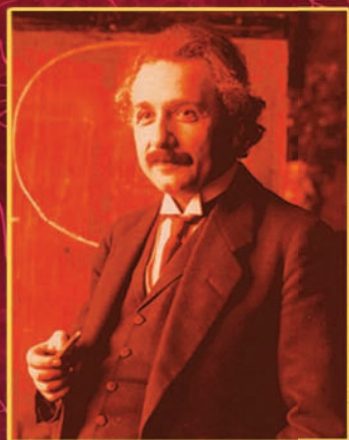


*От натурфилософии
к загадкам темной материи*



ИСТОРИЯ ФИЗИКИ



Энн Руни



ИСТОРИЯ
ФИЗИКИ



*От натурфилософии
к загадкам темной материи*

ИСТОРИЯ ФИЗИКИ

Энн Руни



КУЧКОВО ПОЛЕ

Москва

2017

УДК 53
ББК 22.3г
Р82

*Посвящается моему отцу, Рону Руни,
который познакомил меня с чудесами науки.
С восьмидесятилетием, papa! И спасибо за все!*

Благодарность

Хочу особо поблагодарить доктора Адриана Катберта, щедро делившегося со мной своими знаниями в области физики, а также Мэри Хоффман, Шаха Хусейна, Сью Фруи и Джеки Маккери за менее конкретную, но не менее важную поддержку. Огромное спасибо моему терпеливому и терпимому редактору Найджелу Мэтисону.

Errur si tuogve

Руни, Э.

Р82 История физики / Пер. с англ. Т. О. Новиковой. – М.: Кучково поле, 2017. – 208 с.: ил.

ISBN 978-5-9950-0739-5

Физика – это фундаментальная наука, основа для всех других, средство, помогающее нам постичь реальность. Ее задача – объяснить, как работает Вселенная, от галактик до элементарных частиц. Многие наши открытия, связанные с физическим миром, являются вершиной человеческих достижений. Из «Истории физики» вы узнаете о попытках человечества прочесть книгу Вселенной и о том, как много загадок еще предстоит решить.

ISBN 978-5-9950-0739-5

© Arcturus Holdings Limited, 2015

© ООО «Кучково поле» издание
на русском языке, 2017

Содержание

Вступление: Книга Вселенной 6

Глава 1. Мысль, управляющая материей 14

- Первый физик? • Атомная и элементарная материя
- Рождение физики твердого тела • Атомы и элементы

Глава 2. Пусть свет работает – оптика 34

- Первый взгляд на свет • Из мрака • Волновые фронты и кванты
- Новый рассвет – электромагнитное излучение • Со скоростью света

Глава 3. Масса в движении – механика 62

- Механика в действии • Задача динамики • Истинное рождение классической механики • Воздух и вода • Заставим механику работать

Глава 4. Энергия – поля и силы 82

- Сохранение энергии • Термодинамика • Тепло и свет • Открытие электричества • Электромагнетизм – сочетание электричества и магнетизма
- Новые волны

Глава 5. Внутри атома 110

- Вскрытие атома • Квантовые чудеса • Все распадается
- Конец классического атома

Глава 6. Дотянуться до звезд 140

- Звезды и камни • От наблюдения к размышлению • Земля вращается – снова
- Невидимое становится видимым • Галилей, повелитель Вселенной
- Каталогизация небес • В далекой, далекой галактике • Тайная жизнь звезд

Глава 7. Пространственно-временной континуум 182

- Краткая история времени • Все относительно • Назад к началу
- От космического яйца к Большому Взрыву

Глава 8. Физика будущего 196

- Все порвать и начать снова • Что же дальше?

Указатель 204

Иллюстрации 208

КНИГА ВСЕЛЕННОЙ

«Книгу Вселенной невозможно понять, не научившись сначала понимать алфавит языка, на котором она написана. Эта книга написана языком математики, и буквы ее – это треугольники, круги и другие геометрические фигуры, без которых человек не сможет понять в ней ни слова. Без понимания этого языка он обречен вечно бродить в темном лабиринте».

Галилей, «Пробирных дел мастер», 1623

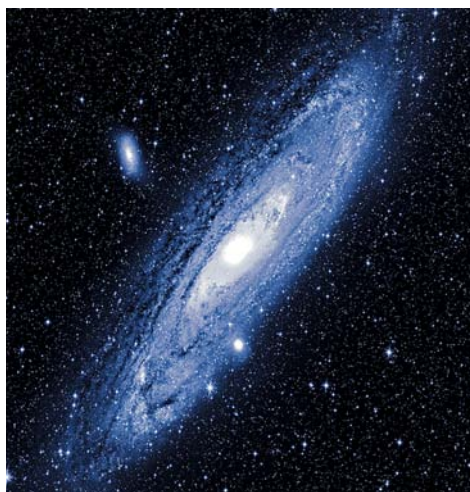
Физика – это фундаментальная наука, основа для всех других, средство, помогающее нам постичь реальность. Ее задача – объяснить, как работает Вселенная, от галактик до элементарных частиц. Многие наши открытия, связанные с физическим миром, являются вершиной человеческих достижений. Из «Истории физики» вы узнаете о попытках человечества прочесть книгу Вселенной, изучить и применить на практике язык математики, описанный ученым эпохи Ренессанса Галилео Галилеем (1564–

Галактика Андромеды – ближайшая к нашему Млечному пути: физика пытается объяснить все, с начала времен до конца Вселенной

1642). И вы поймете, насколько же мало мы все еще знаем, – вся известная нам физика охватывает всего 4 % Вселенной, а остальные 96 % остаются загадкой, которая еще нуждается в решении.

РОЖДЕНИЕ ФИЗИКИ

До развития экспериментального метода первые ученые – их называют «натурфилософами» – размышляли о том, что видели вокруг себя, а потом выдвигали теории, это объясняющие. Они видели, как небесные тела движутся по небу, и считали, что Земля находится





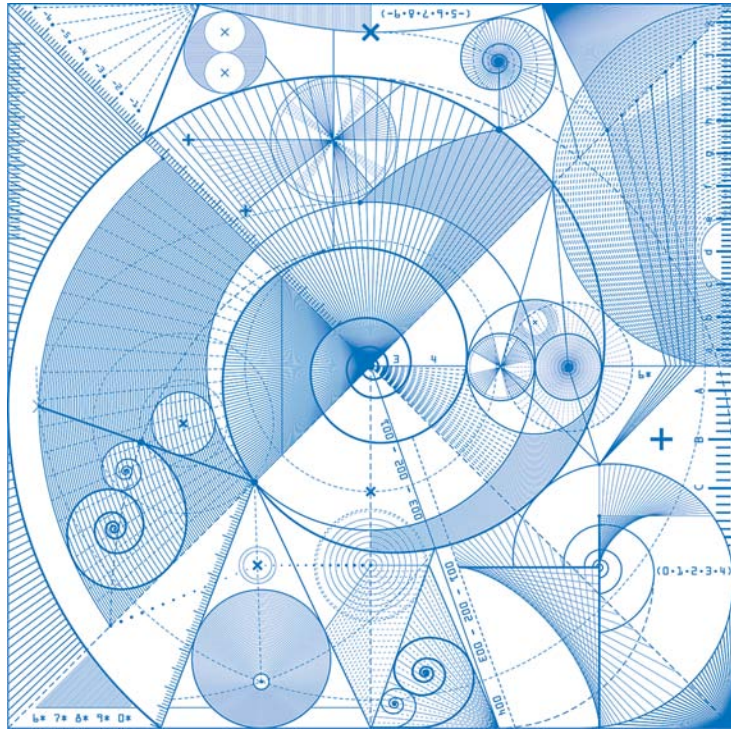
Шаблоны, формы и числа, которые структурируют природный мир, являются предметом изучения физики

в центре Вселенной, а все движется вокруг нее.

