученые создали теорию подъемной силы крыла самолета.

Запросы техники, которая стала особенно стремительно развиваться в начале XIX в., привели к созданию новых отраслей

гидромеханики, и в частности гидромеханики вязкой жидкости, теории так называемого пограничного слоя, который образуется перед носовой частью тела, движущегося в жидкости или газе. В дальнейшем теория пограничного слоя получила применение в расчетах, связанных с движением сверхзвуковых самолетов и баллистических ракет, а также при расчетах новых форм корпусов кораблей, формы лопаток газовых и водяных турбин и т. д.

Применяя законы гидромеханики и гидродинамики, в наши дни созданы совершенные по своим ходовым качествам скоростные суда на подводных крыльях, которые могут развивать скорость 80–90 км/час и выше. Это далеко не все примеры применения гидромеханики.

Развитие науки и техники всегда идет вместе, и эта органическая связь между ними как раз и обуславливает тот научный и технический прогресс и достижения, свидетелями которых мы сейчас являемся.

НОВЕЙШИЙ ЭТАП В РАЗВИТИИ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ

Современное развитие физики и техники характерно тем, что и в теоретической физике, и в технике за последние шестьдесят лет достигнуты значительные успехи в овладении силами природы и использовании их в интересах человека.

На службу человеку пришла атомная энергия; на повестку дня поставлен вопрос об использовании в мирных целях термоядерной энергии, запасы которой практически неисчерпаемы.

Создание теории относительности коренным образом изменило наши представления о пространстве и времени, продвинуло вперед исследования микромира, структуры атомов и атомных ядер, «элементарных» частиц материи и различных физических полей.

Успехи в области изучения электрических и магнитных явлений позволили совершить гигантский скачок в технике радиосвязи, передаче и обработке информации.

Освоение техники полупроводниковых приборов сделало возможным создание быстродействующих, малогабаритных и экономичных электронных вычислительных машин. Это позволило приступить к конструированию станков с программным управлением, различного рода самонастраивающихся систем, решать многие задачи, которые ранее не могли быть решены из-за необходимости проводить сложнейшие и громоздкие вычисления.

В настоящее время созданы совершенно новые источники света, отличающиеся огромной яркостью и экономичностью.

Создание ядерных реакторов предоставило в руки людей поистине громадный и практически неисчерпаемый источник энергии, а работы в области ракетной техники сделали возможным /совершить первые полеты в космос.

Физические поля и элементарные частицы

Человек давно стремился объяснить такие, некогда загадочные, явления, как свет, земное притяжение, электрические и магнитные взаимодействия.

Еще в конце XVII — начале XVIII в. Ньютон предложил для объяснения взаимного притяжения материальных тел так называемую гипотезу дальнего действия. Согласно этой гипотезе тела, находящиеся в различных точках пространства, обладают свойством взаимно притягиваться без участия какой-либо промежуточной среды. Это является таким же первичным свойством тел, как их протяженность или инерция. При этом считалось, что всякое взаимодействие между телами происходит мгновенно, т. е. если с каким-либо телом из группы взаимодействующих тел произошли некоторые изменения (например, быстрое перемещение), то все остальные тела «узнают» об этом в это же самое мгновение.

Благодаря простоте математических формулировок и успехам применения теории всемирного тяготения к телам солнечной системы (расчеты траекторий небесных тел) гипотеза Ньютона получила в то время весьма широкое распространение.

Кроме гипотезы дальнего действия, существовала и гипотеза ближнего действия Декарта.

Декарт считал, что взаимодействие между телами может передаваться и осуществляться только через некоторую промежуточную среду (эфир) и определяться свойствами последней.

На основе своей гипотезы Декарт создал полуколичественную теорию Вселенной, согласно которой взаимодействие тел между собой объяснялось вихревыми движениями эфира, заполняющего все мировое пространство.

Несмотря на то что гипотеза Декарта во многом уступала ньютоновской теории дальнего действия в количественном объяснении тяготения, она была более содержательной и материалистичной, что не могло не повлиять на ход развития дальнейших представлений на механизм взаимодействия тел.

Позднее А. Эйнштейном была создана новая теория тяготения, которая является более общей и более точной, чем теории Ньютона и

Декарта. В 30-х годах XIX в. английский физик М. Фарадей, основываясь на идее близкодействия, дал картину электромагнитного поля как совокупности «натяжений» эфира, заполняющего все мировое пространство. Эта гипотеза Фарадея послужила основой для создания теории электромагнитного поля Дж. Максвеллом, который теоретически установил взаимосвязь между электрическими и магнитными явлениями.

Согласно воззрениям Максвелла всякое изменение электрического поля вызывает в окружающем пространстве появление магнитного поля, которое, в свою очередь, приводит к возникновению электрического поля. Таким образом, при изменении расстояния между какими-либо двумя противоположными электрическими зарядами или при изменении величины этих зарядов должна возникнуть электромагнитная волна, распространяющаяся в пространстве с огромной скоростью — 300 000 км/сек. Этот процесс распространения в мировом эфире электрических и магнитных «натяжений», по мнению Максвелла, и является процессом распространения электромагнитной волны (рис. 4).

Опыты Герца, в результате которых были открыты электромагнитные волны, явились блестящим подтверждением наличия электромагнитного поля Фарадея — Максвелла.

Однако существование в окружающем пространстве мировой среды (эфира) должно каким-то образом проявляться при движении в нем материальных тел. Для этого в начале XX века был проведен ряд экспериментов по обнаружению «эфирного ветра».

Опыты Физо и Майкельсона — Морли были попыткой обнаружить «эфирный ветер» при движении Земли вокруг Солнца, однако они дали отрицательные результаты, что послужило основанием для отказа от гипотезы о существовании эфира. Таким образом, представление об электромагнитном поле как об особом состоянии эфира было заменено новым представлением: электромагнитное поле стало рассматриваться как особая форма существования материи.

В настоящее время теоретическая физика изучает различные типы физических полей: электромагнитное, гравитационное (или поле тяготения), мезонное, электронно-позитронное и др.

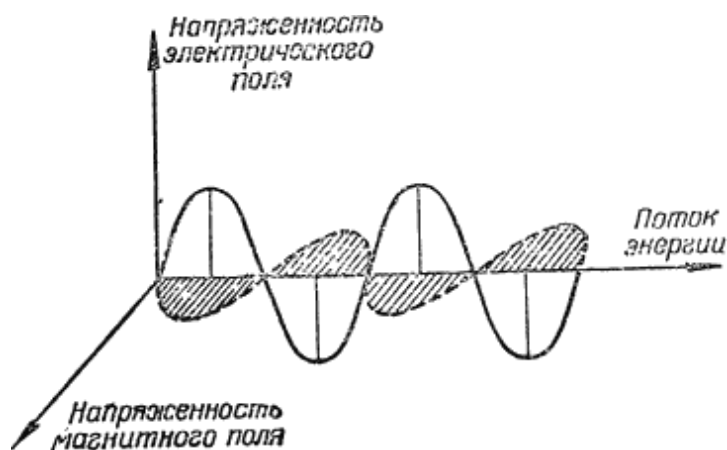


Рис. 4. Электрическое и магнитное поля в электромагнитной волне

В современном представлении физические поля и «элементарные» частицы — электроны, протоны, нейтроны, различные типы мезонов — и другие частицы имеют много общего.

«Элементарные» частицы, по квантовой теории поля, суть кванты, т. е. «возбужденные» состояния соответствующего поля.

Любое состояние поля характеризуется его энергией, и в зависимости от величины этой энергии можно говорить о том или ином состоянии поля. Следует заметить, что возможны не любые состояния поля, а только вполне определенные, дискретные состояния, причем «возбужденные» состояния поля есть состояния с большей энергией.

Как говорилось выше, «элементарные» частицы являются квантами того или иного физического поля. Так, например, электроны являются квантами электронно-позитронного поля, фотоны — квантами электромагнитного поля и т. д.

Проявление квантовых особенностей различно для различных типов полей. Если кванты электромагнитного поля могут возникать в каком угодно количестве, причем их может возникнуть как четное, так и нечетное число, то кванты электронно-позитронного поля возникают только парами: одновременно с возникновением электрона возникает и позитрон, электрический заряд которого противоположен заряду электрона.

Скорости распространения взаимодействий для различных типов полей также различны. В то время как кванты электромагнитного поля (фотоны) распространяются со скоростью света (300 000 км/сек) и имеют массу покоя, равную нулю, кванты мезонных полей, обладая отличной от нуля массой покоя, распространяются с гораздо меньшей скоростью.

Поле, в котором отсутствуют кванты (т. е. поле, имеющее некоторую минимально возможную «наинизшую» энергию), называют «нулевым» полем или вакуумом. Таким образом, вакуум представляет собой вполне определенное состояние поля и вовсе не является абсолютно пустым пространством.

Построить полную и законченную теорию взаимодействующих полей очень трудно, и эта задача в настоящее время еще не завершена.

Над созданием единой теории поля работали такие выдающиеся (физики, как А. Эйнштейн и В. Паули.

В настоящее время в теоретической физике возникло и с успехом развивается новое направление, ставящее целью построить единую теорию поля, основываясь на так называемых «самодействиях», т. е. взаимодействиях некоторой «праматерии», как ее условно называют физики, самое с собой. Это направление получило название нелинейной теории материи. В разработке и построении такой теории принимают участие известный физик, один из основоположников квантовой механики В. Гейзенберг, советские физики Д. Д. Иваненко, А. М. Бродский и другие.

Успехи, достигнутые за короткое время при разработке и построении этой теории (были теоретически получены массы почти всех «элементарных» частиц; показана необходимость введения некоторой минимально возможной «элементарной» длины, характеризующей структуру любого типа поля и в том числе вакуума и являющейся по существу границей тех закономерностей в микромире, которые еще могут описываться современной квантовой физикой), позволяют надеяться, что рано или поздно будет создана единая «нелинейная» теория материи и тем самым будет сделан еще один шаг на пути познания бесконечно разнообразного в качественном и количественном отношениях окружающего нас мира.

Теория относительности и ускорители частиц

Теория относительности, которая изучает законы движения материальных тел в пространстве и во времени, и квантовая механика, описывающая микромир с его особенностями, взаимно дополняют друг друга и являются теми инструментами, при помощи которых наука открывает новые законы и глубже познает природу.

В повседневной жизни мы встречаемся с чрезвычайно разнообразными процессами и явлениями, скорость протекания которых различна. Известно, что развитие животных и растений происходит в течение месяцев, лет и десятков лет. Но в природе существуют процессы, длительность которых измеряется миллионными и даже миллиардными долями секунды.

Так, электрическая искра, возникающая при разряде конденсатора, «живет» от долей микросекунды до нескольких сотен микросекунд, а время «жизни» некоторых «элементарных» частиц может составлять 10^{-14} — 10^{-15} секунды.

До появления приборов, с помощью которых можно было измерять такие малые промежутки времени, люди пользовались законами, справедливыми для небольших (по сравнению со скоростью света) скоростей. Вся классическая физика, и в частности механика, строилась на предположении о независимости хода процессов в материальной системе от скорости этой системы относительно других систем.

Принцип относительности Галилея, заключающийся в том, что никакими механическими опытами нельзя обнаружить равномерное и прямолинейное движение системы, в которой находится наблюдатель, утверждал, что при сложении двух одинаково направленных скоростей v_1 и v_2 результирующая скорость равна $v_1 + v_2$. Однако, как выяснилось впоследствии, дело обстоит гораздо сложнее: при скорости v , соизмеримой со скоростью света c , действует иной закон сложения скоростей, а именно:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}.$$

Подсчитаем результирующую скорость, если $v_1 = v_2 = c$. В этом случае

$$v = \frac{c + c}{1 + \frac{c^2}{c^2}} = \frac{2c}{1 + 1} = c,$$

т. е. результирующая скорость также равна скорости света c . Но не противоречит ли полученный результат здравому смыслу? Почему же в действительности справедлив новый закон, а не старый?

Чтобы ответить на этот вопрос, следует вспомнить опыты Майкельсона, в результате которых удалось сделать поистине парадоксальный вывод: скорость света является абсолютно постоянной в любых движущихся материальных системах. Опыт Майкельсона иллюстрируется рис. 5.

Луч света от источника падает на полупрозрачное зеркало Z , где делится на два луча.

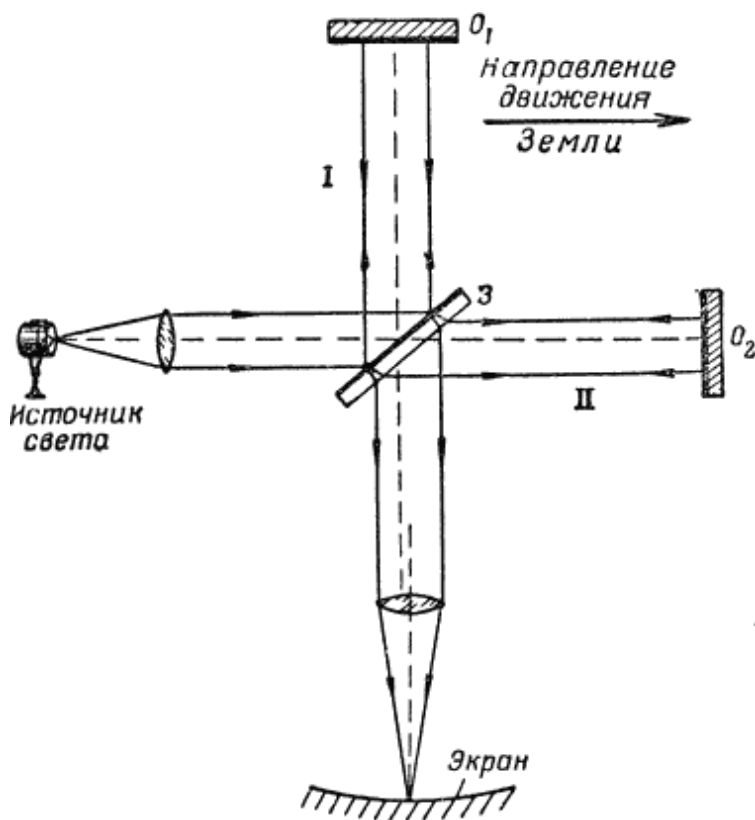


Рис. 5. Ход лучей в интерферометре Майкельсона

Луч, отраженный от зеркала, дойдя до отражателя O_1 возвращается по тому же пути обратно и попадает на экран. Луч, прошедший через зеркало, дойдя до отражателя O_2 , возвращается к зеркалу, отражается от него и попадает на экран.

Таким образом, на экран падают одновременно два луча, колебания в которых имеют одну и ту же частоту и одинаковый сдвиг фаз. На экране можно наблюдать сложение (интерференцию) этих двух лучей в виде чередующихся светлых и темных полос.

Если бы существовал абсолютно неподвижный и неувлекаемый мировой эфир, то при движении Земли вокруг Солнца существовал бы «эфирный ветер».

В этом случае луч света, движущийся по направлению движения Земли, имел бы меньшую скорость, чем луч света, движущийся в противоположную сторону. Это должно было бы привести к изменению (смещению) интерференционных полос на экране при повороте всей системы относительно направления движения Земли.

Опыт показал, что никакого смещения интерференционных полос при вращении всей установки (при этом плечи I и II менялись местами) не произошло. Таким образом было доказано, что скорость света в движущейся системе постоянна и не зависит от скорости самой движущейся системы.

Наблюдение Де Ситтера за движением двойных звезд также доказало тот факт, что скорость света всегда постоянна.

Из этого сделали вывод, что постоянство скорости света — закон природы, его следует принимать во внимание и строить на нем теорию объективно существующего физического мира.

Здесь следует рассказать о теории относительности. Теория относительности, созданная Эйнштейном, по существу основывается на постоянстве скорости света и на так называемом принципе относительности, заключающемся в том, что никакими опытами (ни механическими, ни электромагнитными) нельзя обнаружить равномерное и прямолинейное движение относительно пустого пространства.

Принцип относительности Эйнштейна является более общим по сравнению с принципом относительности Галилея. По Галилею относительно только движение, а по Эйнштейну относительными являются и такие величины, как длина, масса любого тела и временной интервал, т. е. промежуток времени, прошедший между двумя какими-либо причинно-связанными событиями.

«Необычность» выводов теории относительности таких, как замедление времени в движущихся по отношению к «неподвижному» наблюдателю системах, сокращение тел в направлении их движения и т. д., является прямым следствием постоянства скорости света.

Относительность хода времени в движущихся друг относительно друга материальных системах хорошо иллюстрирует следующий мысленный опыт, показывающий, что два причинно-обусловленные события, одновременные в одной системе, оказываются неодновременными в другой системе.

Представим себе космическую ракету с космонавтом, проносящуюся мимо нас со скоростью, близкой к скорости света. Допустим, что (космонавт находится в центре ракеты и может с помощью электрических сигналов или световых лучей, воспринимаемых фотоэлементами, включать и выключать две лампочки, находящиеся на равных расстояниях от него в головной и хвостовой частях ракеты.

Что же увидит космонавт при включении лампочек (рис. 6, а)?

Поскольку скорость света постоянна во всех системах, она будет постоянна и в движущейся ракете. Так как лампочки находятся на одинаковых расстояниях от космонавта, он увидит, что после подачи сигнала обе они зажгутся одновременно. Сигнал пройдет до обеих лампочек за одинаковое время, и свет от них придет к наблюдателю также одновременно.

Наблюдателю, мимо которого проносится космический корабль, будет казаться, что сигнал, движущийся по направлению движения ракеты, вынужден догонять устройство включения передней лампочки, задняя же лампочка вместе со своим приемным устройством включения будет двигаться навстречу сигналу, распространяющемуся против движения ракеты.

Таким образом, сигнал, движущийся навстречу движению ракеты, быстрее включит заднюю лампочку, чем сигнал, распространяющийся

вперед, включит переднюю (рис. 6, б).

Значит, в то время как космонавт увидит одновременное загорание двух лампочек, «неподвижный» наблюдатель увидит, что лампочки зажгутся неодновременно. Этот простой пример показывает, что два причинно-обусловленных события, одновременные в одной системе, оказываются неодновременными в другой системе, т. е. что время не является чем-то абсолютным.

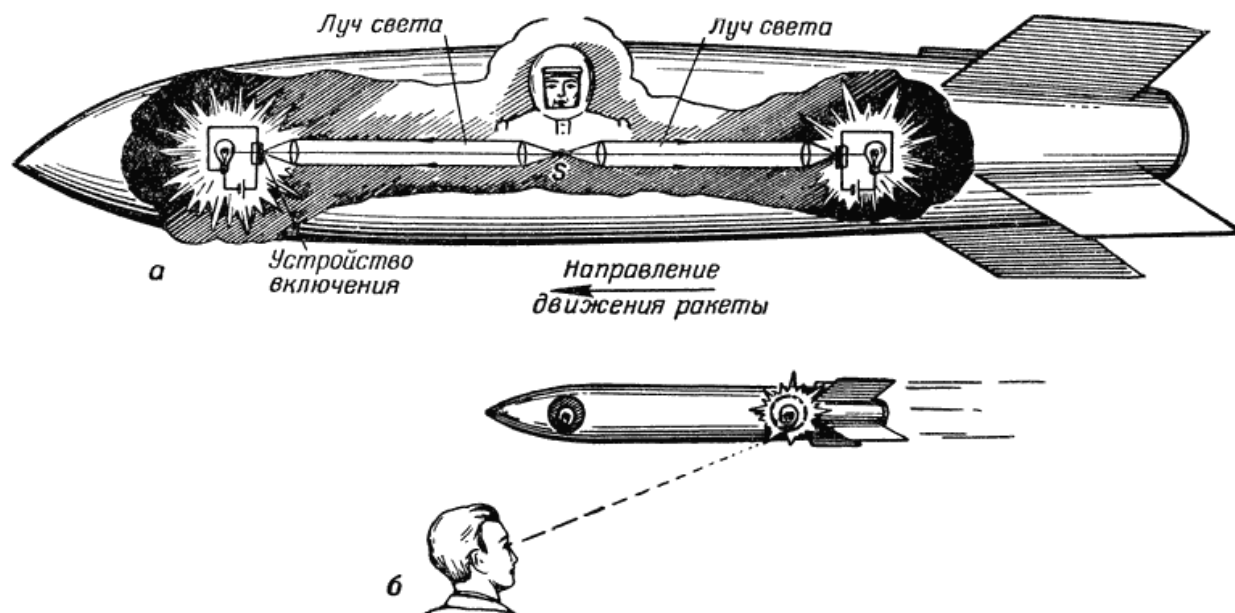


Рис. 6. Для наблюдателя, находящегося в движущейся ракете, обе лампочки вспыхивают одновременно. Наблюдатель, мимо которого пролетает ракета, видит, что первой зажглась хвостовая лампочка

В настоящее время теория относительности настолько глубоко вошла в теоретическую физику, что такой ее раздел, как, например, механика больших скоростей, не мыслим без этой теории.

Являясь наиболее точкой и общей, теория относительности открывает поистине неограниченные возможности в покорении человеком бесконечных просторов Вселенной.

В самом деле, если, с точки зрения «старой» физики, максимальное расстояние, на которое может проникнуть в космос

человек, определяется всего несколькими десятками световых лет (при условии, что космический корабль будет двигаться со скоростью, близкой к скорости света), то на основании эффекта замедления времени для движущейся ракеты, предсказанного теорией относительности, человек в течение своей жизни может как угодно далеко проникнуть в мировое пространство.

С точки зрения земного наблюдателя, время на ракете будет

$$\left(\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right)^{-1}$$

замедляться в раз, т. е. при приближении скорости ракеты v к скорости света c эффект замедления времени будет все более и более значительным.

Так, при скорости $v = 0,9c$ время на движущейся ракете будет идти в 2,3 раза медленнее, при $v = 0,99c$ — в 7,1 раза, а при $v = 0,999c$ — в 22,3 раза. При этом необходимо заметить, что приведенные формулы справедливы лишь для случая, когда время разгона ракеты значительно меньше всего времени полета.

Каким же образом можно разогнать ракету до таких больших скоростей?

Этого можно добиться с помощью фотонных двигателей, в которых тяга создается за счет давления мощного потока светового излучения на зеркало-отражатель, установленный на ракете. В настоящее время получение необходимых для этой цели световых потоков еще не представляется возможным из-за целого ряда физических и технических трудностей, однако можно не сомневаться, что с развитием физики и техники постройка таких двигателей станет возможной и звездолеты понесут отважных космонавтов к мирам других солнц, отдаленных от нашей солнечной системы на десятки и сотни миллионов световых лет.

Другим примером применения теории относительности являются ускорители заряженных элементарных частиц вещества (электронов, протонов, ионов).

Чтобы овладеть энергией, заключенной внутри ядра атомов, необходима знать его внутреннее строение.

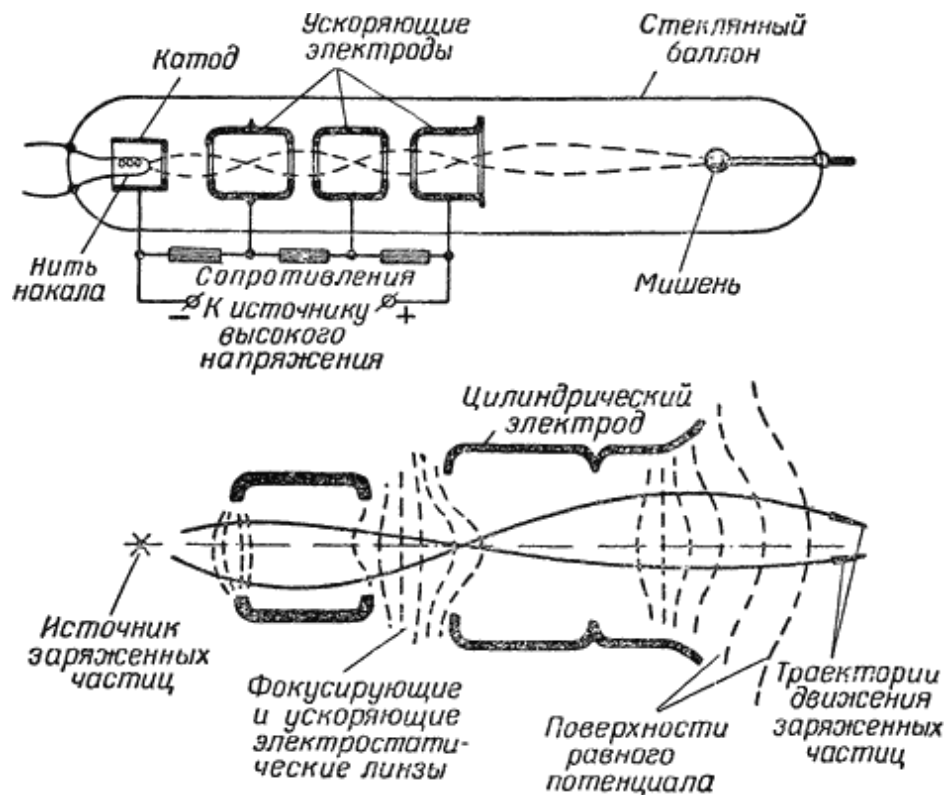


Рис. 7. Схема линейного ускорителя заряженных частиц

Для этой цели еще в 30-х годах нынешнего столетия начались работы по созданию ускорителей заряженных частиц. Бомбардируя атомные ядра быстро движущимися частицами, например электронами или протонами, и изучая рассеяние этих частиц на ядрах-мишенях, можно получить сведения о структуре ядра и о ядерных силах.

Наряду с линейными ускорителями (рис. 7), в которых ускоряемые частицы, двигаясь прямолинейно, только один раз проходят участок разгона внешним электростатическим полем, широко применяются циклические ускорители — циклотроны, бетатроны, синхрофазотроны и др.

В циклических ускорителях частицы движутся по спирали или по замкнутому кругу, многократно пролетая участки разгона, где на них воздействует ускоряющее электрическое поле. При этом заряженные частицы поворачиваются постоянным магнитным полем, перпендикулярным к плоскости траектории частицы. В циклотроне

(рис. 8) частицы ускоряются переменным электрическим полем, подводимым к двум полым полудискам — дуантам. Двигаясь по спирали внутри дуантов, частица, пролетая в зазоре между ними, попадает в электрическое поле, в результате чего ее энергия увеличивается. Если частота переменного электрического поля, подводимого к дуантам, равна частоте обращения ускоряемых частиц в камере циклотрона, то говорят, что в этом случае имеет место резонанс и ускорение возможно.

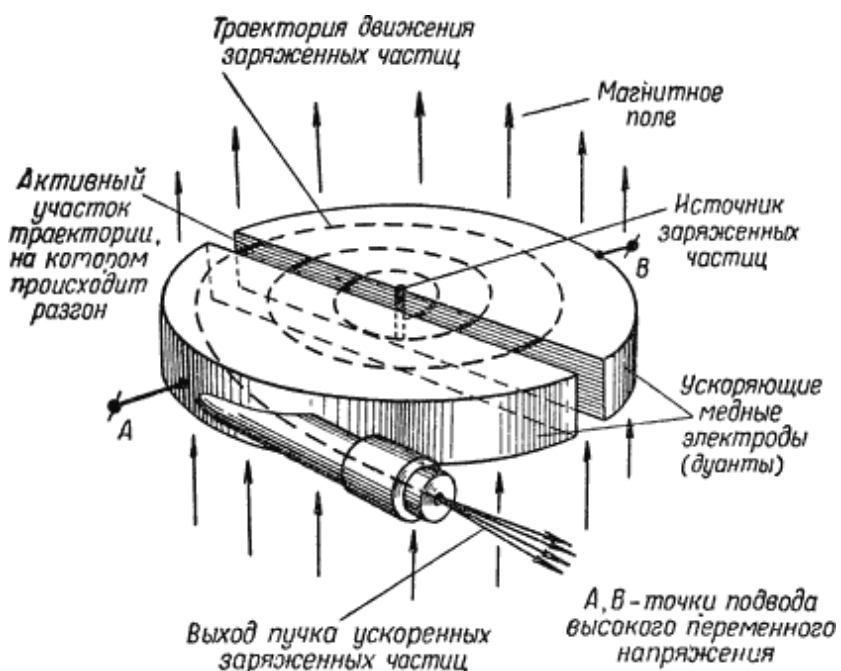


Рис. 8. Схема циклического ускорителя заряженных частиц (циклотрон)

При скоростях частиц, близких к скорости света, начинают сказываться эффекты, предсказываемые теорией относительности, которые приводят к увеличению массы ускоряемой частицы.

Период обращения частицы будет изменяться и перестанет быть равным постоянному периоду T ускоряющего электрического поля. Это приведет к нарушению резонанса, в результате чего дальнейшее ускорение частиц станет невозможным. Таким образом, приходится изменять частоту ускоряющего электрического поля, чтобы в течение всего времени ускорения имел место резонанс.

Ускорители, в которых используют такой принцип, называют синхроциклотронами. В них можно разгонять протоны до энергий в миллиард электроновольт, в то время, как максимальная энергия ускоренных частиц в циклотроне не может превышать 100–200 миллионов электроновольт.

Для получения энергий частиц в миллиарды и десятки миллиардов электроновольт применяют синхрофазотроны, в которых наряду с изменяющимся по частоте переменным электрическим полем применяют и изменяющееся во времени магнитное поле. Благодаря этому траектория ускоряемых частиц близка к окружности.

В настоящее время созданы синхрофазотроны, позволяющие ускорять протоны до энергии в 30 миллиардов электроновольт.

Из сказанного понятно, какое значение имеет теория относительности в области высоких энергий для дальнейшего углубления наших знаний о строении материи.

Электричество и электротехника

В настоящее время энергия электрического тока находит широкое применение. Трудно себе представить какую-либо отрасль промышленности, где бы не использовалась электроэнергия.

Из всех видов энергии электрическая энергия является самым удобным для применения ее в народном хозяйстве. Это объясняется возможностью передачи электрического тока на любые расстояния и сравнительно простыми способами преобразования электрической энергии в тепло, свет, механическую энергию, радиоволны и др.

Каким же образом электрическая энергия преобразуется в другие виды энергии?

Электрический ток есть направленное движение электрических зарядов — электронов.

Как известно, все вещества, в том числе и металлы, состоят из атомов или молекул, в структуру которых входят электроны — мельчайшие отрицательно заряженные частицы. В свободном состоянии атомы являются весьма прочными с механической точки зрения системами. Каждый отдельно взятый атом имеет свою конфигурацию электронных оболочек, в которых электроны занимают вполне определенные уровни энергии.

Согласно принципу Паули на каждом энергетическом уровне может находиться только вполне определенное число электронов, причем каждый из этих электронов должен обязательно отличаться от других каким-либо свойством. Таких свойств всего четыре:

- собственный вращательный момент электрона (спин);
- магнитный момент электрона;
- момент, связанный с вращением электрона относительно атомного ядра;
- потенциальная энергия относительно ядра.

При внешних воздействиях на атом со стороны других атомов, как это имеет место в жидких и твердых веществах, наружные, наиболее слабо связанные электроны могут отрываться от атомов, оставаясь внутри вещества.

Такие электроны называют свободными. В металлах свободных электронов очень много и они путешествуют от атома к атому.

Совокупность электронов образует зону проводимости. Если металлический проводник не присоединен к источнику тока, т. е. если к нему не подведена некоторая разность потенциалов, то движение свободных электронов в проводнике является хаотическим, причем средняя скорость такого движения зависит от температуры металла.

При подаче на проводник разности потенциалов (т. е. напряжения) от какого-либо источника электрическое поле источника будет воздействовать на каждый «блуждающий» электрон, вызывая его перемещение в направлении поля.

Скорость такого перемещения невелика — она составляет всего несколько десятков сантиметров в секунду, однако скорость распространения «волны» тока в проводнике чрезвычайно велика — она близка к скорости света, т. е. к 300 000 км/сек. Это объясняется тем, что все блуждающие электроны в проводнике при подаче на него напряжения практически одновременно начнут двигаться в направлении поля.

Электрический ток, проходя через вещество, нагревает его вследствие столкновений движущихся электронов с атомами и молекулами. Проводник, сильно разогретый электрическим током, может явиться источником светового излучения. На основе этого явления построены различные источники света, яркость которых может изменяться от ничтожной величины до миллионов свечей.

В настоящее время для осветительных целей используют не только лампы накаливания, но и различные другие источники света: газоразрядные лампы низкого, высокого и сверхвысокого давления, в которых излучение света обусловлено высвечиванием «возбужденных» атомов, возникших при столкновениях атомов с движущимися электронами.

В лампах дневного света используются различные люминесцирующие вещества. Неоновые и аргоновые осветители можно видеть на рекламных надписях, названиях магазинов, кинотеатров и т. д.

Для получения очень мощных источников света пользуются дуговыми разрядами в инертных газах или в парах ртути, находящихся под давлением в несколько десятков атмосфер. Сила света таких источников может измеряться десятками миллионов свечей. Эти

источники с успехом применяют в маяках, прожекторных установках, в мощных проекционных аппаратах и т. п.

Другим не менее важным свойством электрического тока является способность создавать магнитное поле вокруг проводника, по которому течет ток. Это явление впервые было открыто М. Фарадеем, обнаружившим, что магнитная стрелка компаса, вблизи которого находится проводник с током, поворачивается. В то время никто, включая и самого Фарадея, не мог себе представить тех поистине гигантских возможностей, которые открывает это явление.

Что же представляет собой магнитный эффект электрического тока?

Движущийся электрический заряд создает вокруг себя магнитное поле, силовые линии которого замыкаются по concentрическим окружностям с центром в самом заряде. Плоскость, в которой лежат магнитные силовые линии, перпендикулярна к направлению движения заряда. Если имеются два заряда, движущихся относительно друг друга, то, кроме обычного электростатического кулоновского взаимодействия между ними, возникнет еще и магнитное взаимодействие, обусловленное взаимодействием магнитных полей, созданных этими зарядами. Таким образом, два проводника, по которым протекает электрический ток, будут взаимодействовать между собой с силой, пропорциональной величине протекающего тока. В случае одинакового направления электрического тока, в обоих проводниках они будут притягиваться друг к другу, в случае взаимно противоположного направления тока — отталкиваться. На основании открытия Фарадея были созданы электродвигатели и генераторы, электровозы и электростанции, различные электрические приборы.

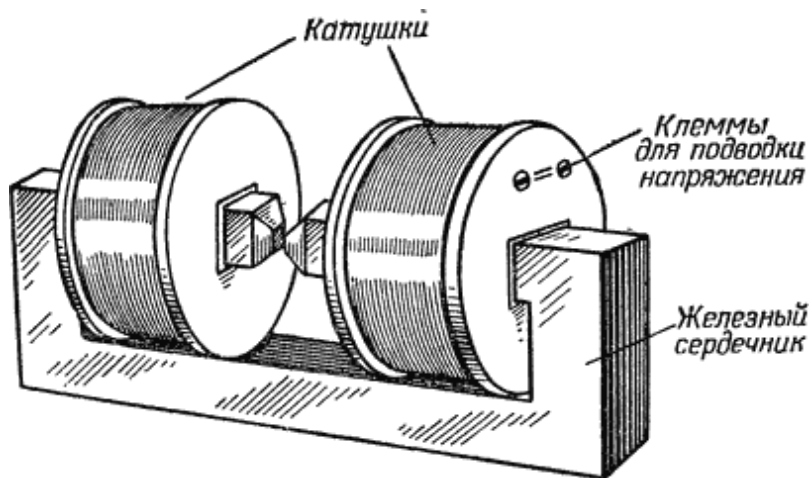


Рис. 9. Электромагнит для получения магнитного поля напряженностью до 10 000 эрстед

При конструировании электромагнитов (рис. 9), электродвигателей и генераторов тока необходимо добиваться максимально возможных значений напряженности магнитного поля, поскольку полезный эффект пропорционален величине напряженности магнитного поля. При этом используют эффект «усиления» магнитного поля, имеющий место в некоторых металлах и сплавах, называемых ферромагнитными. Эти вещества обладают способностью как бы впитывать в себя (внешнее магнитное поле. В результате этого напряженность поля электромагнитов с железными сердечниками становится во много раз больше, чем без сердечников.

Исследование магнитных свойств ферромагнитных веществ показало, что величина их магнитной восприимчивости зависит от напряженности внешнего магнитного поля. При достаточно сильных магнитных полях происходит насыщение ферромагнитного материала; при дальнейшем увеличении внешнего поля эффект «усиления» не наблюдается.

Для получения еще более сильных полей, необходимых для исследования различных физических явлений, применяют катушки без железных сердечников с малым числом витков. При разряде батареи заряженных конденсаторов на такую катушку возникают огромные магнитные поля, напряженность которых может достигать нескольких сотен тысяч эрстед.

Впервые такие эксперименты были проведены советским физиком П. Л. Капицей, которому удалось получить магнитное поле в полмиллиона эрстед. При этом силы взаимодействия соседних витков катушки были настолько велики, что иногда обрывались провода и ломались сами катушки.

В недалеком будущем, несомненно, будет решена проблема получения сверхсильных постоянных магнитных полей, необходимых для создания гигантских ускорителей элементарных частиц — синхрофазотронов, с помощью которых ученые открывают новые тайны атомного ядра и элементарных частиц.

Развитие науки и техники требует решения многих задач, связанных с усовершенствованием старых и конструированием новых типов машин и приборов. Наиболее производительными и совершенными машинами являются электрические машины.

«Коммунизм — это есть Советская власть плюс электрификация всей страны», — говорил В. И. Ленин.

С увеличением числа мощных электростанций увеличивается энерговооруженность нашей страны, а значит, увеличивается и производство материальных благ, необходимых людям.

Овладение электроэнергией и всемерное ее использование — главная задача, которую успешно выполняет наш народ для создания материально-технической базы коммунизма.

Молекулярная физика в химии и технике

В окружающем нас мире все тела состоят из молекул. Изменение структуры молекул и молекулярных соединений приводит к изменению таких свойств вещества, как прочность, гибкость или пластичность.