Тем немногим, кто думал иначе, приходилось найти убедительные аргументы, чтобы опровергнуть доводы здравого смысла. Две тысячи лет они оставались в меньшинстве, их высмеивали, а порой и жестоко преследовали.

Множество суеверий и религиозных убеждений уходят своими корнями в объяснение наблюдаемого мира. Например, людям казалось, что солнце восходит, потому что его везет по небу

на колеснице некий сверхъестественный, божественный возничий. Наука, напротив, стремилась постичь истинную природу и причины наблюдаемого явления. Древние греки первыми попыта-



ФАЛЕС МИЛЕТСКИЙ (ок. 624 – ок. 546 гг. до н. э.)

Первым человеком, которого мы можем с полным правом назвать ученым и философом, жил более 2500 лет назад на территории современной Турции. Фалес учился в Египте. Именно он познакомил греков с математикой и астрономией. Он был одним из семи великих мудрецов Древней Греции. Фалес отличался выдающимся умом и мог быть учителем философов Пифагора и Анаксимандра. Он предположил, что у всех явлений окружающего мира есть физическая, а не сверхъестественная причина, – так начались поиски тех причин, которые определяют движение нашего мира. Поскольку ни одно сочинение ученого не сохранилось, нам трудно оценить его истинный вклад в развитие науки.

лись заменить объяснения мистические и суеверные аргументами, основанными на наблюдении и здравом смысле.

Первым человеком, который попытался объяснить устройство окружающего мира без обращения к религиозным убеждениям, мог быть Фалес, но первым истинным ученым, пожалуй, можно назвать греческого мыслителя Аристотеля (384–322 гг. до н. э.). Он был последователем эмпиризма. Аристотель полагал, что путем тщательного наблюдения и измерения можно достичь понимания законов, управляющих всем сущим. Аристотель был учеником Платона (ок. 428–347 гг. до н. э.), а Платон шел дедуктивным путем (см. врезку). Он считал, что одного лишь разума достаточно для того, чтобы человечество смогло раскрыть все тайны Вселенной. Аристотель же верил в «индуктивное мышление». Его логика строилась на наблюдении окружающего мира. Так он заложил основы научного метода.

Хотя Аристотель не предлагал проводить эксперименты, он был сторонником тщательного исследования всего, что уже было написано

*Средневековое
изображение Фалеса*

ИНДУКТИВНОЕ И ДЕДУКТИВНОЕ МЫШЛЕНИЕ

Дедуктивное мышление – это метод «сверху вниз», примером которого является подход Платона. Ученый или философ разрабатывает теорию, предлагает гипотезу для ее проверки, делает наблюдения и приходит к подтверждению (или опровержению) этой гипотезы. Индуктивное мышление начинается с наблюдения мира и попыток его объяснения на основании выявленного шаблона. Затем предлагается гипотеза, его объясняющая, от которой можно перейти к общей теории. Методы Аристотеля были индуктивными. Физик Исаак Ньютон (1642–1727) был одним из первых, кто признал, что для науки равно важны и дедуктивное, и индуктивное мышление.

по конкретной теме (то есть, говоря современным языком, предлагал провести обзор научной литературы), наблюдения и измерения. Анализ собранных данных позволял делать определенные выводы.

Греки первыми разделили науку на разные дисциплины. В огромной Александрийской библиотеке был составлен первый каталог – вещь абсолютно необходимая для обзора литературы, который Аристотель полагал необходимой частью научного исследования.

ОТ ЭМПИРИЗМА К ЭКСПЕРИМЕНТУ

В конце эллинистической эпохи (расцвета классической греческой цивилизации) популярность научного метода понимания окружающего мира стала угасать. Но в VII в. начался рас-





«Я бы предпочел найти истинную причину единственного факта, чем стать царем Персии».

Демокрит (ок. 450 – ок. 370 гг. до н. э.), философ

цвет арабской науки. Великий Ибн Хассан ибн аль-Хайтами (965–1039) разработал метод, сходный с современным экспериментальным.

Он начинал с постановки проблемы, потом проверял свою гипотезу с помощью экспериментов, толковал полученные данные и делал вывод. Он всегда оставался скептиком, готовым сомневаться во всем, и признавал необходимость жестко контролируемой системы измерений и исследований. Того же метода придерживались и другие арабские ученые. Абу Райхан аль-Бируни (973–1048) понимал, что ошибки и неоднозначные результаты могут возникнуть из-за погрешности инструментов или по вине самих наблюдателей. Он рекомендовал повторять эксперименты несколько раз – только так можно было получить верные результаты. Врач аль-Рахви (851–934) выдвинул концепцию оценки коллег. Он считал, что врачи должны описывать все свои действия и делать записи доступными для других врачей. Впрочем, главным его мотивом было не научное знание, а защита от обвинений во врачебной ошибке. Гебер (Абу Джабир, 721–815) первым использовал контролируемый эксперимент в области химии, а Авиценна (Ибн Сина, ок. 980–1037) провозгласил, что индукция и эксперимент должны быть основой дедукции. Арабские ученые ценили согласие и отвергали новаторские идеи, которые не были поддержаны другими.

Развитие ислама затормозило научные искания арабских ученых. Стремление постичь мир стало считаться богохульством, попыткой понять действия Бога и вторгнуться в священные тайны. Правоверным мусульманским ученым пришлось довольствоваться малым – большая часть научных исследований оказалась для них закрытой. А факел научной любознательности, вырванный из рук исламских натурфилософов, подхватили средневековые ученые христианской Европы.

Арабская наука и труды Аристотеля стали доступны европейцам в переводе на латынь в начале Средних веков. Ученые эпохи Возрождения в XII в. начали включать новый научный метод в собственные исследования и развивать его.

НАУЧНЫЙ МЕТОД

Научный метод, используемый в наши дни, включает в себя следующие этапы:

- Постановка проблемы или вопроса. Затем вопрос следует сузить так, чтобы его можно было проверить экспериментом или серией экспериментов.
- Формулировка гипотезы.
- Разработка эксперимента для проверки гипотезы. Эксперимент должен быть разумным испытанием с контролируруемыми переменными (которые остаются теми же самыми) и независимой переменной (условием, которое будет меняться).
- Выполнение эксперимента, запись наблюдений и измерений.
- Анализ данных.
- Формулировка выводов и представление их на суд коллег.



Но поначалу они не решались оспаривать античных гениев. Одним из первых усомнился в подобном безоговорочном принятии древних идей английский монах-францисканец Роджер Бэкон (ок. 1210 – ок. 1292). Он выступал за тщательный анализ идей прошлого. Особо он недолюбливал Аристотеля, идеи которого во многих областях воспринимали как евангельскую истину. Бэкон же заявлял, что выводы Аристотеля следует проверить. Сам Аристотель, несомненно, одобрил бы применение эмпирических методов для переоценки и проверки его трудов. В собственных научных изысканиях Бэкон следовал методу выдвижения гипотезы на основании наблюдений, а затем проведения эксперимента для проверки гипотезы. Он повторял свои эксперименты, чтобы полностью удостовериться в результатах, и тщательно описывал свои действия, чтобы их могли проверить другие ученые. Эксперимент он называл «исследованием природы». Он говорил: «Мы больше узнаем через искусное исследование природы, чем через терпеливое наблюдение».

Английский политик и философ Фрэнсис Бэкон (1561–1626), в свою очередь, предложил новый подход к науке. О нем он рассказал в 1621 г. в труде «*Novum Organum Scientiarum*» («Новый органон наук»). Он считал, что результаты экспериментов могут помочь человечеству справиться с противоречащими друг другу теориями и приблизиться к истине. Основой научного мышления он полагал индуктивное размышление. Бэкон сформулировал метод наблюдения, эксперимента, анализа и индуктивного раз-

мышления, который считается основой современного научного метода. Он начинается с отрицания – отказа от «идолов» или полученных внушений – и переходит к позитивному действию: исследованию, эксперименту и индукции.

НАУЧНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

Хотя Бэкон первым сформулировал научный метод, Галилей еще раньше использовал сходный подход к экспериментам. Он был истинным сторонником индуктивного размышления и понимал, что эмпирические свидетельства, полученные в сложном мире, никогда не совпадут с чистой теорией. Невозможно учесть все переменные, влияющие на эксперимент. Так, например, он считал, что его эксперименты с гравитацией никогда не удастся избавить от влияния сопротивления воздуха или трения. Однако стандартизация методов и измерений означает, что эксперимент может быть повторен несколько раз, возможно, разными людьми.

На основании полученных результатов можно сделать некие общие выводы. Галилей твердо верил в экспериментальный метод и готов был рискнуть

Рассказывают, что Бэкон умер, попытавшись провести первый эксперимент по заморозке цыпленка в 1626 г.: «Когда [сэр Фрэнсис Бэкон] вместе с доктором Уитерборном отправился в карете подышать свежим воздухом к Хайгейту, на земле лежал снег, и милорду пришло в голову, что мясо можно было бы сохранять в снегу, как в соли. Они решили немедленно поставить опыт. Они вышли из кареты, подошли к дому бедной женщины, расположенному у подножия Хайгейтского холма и купили курицу. Любезная хозяйка зарезала птицу и выпотрошила ее. Они набили ее снегом, и милорд вызвался сделать это сам. От снега он так замерз, что сразу же почувствовал себя очень больным... Два или три дня его лихорадило, как говорил мне мистер Гоббс, и он умер, захлебнувшись мокротой».

Джон Обри, «Краткие жизнеописания»



собственной репутацией – в 1611 г. он провел публичный опыт в подтверждение своей позиции в диспуте. Галилей поспорил с профессором из Пизы о том, влияет ли форма предметов, выполненных из одинакового материала (и, следовательно, имеющих одинаковую плотность), на их способность плавать в воде. Галилей предложил профессору провести публичную демонстрацию, заявив, что согласится с результатами эксперимента. Его противник не явился.

НАУЧНЫЕ ОБЩЕСТВА

Растущий интерес к науке привел к созданию научных обществ, которые распространялись в Европе с XVII в. Здесь велись научные беседы и проводились опыты. Первым таким обществом стала Академия деи Линчеи, созданная богатым флорентийцем Федерико Чези, который очень интересовался наукой. Хотя Чези было всего восемнадцать лет, он считал, что ученые должны изучать природу, а не только полагаться на Аристотелеву философию. Первые члены академии поселились в доме Чези, а он обеспечил их книгами и создал для них оборудованную лабораторию. Членами академии были голландский врач Иоганн Эк (1579–1630), итальянский ученый Джамбатиста делла Порта (ок. 1535–1615) и Галилей – самый знаменитый участник. В пе-

риод расцвета академия насчитывала 32 члена из всех уголков Европы. Свои цели академия в 1605 г. сформулировала следующим образом: «Приобрести знания вещей и мудрости... и мирно демонстрировать их людям... не причиняя вреда». Несмотря на это, членов академии обвинили в черной магии,



*Роберт Бойль
в молодости*



непринятии христианской доктрины и непристойном поведении. Академия деи Линчеи была предприятием сугубо личным, и, когда в 1630 г. Чези умер, она быстро распалась.

Ей на смену пришла Академия опыта. Ее в 1657 г. создали два ученика Галилея, Эванджелиста Торричелли (1608–1647) и Винченцо Вивиани (1622–1703). Эта академия тоже просуществовала недолго и закрылась через десять лет, в 1667 г. Тогда же центр научной мысли переместился из Италии в Британию, Францию, Германию, Бельгию и Нидерланды.

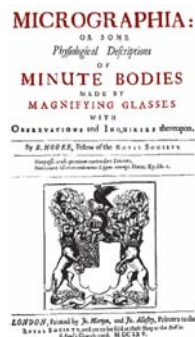
Величайшим научным обществом стало Королевское общество, созданное в Лондоне. Хотя официальной датой основания считается 1660 г., уже в 40-е гг.

«Галилей, пожалуй, в большей степени, чем кто-либо другой, способствовал рождению современной науки».

Стивен Хокинг, британский космолог, 2009 г.

Не сохранилось ни одного прижизненного портрета Роберта Гука. В 1710 г. в Королевском обществе был портрет, но его, предположительно, уничтожил Ньютон

В «Микрографии» Роберта Гука впервые была показана жизнь в мельчайших ее деталях



XVII в. в Англии существовала «незримая коллегия» ученых, собиравшихся, чтобы обсудить научные проблемы. На момент основания Королевское общество насчитывало 12 членов, среди которых были английский архитектор сэра Кристофер Рен (1632–1723) и ирландский химик Роберт Бойль (1627–1691).

В торжественной речи по поводу открытия Общества Рен говорил о создании «коллегии для развития физико-математического экспериментального знания». Общество должно было собираться еженедельно, ставить опыты и обсуждать научные вопросы. Первым куратором экспериментов стал Роберт Гук (1635–1703). Поначалу Общество не имело названия. Название же «Королевское общество» впервые появилось в 1661 г., а во Второй королевской хартии 1663 г. его называли «Королевским обществом Лондона по улучшению естественнoнаучных знаний». И это было в истории первое «королевское общество». В 1661 г. было положено начало библиотеке, а затем появился

музей научных образцов, где до сих пор хранятся срезы для микроскопа, сделанные Гуком. После 1662 г. Обществу было даровано право печатать



книги, одним из двух первых названий стала «Микрография» Гука. В 1665 г. Королевское общество выпустило первый номер журнала «Философские труды», который ныне является старейшим непрерывно выпускаемым научным журналом мира.

За Королевским обществом вскоре последовала парижская Академия наук, созданная в 1666 г. Членами общества были не только ученые – ее президентом был даже Наполеон Бонапарт. Великие научные достижения быстро стали источником национальной гордости и сценой международного соперничества. Особенно явственно это чувствовалось во Французской Республике и в наполеоновской Франции.