Все молекулы в веществе находятся в непрерывном хаотическом движении. Чем больше средняя скорость движения молекул в веществе, тем выше его температура.

Отсчет температуры ведется от абсолютного нуля, соответствующего такому состоянию вещества, когда молекулярное движение полностью прекращается. Абсолютный нуль температуры лежит на $273,13^{\circ}$ ниже температуры замерзания воды (по шкале Цельсия).

Физические и химические свойства тел весьма сильно зависят от температуры. Изучением физических свойств и различных агрегатных состояний веществ в зависимости от их молекулярного строения, взаимодействия между молекулами и характера их движения занимается молекулярная физика.

В отличие от химии, задачей которой является изучение строения различных веществ и синтез соединений с заданными свойствами, молекулярная физика выявляет возможности такого синтеза и практические пути его осуществления на основе глубокого изучения строения молекул и законов их движения.

Что же представляют собой молекулы?

Наименьшие частички вещества, которые еще обладают всеми его химическими свойствами, называются молекулами данного вещества. Молекулы могут состоять из одного или нескольких атомов, связанных между собой электрическими силами, которые обычно называют молекулярными.

Так, например, молекулы всех инертных газов, таких как неон, аргон и т. д., состоят всего из одного атома; такие газы называются одноатомными. Водород, кислород, азот и некоторые другие газы состоят из двухатомных молекул (рис. 10), а молекулы органических веществ обычно состоят из весьма большого числа атомов, которые могут образовывать целые цепочки длиной до нескольких миллиметров

и более. (Напомним, что размеры атомов составляют всего несколько стомиллионных долей сантиметра.)

Прочность межуатомных связей в молекуле характеризуется той энергией, которую надо затратить на отрыв отдельных атомов. Величина этой энергии называется энергией связи атомов в молекуле и определяет химическую «стойкость» вещества, построенного из таких молекул.

Различные молекулы могут взаимодействовать между собой и соответственно разрушаться, соединяться или перестраиваться. Если во взаимодействии одновременно участвует большое количество молекул, то такое взаимодействие называют химической реакцией.

Химические реакции лежат в основе химической технологии самых разнообразных областей производства.

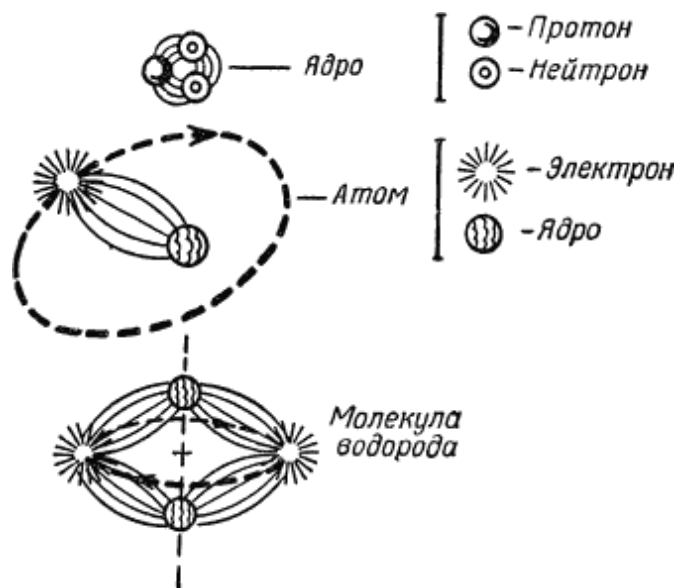


Рис. 10. Схема строения ядра атома и молекулы

В настоящее время особое значение приобрело производство искусственных синтетических материалов, обладающих разнообразными физическими, механическими и химическими свойствами. Например, в тех случаях, когда удастся построить молекулы, состоящие из большого числа атомов, сцепленных

наподобие звеньев прочной, но гибкой цепи, получается легко деформируемый, но трудно разрушаемый материал — различные виды синтетического каучука и волокна.

Современная техника еще только начинает вплотную подходить к «конструированию» и «построению» молекул по определенному, заранее заданному плану. Но уже и сейчас достигнуты исключительные успехи. Созданы заменители металлов, кожи, шерсти, природного каучука и многих материалов растительного происхождения. Во многих случаях эти заменители превосходят по качеству соответствующие материалы, не говоря уже об их дешевизне и возможности быстрого развития массового производства.

Как уже было сказано, все молекулы и молекулярные соединения обладают некоторой внутренней энергией, так называемой энергией связи. Особо следует отметить такие молекулы, которые содержат запас энергии, пригодной *K* практическому использованию. Это прежде всего молекулы различных веществ, называемых топливами. При соединении молекул топлива с молекулами кислорода, находящегося в атмосфере Земли, выделяется значительная энергия в виде излучения и энергии движения вновь возникших продуктов горения.

Основным топливом в наше время являются уголь и нефтепродукты.

Уголь состоит в основном из атомов углерода, соединенных друг с другом по определенной системе и образующих отдельные пластинки. Атом углерода, соединяясь с молекулой кислорода, образует молекулу углекислоты. При этом выделяется значительная тепловая энергия. Так, один килограмм угля выделяет при сгорании примерно 8000 килокалорий тепла. Это значит, что при полном сгорании 1 килограмма угля можно нагреть 8000 килограммов воды на один градус Цельсия.

Нефтепродукты состоят из сложной смеси молекул, построенных в основном из углерода и водорода. При сжигании нефти энергии выделяется больше, чем при сжигании угля. Один килограмм нефти выделяет до 11 000 килокалорий.

Для горения топлива необходим кислород. В тех случаях, когда горение должно быть очень интенсивным, возникают трудности с подачей кислорода атмосферного воздуха в камеру, где сгорает топливо.

В турбореактивных двигателях, например, на приведение во вращение турбинного компрессора, подающего воздух в камеру

сгорания, приходится затрачивать значительную долю мощности двигателя.

При еще большем форсировании горения подача атмосферного кислорода в камеру сгорания становится нецелесообразной. В этом случае часто используют кислород, взятый непосредственно на борт летательного аппарата.

Проще всего в качестве окислителя можно применять жидкий кислород, а также различные кислоты.

За рубежом жидкий кислород и другие окислители широко применяют в ракетной технике для обеспечения работы жидкостных реактивных двигателей, которые способны развивать чрезвычайно высокие мощности, иногда превосходящие в десятки раз мощность гигантских гидроэлектростанций. Впрочем, это сравнение не должно приводить к неправильным обобщениям. Дело в том, что двигатель ракеты, как правило, работает не более нескольких десятков секунд. За это время он успевает совершить только сравнительно небольшую работу. Между тем электростанция работает непрерывно в течение многих лет. Конечно, выработанная за это время электростанцией энергия во много раз превзойдет энергию двигателей ракеты.

При конструировании ракет иногда оказывается целесообразным объединять в одном веществе и окислитель и горючее, т. е. создать такие молекулы, в которых одна часть была бы окислителем, другая — горючим, а между ними должна быть «перегородка», препятствующая немедленному соединению горючего с окислителем.

Вещества, в которых молекулы построены по такому принципу, называют порохами. Порох горит очень быстро и выделяет большое количество раскаленных газов. Поэтому порох является незаменимым топливом для реактивных двигателей, которые за короткое время должны развить большую тягу.

Пороховые двигатели (пороховые ускорители) устанавливают на самолетах для увеличения скорости при взлете. Однако энергия, содержащаяся в порохе, сравнительно невелика. Она не превышает 2000 килокалорий на один килограмм пороха, т. е. значительно меньше, чем у нефтепродуктов. Поэтому пороховые ракеты, как правило, применяют тогда, когда не нужны предельно высокие мощности и скорости полета.

Особой формой молекулярных носителей энергии являются взрывчатые вещества. Их молекулы схожи с молекулами пороха. Взрывчатые вещества могут гореть подобно пороху и любому другому горючему. Однако при их взрыве происходят процессы, отличные от горения. Молекулы взрывчатого вещества под действием удара других молекул разлагаются и выделяют энергию. Такие реакции называют детонацией.

Детонация распространяется обычно со скоростью нескольких километров в секунду, поэтому энергия взрыва, выделяясь практически мгновенно, может произвести огромные разрушения. Вследствие этого взрывчатые детонирующие вещества непригодны для стрельбы. Нельзя их использовать и в качестве топлива в двигателях внутреннего сгорания. Но они незаменимы при разрушении тех или иных массивов скал или грунта, а также различных конструкций.

Разнообразные взрывчатые вещества применяют в парном и строительном деле для дробления скалистого грунта и выбрасывания раздробленного материала, что позволяет с помощью энергии взрыва возводить земляные плотины и строить котлованы для искусственных водохранилищ.

В последнее время молекулярная физика нашла применение и в радиотехнике сверхвысоких частот. Были созданы молекулярные генераторы и усилители электромагнитных волн, отличительной особенностью которых является чрезвычайно высокая стабильность (постоянство) частоты колебаний и весьма низкий уровень собственных шумов.

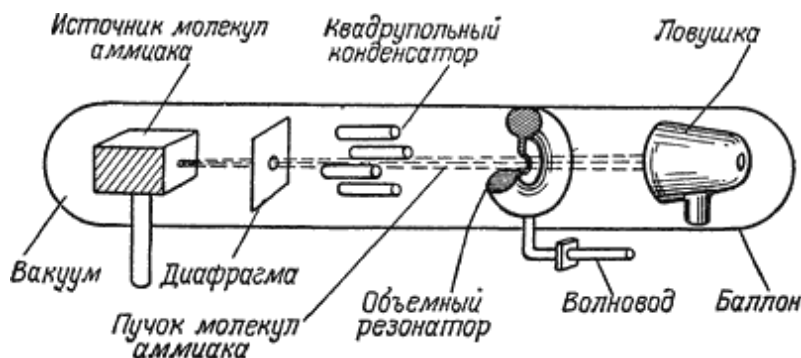


Рис. 11. Принципиальная схема молекулярного генератора

Благодаря этому молекулярные генераторы (рис. 11) и усилители с успехом используют, например, в радиотелескопах и в других системах, где необходимы не только большие усиления весьма слабых радиосигналов, но и возбуждение сверхвысоких частот.

Для получения высокочастотных колебаний в молекулярных генераторах электромагнитных волн используют молекулы газообразного аммиака.

В обычных условиях часть молекул газообразного аммиака (как, впрочем, и любого другого вещества) всегда находится в возбужденном состоянии, т. е. обладает повышенной по сравнению с невозбужденными молекулами внутренней энергией.

Если пучок молекул, часть которых возбуждена, пропустить через полое металлическое кольцо (объемный резонатор), предварительно «отсеяв» невозбужденные молекулы, то пролетающие через резонатор молекулы будут отдавать ему свою энергию в виде порций (или квантов) электромагнитного излучения вполне определенной и очень стабильной частоты. Энергия этого излучения будет возбуждать в резонаторе точно такие же электрические колебания высокой частоты (около 10 тысяч мегагерц), которые можно усилить и преобразовать нужным образом.

На основе использования энергии возбуждения молекул стало возможным генерировать не только радиоволны, но также и видимое световое излучение, яркость которого может в миллионы раз превышать (в том диапазоне частот, который генерируется) яркость Солнца.

Квантовая механика

Начало XX века ознаменовалось рядом выдающихся открытий, положивших начало развитию совершенно нового понимания законов, которые действуют в микромире — мире мельчайших «элементарных» частиц.

В 1900 году немецкий ученый М. Планк выдвинул гипотезу о корпускулярном (квантовом) характере процессов, связанных с излучением и поглощением света. Согласно этой гипотезе свет может излучаться или поглощаться отдельными порциями или квантами, причем энергия кванта прямо пропорциональна его частоте. Гипотеза Планка была блестяще применена А. Эйнштейном для объяснения так называемого фотоэффекта, который ранее был подробно исследован русским физиком А. Г. Столетовым.

Исследования Столетова показали, что скорость электрона, выбитого из металла падающим на него световым потоком, не зависит от интенсивности падающего света, а зависит только от длины его волны. Этот факт нельзя было объяснить, основываясь на представлении о свете как о чисто волновом процессе, распространяющемся подобно волнам воды от брошенного в нее камня.

Основываясь на гипотезе квантов, А. Эйнштейн объяснил это явление следующим образом. Энергия кванта света, равная произведению h (постоянная Планка) на ν (частота), расходуется при взаимодействии кванта с атомами металла на выбивание электрона из металла, т. е. на преодоление так называемой работы выхода, и на сообщение выбитому электрону кинетической энергии, равной $\frac{1}{2} m v^2$, где m — масса и v — скорость выбитого электрона.

Таким образом, чем больше частота кванта света, тем больше его энергия и, следовательно, тем больше скорость выбитого электрона, поскольку для каждого данного металла величина работы выхода постоянна.

Тот факт, что излучение и поглощение света возможны только вполне определенными порциями, говорит о том, что сами излучающие системы (атомы) также должны обладать квантовыми свойствами.

Электронные оболочки атомов, участвующие в процессе испускания и поглощения квантов света, должны быть распределены в

пространстве не непрерывно, а дискретно, т. е. каждая электронная оболочка атома должна обладать вполне определенной потенциальной энергией. Переход электрона с более удаленной от ядра оболочки на менее удаленную сопровождается излучением кванта света, причем его энергия в точности равна разности энергий двух соседних оболочек, между которыми произошел «перескок» электрона (рис. 12).

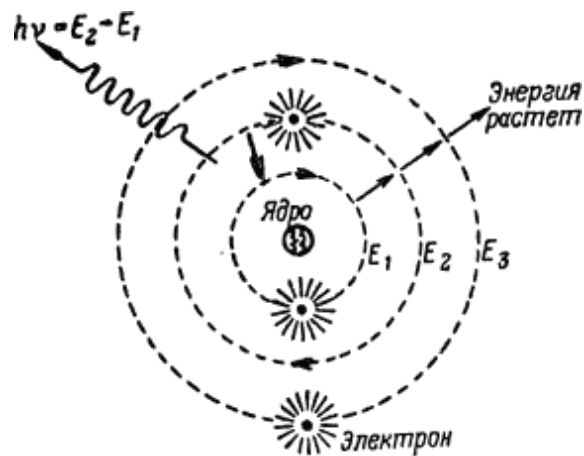


Рис. 12. Различные энергетические уровни в атоме

Эта гипотеза была выдвинута впервые датским физиком Нильсом Бором, которого считают одним из основоположников квантовой механики. Гипотеза Бора помогла объяснить дискретный характер спектров атомов различных элементов и сделала возможным изучение строения атомов на основе анализа их спектров. Но эта гипотеза, являясь по существу лишь первым шагом в объяснении закономерностей микромира, была не вполне точной и не во всех случаях давала правильные объяснения тем или иным явлениям.

В 1924 г. французский физик Луи де Бройль выдвинул идею о том, что не только свет, а любая микрочастица обладает одновременно и корпускулярными и волновыми свойствами.

Эта идея де Бройля была подтверждена американскими физиками Дэвиссоном и Джермером, которые в 1927 г. наблюдали дифракцию электронов, т. е. обнаружили проявление волновых свойств у электронов.

Согласно де Бройлю каждая элементарная частица, движущаяся со скоростью v , обладает собственной длиной волны

$$\lambda = \frac{h}{mv},$$

где h — постоянная Планка;

m — масса частицы.

Открытие волновых свойств микрочастиц сыграло большую роль в развитии микроскопии и позволило повысить полезное увеличение микроскопов до миллиона раз.

Чем же обусловлено полезное увеличение микроскопа?

Прежде всего оно зависит от разрешающей способности микроскопа, т. е. от того минимального расстояния, на котором две светящиеся точки еще не сливаются в одну. Разрешающая способность микроскопа, в свою очередь, обратно пропорциональна длине световой волны λ и тем больше, чем меньше длина волны.

Предельная разрешающая способность современных микроскопов равна двум — трем десятитысячным долям миллиметра, т. е. соизмерима с длиной волны фиолетового света, равной примерно четырем десятитысячным долям миллиметра (0,4 микрона).

В чем же причина того, что нельзя получить более высокую разрешающую способность у обычных оптических микроскопов?

Дело заключается в том, что, если размеры увеличиваемого предмета соизмеримы с длиной облучающей его световой волны, то в этом случае происходит диффракция волны на объекте, т. е. огибание его светом. Поэтому, каково бы ни было увеличение микроскопа (рис. 13), нельзя увидеть объекты, размеры которых много меньше длины световой волны.

Если вместо потока световых квантов использовать поток электронов (электронные волны), то в этом случае можно добиться гораздо большей степени разрешения, поскольку длина электронных волн в десятки тысяч раз короче длины световых волн.

Так, если электроны ускоряются с помощью напряжения в 50 киловольт, то их скорость будет равна $1,26 \cdot 10^{10}$ сантиметрам в секунду, что соответствует длине волны, равной пяти миллионным долям

микрона, в то время как длина волн видимого света примерно в 100 000 раз больше.

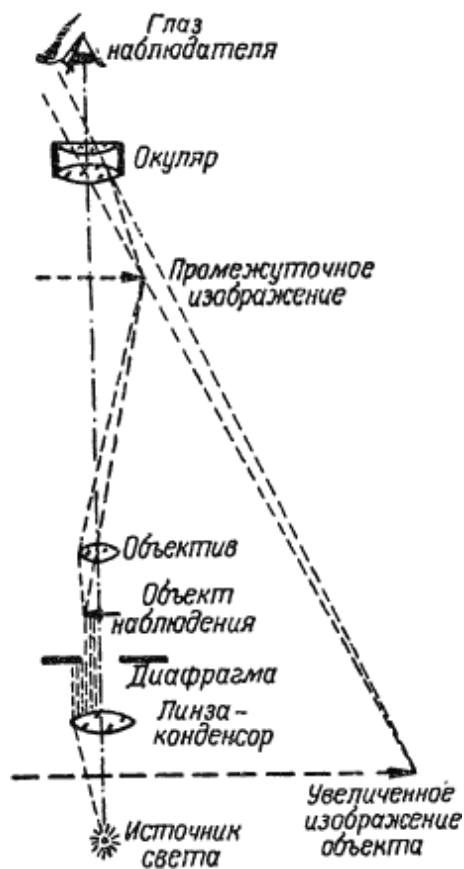


Рис. 13. Схема оптического микроскопа

Схема электронного микроскопа, основанного на таком принципе, показана на рис. 14.

Электронная микроскопия широко применяется во многих областях науки и техники. С помощью электронных микроскопов можно видеть такие малые объекты, как фильтрующиеся вирусы, размеры которых составляют 0,01—0,5 микрон, изучать детали на поверхности различных металлов и сплавов, от качества которых во многом зависит их прочность. Электронные микроскопы позволяют заглянуть внутрь живой клетки и исследовать кристаллическую структуру того или иного вещества, изучать строение крупных молекул

и многое другое. Современные электронные микроскопы имеют разрешающую способность до 30–50 ангстрем.

В последнее время появились микроскопы, в которых вместо пучка электронов используют пучок более тяжелых частиц — протонов, т. е. ядер атомов водорода. Поскольку масса протона почти в две тысячи раз больше массы электрона, то дебройлевская длина волны, связанная с этой частицей, оказывается почти в две тысячи раз короче электронной волны (при одинаковых скоростях протона и электрона). Таким образом, разрешающая способность протонных микроскопов, или, как их называют, протонных проекторов, может быть доведена до такой величины, что станет возможным видеть отдельные атомы и молекулы.

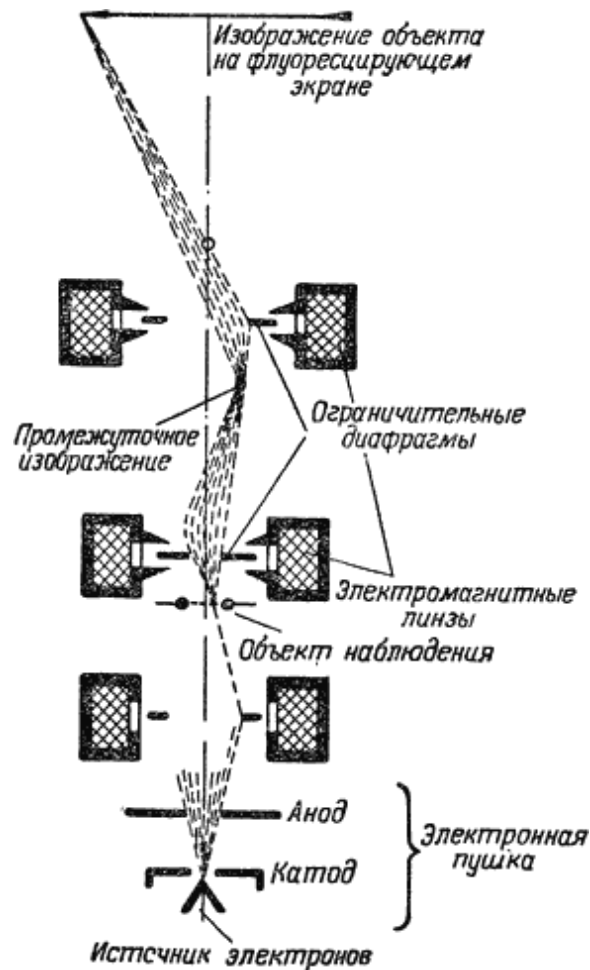


Рис. 14. Схема электронного микроскопа

Однако квантовая механика определяет тот предел, ниже которого принципиально невозможно получать более высокие разрешающие способности любых приборов. Поэтому, например, принципиально невозможно «увидеть» расположение отдельных электронов в атоме, а можно говорить лишь о наиболее вероятных областях их локализации, соответствующих определенным энергетическим уровням данного атома.

Современная квантовая механика является такой наукой, которая позволяет не только качественно объяснять те или иные процессы, протекающие в микромире, но и количественно их рассчитывать. С помощью квантовой механики могут быть объяснены строение атомов, связи атомов в молекуле, строение и свойства атомных ядер, рассчитываются процессы взаимодействия элементарных частиц и света с веществом, распад и устойчивость атомных ядер и др.

Наиболее полное и точное представление о молекулах некоторых простейших химических соединений также может быть получено с помощью квантовой механики.

В настоящее время методами квантовой механики еще нельзя точно исследовать сложные химические соединения, такие, как, например, органические молекулы. Это объясняется чрезвычайной трудностью решения уравнений, которые описывают взаимодействие элементов тех или иных молекул. Однако с развитием науки, и в частности математики, ученые, безусловно, получают возможность не только описывать свойства и строение различных молекул, но и на основе теоретического предвидения получать такие вещества, которые обладали бы всеми необходимыми свойствами.

Радиотехника

Открытие радио А. С. Поповым привело к возникновению радиотехники — науки об электромагнитных колебаниях высокой частоты (радиоволнах), отрасли техники, осуществляющей их применение для связи, вещания, радиолокации, навигации, управления, астрономии и др. К основным областям радиотехники относятся: получение (генерирование) и усиление электромагнитных колебаний высокой частоты, а также управление ими; излучение, распространение и прием радиоволн, избирательное выделение электромагнитных колебаний заданной частоты; восстановление и усиление переданных сигналов; воспроизведение переданных сигналов управления и регулирования, телеграфного текста, речи, музыки и изображений.

Каким же образом происходит излучение радиоволн?

Если проводник, являющийся антенной радиостанции, излучает электромагнитные волны, это значит, что по антенне движутся электрические заряды то в одном направлении, то в другом. Иными словами, в антенне радиопередатчика возбуждается переменный электрический ток. Ток вызывает появление электрических и магнитных полей в окружающем пространстве, которые распространяются со скоростью света.

Электромагнитные волны бывают различной длины.

В радиотехнике применяют волны, имеющие длину от нескольких миллиметров до нескольких километров.

Длинные волны отражаются от верхних слоев атмосферы и движутся в сравнительно (с размерами Земли) тонком слое атмосферы, слабо поглощаясь поверхностью Земли и хорошо огибая препятствия. Говорят, что в этом случае радиоволны распространяются «поверхностным лучом».

Короткие волны распространяются по ломаной траектории, многократно преломляясь в ионосфере и отражаясь от поверхности Земли. Эти волны являются более «жесткими». Они плохо огибают препятствия, а поэтому распространяются преимущественно пространственным лучом.

Очень короткие волны могут концентрироваться в узкие пучки небольшими зеркалами, сделанными из сплошных листов металла или

из металлических сеток и решеток с достаточно малыми отверстиями.

Используя вогнутые зеркала в качестве антенн, излучающих очень короткие волны, можно создавать направленные потоки радиоволн, напоминающие лучи прожекторов, но свободно проходящие через дым, туман, облака. С помощью таких систем из радиоволн могут быть созданы различные «конструкции».

Имеет ли смысл вообще говорить о конструкциях из электромагнитных волн? Ведь конструкция — нечто зримое и осязаемое. Конечно, в случае с электромагнитными волнами понятие «конструкция» следует расширить. Электромагнитные волны, имеющие длину, равную одной двухтысячной доле миллиметра, видимы глазом. Их можно зарегистрировать при помощи прибора, называемого фотоэлементом. Электромагнитные волны других длин невидимы, но и их можно обнаружить различными приборами.

Представим себе множество прожекторов, лучи которых образуют гигантский шатер. Такой шатер вполне можно назвать «конструкцией» из световых лучей или из электромагнитных волн.

Однако такая конструкция из световых лучей сама по себе не имеет практического смысла. Она приведена лишь для пояснения. Но могут быть конструкции из электромагнитных волн, имеющие огромное значение в науке и технике. Чтобы пояснить это, рассмотрим следующий характерный пример.

Последние годы весь мир был свидетелем крупных успехов советской космической ракетной техники. Создание самых мощных космических ракет и ракетных реактивных двигателей является выдающейся победой науки и техники.

Однако для успешного запуска ракет необходимо было обеспечить исключительную точность движения ракеты. Эта точность была наглядно продемонстрирована при испытаниях ракет, пущенных в район Тихого океана на расстояние 12 500 километров (по поверхности земли). Ракеты точно прибыли в намеченное место. Наибольшее отклонение не превышало нескольких километров.

Как же была достигнута такая точность? Не рассматривая подробно все стороны управления ракетами, остановимся только на одном примере.

Путь ракеты состоит из двух участков: активного, который ракета проходит с работающим двигателем, и пассивного, когда ракета

движется по законам небесной механики в космическом пространстве. Чтобы ракета на пассивном участке двигалась точно в соответствии с заданием, необходимо очень тщательно направлять полет ракеты во время работы ее двигателей. Другими словами, нужно, запуская ракету в космос, очень точно прицеливаться. Правда, задача несколько упрощается благодаря тому, что после старта ракеты имеется возможность исправить некоторые ошибки прицеливания, корректируя скорость и положение ракеты.

Наиболее удобно прицеливание и коррекцию производить при помощи радиоволн.

Можно, например, поступить так. В районе пуска ракеты устанавливаются четыре радиопередатчика с антеннами направленного излучения (рис. 15). Антенны излучают четыре узких направленных пучка радиоволн, частично входящих друг в друга и образующих как бы трубку, полную изнутри.

В средней части трубки остается канал, в котором интенсивность радиоволн меньше, чем по краям. Ось этого канала направляется точно по направлению заданного движения ракеты. При пуске ракета входит снизу в канал и летит в так называемой равносигнальной зоне, т. е. в зоне, где сигналы, поступающие на вход системы управления от каждого передатчика, равны между собой. Если она случайно отклоняется от заданного пути, то сразу же происходит изменение входных сигналов, которое моментально воспринимается соответствующим радиоприемником на ракете. Радиоприемник передает сигнал автомату, управляющему рулями, находящимися в потоке газов реактивного двигателя. Рули изменяют направление потока реактивных газов. В результате этого ракета поворачивается и возвращается на заданный курс.

Таким образом можно очень точно управлять движением ракеты.

Указанным способом можно также решать многие другие задачи. Например, создав широкую «воронку» из радиолучей, можно обеспечить возвращение космических кораблей точно в заданное место.

Конструкции из радиоволн, едва успев возникнуть, оказываются послушным и могущественным средством в руках человека, позволяющим успешно решать такие задачи, о которых нельзя было даже думать несколько десятилетий тому назад.

Другим важным применением высокочастотных электрических колебаний в технике является нагревание обрабатываемых изделий с помощью ультразвуковых паяльников и электромагнитных печей. Помещая обрабатываемую деталь в мощное электромагнитное поле, можно равномерно пропечь ее по всей толщине.

Приведем для пояснения хотя бы такой пример. Чтобы нагреть до высокой температуры конец стального стержня, его вводят внутрь катушки (рис. 16), по обмотке которой пропускают переменный ток высокой частоты. Индукционные токи, возникающие в стержне, быстро нагревают до высокой температуры соответствующую часть стержня.

Таким образом, электромагнитные устройства могут не только управлять различными машинами, но и переносить энергию.

В настоящее время в промышленности применяют электромагнитные ускорители электронов и атомных ядер.

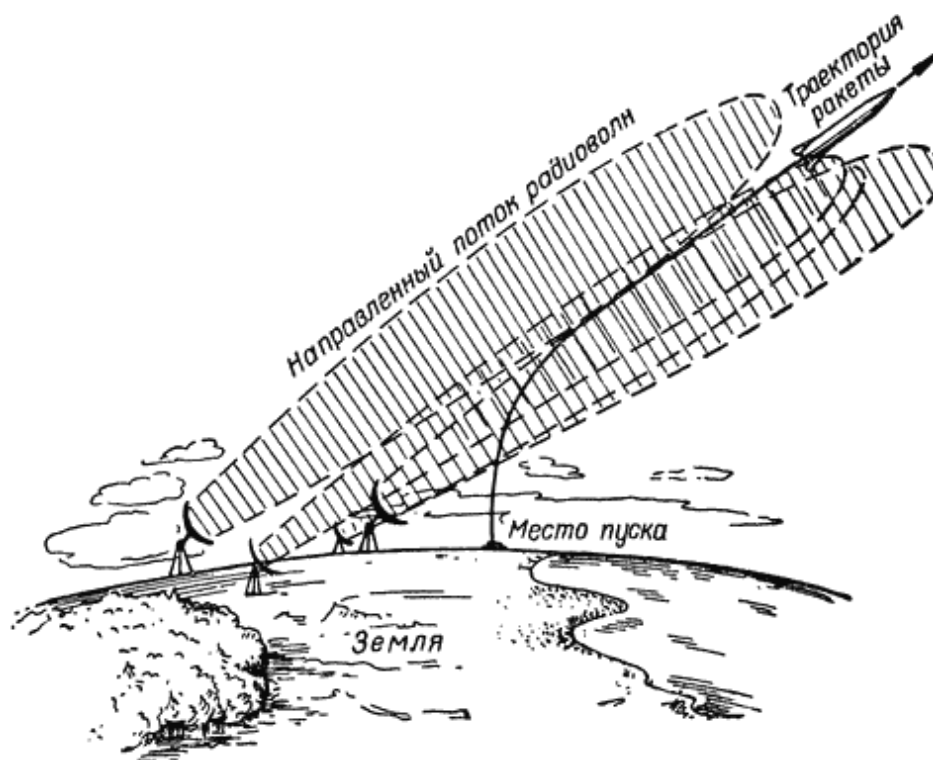


Рис. 15. Управление ракетой с помощью радиолучей

Электромагнитные ускорители преобразуют энергию электрического поля в энергию движения частиц почти без потерь. Это дает основание предполагать, что в будущем, при создании космических ракет, предназначенных для полетов за пределы солнечной системы, вместо тепловых ракетных двигателей будут применяться электромагнитные или электрические ускорители. Вещество, предназначенное для образования реактивной струи, например водород, будет сначала ионизироваться. Потом электроны и протоны будут ускоряться в двух отдельных, самостоятельно действующих ускорителях и выбрасываться в космическое пространство. Так как скорости выбрасывания частиц очень велики и могут достигать значений, близких к скорости света, то такие ракеты смогут набирать большие скорости, имея на борту небольшое количество отбрасываемой массы, заменяющей топливо. Таким образом, использование в технике современных достижений радиофизики и электроники открывает большие возможности.

Полупроводники и вычислительные машины

Вещества, которые по своей электропроводимости занимают промежуточное положение между проводниками и изоляторами, называют полупроводниками.

В отличие от проводников тока, где свободных электронов очень много, в полупроводниках их гораздо меньше.

Особенно интересные физические явления происходят в пограничном слое между двумя полупроводниками. Обычно, говоря о свойствах полупроводниковых устройств, имеют в виду свойства такого пограничного слоя.

При контакте двух полупроводников может быть создано устройство, хорошо проводящее ток в одном направлении и почти не проводящее его в обратном направлении. Это свойство используют для выпрямления переменного тока.

Полупроводниковые устройства несколько иного типа, освещенные лучистой энергией (световыми, ультрафиолетовыми или инфракрасными лучами), могут служить источниками электрической энергии. В сельской местности широко применяют полупроводниковые преобразователи тепловой энергии в электрическую. Подобное устройство надевают на стекло керосиновой лампы и от него питают радиоприемник.

Воздействуя определенным образом на пограничный слой небольшим напряжением, можно широко изменять величину проходящего через полупроводник тока. Это свойство позволяет заменять громоздкие электронные радиолампы небольшими полупроводниками.

Такие полупроводники широко используют при создании современной электронной аппаратуры.

Различного рода полупроводниковые приборы, так или иначе управляющие электрическим током, лежат в основе разнообразных аппаратов, самыми простыми из которых являются радиоприемники и усилители.

Успехи в автоматической двусторонней радиосвязи с искусственными спутниками Земли и космическими ракетами стали возможными только благодаря полупроводниковым приборам.

Полупроводниковые приборы открыли широкие перспективы и перед электронными вычислительными машинами.

Электронные вычислительные машины представляют собой такие системы, в которых различного рода арифметические и логические действия с большой скоростью и точностью выполняются специальными схемами.

С помощью электронных вычислительных машин огромное количество задач, подлежащих расчетам, анализу и вычислениям, может быть сведено к простейшим логическим связям.

Подобные логические операции могут быть осуществлены с помощью так называемых устройств совпадения, различного рода триггерных схем (т. е. схем, обладающих двумя устойчивыми состояниями равновесия), инверторов, делительных цепей и т. д.

Так, например, используя электронную схему, в которой при наличии сигнала на ее входе выходной сигнал отсутствует и, наоборот, при отсутствии сигнала на входе выходной сигнал имеется (такая система называется инвертором), можно проводить операцию «да — нет».

Операция «или — или» может быть выполнена на так называемых разделительных цепях. В этом случае выходной сигнал будет возникать только тогда, когда хотя бы на одном из входов разделительной цепи есть входной сигнал.

Выполнение всевозможных арифметических действий (сложение, умножение и др.) может быть выполнено на триггерных схемах или на электронных логических схемах.

Поскольку электронные схемы и различные элементы вычислительных машин оперируют только с электрическими сигналами, то, для того чтобы машина стала решать ту или иную задачу или сложное математическое уравнение, надо сначала сформулировать эту задачу на «языке машины», т. е. составить программу работы машины применительно к данной задаче, предварительно приведя в соответствие величины чисел, входящих в формулы, с величинами электрических напряжений в машине.

Важной характеристикой всех электронных машин является объем их «памяти», т. е. максимальное число чисел и команд, которые могут «храниться» в машине.

Простейшим «запоминающим» устройством является ферритовый сердечник, который может намагничиваться или размагничиваться в зависимости от величины и направления электрического тока, протекающего по обмотке, намотанной на сердечник.

Намагниченный или размагниченный сердечник будет сохранять свое состояние как угодно долго, т. е. «запомнит» данный сигнал. Если через обмотку снова пропустить ток, то в зависимости от направления (полярности) последнего намагниченный сердечник или перемагнитится (при этом на выходе возникнет сигнал), или не перемагнитится (в этом случае выходной сигнал будет отсутствовать). Таким образом, возможность пропускания электрических сигналов запоминающей магнитной системой зависит от того, был ли ранее пропущен через эту систему сигнал и какова была его полярность.

В настоящее время в качестве запоминающих устройств в электронных машинах применяют специальные типы электронно-лучевых трубок, различные виды магнитной записи; причем современные вычислительные машины могут «запомнить» от 500 до нескольких сотен тысяч чисел и команд, а скорость их счета может достигать нескольких миллионов операций в секунду.

Применение полупроводников позволяет уменьшить размеры и вес электронных машин, которые используются на самолетах и космических кораблях.

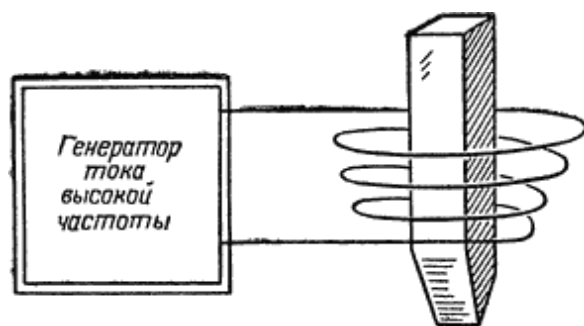


Рис. 16. Нагрев детали токами высокой частоты

Электронные вычислительные машины на полупроводниках могут применяться в управлении ракетами в системе противовоздушной

обороны. В этом случае задача решается следующим образом.

Радиолокаторы непрерывно следят за самолетом (самолетом-снарядом) противника и за ракетой, выпущенной для его поражения (рис. 17). Данные о положении самолета и ракеты непрерывно передаются на электронную вычислительную машину. Эта машина почти мгновенно определяет, на каком расстоянии находится ракета от самолета и по какому направлению она должна двигаться, чтобы быстрее поразить самолет. Решив задачу, машина по радио передает автоматические сигналы, которые управляют рулями и двигателем ракеты. В результате ракета автоматически следует за самолетом, настигает и точно поражает цель.

Не следует думать, что электронные вычислительные машины применяют только для решения сложных и трудных проблем новейшей техники. Электронные вычислительные машины могут применяться в бухгалтерских расчетах на предприятиях и колхозах, в управлении поездами, кораблями и даже автомобилями.