ЛУЧШИЙ НАУЧНЫЙ ИНСТРУМЕНТ – МОЗГ

Аристотель сумел создать модели природы материи и поведения тел в различных условиях, не имея научного оборудования и не проводя никаких экспериментов. Он опирался лишь на то, что уже было известно человечеству. В начале XX в. физик Альберт Эйнштейн (1879–1955) произвел настоящую революцию в физике и в научном взгляде на Вселенную, имея в распоряжении только ручку и бумагу. Подобно Аристотелю, он опирался на наблюдения Вселенной и создал теорию, которую в то время подтвердить экспериментально не представлялось возможным. Но, в отличие от Аристотеля, сле-



Маятник Фуко в парижском Пантеоне наглядно доказывает, что Земля вращается вокруг своей оси

дую практике, начало которой положил в 1687 г. Ньютон, Эйнштейн подкрепил свои аргументы математикой и доказал, что его система согласуется с тем, что уже известно. Его предсказания впоследствии были подтверждены наблюдениями и экспериментами. Математика давно уже применяется для проверки новых физических моделей. И в этом отношении современные физики имеют огромное преимущество перед своими предшественниками. У них есть компьютеры, которые позволяют мгновенно проводить вычисления, на которые в не столь отдаленном прошлом уходила целая жизнь. Но за всеми научными достижениями всегда стоит изобретательность и любознательность человеческого разума. Разум всегда был двигателем прогресса – и в современных университетах и научных лабораториях, и в академиях Древней Греции.



Микроскоп Роберта Гука



ГЛАВА 1

Мысль, управляющая **МАТЕРИЕЙ**



Глядя на твердый предмет, трудно представить, что он состоит из множества мельчайших частиц и пустого пространства. Стоит задуматься, и нам открывается еще более странная вещь: эти частицы сами по себе больше пространство, чем материя. Идея о том, что материя не непрерывна и содержит в себе много пустого пространства, – а это довольно точное описание современной атомной теории, – была впервые высказана около 2500 лет назад. Но, несмотря на это, атомная теория была принята большинством ученых лишь чуть более сотни лет назад. А до этого атомная концепция не принималась, осуждалась и даже высмеивалась.

«Церера и четыре элемента», Ян Брейгель Старший (1569–1625)



Первый физик?

Истоки «натурфилософии» – или физики, как называем мы эту науку сегодня – лежат, по-видимому, в древних Афинах, как и истоки многого, что составляет западную культуру. Первым человеком, которого мы могли бы назвать физиком, был Анаксагор, живший в V в. до н. э. В те времена, когда логика находилась еще в младенчестве, он пытался объединить множество наблюдений и результатов своих экспериментов в логическую схему, которая позволила бы понять и объяснить природу мира. Анаксагор считал, что в материальной Вселенной нет места суевериям или божественному вмешательству. В его схеме все поддавалось объяснению рационального разума – эту модель по праву можно назвать научной. Ограничившись лишь той материей, которую можно было воспринять, Анаксагор дал физикам способ анализа видимого физического мира, который просуществовал почти 2500 лет.

СЕМЕНА ВЕЩЕЙ

Для Анаксагора основой естественного мира являлось изменение. Он видел, что все вокруг находится в постоянном движении, одно переходит в другое – и так без конца. Он утверждал, что материя не может возникнуть из ничего и не может превратиться в ничто. Это убеждение он разделял с более ранними мыслителями – Фалесом Милетским и Парменидом (ок. 515 г. до н. э. – ок. 445 г. до н. э.). Гораздо позже ту же мысль высказал французский химик Антуан Лавуазье (1743–1794) в законе сохранения массы (см. стр. 30).

Более того, Анаксагор утверждал, что вся материя состоит из одних и тех же фундаментальных компонентов – существенных свойств и, возможно, «семян»

«Ничто родит ничто».

Шекспир «Король Лир», акт 1, сцена 1
(пер. М. Кузмина)

основных субстанций. Свойства всегда существовали парами полярных противоположностей: горячий – холодный, темный – светлый, сладкий – кислый. Количество каждого свойства в целом всегда оставалось одинаковым. Семена представляли собой органическую материю (кровь, плоть, кора, мех).

Анаксагор считал, что любая часть материи, сколь бы малой она ни была, обладает всеми возможными свойствами (или материалами). А это означает, что она должна быть способна к бесконечному делению. Преобладающие свойства очевидны и придают веществу его наблюдаемые характеристики. Остальные же свойства латентны. Так, дерево в большей степени обладает корой, чем мехом, но содержит в себе и то, и другое – просто меха в нем недостаточно, чтобы оно по-настоящему стало «меховым». Вот почему любое вещество можно создать из любого другого – потребуется всего лишь иная пропорция всех свойств (или материалов), и появится новое вещество.

Ум, одушевляющий материю

Анаксагор добавил в этот плавильный котел идей еще один дополнительный компонент – ум, или *nous*. Он считал, что ум представлен не во всей материи, но только в вещах одушевленных (живых или обладающих сознанием). Впрочем, ум исполнял дополнительную роль: в начале вещей материя не разделялась на разные вещества, а представляла собой однородное смешение частиц, которое с помощью принципа ума было



АНАКСАГОР
(ок. 500 г. до н. э. –
ок. 430 г. до н. э.)

Анаксагор родился в Ионии, на западном побережье современной Турции. В Афины приехал в возрасте 20 лет и сразу же вошел в интеллектуальную элиту. Он стал близким другом и наставником Перикла, политического правителя Афин в период расцвета города (454–431 гг. до н. э.). Анаксагор преподавал натуральную философию и написал трактат по этой науке, которым впоследствии пользовался греческий философ Сократ (479–399 гг. до н. э.). Его слава распространилась повсюду, а страсть к интеллектуальному знанию и пренебрежение плотскими и социальными наслаждениями были столь же знамениты, как и его учение. Анаксагор был настолько предан жизни интеллектуальной, что не обращал внимания ни на что другое, и все его огромное наследство пошло прахом.



Несмотря на то, что Анаксагор занимал видное положение в интеллектуальной элите Афин, примерно через 30 лет он покинул город, и о его дальнейшей жизни нам известно очень мало. Он умер в городе Лампсаке в возрасте около 70 лет, а его влияние впоследствии ощущалось в течение целого века.



В модели Анаксагора в любом естественном объекте, например, в этом барсуке, содержатся семена меха, крови и костей, одушевленных поис, то есть «умом». В неодушевленном объекте те же семена содержатся в иных пропорциях, а «ума» нет вовсе.



рассортировано на «правильную» материю. Все это ужасно похоже на создание мира божественной силой, хотя Анаксагор твердо заявлял, что в его представлении о мире нет места ни для суеверий, ни для религии. Его «ум» был не разумным творцом, но своего рода вдохновляющим элементом, который приводит в движение физические силы, воздействующие на элементарную материю, заставляя ту разделяться, дифференцироваться и образовывать тела, такие как Земля и Солнце. Точно понять роль ума в этой модели трудно, поскольку полных текстов Анаксагора не сохранилось. Однако Платон утверждает, что Сократ купил экземпляр труда Анаксагора, считая, что в нем содержится объяснение,



Когда дерево горит, составляющие его компоненты кардинально меняют свою организацию

основанное на созидающей роли разума, но был им весьма разочарован.