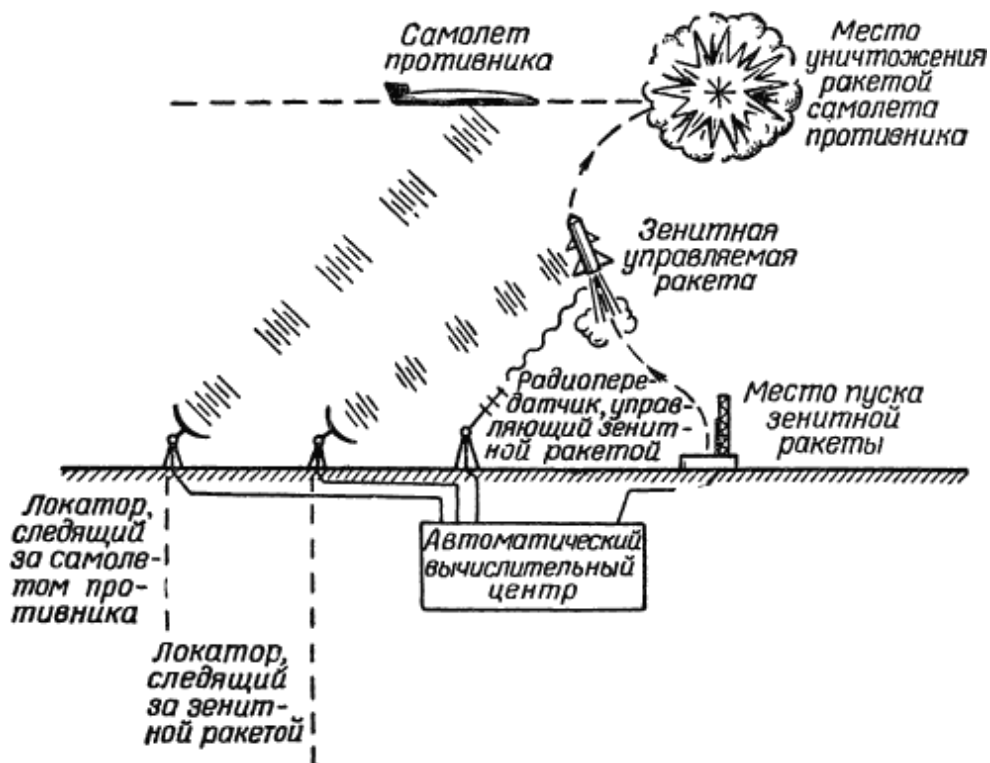


Рис. 17. Схема управления зенитной ракетой

Конечно, электронная автоматика и вычислительные машины не могут заменить творческую деятельность человеческого мозга. Это обусловлено тем, что все эти средства выполняют в конце концов только такие действия, которые до этого были продуманы и разработаны человеком или, точнее, большим творческим коллективом.

Из оказанного видно, что использование полупроводников открывает перед конструкторами электронной аппаратуры большие возможности для решения сложных задач.

Физическая оптика в науке и технике

Физическая оптика — это область физики, изучающая явления, связанные с процессами испускания, распространения и поглощения света.

Изучение спектра частот различных источников света дает возможность узнать строение и свойства атомов и молекул, определить наличие мельчайших примесей в том или ином веществе, судить о характере связей атомов в молекулах и о многом другом.

Все эти исследования связаны с применением спектрального анализа, идея которого принадлежит немецкому физику Кирхгофу.

Какова сущность спектрального анализа?

Всякое нагретое тело или разогретый газ излучает в окружающее пространство электромагнитные волны и, в частности, видимое, ультрафиолетовое и инфракрасное излучение.

При не очень высокой температуре, например при температуре 15–20 °С, максимальная доля энергии излучается в инфракрасной области, т. е. на волнах длиной в несколько десятых долей миллиметра. При повышении температуры вещества максимум его излучения перемещается в видимую, а затем и в ультрафиолетовую область спектра. Так, например, максимум излучения Солнца, температура поверхности которого равна примерно 5–6 тысяч градусов, приходится на длину волны $\lambda \cong 5\,000 \text{ \AA}^{[1]}$, т. е. лежит в желто-зеленой области спектра видимого света.

Смещение максимума излучаемой энергии в сторону более коротких длин волн с увеличением температуры тела носит название закона смещения Вина. С помощью закона Вина можно рассчитать, в какой части спектра излучается основная доля энергии разогретого тела, температура которого известна, и наоборот, зная распределение излучаемой телом энергии по спектру, можно определить его температуру.

Если свет, излучаемый нагретым телом или газом, пропустить через стеклянную или кварцевую призму (рис. 18), то можно наблюдать спектр этого света, т. е. распределение лучистой энергии, испускаемой телом, по длинам волн.

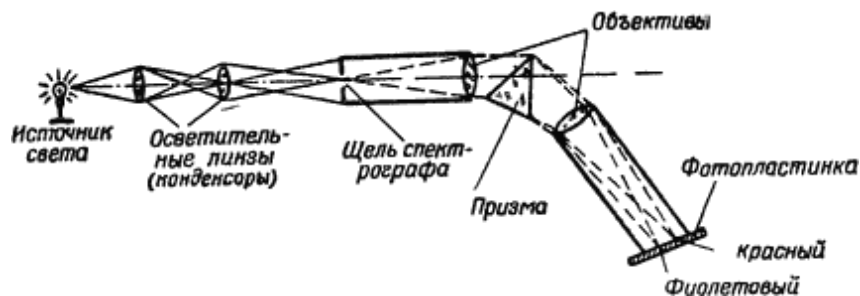


Рис. 18. Схема спектрографа

Твердые тела, например металлы, испускают непрерывный спектр, а разогретые газы — линейчатый, т. е. спектр, состоящий из отдельных линий. Если металл перевести в парообразное состояние, его пары также будут испускать линейчатый спектр (рис. 19). Каждому элементу периодической системы Д. И. Менделеева соответствует вполне определенный, собственный спектр. Так, в спектре паров ртути, возбуждаемых электрическим током (ртутная лампа), в видимой области наиболее характерны желтая, зеленая и голубая линии, в спектре натрия — двойная желтая линия (дублет), соответствующая длинам волн 5890 и 5896Å.

В спектре водорода наиболее характерной является красная линия, длина волны которой равна 6563Å.

В настоящее время спектры почти всех элементов периодической системы изучены достаточно хорошо, и составлены атласы спектральных линий, где указаны длины волн той или иной линии в спектре и ее принадлежность к тому или иному элементу.

Таким образом, сфотографировав с помощью спектрографа спектр какого-либо вещества, введенного в электрическую дугу постоянного или переменного тока, по атласу можно определить, какие элементы содержатся в исследуемом веществе. Однако можно не только качественно определить присутствие той или иной примеси в данном веществе, но и количественно ее измерить. При этом спектральный анализ позволяет обнаруживать и измерять ничтожно малое количество примесей (до миллионной доли процента).

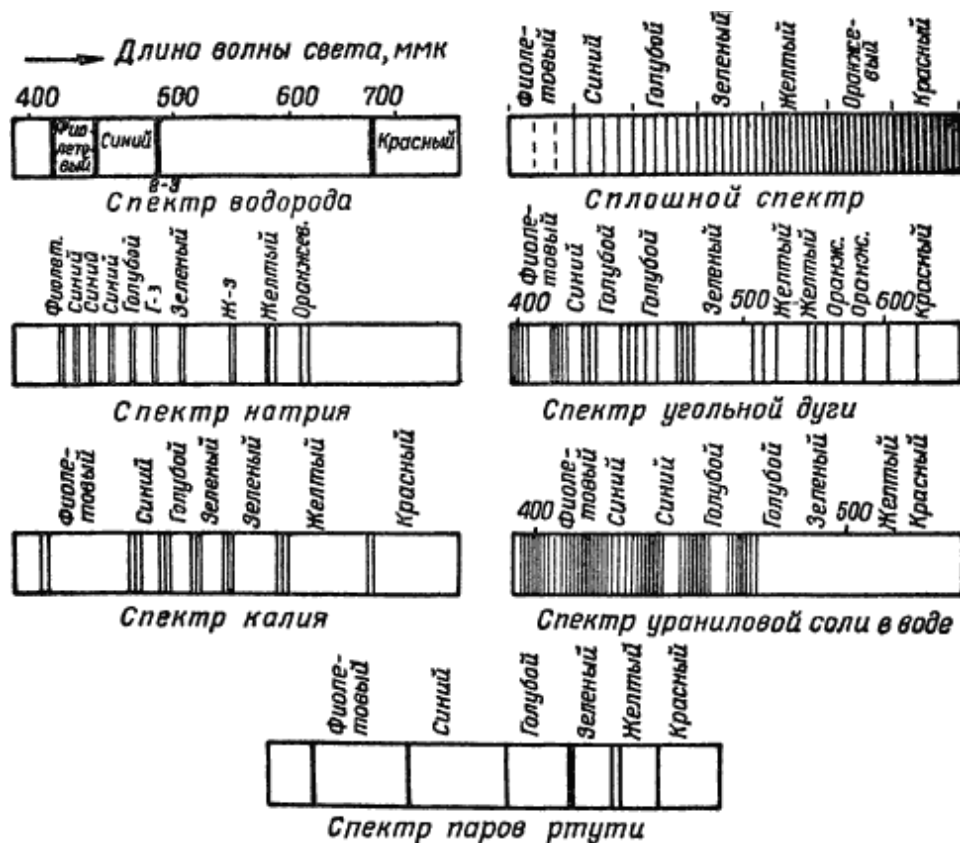


Рис. 19. Спектры белого света и паров некоторых веществ

Спектральный анализ имеет очень большое значение во многих отраслях науки и техники. С его помощью, на сталелитейных заводах определяют качество выплавленных сталей, содержание в них углерода, никеля, кремния, марганца и др. Спектральный анализ позволяет определять химический состав звезд и скорости их движения относительно Земли, измерять температуру светящихся объектов, определять структуру атомов, строение электронных оболочек и даже исследовать магнитные свойства атомных ядер.

До сих пор говорилось об объектах, которые сами испускают свет. Однако в ряде случаев оказывается невозможным разогреть то или иное вещество до высокой температуры без изменения его свойств. Невозможно разогреть, например, воду или какое-либо органическое соединение до температуры, при которой эти вещества стали бы

излучать свет, так как при гораздо более низкой температуре эти вещества распадутся или перейдут в другое агрегатное состояние.

Каким же образом исследовать структуру таких веществ?

На помощь приходит молекулярный спектральный анализ, основанный на том, что при прохождении света, спектр которого является непрерывным, через прозрачное вещество в спектре наблюдаются полосы поглощения.

Изучая эти полосы, можно изучить характер молекулярных связей в веществе и структуру самих молекул. Некоторые вещества (например, вода), являясь прозрачными для видимого света, дают ряд полос в инфракрасной области спектра, обусловленных структурой самих молекул воды.

С помощью молекулярного спектрального анализа изучено чрезвычайно большое количество различных видов веществ и химических соединений, в том числе таких, как нефть и ее производные, различные виды белков и др.

Однако область физической оптики далеко не исчерпывается применением спектрального анализа. Так, с помощью интерференционных явлений можно осуществлять контроль при изготовлении очень точных деталей и механизмов, контролировать качество различных поверхностей с точностью до одной стотысячной доли миллиметра, изготавливать светофильтры, обладающие очень узкой спектральной полосой пропускания.

Такие светофильтры были с успехом использованы при фотографировании натриевого облака — искусственной кометы, созданной впервые советскими учеными при запуске космической ракеты в сторону Луны

Интерференционные явления легли в основу опытов Майкельсона, результаты которых послужили фундаментом для создания теории относительности.

Немалую роль в развитии физической оптики сыграли такие ученые, как Ньютон, большая часть работ которого посвящена исследованию различных оптических явлений, Р. Вуд, создавший новый тип дифракционной решетки — прибора для спектрального разложения света, Рэлей, Вавилов и другие.

Самостоятельным разделом физической оптики является изучение люминесцентных свойств жидких и твердых соединений

(люминесценцией называют способность веществ светиться после облучения их видимым, ультрафиолетовым или инфракрасным светом).

На люминесценции основан люминесцентный анализ, с помощью которого можно производить весьма точные измерения количественного состава различных органических соединений, восстанавливать стершиеся надписи, анализировать состав красок и многое другое.

Здесь приведены лишь некоторые примеры, из которых видно, что в современной науке и технике физическая оптика занимает далеко не последнее место.

Ядерная физика и ядерная энергетика

После открытия Анри Беккерелем в 1896 году радиоактивности урана в физике появилось новое направление — ядерная физика, изучающая свойства и строение атомных ядер.

Представления об атомном ядре менялись по мере накопления количества наблюдений и экспериментов с «элементарными» частицами.

Пьер и Мария Кюри, Э. Резерфорд и другие ученые открыли три типа радиоактивных ядерных излучений: излучение α -частиц (ядер атомов гелия); β -излучение, т. е. излучение потока электронов атомными ядрами; γ -лучи — электромагнитное излучение, подобное свету, но с очень короткой длиной волны.

Каждое из этих излучений возникает при распаде атомных ядер и является, таким образом, одним из источников нашего познания о строении и свойствах ядер.

В 1932 году советский физик Д. Д. Иваненко высказал гипотезу, согласно которой атомные ядра рассматривались как состоящие из положительно заряженных частиц — протонов и нейтральных частиц — нейтронов, открытых незадолго перед этим англичанином Дж. Чедвиком при облучении элемента бериллия α -частицами.

В дальнейшем с развитием квантовой механики и экспериментальной ядерной техники появилась теория различных ядерных процессов, а также выявлен характер и особенности ядерных сил, действующих между протонами и нейтронами, находящимися на весьма близких расстояниях. Немалая заслуга в этом принадлежит советским физикам И. М. Франку, Л. В. Грошеву, А. И. Алиханову, Д. Д. Иваненко и др., труды которых наряду с работами Гейзенберга, Бора и Ферми послужили основой, на которой была построена современная теоретическая ядерная физика.

Что же представляют собой атомные ядра и каким образом происходит выделение внутриядерной энергии?

Как известно, атомные ядра состоят из протонов и нейтронов, устойчиво соединяющихся в определенных соотношениях друг с другом. Самое легкое атомное ядро — ядро атома водорода — состоит

из одного протона, ядро тяжелого водорода (дейтерия) — из протона и нейтрона (рис. 20).

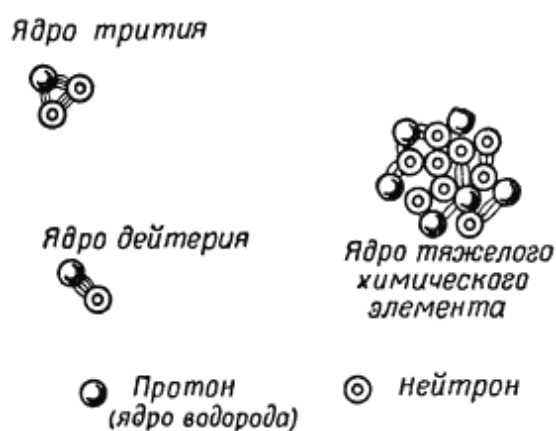


Рис. 20. Схемы атомных ядер

Чтобы сложное ядро существовало устойчиво, число нейтронов и протонов должно быть одинаковым у более простых ядер, но у тяжелых ядер число нейтронов должно превышать число протонов в определенном соотношении.

Протоны несут на себе положительные электрические заряды и поэтому отталкиваются друг от друга. Нейтроны нейтральны, и на них не действуют никакие силы (кроме силы тяжести). Все это справедливо только до тех пор, пока протоны и нейтроны находятся друг от друга на расстоянии, значительно превышающем их собственный диаметр. Если же эти частицы подходят очень близко друг к другу, возникают силы притяжения, во много раз превышающие электрическое отталкивание протонов и сжимающие протоны и нейтроны в очень плотное, и очень небольшое по своим размерам атомное ядро.

Известно, что энергия движения частиц вещества выражается температурой: чем больше энергия вещества, тем выше температура. Например, чтобы сблизить ядра атомов водорода, нужно нагреть водород примерно до сотни миллионов градусов. Если необходимое сближение достигнуто и ядерные силы начали действовать, энергия, выделяемая ядерными силами, покидает атомное ядро или в форме

нескольких мощных фотонов, или в виде энергии движения одной или нескольких частиц, выброшенных из ядра.

Энергия, выделяющаяся при образовании атомных ядер химических элементов, настолько велика, что заметно уменьшает массу и вес ядра. По этому уменьшению массы можно очень, точно и сравнительно просто определять энергию образования атомных ядер всех известных видов.

Таким образом, атомные ядра с энергетической точки зрения напоминают молекулы. Так же как молекулы образуются из атомов, ядра образуются из нуклонов, т. е. из протонов и нейтронов. Энергия выделяется как при образовании молекул, так и при образовании атомных ядер. Прочность молекулы тем больше, чем больше энергии выделяется при ее образовании. Прочность атомного ядра также увеличивается при увеличении энергии его образования. При этом в обоих случаях подразумевают удельную энергию, отнесенную к единице массы.

Разница между молекулами и атомными ядрами, несмотря на рассмотренное сходство, все же чрезвычайно велика. Размеры ядер в сотни тысяч раз меньше размеров самых небольших молекул, хотя массы их отличаются сравнительно незначительно. По энергии образования атомные ядра превосходят молекулы в десятки и сотни миллионов раз.

Энергия образования атомного ядра, отнесенная к единице массы или к одному нуклону, зависит от атомного веса ядра, который выражается числом, равным числу нуклонов в ядре. При увеличении атомного веса энергия образования ядра (отнесенная к одному нуклону) сначала растет и достигает максимального значения для железа и смежных с ним химических элементов (рис. 21). Это объясняется тем, что при увеличении массы ядра число взаимодействующих частиц растет и их взаимное притяжение усиливается, поскольку каждую частицу-нуклон притягивают все остальные. Такое увеличение наблюдается при изменении атомного веса с 1 до 56 (железо).

При дальнейшем возрастании атомного веса размеры ядер становятся настолько значительными, что взаимное притяжение нуклонов снижается и энергия образования атомного ядра, отнесенная к одному нуклону, уменьшается при увеличении атомного веса от 56 (железо) до конца периодической системы элементов.

Существуют два различных способа получения ядерной энергии.

Во-первых, можно соединять легкие атомные ядра в более тяжелые (путь от водорода к железу). При этом, как правило, энергия, затраченная в процессе соединения легких ядер, будет меньше, чем энергия, выделяющаяся при образовании более тяжелого конечного ядра. Разность энергий выделится в виде энергии ядерной реакции.

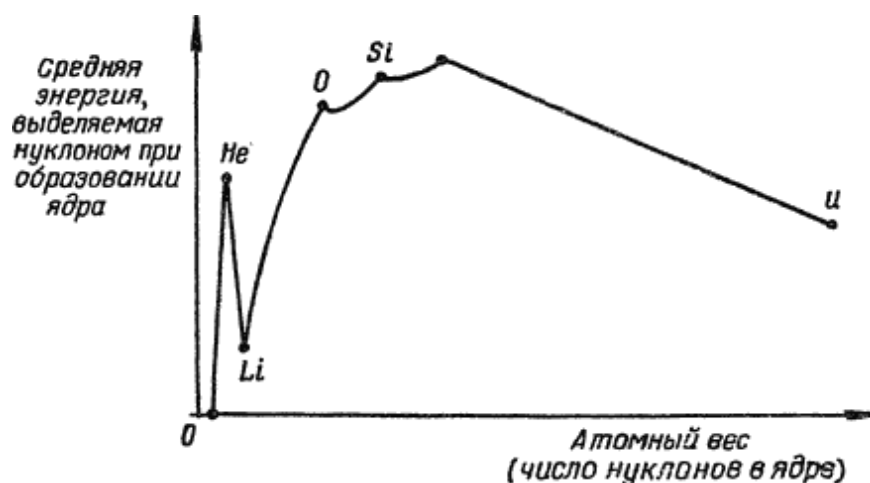


Рис. 21. График зависимости энергии, выделяемой нуклоном при образовании ядра, от атомного веса (числа нуклонов)

Во-вторых, можно «раздроблять» тяжелые ядра на более легкие. Это относится к ядрам — изотопов (разновидностей) урана и искусственно получаемого плутония.

Первый способ заключается в назревании легких химических элементов до очень высоких температур. Хорошо соединяются при температурах порядка десятков и сотен миллионов градусов ядра дейтерия (тяжелого водорода), образуя ядра гелия (рис. 22). Реакции такого типа называют термоядерными.

Термоядерные реакции широко распространены: в космосе. Мощное излучение Солнца и звезд обусловлено тем, что в их внутренних слоях, имеющих достаточно высокую температуру, интенсивно протекают термоядерные реакции. Вместе с тем громадные силы всемирного тяготения, действующие на Солнце и звездах,

сдерживают раскаленные массы от разлета, несмотря на интенсивное выделение энергии,

Иначе обстоит дело в земных условиях, где термоядерная реакция протекает как взрыв чрезвычайно большой силы. Это объясняется тем, что на Земле пока не удалось создать силы, способные удержать в неизменном объеме реагирующую массу.

Взрывы, подобные термоядерным, имеют место, по-видимому, также и на Юпитере, но они скрыты плотной атмосферой этой планеты, и до нас доходят только импульсы радиоволн, порождаемых взрывами.

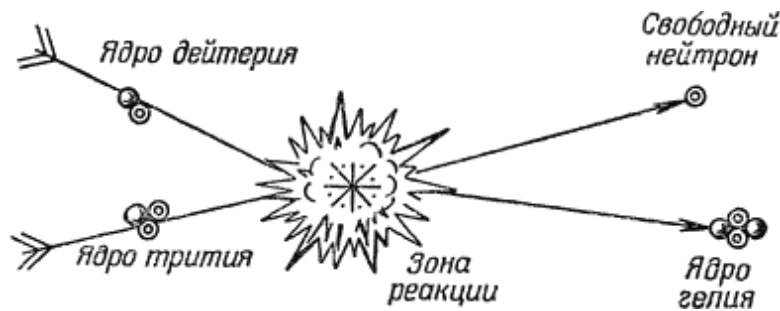


Рис. 22. Схема термоядерной реакции

Так происходят реакции при синтезе атомных ядер. По-иному происходит распад или деление тяжелых ядер. При делении ядер урана и плутония среди «осколков» ядра получаются свободные нейтроны, способные проникнуть в ядра урана с атомными весами 235 и 233, а также в ядра плутония и вызвать их деление (рис. 23).

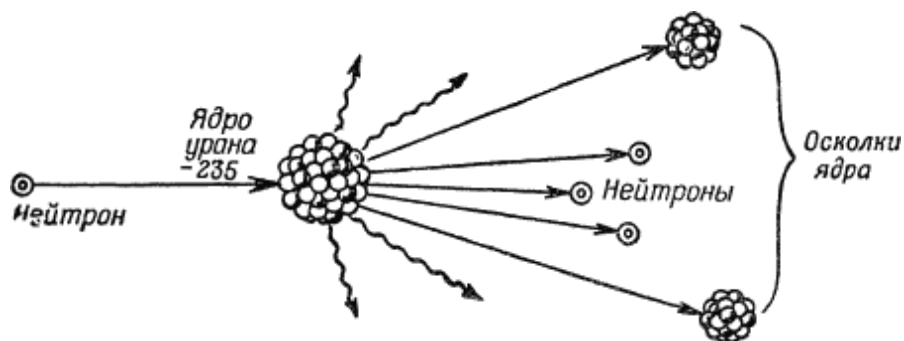


Рис. 23. Деление тяжелого ядра нейтроном

Если собрать достаточную массу этих видов атомного горючего и окружить ее веществом, отражающим нейтроны, можно получить ядерную реакцию любой интенсивности — от самого слабого разогрева реагирующего вещества до ядерного (атомного) (взрыва чрезвычайной силы).

Управление скоростью реакции сравнительно легко и точно осуществляется при помощи замедлителей. Вводя в зону реакции стержни из кадмия или бора, которые сильно поглощают нейтроны, можно регулировать реакцию, которая сопровождается выделением в основном тепловой энергии. Таким образом, установка, где протекает ядерная реакция деления тяжелых элементов, т. е. ядерный (атомный) реактор, является по существу своеобразной нагревательной машиной. Реактор можно использовать для нагревания парового котла турбин, которые приводят в движение генераторы электрического тока. По такому принципу работают атомные электростанции.

Энергия атомных электростанций все больше используется в промышленности и сельском хозяйстве. Атомная электростанция может быть установлена на корабле и снабжать ток электродвигатели, вращающие гребные винты корабля. На атомном топливе работает первый в мире советский атомный ледокол «Ленин».

Ядерные реакторы излучают опасные для человека потоки гамма-лучей и нейтронов. Для предохранения от их воздействия необходима громоздкая и тяжелая защитная оболочка. Эта оболочка, обычно состоящая из стали, бетона и воды, может иметь вес в несколько десятков или даже сотен тонн. Поэтому пока нельзя устанавливать атомные двигатели на обычных автомобилях, катерах, самолетах и железнодорожных локомотивах.

Зато атомные двигатели очень удобны на крупных кораблях дальнего плавания, потому что запас топлива для них ничтожен по весу и объему и время плавания кораблей ограничивается только работой машин, требующих текущего ремонта.

Атомные двигатели устанавливают и на военных подводных лодках. Подводные лодки типа «Наутилус», построенные в США, оборудованы атомной двигательной установкой и способны находиться

в подводном положении в течение нескольких недель и даже месяцев. Преимущество таких лодок перед обычными подводными лодками состоит прежде всего в том, что нет необходимости часто пополнять запасы горючего, так как в сутки атомный двигатель расходует всего несколько сотен граммов ядерного топлива. Поэтому максимальная продолжительность плавания на атомной подводной лодке определяется скорее выносливостью ее экипажа и;и необходимостью ремонта, а не запасами топлива.

Помимо использования на кораблях, атомные двигатели применяют в отдаленных и малодоступных районах, куда трудно доставлять в достаточных количествах обычное топливо.

Атомные двигатели за рубежом предполагают устанавливать на автоматических самолетах и ракетах, где нет экипажа, и поэтому не нужна тяжелая и громоздкая защита. Пока еще преждевременно считать, что атомная энергия сможет быстро заменить другие виды энергии в народном хозяйстве, потому что по своим техническим и экономическим показателям она не всегда удовлетворяет современным требованиям.

Гораздо проще и эффективнее использовать энергию урана и плутония для получения мощных взрывов. Их применение дало начало развитию атомного и термоядерного оружия. Атомным обычно называют оружие, взрыв которого происходит в результате деления ядер урана или плутония. Оружие называют термоядерным, если для усиления взрыва к атомному заряду (из урана или плутония) добавлено некоторое количество термоядерного взрывчатого вещества (в основном тяжелый водород — дейтерий) с добавлением сверхтяжелого водорода (тритий). В целом все виды средств поражения, использующие энергию атомного ядра, называют ядерным оружием (рис. 24).

В настоящее время ядерные боевые заряды являются основным видом снаряжения ракет различных типов. Исключение составляют ракеты, предназначенные для противовоздушной обороны, где преобладает снаряжение обычными взрывчатыми веществами.

Развитие техники, появление ракет и ядерных зарядов привело к созданию нового вида войск — ракетно-ядерных, новых способов вооруженной борьбы, основанных на использовании последних достижений техники.

Энергия, содержащаяся в атомных ядрах, может быть использована не только в энергетике. Используя атомную энергию, можно по-новому решать многие научные и технические задачи.

Рассмотрим некоторые примеры.

В атомных реакторах при делении ядер урана или плутония выделяется много свободных нейтронов. Чтобы ядерная реакция не переросла в катастрофический взрыв всего реактора, часть этих нейтронов поглощается кобальтом. В результате получается разновидность кобальта — изотоп кобальта. Ядра, поглотившие нейтроны, становятся неустойчивыми и через некоторое время самопроизвольно видоизменяются и выбрасывают быстро летящий электрон (бета-частицу) и фотон коротковолнового излучения (гамма-лучи). Другими словами, кобальт после поглощения нейтронов становится искусственным радиоактивным веществом.

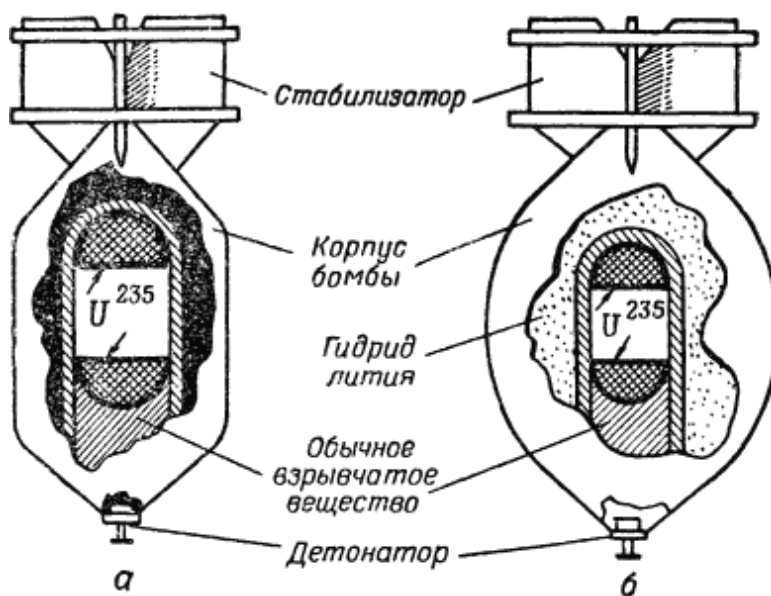


Рис. 24. Схемы бомб:

а — атомной; б — водородной

Излучениями химических элементов, поглотивших нейтроны, пользуются для многих научных и технических целей. Ими просвечивают отливки из металлов, электросварные швы и различные изделия. Наблюдая на экране или фотографируя результаты просвечивания, можно обнаружить трещины, раковины и другие дефекты в изделиях.

С помощью гамма-лучей искусственных радиоактивных веществ контролируют состав жидкостей и газов, передаваемых по трубопроводам, определяют уровень жидкостей в баках (рис. 25); их применяют в медицине для лечения злокачественных опухолей.

Радиоактивные вещества могут быть примешаны в небольшом количестве к различным химическим веществам. Так, если к фосфору, входящему в состав удобрений и поглощаемому растениями, добавить облученный нейтронами радиоактивный фосфор, а затем сфотографировать растения, можно сразу же установить, в какие части растения проник фосфор из удобрений, и, таким образом, изучить движение вещества в растении, а также эффективность тех или иных удобрений. Итак, перспективы использования энергии искусственных радиоактивных веществ огромны.

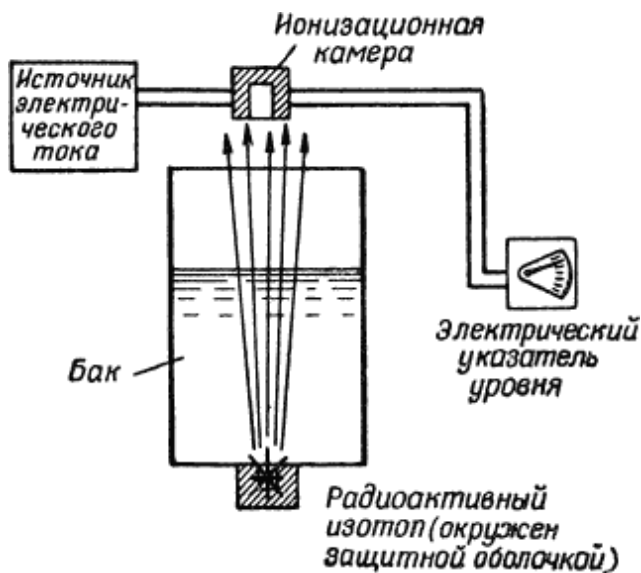


Рис. 25. Контроль уровня жидкости в баке с помощью радиоактивного изотопа

Роль физики в развитии ракетной техники

4 октября 1957 года в Советском Союзе был впервые осуществлен запуск искусственного спутника Земли, положивший начало новому этапу в покорении человеком космического пространства. Запуск спутника на орбиту вокруг Земли явился результатом долгого и напряженного труда всего советского народа — рабочих, ученых, инженеров и техников. В нем, как в зеркале, отразились те технические успехи и достижения, которых добился советский народ и в его лице все человечество.

Для осуществления такой сложной задачи понадобилось решение чрезвычайно разнообразных научных и инженерных проблем, что возможно только при высоком уровне науки и техники. Рассмотрим некоторые из этих проблем.

Прежде всего необходимо было создать достаточно мощные ракетные двигатели, подобрать материалы, способные выдерживать высокие температуры. Известно, что при работе ракетного двигателя температура в камере сгорания достигает нескольких тысяч градусов, в то время как наиболее тугоплавкий металл вольфрам плавится при 3300 °С.

За границей в связи с этим было исследовано большое количество специальных систем охлаждения и конструкций двигателя. Иностранцы столкнулись при этом с такими трудностями, которые привели к целой серии неудачных запусков космических объектов.

Однако необходимо не только иметь хороший и надежный двигатель для ракеты, но и уметь управлять работой этого двигателя и самой ракетой на расстоянии. Для этого может быть использована сложная радиотехническая система управления, позволяющая следить с Земли за полетом ракеты, измерять ее скорость, подавать радиокоманды на включение или выключение различных агрегатов и приборов на ракете.

Каким же образом ракета управляется в полете?

В районе старта можно расположить несколько радиолокационных станций, антенны которых автоматически наводятся на ракету. Начиная с момента старта и в течение всего полета ракеты радиолокационные

станции ведут непрерывное измерение параметров траектории и режима полета.

Расстояние до ракеты измеряют следующим образом. Радиолокационная станция непрерывно излучает короткие импульсы радиоволн в направлении на ракету. Эти импульсы, дойдя до ракеты, отражаются от нее и принимаются чувствительными приемными устройствами. На экране радиолокатора возникают два всплеска: первый соответствует моменту излучения радиоимпульса, второй — моменту прихода отраженного от ракеты импульса. Расстояние между этими всплесками на экране индикатора пропорционально расстоянию от радиолокатора до ракеты. Таким образом, измеряя расстояние между двумя отметками на экране, можно определить истинное расстояние до ракеты.

Другую важную характеристику движущегося объекта (его скорость) можно вычислить, используя так называемый эффект Доплера, который заключается в том, что радиоволны, отраженные от движущегося тела, имеют несколько измененную частоту относительно частоты импульса, излученного антенной передатчика.

С эффектом Доплера часто встречаются в повседневной жизни. Так, при приближении поезда тон (частота звуковых колебаний) гудка выше нормального. При удалении поезда тон его становится гораздо ниже, т. е. частота звуковых колебаний уменьшается. Это происходит потому, что при движении поезда относительно наблюдателя (или наоборот) количество звуковых колебаний, попадающих в его ухо в единицу времени, либо увеличивается, либо уменьшается в зависимости от того, происходит сближение с источником или удаление от него. Разница тона гудка тем заметнее, чем с большей скоростью происходит это относительное движение.

На основе эффекта Доплера можно очень точно измерить скорость движущегося объекта. Использование этого эффекта для управления полетом ракеты обеспечило достижение ракетой поверхности Луны. Чтобы оценить эту точность, надо отметить, что если бы скорость ракеты, направленной на Луну, отличалась от расчетной на два — три метра в секунду, то точка попадания ракеты на Луну сместилась бы при этом на несколько сотен километров.

Современные системы радиоуправления ракетами представляют собой весьма сложные комплексы различной аппаратуры. С помощью

таких систем возможен контроль работы бортовой аппаратуры, установленной на ракете, осуществление передачи радио- и телеинформации с борта ракеты, точнейший контроль параметров ее траектории, управление работой двигателей и многое другое.

Можно с уверенностью сказать, что без последних успехов в развитии радиофизики, радиотехники и электроники такие замечательные достижения, как запуски искусственных спутников Земли и космических кораблей, были бы невозможны.

Другой важной проблемой в ракетной технике считается выбор топлива для двигателей, занимающего по возможности меньший объем и обеспечивающего высокую скорость истечения продуктов сгорания из сопла ракетного двигателя.

Чем больше скорость v истечения продуктов сгорания, тем больше (при прочих равных условиях) скорость ракеты к моменту окончания работы ее двигателей. Этот важный закон был установлен и выражен математической формулой великим русским ученым К. Э. Циолковским, по имени которого и названа формула

$$v_{\text{конечное}} = v_{\text{газов}} \cdot \ln \frac{M_{\text{ракеты}} + M_{\text{топлива}}}{M_{\text{ракеты}}}.$$

Из формулы следует, что конечная скорость ракеты тем больше, чем большую часть от общей массы M ракеты составляет топливо. Наиболее эффективно топливо может быть использовано в многоступенчатых ракетах (рис. 26).



Рис. 26. Схема многоступенчатой ракеты

Идея создания многоступенчатых ракет была впервые высказана К. Э. Циолковским. В многоступенчатых ракетах по мере сгорания части топлива избавляются от ненужных конструкций, отцепляют

отработавшую ступень. Практическая ценность этой идеи тем более очевидна, что многоступенчатые ракеты позволили осуществить запуск первых искусственных спутников Земли. Запуск подтвердил правильность теории космических полетов, которой Циолковский посвятил свои многочисленные труды.

«Земля, — писал Циолковский, — колыбель разума, но нельзя вечно жить в колыбели».

И вот теперь все человечество является свидетелем того, как успешно претворяется в жизнь мечта великого ученого. Недалек тот день, когда на Луну и ближайшие планеты ступит нога человека — покорителя бесконечных и величественных просторов Вселенной. Пройдут годы, и человек устремится к иным мирам — мирам самых отдаленных звезд, подобных нашему Солнцу, и не исключена возможность того, что в окрестностях таких звезд будут обнаружены планеты, подобные нашей Земле. Для осуществления таких полетов потребуются уже совершенно иные типы ракет, которые будут двигаться со скоростью, близкой к скорости света.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ

На протяжении всей истории развития физики и техники возникали те или иные проблемы, которые требовали безотлагательного решения. Появление таких проблем определяется, с одной стороны, новыми задачами и требованиями как с теоретической, так и с производственной точки зрения и, с другой стороны, необходимостью пересмотра некоторых старых теорий или отдельных положений, что обуславливалось всем ходом предшествующего развития науки и техники.