ВСЕ МЕНЯЕТСЯ

У Анаксагора имелась модель, в которой материя не могла быть создана или уничтожена, но в которой изменчивость окружающего мира объяснялась изменением положения материи с течением времени. Если дерево срубить и из древесины сделать лодку, то материя будет перемещена и реорганизована, но сохранит свой тип и качество (считая лодку, обрезки дерева и опилки). Другие изменения требуют более серьезной реорганизации: например, если дерево поджечь, то получится зола, водяной пар и дым – совершенно не похожие на дерево. Поскольку каждый объект содержит (в разных пропорциях) все возможные типы материи и качеств, то всегда возможно выделить из любого объекта любой тип материи: так растение может расти из почвы, реорганизуя или извлекая различные виды материи.

Анаксагор понимал, что для работы такой модели составляющие части материи (семена) должны быть чрезвычайно малы, поскольку иначе те виды перемен, которые мы наблюдаем каждый день, были бы невозможны. Однако чрезвычайно маленькие размеры компонентов материи представляли для модели Анаксагора непреодолимые проблемы.

НЕДЕЛИМЫЕ ЧАСТИЦЫ

Слово «атом» происходит от древнегреческого слова «atomos», что означает «неделимый». Предположение о том, что все состоит из мельчайших неделимых частиц, встречается еще в работах Левкиппа и его ученика Демокрита, датируемых V в. до н. э. О Левкиппе нам известно намного меньше, чем о Де-



мокрите (ок. 460 г. до н. э. – ок. 370 г. до н. э.).

Греческий философ Эпикур (341–270 гг. до н. э.) вообще сомневался в том, что Левкипп когда-то существовал. Мы не можем сказать, какова его роль в создании атомной модели. Атомизм утверждает, что Вселенная состоит из материи, складывающейся из крохотных неделимых частиц, которые существуют в пустоте. Атомы любого конкретного вещества имеют одинаковые размеры и форму, в их основе один материал.

Если атомы – это крохотные однородные (гомиомерные) частицы, то возникает очевидный вопрос: почему они неделимы? Если у Демокрита и был ответ, то до нас он не дошел. Возможно, атомы, будучи однородными, не имели в своем составе внутренней пустоты, какая существует в больших объемах материи между ее атомами. Поэтому разделить атомы невозможно.

В такой модели материи, состоящей из бесконечно малых частиц, есть внутренний парадокс. Под бесконечной малостью Анаксагор понимал, что частицы меньше, чем любое малое число, но больше нуля. Но при этом он верил в то, что каждый объект состоит из бесконечного количества частиц, и сколь бы малую часть мы ни брали, в ней всегда будут присутствовать все виды материи. Если же атомы или семена не имеют

расширения в пространстве (нулевой размер), то даже бесконечное их количество не сможет создать материю конечного размера. Эта дилемма представляла неразрешимую проблему для более поздних мыслителей Древней Греции, что завело атомную модель в такие дебри, из которых она не могла выбраться целых 2000 лет.

ВЕЩИ И НЕ-ВЕЩИ

Атомизм весьма сходен с моделью Анаксагора, но при этом он утверждал, что вся материя плавает в воздухе или эфире (см. стр. 22), который представляет собой физическое вещество. Атомисты же утверждали, что частицы материи существуют в пустоте. Демокрит (или Левкипп) первым сформулировал концепцию пустоты, поскольку она была необходима для того, чтобы материя двигалась: во Вселенной, заполненной материей, каждый клочок пространства уже был занят и не мог быть занят чем-то другим, что туда переместилось. Когда объект движется, он не только перемещается в пустое пространство или смещает что-то другое в пустое пространство, но еще и оставляет пустое пространство за собой. Если ранние мыслители отрицали наличие пустоты («чего нет»), Демокрит полагался на свидетельства собственных чувств. Мы все знаем, что предметы перемещаются, следовательно, концепция

ГОМИОМЕРЫ

Анаксагор и более поздние греческие мыслители различали вещества, которые либо являлись гомиомерами (однородными), либо не являлись. Гомиомерным они называли вещество, в котором все частицы подобны целому. Так, самородок золота гомиомерен, потому что сколь бы малую часть его мы ни взяли, она будет обладать свойствами всего самородка. Дерево или корабль не гомиомерны, поскольку могут быть разделены на части, обладающие разными характеристиками. С современной точки зрения, гомиомеры – это элементы и чистые химические соединения.



АРИСТОТЕЛЬ (384–322 гг. до н. э.)

Аристотель родился в македонском городе Стагира в семье придворного врача. В раннем возрасте он осиротел. В Афины Аристотель прибыл в возрасте около 18 лет – по совету Дельфийского оракула



он хотел учиться в академии Платона. Он стал лучшим и, несомненно, самым знаменитым учеником Платона. В 342 г. до н. э. Аристотель вернулся в Македонию и стал наставником сына царя Филиппа II, Александра – великого Александра Македонского. Аристотель изучил работы ранних греческих мыслителей, а затем сформулировал собственные концепции: он взял то, что считал правильным, и пошел дальше. Аристотель работал практически во всех сферах знания, включая физику. Его учение сохранили арабские ученые, а в XII–XIII вв. в переводе на латынь его труды вновь вернулись в Европу. Научные идеи Аристотеля доминировали в западной науке до XVIII в.

пустоты истинна. Более того, мы видим, что Вселенная состоит из множества объектов (в ней присутствует множественность), тогда как, если бы пустоты не существовало, вся материя была бы едина и неразрывна. Множественность и изменения требуют пустоты.

Атомная и элементарная материя

Для современного человека атомы и элементы – это части одной и той же модели Вселенной. Элементы – это чистые химические вещества, состоящие из идентичных атомов: все золото состоит из атомов золота, весь водород состоит из атомов водорода. А вот соединения содержат атомы двух или более элементов: например, углекислый газ состоит

из атомов углерода и кислорода. В древних теориях материи атомы и элементы принадлежали разным моделям.

ЧЕТЫРЕ ЭЛЕМЕНТА ИЛИ ПЯТЬ

Эмпедокл (ок. 490 г. до н. э. – ок. 430 г. до н. э.) считал, что все состоит из четырех «корней»: земли, воздуха, воды и огня. Эту модель переработал и усовершенствовал Аристотель, величайший и наиболее влиятельный мыслитель в истории Запада.

Платон переименовал четыре корня в «элементы», и Аристотель пользовался именно этим термином. Каждый элемент характеризовался двумя свойствами из естественных противоположностей: холодный – горячий, влажный – сухой. Так, земля – холодная и сухая,



вода — холодная и влажная, воздух — горячий и влажный, а огонь — горячий и сухой. Эти свойства формировали также основу модели болезни и здоровья: такую модель, основанную на четырех «соках», предложил Гиппократ (ок. 460 г. до н. э. — ок. 377 г. до н. э.), и она просуществовала до XIX в.

В соответствии с элементарной теорией, вся материя естественным образом занимала пространство, связанное с ее элементами, и тянулась к своему естественному пространству. Земля занимала низшее положение, огонь — самое высокое, а вода и воздух располагались между ними. Это объясняло и некоторые типы движения в физическом мире: тяжелые объекты падают на землю, так как их основной элемент — земля; дым представляет собой огонь



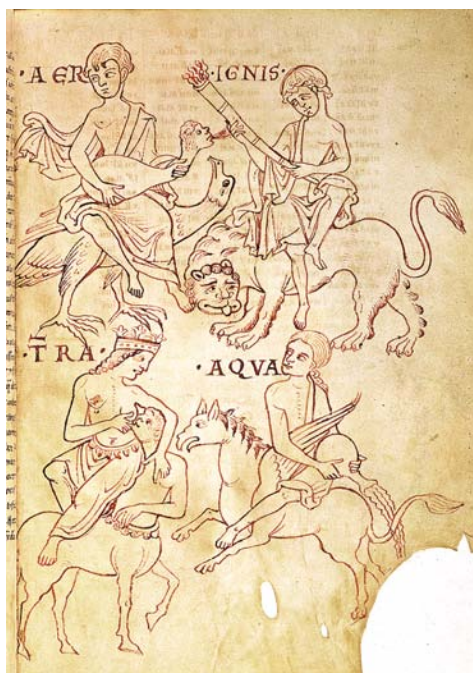
Ярко окрашенный металл медь состоит только из атомов меди. Синие кристаллы сульфата меди состоят из атомов меди, серы и кислорода



и воздух, занимающие верхнее положение, поэтому он поднимается вверх. Как только элемент займет естественное положение, он перестанет двигаться, пока что-то не заставит его сделать это.

Помимо четырех элементов существовал еще совершенно особый пятый («квинтэссенция»), называемый «эфиром». Концепция «эфира» никогда не исчезала, хотя на протяжении тысяч лет то входила в научный оборот, то выходила из него (см. стр. 22).

Хотя, как это понятно сейчас, атомистическая модель Демокрита была гораздо ближе к реальности, Эмпедокл, Платон и Аристотель отдавали предпочтение более популярной теории четырех элементов. Когда арабские мыслители раннего Средневековья возродили идеи Древней Греции, они стали развивать элементарную модель. Их труды были переведены на латынь и другие европейские языки и оставались крае-



Аллегорическое изображение четырех элементов в манускрипте XII в.



угольным камнем представления о природе материи более 2000 лет.

П-п-ПЕРЕМЕНЫ

Хотя Парменид не учитывал переменны, а атомисты утверждали, что для измене-

ЭФИР: 2500 ЛЕТ НЕОБНАРУЖИВАЕМОГО ЭЛЕМЕНТА

Понятие «эфира» или «квинтэссенции» впервые появилось в философии Древней Греции. Этот пятый элемент принадлежал небесам и не являлся частью земной материи. Он считался средой обитания богов, был неизменным и вечным. Предполагалось, что он может двигаться только кругами, поскольку круг – это идеальная форма. Существование небесных тел объяснялось различиями плотности эфира. Великий французский философ и математик Рене Декарт (1596–1650) полагал, что зрение – это передача глаза давления, оказываемого на эфир. Концепцию эфира возродил в XIX в. шотландский ученый Джеймс Клерк Максвелл (1831–1879) – с его помощью он объяснял перемещение света и других форм электромагнитного излучения.

Голландский физик Хендрик Лоренц (1853–1928) в 1892–1906 гг. разрабатывал теорию абстрактной электромагнитной среды, но когда Альберт Эйнштейн в 1905 г. опубликовал свой труд по теории относительности, Лоренц окончательно отказался от теории эфира.

Не так давно ряд космологов вновь предложили идею некоего эфира, пронизывающего космос. Возможно, этот эфир связан с темной материей.

ния материи необходима пустота, Аристотель стал считать переменной трансформацию состояний.

Этот процесс включал в себя равным образом «становления» и «переставания быть» – вариант сохранения массы. Чтобы блок камня или бронза могли стать статуей, они должны перестать быть блоком или металлом и стать статуей. Чтобы стать мужчиной, мальчик должен перестать быть ребенком. Любой изменяемый объект уже обладает потенциалом стать чем-то другим, и этот потенциал реализуется, когда объект меняется. И тогда он теряет потенциал становления и обретает «актуальность».

Индийский атомизм

Греки были не единственными мыслителями, пришедшими к атомной теории. Индийские философы также полагали, что материя может состоять из крохотных частиц. Неясно, кто был первым – греки или индийцы, работали ли они независимо друг от друга или имелось взаимное влияние. Индийский философ Канада (Кашьяпа) жил в VI или II в. до н. э. (историки не пришли к единому мнению). Если верно первое предположение, то атомизм Канады намного опередил греческую традицию и мог повлиять на нее.

Теория атомов Канады дополняла элементарную теорию в том, что он предложил пять разных типов атомов, по одному для каждого из пяти элементов индийской модели материи – огня, воды, земли, воздуха и эфира, как и в модели Аристотеля. Атомы – или *парману* – притягиваются друг к другу и группируются вместе. Двухатомная частица, *двинука*, обладает свойствами, принадлежащими каждому компоненту; затем эти частицы соединяются в трехатомные кластеры, которые являются



КАНАДА (КАШЬЯПА)

Индийский философ Канада родился в индийском городе Гуджарат. При рождении он получил имя Кашьяпа, но в детстве гуру Муни Сомасхарма дал ему имя Канада (от слова «кана», что означает «зерно»), потому что мальчика всегда увлекали мелкие вещи. Более всего его занимала алхимия

(см. стр. 26). Канада предложил атомную теорию материи, которая, по легенде, явилась ему, когда он ел что-то во время прогулки и разбрасывал крошки. В этот момент он понял, что, хотя сам не может разделить пищу на более мелкие кусочки, но крошки должны состоять из неделимых атомов.

мельчайшими видимыми компонентами материи. Разнообразие свойств материи объяснялось различными комбинациями и пропорциями пяти типов *парману*. Представления Канады были развиты школой Вайсешика, согласно учению которой атомы могли представлять собой комбинацию 24-х возможных свойств. Химические и физические изменения материи происходят в результате рекомбинации *парману*.

В отличие от греческих философов, Канада считал, что атомы возникают или прекращают существование постоянно, но не могут быть уничтожены физическими или химическими средствами.

Джайнистская теория атомизма возникла

в I в. до н. э. или ранее. Согласно этой теории, весь мир, за исключением души, состоит из атомов, каждый из которых обладает одним вкусом, одним

запахом, одним цветом и двумя видами осязательных характеристик. Джайнистские атомы находились в постоянном движении – обычно по прямой, хотя могли двигаться и по кривой, если попадали в область притяжения других атомов. Существовала также концепция полярных зарядов: частицы обладали гладкостью или шероховатостью, что позволяло им соединяться вместе. Атомы могли сочетаться и образовывать шесть «субстанций»: землю, воду, тень, чувственные объекты, кармическую материю и непригодную материю. У джайнов имелись сложные теории поведения, реакции и комбинации атомов.

Исламский атомизм

Неважно, чья теория была первой – индийская или греческая, обе они были объединены древними исламскими учеными. Учения древних греков сохранились в Восточной Римской (Византийской) империи и были возрождены арабскими учеными, которые перевели и истолковали многие их труды. Существовало две основных формы ис-



Аль-Газали был ашаритом. Эта секта верила в то, что человеческий разум не может постичь истин о физическом мире без божественного откровения

ламского атомизма: одна была ближе к индийской, другая – к Аристотелевой. Наиболее успешной можно считать ашаритскую теорию аль-Газали (1058–1111). Аль-Газали считал, что атомы – это единственные материальные объекты, которые вечны; все остальное живет лишь мгновение и является «случайным». Случайные объекты не могут быть причиной чего-либо, кроме восприятия.