Так, развитие судоходства привело к созданию парового двигателя для кораблей, а целый ряд новых открытий в области физики, не укладывавшихся в рамки старой теории (например, открытие и исследование фотоэффекта, опыты Майкельсона, работы Эйнштейна), привели к созданию новой теории — теории относительности, которая коренным образом изменила наши представления о пространстве и времени.

В этом разделе будут рассмотрены некоторые вопросы, связанные с прочностью материалов и конструкций в связи с быстрым развитием строительной техники и появлением новых, в частности синтетических материалов.

Другой весьма важной проблемой нашего времени является проблема освоения новых источников энергии. В связи с этим остановимся на возможности использования энергии приливов и отливов, а также на некоторых вопросах, связанных с созданием управляемых термоядерных реакций, расскажем о явлении, возникшем на стыке трех отраслей физики — квантовой механики, оптики и радиофизики, а именно о явлении, лежащем в основе квантового генератора лучистой энергии.

Прочность материалов и конструкций

В атомах и молекулах в нормальном их состоянии содержится равное число электронов (в электронных оболочках) и протонов (в атомных ядрах). Поэтому электрические силы действуют только внутри атомов и молекул. На достаточно больших расстояниях от молекул электрические силы электронов и протонов компенсируются и не производят заметного действия. Однако если молекулы подходят близко друг к другу, то они могут отталкиваться или притягиваться в зависимости от своего строения и взаимного положения. Чем плотнее вещество, тем заметнее силы взаимодействия. Наличием этих сил объясняется способность капель жидкости висеть на проводах и различных выступах, не падая вниз под действием силы тяжести.

Эти силы, притягивают жидкости к твердым телам, давая возможность воде насыщать грунты, цемент, бетон, позволяя краске прилипать к окрашиваемой поверхности, влаге почвы подниматься по стволам растений к листьям и плодам.

Точно так же прочность твердых тел, столь важная в технике, обусловлена молекулярными силами, связывающими в единое твердое тело все образующие его молекулы или атомы.

Наиболее ярко свойства твердых тел выражены в кристаллах. Кристаллы — это такие твердые частицы тела, которые в процессе образования, например при охлаждении расплавленного вещества, принимают правильные геометрические формы. Это обусловлено появлением определенного порядка в расположении частиц, образующих твердое тело. Так, в некоторых кристаллах атомы вещества (располагаются определенным образом: именно так, чтобы взаимное притяжение было бы наибольшим (рис. 27, а). Кристаллы очень прочны.

При образовании алмаза из углерода атомы углерода, входящие в кристалл, очень прочно связываются друг с другом. Действительно, алмаз является очень твердым и очень прочным телом и поэтому широко применяется в технике как материал для резания и сверления прочных и твердых тел. Графит представляет собой несколько другое соединение атомов углерода и обладает значительно меньшей прочностью (рис. 27, б).

Многие тела, в частности металлы, состоят из большого количества очень мелких кристаллов, беспорядочно соединенных друг с другом. Это так называемые микрокристаллические тела. Различные виды обработки металлов (отжиг, закалка, ковка, прокат, штамповка, волочение и т. д.) сильно влияют на размеры и взаимное расположение кристаллов, образующих металл.

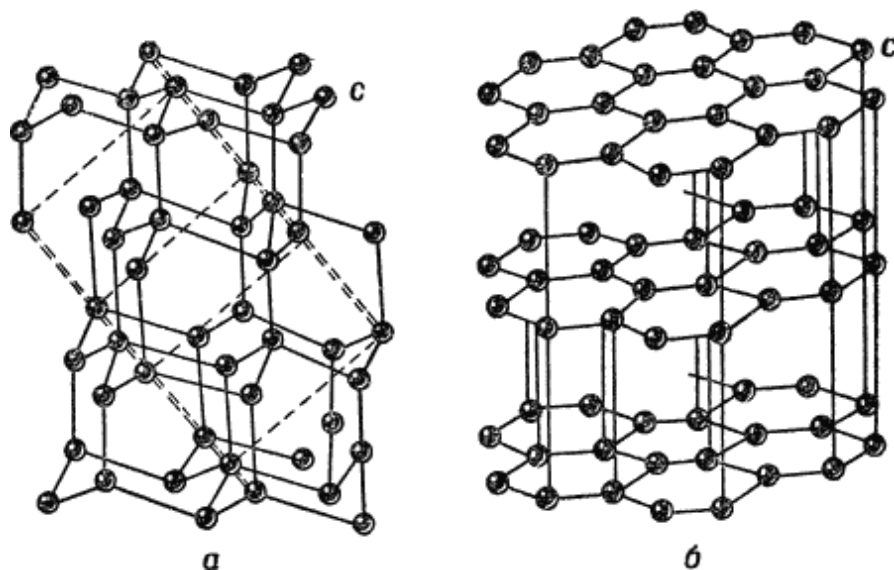


Рис. 27. Расположение атомов в кристалле.

a — алмаза; б — графита

Детальное исследование строения кристаллов металла и их взаимного расположения чрезвычайно важно для того, чтобы понять условия, при которых металлы и их сплавы обладают наибольшей механической прочностью, наиболее стойки в химическом отношении и могут выдерживать наибольший нагрев. Иногда сравнительно ничтожные добавки к металлу различных веществ могут заметно изменить его свойства. Это видно хотя бы на примере нержавеющей стали.

Исследования показывают, что сами кристаллы обладают очень большой прочностью, превышающей практическую прочность

соответствующих материалов в десятки раз. Это объясняется тем, что во всяком твердом теле имеются различные не видимые глазом, но очень существенные дефекты в структуре: трещины, пустоты, сильно снижающие прочность.

Чтобы наглядно представить себе это, надо взять лист бумаги и, растягивая его руками, попробовать разорвать. Для этого потребуется некоторое усилие. Если затем сделать на краю листа небольшой надрыв или прорезь, то разорвать лист после этого значительно легче, потому что разрыв произойдет путем разрастания того надрыва или разреза, какой был сделан.

Чтобы по возможности избежать влияния подобных дефектов и увеличить прочность металлов, поверхность их специально обрабатывают и по возможности уменьшают толщину. Тонкие металлические струны, сплетенные в толстый канат, намного прочнее, чем массивный стержень того же веса и из того же материала.

Это свойство металлов учитывают при строительстве крупных инженерных сооружений. Например, на канатах из тонких стальных тросов можно подвешивать огромные мосты, имеющие пролет более одного километра.

В настоящее время быстро развивается производство искусственных химических материалов; на основе соответствующих теоретических расчетов изменяют структурные формулы молекул и изготавливают очень прочные и вместе с тем очень тонкие пленки и нити. Такие пленки и нити все шире внедряются в практику.

Ученые работают над созданием тонкопленочных надуваемых воздухом лодок, планеров и даже самолетов.

Созданы тонкопленочные надувные здания, ангары, башни для радиотехнических целей и другие сооружения.

Широко применяются также пористые вещества из синтетического материала. Они обладают высокими теплоизоляционными свойствами, устраняют вибрации и в десятки раз легче дерева.

Перед инженерами, проектирующими материалы ближайшего будущего, стоит интереснейшая задача — сочетать сознательно рассчитанную и построенную конструкцию молекул с микроскопической структурой твердого вещества. Необходимо, чтобы молекулы вещества, предназначенного для той или иной цели, были

построены не менее обоснованно и тщательно, чем, например, детали самолета или космической ракеты.

При строительстве различных сооружений нередко бывает необходимо перейти от малогабаритного сооружения к сооружению такого же типа, но более крупных размеров. Такие задачи встречаются повсеместно: растет высота зданий и башен, увеличиваются пролеты мостов, размеры морских, воздушных и космических кораблей и многих других технических объектов.

Допустим, что какое-либо сооружение, например башня для радиорелейной связи, создается по образцу уже существующей, но все размеры ее увеличиваются вдвое. При таких условиях объем конструкции, а следовательно, и вес ее возрастут в восемь раз. Однако поперечное сечение конструктивных элементов, несущих нагрузку от веса вышележащих частей башни, увеличится только в четыре раза. Это значит, что нагрузка на единицу поперечного сечения увеличится вдвое. Другими словами, нагрузка на единицу площади поперечного сечения увеличивается во столько раз, во сколько возрастут размеры сооружения.

Всякий материал имеет определенный предел прочности. Поэтому различные объекты, изготовленные из тех или иных материалов, имеют определенные предельные размеры. Этим объясняется тот факт, что заводские трубы, башни для антенн радиосвязи и другие конструкции нельзя построить какой угодно высоты. Например, даже используя самые прочные материалы, невозможно построить башню высотой в несколько километров. У такой башни нагрузка от собственного веса так сильно действовала бы на нижние части конструкции, что они неизбежно разрушились бы еще в процессе возведения сооружения.

Те же самые вопросы возникают и при строительстве кораблей. Известно, что морские корабли, встречая большие волны при шторме, испытывают значительные нагрузки, которые быстро растут при увеличении размеров корабля. Существуют определенные ограничения размеров, зависящие от прочности материала корпуса корабля. Поэтому невозможно построить корабль длиной более одной трети километра. При этом вес корабля не должен превышать 100 000 тонн. Максимальные размеры самолетов также ограничены определенными пределами; их вес в современных условиях не превышает 250 тонн. Ограничены также размеры растений и животных.

При сооружении многих движущихся конструкций необходимо учитывать не только силу тяжести, но и силы инерции, возникающие при ускорении или замедлении движения. Эти силы также пропорциональны массе конструкции.

Чем больше ускорения, испытываемые конструкцией, тем меньше ее возможные предельные размеры. Это обстоятельство имеет особенно важное значение при постройке космических ракет. Так, американские ракеты «Атлас» или «Титан», вес которых равен примерно 100 тоннам, нередко разрушаются при пуске. Это свидетельствует о том, что материал конструкции ракеты использован до предела его прочности. Поэтому дальнейшее увеличение веса ракет может быть осуществлено только путем изыскания новых, еще более прочных материалов или новых конструкций, в которых материалы будут использованы более эффективно.

Так, в иностранной печати появились сообщения о том, что свободно плавающие под водой гигантские сосуды для хранения нефти и различных нефтепродуктов могут быть созданы из тонких синтетических пленок. Подъемная сила, действующая на заполненный нефтью сосуд, может в точности уравновесить силу тяжести, поэтому при таких условиях сосуды для хранения жидких топлив могут иметь практически любые размеры.

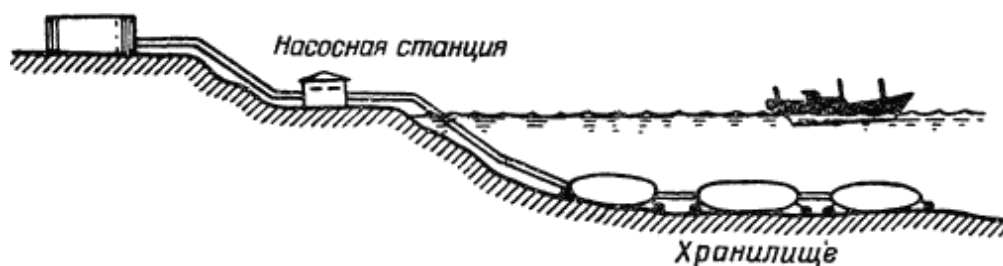


Рис. 28. Хранение нефти под водой

Следует упомянуть еще об одном интересном явлении.

Известно, что в обычных условиях нефть легче воды, и поэтому она всплывает на поверхность воды. Однако если погрузить нефть на достаточно большую глубину, то давление воды несколько уменьшит

объем нефти, а следовательно, увеличит ее удельный вес. При достаточно больших давлениях увеличение удельного веса нефти может стать настолько значительным, что он превысит удельный вес воды. Таким образом, сосуд с нефтью, находящийся на большой глубине в воде, не будет всплывать. Такое хранение нефти оказывается удобным еще и потому, что для доставки нефти на поверхность не требуется каких-либо насосов, поскольку давлением воды нефть будет выжиматься из пластического сосуда (рис. 28).

Применение искусственных пленок открывает широкие возможности для изготовления различного рода конструкций и в космическом пространстве. При помощи алюминированных (т. е. покрытых тонким слоем алюминия) тонких искусственных пленок, отличающихся чрезвычайно высокой прочностью, могут быть созданы гигантские зеркала для улавливания солнечной энергии. Практически можно построить такие зеркала любых форм и размеров, поскольку на искусственных спутниках Земли и космических ракетах сила тяжести практически не оказывает своего действия.

Проблемы использования приливных сил

Еще в глубокой древности люди замечали, что уровень воды в океанах меняется в зависимости от видимого положения Луны на небосводе. Первые описания приливов относятся еще к I веку нашей эры. Однако причины изменения уровня океанов и морей долгое время не имели объяснения. И только после открытия Ньютоном закона всемирного тяготения объяснение приливов и отливов стало возможным.

Каким же образом возникают приливы и отливы?

Представим себе космический корабль, движущийся по орбите вокруг Земли, и посмотрим, какие силы на него действуют. Если не принимать во внимание влияние Луны и других небесных тел на корабль-спутник, то в этом случае на предметы и тела, находящиеся внутри спутника, будут действовать сила тяготения Земли, центробежная сила инерции и сила, возникающая вследствие вращения корабля-спутника вокруг собственной оси. Если такого вращения нет, остаются только две силы: сила тяготения, которая направлена от центра спутника к центру Земли, и центробежная сила инерции, направленная в противоположную сторону.

Полная невесомость будет только у тел, центры тяжести которых лежат на орбите центра тяжести всего космического корабля. Если же тело, находящееся на космическом корабле, расположено ближе к Земле, чем центр тяжести корабля, то оно должно иметь более значительную скорость, чтобы не падать на Землю. Между тем это тело движется вместе с кораблем, т. е. медленнее, чем нужно для достижения полной невесомости. Поэтому тела, расположенные на космическом корабле ближе к Земле, чем центр тяжести корабля, будут стремиться упасть вниз, и наоборот, тела, расположенные выше центра тяжести корабля, будут стремиться подняться вверх. Таким образом, вся конструкция космического корабля будет растягиваться небольшими силами, действующими вдоль линии, идущей к центру Земли (рис. 29). Эти силы рано или поздно повернут неуправляемый космический корабль так, чтобы его наибольшая длина была направлена к центру земного шара или иного небесного тела, спутником которого корабль является. Необходимо иметь в виду, что рассматриваемые силы

невелики. Если, например, космический корабль состоит из двух масс, каждая весом в одну тонну, соединенных тросом длиной в 20 метров, то сила, натягивающая трос на высоте в несколько сотен километров над поверхностью Земли, составит приблизительно 1,6 грамма.

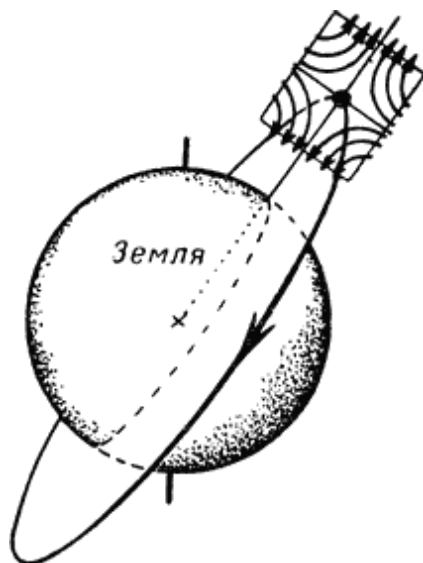


Рис. 29. Силы, действующие на космический корабль-спутник

Несколько миллиардов лет тому назад такие силы остановили вращение Луны и повернули ее так, что теперь ее длинная ось направлена в сторону Земли. Это хорошо видно на фотоснимках обратной стороны Луны, сделанных в октябре 1959 года с советской космической ракеты. Сфотографировать Луну удалось не только сзади, но и несколько сбоку, поэтому на фотоснимках хорошо видна асимметрия Луны, ее форма, вытянутая по линии Земля — Луна.

Необходимо заметить, что ориентирующее действие приливных сил на какое-либо небесное тело проявляется лишь в том случае, если имеет место затрата энергии этих сил на преодоление каких-либо других сил, например силы трения.

Приливные силы, действующие на поверхность океанов, вызывают подъем и опускание уровня воды более чем на 10 метров. Такие явления называют приливами и отливами. В них наиболее ярко

выражается действие не полностью уравновешенных сил инерции и сил тяготения.

Поскольку приливные силы, действующие на поверхность океанов со стороны Луны, заставляют двигаться частички воды и приводят к образованию волн, то вследствие трения воды о дно океанов возникает так называемое приливное трение, в результате которого уменьшается скорость вращения Земли. Луна в свою очередь также подвергается воздействию приливных сил со стороны Земли, и ее вращение вокруг собственной оси (а точнее, колебания, возникающие за счет приливных сил вследствие несферичности Луны) замедляется.

В результате действия приливных сил вращение небесного тела не только замедляется, но и становится (возможной ориентацией его длинной оси в направлении притягивающего тела.

Те же самые силы проявляются и на Земле как спутнике Солнца. Однако Земля по сравнению с Луной имеет более значительную массу и инерцию, поэтому приливные силы не могут заметно затормозить ее быстрое вращение вокруг собственной оси, а только немного деформируют земной шар, стремясь его растянуть в направлении линии, идущей от Солнца к центру Земли. Для примера отметим, что район Москвы дважды в сутки поднимается и опускается по отношению к некоторому среднему уровню приблизительно на полметра.

Чем значительнее преграды, задерживающие приливную волну, тем сильнее тормозится вращение земного шара.

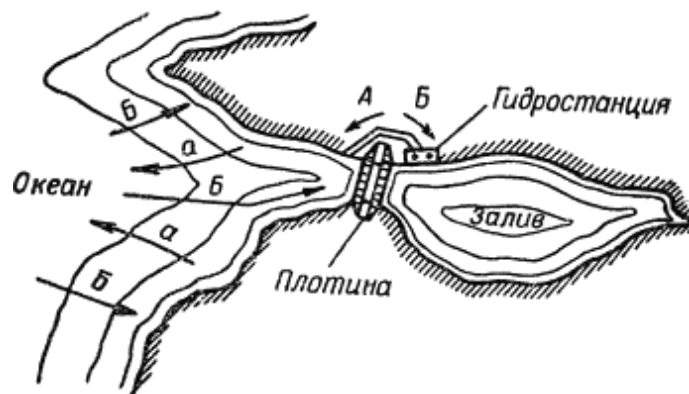


Рис. 30. Схема приливной гидроэлектростанции

Например, если в различных бухтах и устьях рек построить плотины, задерживающие массы воды, приносимые приливом, и направить эту воду через гидротурбины, вращающие генераторы тока, то окажется возможным усилить торможение вращения Земли и перевести часть энергии этого вращения в энергию электрического тока, даваемого приливной гидроэлектростанцией (рис. 30). Если создать большую систему приливных гидроэлектростанций и объединить их в общую энергетическую систему, можно будет получать почти непрерывный поток электроэнергии постоянной мощности.

Таким образом, можно предполагать, что приливным гидроэлектростанциям принадлежит большое будущее, и решать эту проблему лучше всего при сотрудничестве всех государств, чьи территории выходят к берегам океанов. Запасы энергии вращающейся Земли так велики, что даже при самой интенсивной эксплуатации их хватит на миллиарды лет.

Квантовые генераторы лучистой энергии

Развитие квантовой механики, радиофизики и электроники привело к открытию совершенно новых устройств, с помощью которых стало возможным получение электрических колебаний чрезвычайно высокой частоты, лежащей в области инфракрасного и видимого диапазонов спектра. Такие устройства называют квантовомеханическими генераторами и усилителями. Они основаны на использовании электромагнитного излучения атомов или молекул вещества.

Появление квантовомеханических генераторов и усилителей тесно связано с запросами современной радиотехники, поскольку радиодиапазон (длина волны от миллиметров до десятков километров) оказался узким для решения целого ряда таких задач, как повышение количества радиоканалов для передачи информации, повышения направленности излучения радиоволн, обеспечения сверхвысокой разрешающей способности (радиолокация) и помехоустойчивости различных радиотехнических средств.

Освоение космического пространства, а также запросы военной техники потребовали освоения инфракрасного и оптического диапазонов электромагнитного излучения для целей связи и управления быстро движущимися объектами.

Начиная с 1958 года в печати стали появляться сообщения о создании и разработке квантовомеханических усилителей и генераторов, работающих в области видимого и инфракрасного диапазонов спектра.

В чем же принцип работы таких систем?

В нормальных условиях (при отсутствии внешних воздействий) большая часть атомов кристаллических веществ (квантовых микросистем) пребывает на самых низких (или невозбужденных) энергетических уровнях, т. е. обладает минимальным запасом внутренней энергии. Если на такие системы подействовать каким-либо внешним полем, например осветить их светом, то атомы данного вещества, поглощая вполне определенную энергию, перейдут в возбужденное состояние, т. е. будут накапливать энергию. Если система может длительное время находиться в таком возбужденном состоянии,

то говорят, что она имеет метастабильные уровни энергии (рис. 31). Если «заставить» возбужденный атом перейти в нормальное (невозбужденное) состояние, она излучит порцию (квант) энергии вполне определенной частоты, величина которой будет пропорциональна разности энергий возбужденного и невозбужденного уровней.

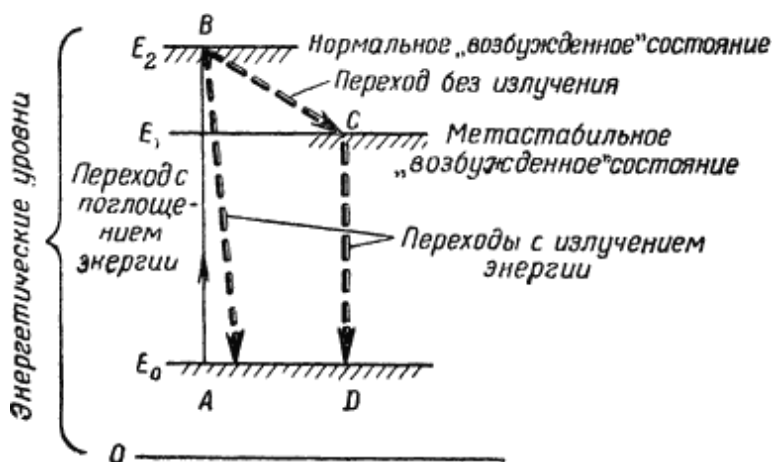


Рис. 31. Схема энергетических уровней молекулы с метастабильным состоянием

Чтобы «заставить» атом излучить поглощенную им энергию, можно подействовать на него каким-либо слабым внешним полем, например, облучить светом. В этом случае произойдет вынужденное (или индуцированное) испускание кванта света возбужденным атомом. Луч света, которым освещается такой атом, как бы «стряхнет» его с метастабильного уровня на более низкий, и при этом будет излучена энергия возбуждения атома.

Всеми свойствами, о которых шла речь, обладают некоторые сорта стекол, шары металлического цезия, соединение кальция с фтором (CaF_2), в котором часть ионов кальция заменена ионами самария или урана, а также твердое кристаллическое вещество — рубин.

Квантовомеханический генератор, работающий на кристалле рубина, позволяет получать монохроматический (одноцветный) луч света, яркость которого, отнесенная к единичному интервалу спектрального диапазона, более чем в миллион раз превышает яркость

Солнца в данном диапазоне. Вследствие этого эквивалентная температура такого светового луча, генерируемого квантовомеханическим генератором, оценивается миллиардами градусов и во много раз превышает температуру в центре Солнца. При этом сам генератор остается холодным. Другой не менее интересной способностью такого генератора является то, что он позволяет получать почти параллельные лучи света с чрезвычайно малым угловым расхождением.

Так например, изготовленный в США генератор видимого света на основе искусственного рубинового стержня, генерирующий световые колебания с длиной волны 6943\AA , позволяет получать лучи с угловым расхождением менее $0,1^\circ$ при яркости, в миллион раз превышающей яркость Солнца.

В настоящее время за границей ведутся работы по созданию еще более узких лучей, расхождение которых не будет превышать нескольких угловых секунд. Если такой луч направить на Луну, то он создаст там такую же освещенность, какую может создать находящаяся рядом электрическая лампочка. Использование таких лучей позволяет осуществлять сверхдальнюю оптическую связь в космосе, секретную передачу информации и т. д.

Каким же образом получают такие лучи света в квантовом генераторе?

Кристалл рубина, изготовленный в виде стержня с параллельными и тщательно отполированными посеребренными торцами, помещается внутрь мощной лампы-вспышки. Лампа-вспышка обычно представляет собой стеклянную или кварцевую трубку, выполненную в виде спирали, заполненную смесью неона и криптона и дающую при вспышке яркий зеленоватый свет.

Лампа-вспышка, освещая рубиновый стержень (рис. 32), переводит атомы хрома в рубине в возбужденное метастабильное состояние, в котором они находятся до того момента, пока их не «стряхнет» луч подсветки, пропущенный внутрь кристалла через непосеребренную часть поверхности одного из его торцов.^[2] Такой луч, распространяясь в кристалле рубина, на своем пути «стряхивает» все новые и новые возбужденные атомы, и его яркость таким образом все время увеличивается. Дойдя до посеребренного противоположного торца кристалла, луч, отразившись, пойдет в обратном направлении, по пути

увеличивая свою яркость, затем снова отразится от заднего посеребренного торца и так далее, пока, наконец, не выйдет из противоположного торца кристалла через непосеребренную часть его поверхности (рис. 33).

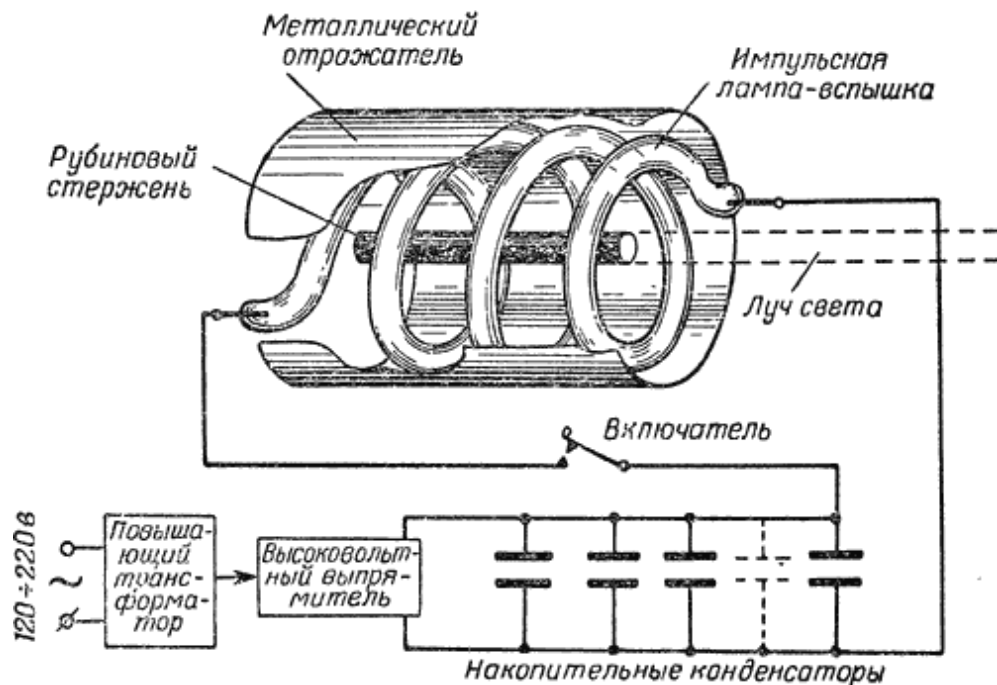


Рис. 32. Генератор красного света на рубине

В результате получается весьма узкий луч, так как все лучи света, идущие под некоторыми углами к оси рубинового стержня, быстро уходят за пределы кристалла, не получив необходимого усиления.

В дальнейшем предполагается с помощью таких генераторов и усилителей фотографировать отдаленные космические объекты, усиливая яркость изображения, даваемую телескопами, управлять движением спутников, используя эффект светового давления, повышать точность оптических приборов, а также увеличить емкость диапазонов связи в десятки тысяч раз по сравнению с емкостью используемых в настоящее время радиодиапазонов.

Таковы лишь некоторые возможности использования квантовых генераторов, построенных на основе синтеза достижений различных

областей науки и техники, и в первую очередь оптики, радиотехники и квантовой механики.



Рис. 33. Чем больший путь проходит в возбужденном кристалле луч света, тем больше становится его яркость

Проблемы создания управляемых термоядерных реакций

Во введении уже говорилось о том, что производство энергии растет быстрее, чем производство чугуна, стали, машин и других видов технической продукции.

В настоящее время пользуются различными источниками энергии, к которым относятся каменный уголь, нефть и ее производные, древесина, энергия рек, ветра. В последнее время все более широко начинает использоваться внутриядерная энергия и энергия Солнца.

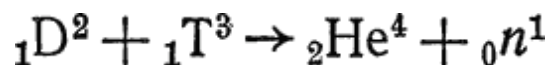
Однако, учитывая поистине гигантское потребление энергии, которое из года в год увеличивается, можно предположить, что рано или поздно человечество окажется лишенным таких видов топлива, как нефть, уголь и даже уран-235, поскольку их мировые запасы в земной коре ограничены.

В связи с этим встает вопрос об использовании термоядерной энергии, т. е. энергии, выделяющейся при термоядерных реакциях (взрыв водородной бомбы).

Чтобы широко использовать эту энергию, таящуюся в недрах атомных ядер, необходимо научиться управлять такими реакциями.

Прежде чем переходить к изложению возможных путей решения этой проблемы и проводящихся экспериментов, расскажем о том, что собой представляют термоядерные реакции, т. е. в чем заключается их сущность.

Известно, что ядра атомов гелия ${}^4_2\text{He}$ состоят из двух протонов и двух нейтронов, находящихся в «связанном» состоянии. При этом часть внутренней энергии каждой из частиц переходит в энергию связи. Если рассмотреть реакцию образования ядер гелия из ядер тяжелого и сверхтяжелого водорода (дейтерия ${}^2_1\text{D}$ и трития ${}^3_1\text{T}$), протекающую по схеме



(нижние индексы означают заряд ядра в единицах заряда протона, верхние — числа, показывающие, во сколько раз данное ядро тяжелее

ядра атома водорода), то оказывается, что сумма масс частиц после реакции (т. е. масса ядра гелия ${}^4_2\text{He}$ плюс масса нейтрона ${}_0^1\text{n}$) меньше суммы масс ядер дейтерия и трития.

Согласно соотношению Эйнштейна, любой массе m соответствует энергия, равная mc^2 , где c — скорость света. В результате описанной реакции происходит превращение одного вида материи в другой, т. е. превращение массы в энергию. Энергия E , выделяющаяся при термоядерных реакциях, огромна. Так, если «исчезнувшая» масса составляет 1 грамм, то выделившаяся в результате этого энергия будет равна $mc^2 = 1 \text{ г} \times (3 \cdot 10^{10} \text{ см/сек})^2 = 9 \cdot 10^{20} \text{ эрг.}$, т. е. примерно десяти тысячам миллиардов килограммометров. Чтобы реакция между дейтерием и тритием оказалась возможной, необходимы очень высокие температуры (порядка десятков и сотен миллионов градусов). При таких высоких температурах вещество переходит в новое, плазменное состояние. Скорости хаотического движения частиц в плазме оказываются настолько большими, что становится возможным прямое столкновение одноименно заряженных ядер дейтерия и трития, между которыми действуют силы кулоновского отталкивания.

Для получения температуры в несколько миллионов градусов за границей в настоящее время используют мощные электрические разряды.

Однако недостаточно разогреть плазму до высоких температур, ее надо еще удержать при этих температурах более или менее продолжительное время. На помощь приходят так называемые магнитные ловушки, которые создают невидимый магнитный барьер, — непроницаемый для заряженных частиц высоких энергий (рис. 34).

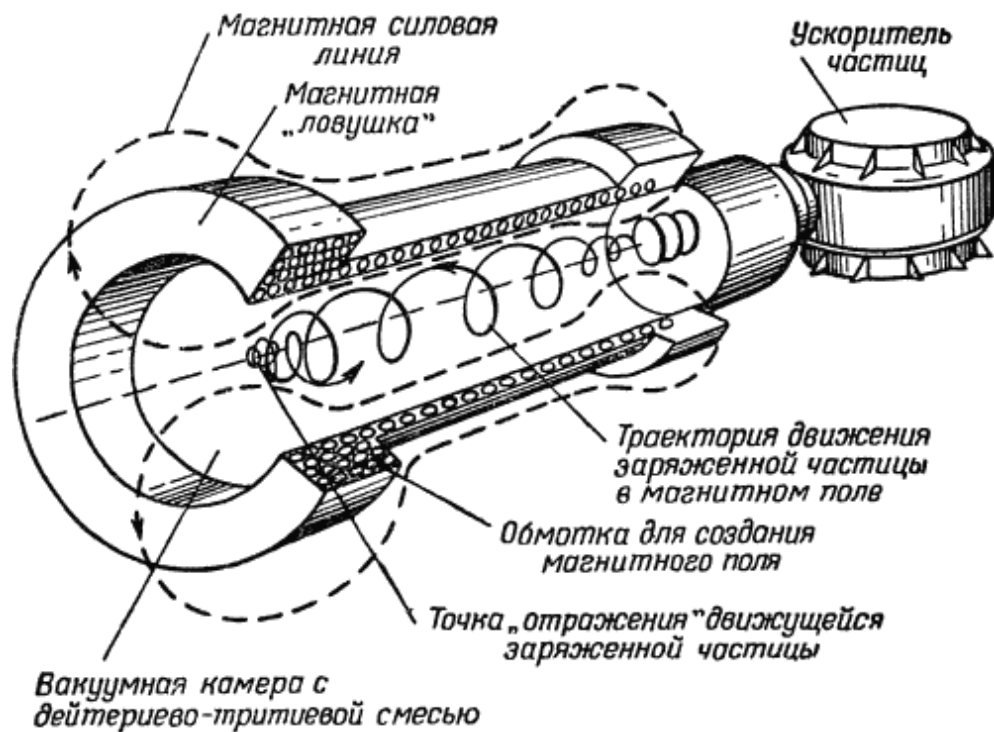


Рис. 34. Схема установки для исследования управляемых термоядерных реакций

Мощное магнитное поле, создаваемое специальными электромагнитами, может быть использовано как своеобразный сосуд для ионизированных газов, имеющих высокую температуру. Когда газ нагревается до температур, превосходящих 7–8 тысяч градусов, движение частиц в нем становится настолько сильным, что при ударах одна о другую молекулы начинают разрушаться. От них отрываются отдельные электроны, и остающиеся частицы приобретают положительный заряд, т. е. становятся положительными ионами. При дальнейшем нагревании весь газ постепенно полностью ионизируется, т. е. все его частицы становятся ионами и несут на себе электрические заряды,

Частица, несущая электрический заряд, двигаясь в магнитном поле, взаимодействует с ним. В результате этого путь частицы искривляется. Поэтому сильно разогретый ионизированный газ, называемый обычно плазмой, не может вырваться из объема, пронизанного магнитным полем достаточной силы и соответствующей

формы. Магнитное поле в данном случае образует своеобразный сосуд, в котором может содержаться сильно раскаленная плазма, быстро разрушающая любые вещества. Магнитное поле оказывается абсолютно жаропрочной формой материи.

В настоящее время в Советском Союзе и за границей создано несколько подобных установок с магнитной изоляцией разогретой плазмы от стенок сосуда. В таких установках уже получены температуры порядка нескольких миллионов градусов. Дальнейшее увеличение температуры плазмы приводит к некоторым эффектам, которые практически сводят на нет все дальнейшие усилия в повышении температуры дейтериево-тритиевой смеси. Происходит это потому, что при весьма высоких температурах плазмы начинается чрезвычайно интенсивное рентгеновское излучение разогретой смеси, уносящее почти всю затрачиваемую энергию. Получается своего рода заколдованный круг: чем больше энергии вносится в плазму, тем выше становится ее температура и тем интенсивнее рентгеновское излучение, приводящее к остыванию плазмы. Кроме того, значительные трудности возникают при борьбе с неустойчивостью плазмы, которая при больших энергиях частиц начинает «просачиваться» сквозь магнитные «стенки» сосуда.

Сейчас трудно делать какие-либо прогнозы относительно сроков, когда станет возможным практическое использование энергии регулируемых термоядерных реакций. Однако рано или поздно эти трудности будут преодолены, и можно будет использовать поистине неисчерпаемый источник энергии — энергию термоядерных реакций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные в брошюре примеры показывают, что современные достижения техники прочно основываются на законах естествознания и в первую очередь на законах физики. Без изучения и понимания физической сущности явлений их нельзя использовать в современной технике. Также нельзя понять и должным образом использовать современную технику, не оценив ее возможностей с точки зрения физических законов, на основе которых она создана.

Для того чтобы владеть техникой и понимать пути ее дальнейшего развития, очень важно знать ее физическую основу.

Знание физических основ современной военной техники помогает объективно оценить ее действие в сложных условиях современного боя.

В брошюре освещены только некоторые вопросы, далеко не исчерпывающие всех достижений науки и техники.

notes

Примечания

1

1Å (один ангстрем) равен 10^{-8} сантиметрам.

Вместо луча подсветки обычно используют спонтанное (самопроизвольное) излучение света, возникающее внутри возбужденного кристалла рубина за счет самопроизвольных переходов возбужденных ионов хрома с метастабильного уровня на нижний энергетический уровень.