Родившийся в Испании несколькими годами позже исламский философ Аверроэс (ибн-Рушд, 1126–1198) отверг модель аль-Газали и дал подробное толкование идей Аристотеля. Влияние Аверроэса на средневековую философию было огромным. Он в значительной степени способствовал включению идей Аристотеля в христианскую и иудейскую науку.

Многие арабские труды были переведены на латынь в раннем Средневековье – так Западная Европа познакомилась с античной греческой философией. Идеи Аристотеля были восприняты католической церковью, поскольку они не противоречили напрямую ни Библии, ни трудам влиятельных христианских мыслителей. Так была сформирована основа приемлемых научных и философских моделей, которые существовали на Западе вплоть до Ренессанса, когда европейские мыслители, наконец, начали оспаривать и проверять учение древних.

Воображаемый спор между Аверроэсом (слева) и философом-неоплатоником Порфирием, который умер за 800 лет до рождения Аверроэса



ОТ АТОМОВ К КОРПУСКУЛАМ

В XIII в. некий алхимик, известный под именем Псевдо-Гебер, сформулировал теорию материи, основанную на крохотных частицах, которые он назвал «корпускулами». (Странное имя Псевдо-Гебер произошло так: алхимик подписывал свои работы именем Гебер – латинизированной формой имени исламского алхимика VIII в. Джабира ибн-Хайяна, хотя его тексты не являлись переводами трудов Гебера.) Псевдо-Гебер полагал, что все физические материалы обладают внутренним и внешним слоями корпускул. Он считал, что все металлы состоят из корпускул ртути и серы – в разных пропорциях. Эта его идея и легла в основу алхимии (см. врезку на стр. 26), поскольку она означала, что во всех металлах содержатся компоненты, необходимые для превращения в золото – нужно лишь правильно их очистить или реорганизовать.

Идеи, сходные с предложениями Псевдо-Гебера, высказывал Николай из Отрекура (ок. 1298 – ок. 1369). В то время интеллектуальным центром Европы был Париж, и именно там Николай одержал победу в споре, касавшем



ся делимости или неделимости континуума. Этот вопрос возник из утверждения Аристотеля о том, что континуум не может состоять из неделимых частиц. Николай считал, что вся материя, пространство и время состоят из атомов, точек и секунд, и все изменения являются результатом реорганизации атомов.

Ряд взглядов Николая был неприемлем для Церкви. В 1340–1346 гг. его предали суду, и после он пересмотрел свои идеи. Он считал, что любое движение является внутренним качеством движущегося объекта (поскольку движение сведено к движению частиц). Его представление о гранулированной материи, состоящей из отдельных частиц, не было принято и развито только более поздними мыслителями.

В XVII в. популярность приобрела другая разновидность раннего атомизма, которую поддержали в числе других ирландский химик Роберт Бойль, французский философ Пьер Гассенди (1592–1655) и Исаак Ньютон. Корпускулярная теория отличалась от атомизма тем, что корпускулы не могли быть неделимыми. Сторонники алхимии (в том числе и Ньютон) использовали делимость корпускул для объяснения того, как ртуть может проникать между частицами других металлов, прокладывая путь для их превращения в золото. Сторонники корпускулярной теории утверждали, что наше восприятие и опыт окружающего мира являются результатом действия мельчайших частиц материи на наши органы чувств.



Пьер Гассенди был сторонником корпускулярной теории

ОТ КОРПУСКУЛ НАЗАД К АТОМАМ

Атомизм возродился лишь после того, как Пьер Гассенди изложил свой скептический взгляд на мир, где все происходит в силу движения и взаимодействия мельчайших частиц, подчиняющихся законам природы.

Разумных существ из своей схемы Гассенди исключил, но во всех других отношениях опубликованная им в 1649 г. теория была поразительно точной. Он считал, что свойства материи определяются формами атомов, что атомы могут соединяться в молекулы, что они существуют в огромной пустоте, следовательно, большая часть материи в действительности является не-материей. Идеи Гассенди оказались не столь оцененными, как следовало бы, поскольку значительно более влиятельный Декарт утверждал обратное. Он решительно отвергал идею пустоты. Впрочем, в одном Гассенди и Декарт были едины: оба считали, что мир устроен механистически и управляется законами природы.

Через несколько лет после смерти Гассенди Роберт Бойль вновь вернулся к атомизму. В 1661 г. он опубликовал трактат «Химик-скептик», в котором заявлял, что Вселенная состоит исключительно из атомов и соединений атомов, находящихся в постоянном движении. Бойль утверждал, что все явления – это результат столкновений между движущимися атомами. Он призывал хими-



ков изучать элементы, которых, как он подозревал, было намного больше, чем четыре выявленных Аристотелем.

ВЕК РАЗУМА

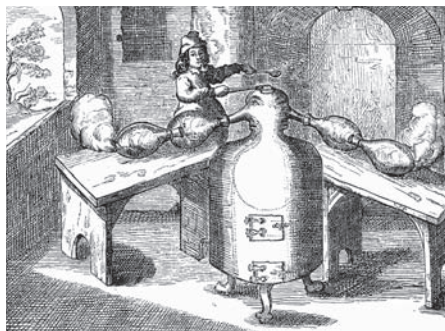
Веком разума называют период, который начался примерно в 1600 г., когда в деятельности человечества ведущую роль стали играть философские учения Западной Европы и новых колоний в Америке.

Расцвет оптимизма и достижений эпохи Ренессанса продолжился. Если в Средние века человечество считало себя сборищем несчастных грешников, то в век разума люди начали гордиться своими достижениями и потенциалом. Век разума стимулировал развитие науки, техники, философии, политического мышления и искусства и сам питался этими достижениями.

Философию того периода иногда делят на два лагеря – рационалистов и эмпириков. Рационалисты полагали, что путь к знанию прокладывает разум, эмпирики же во всем полагались на наблюдение окружающего мира. В некотором роде эти разногласия напоминают расхождения между Платоном (рационалист) и Аристотелем (эмпирик) в античной философии. Эмпирический взгляд вел прямо к научным опытам и наблюдению, а рационализм отдавал предпочтение математическим и философским подходам. Впрочем, четкой границы между двумя подходами не существует, поскольку выводы, сделанные методом рационалистической дедукции, часто изменялись в результате испытания их эмпирическими методами. Вместе эти подходы сформировали основу научной революции. Развитие научного метода –

АЛХИМИЯ

Главные цели философских и научных изысканий алхимии заключались в превращении различных металлов в золото и в создании эликсира жизни. Важнейшим компонентом эликсира жизни считался сказочный философский камень. Он же был необходим и для превращения в золото. Алхимия в разных своих вариантах существовала в Древнем Египте, Месопотамии, Древней Греции, Китае и на исламском Ближнем Востоке, а также в эпоху Ренессанса. Из алхимии родились современная химия и фармакология. Изготовление лекарств было основным занятием китайских алхимиков. Чаще всего в золото пытались превра-



Алхимик в своей лаборатории занимается дистилляцией

тить свинец, но использовались и другие металлы. Естественно, ни у одного алхимика ничего не вышло.



СИЛА НИЧЕГО

Немецкий ученый Отто фон Герике (1602–1686) изобрел – или открыл – ничто. В буквальном смысле слова. Он доказал существование вакуума, что ранее категорически отрицалось. После ряда опытов с мехами он сконструировал воздушный насос и в 1654 г. устроил зрелищную демонстрацию в присутствии императора Фердинанда III. Он сложил металлические сферы из двух полушарий и откачал из них воздух. А потом он продемонстрировал силу вакуума или, скорее, силу атмосферного давления. Даже две лошади не смогли оторвать полушары друг от друга.



*Роберт Бойль в 1689 г., за два года до смерти.
В это время он уже был серьезно болен*

одного из триумфов века разума – навсегда изменило путь научных открытий.

Рождение физики твёрдого тела

Принятие идеи о том, что материя состоит из крохотных частиц, будь то атомы или корпускулы, ведет к очевидным вопросам: какова форма этих частиц?

Как они соединяются, образуя цельную материю?

Как взаимодействуют разные виды материи? Как физические изменения (таяние, замораживание, высушивание) связаны с моделью частиц? Физики XVII в. рассчитали модели структуры материи, наблюдая свойства и поведение веществ. Иногда эти наблюдения

«[Роберт Бойль] очень высок (около шести футов) и строен, очень сдержан, добродетелен и скромнен. Он холостяк, держит карету, живет со своей сестрой, леди Рэнело. Главная радость его жизни – химия. В доме сестры он устроил прекрасную лабораторию, и несколько слуг (его ученики) присматривают за ней. Он покровительствует испытывающим нужду. Иностранцы химикам отлично знают его щедрость: он не жалеет средств, чтобы разузнать редкий секрет. За свои деньги он перевел на арабский язык Новый Завет и напечатал книгу для магометанских стран. Он пользуется высокой репутацией не только в Англии, но и за границей. И когда приезжают иностранцы, многие хотят встретиться с ним».

Джон Обри, «Краткие жизнеописания»

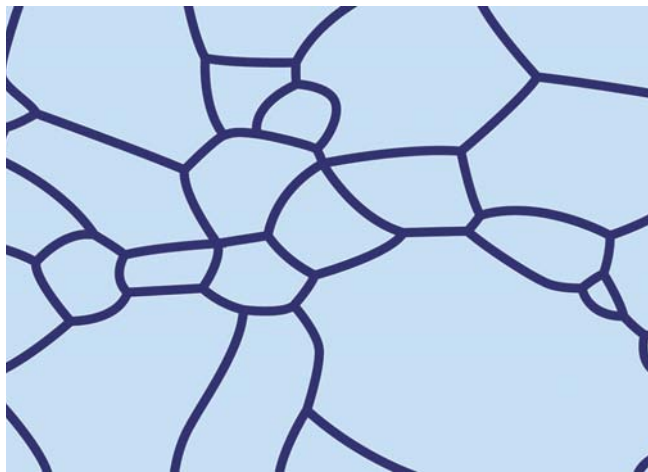


«В природе существуют агенты, способные сжимать вместе частицы тел весьма сильными притяжениями. Обязанность экспериментальной философии их разыскать. Мельчайшие частицы материи могут сцепляться посредством сильнейших притяжений, составляя большие частицы, но более слабые; многие из них могут также сцепляться и составлять еще большие частицы с еще более слабой силой – и так в ряде последовательностей, пока прогрессия не закончится самыми большими частицами, от которых зависят химические действия и цвета природных тел: при сцеплении таких частиц составляются тела заметной величины. Если тело плотное, способно изгибаться и поддается внутрь под давлением, без скольжения его частей – оно твердое и упругое и восстанавливает свою фигуру силою, возникающей от взаимного притяжения его частей. Если части скользят легко и подходящего размера для движения посредством тепла, тепло же достаточно велико для поддержания частей в движении – тело жидкое».

Исаак Ньютон, «Оптика», Лондон 1718 г. (пер. С. И. Вавилова)

приводили их к весьма причудливым выводам.

Наблюдая за ковкой металла, Декарт сделал вывод о том, что частицы железа каким-то образом соединяются в зерна, и сцепление внутри этих зерен сильнее, чем между зернами. Но Декарт не заметил, что «зерна» в ковном железе образуют кристаллическую структуру. Эту структуру теоретически могли выявить микроскопы, но они получили широкое распространение лишь во второй половине XVII в.



Но даже и тогда использовались преимущественно для биологических исследований. Конечно, никакой микроскоп не мог показать формы атомов или молекул.

Физик-картезианец Жак Рого (1618–1672) в 1671 г. предположил, что частицы пластичных (или ковких) материалов имеют сложную поверхность, что позволяет им сцепляться друг с другом. У хрупких же материалов поверхность частиц простая, и они соприкасаются друг с другом лишь в нескольких точках. В 1722 г.

французский мыслитель Рене Антуан Фершо де Реомюр (1673–1757) установил, что вопреки прежним представлениям, сталь – это не очищенное железо, но железо, к которому добавлены «серы и соли», а частицы этих веществ располагаются между частицами железа.

Микроструктура стали: ученые XVII в. не рассматривали металлы под микроскопом



*Современное изображение
плавки железа, какой ее мог
видеть Декарт*

Поскольку полагаться физикам приходилось лишь на собственное воображение, они порой делали невероятные предположения о форме частиц. Николас Хартсекер (1656–1725) в 1696 г. утверждал, что воздух состоит из полых шариков, собранных в кольца; хлорид ртути – это шарик ртути, утыканный иглами или лезвиями из соли и купороса, а частицы железа снабжены зубцами, которые при остывании сцепляются.

Он полагал, что железо плавится при нагревании, так как его частицы разделяются и начинают скользить относительно друг друга. Осознание структуры материи было игрой, и Хартсекер в заключение призывал своих читателей присоединиться к ней: «Я не желаю лишать читателя удовольствия самостоятельных изысканий в соответствии с изложенными выше принципами».



*Душа мира! Вдохновленные тобой
Разрозненные семена материи соединились,
Разбросанные атомы слились, и тогда
В согласии с законами истинной пропорции
Из разных частей родилась
единая прекрасная Гармония.*

Николас Брейди,
«Ода святой Цецилии», ок. 1691 г.

Атомы и элементы

Роберт Бойль совершенно справедливо советовал химикам искать новые элементы, не ограничиваясь землей, водой, воздухом и огнем. Но прошло немало времени, прежде чем появилась таблица химических элементов. Первую современную работу



АНТУАН-ЛОРАН ДЕ ЛАВУАЗЬЕ (1743–1794)

Антуан Лавуазье (так его называли после Французской революции, когда носить сложное аристократическое имя стало опасно) был сыном богатого адвоката и сам тоже изучал юриспруденцию. Но затем он увлекся наукой – сначала геологией, а затем его главным увлечением стала химия. У него была собственная лаборатория. Его дом стал центром притяжения людей свободомыслящих и ученых.

Лавуазье называют отцом современной химии. Его достижения значительны и разнообразны. Он выявил ряд элементов, описал роль кислорода и сходные реакции в процессах горения и дыхания. Его работы опровергали популярную древнюю теорию флогистона (вещества, которое якобы высвобождается при горении материи – см. стр. 86).

В политическом отношении Лавуазье был либералом, сторонником идеалов, которые привели к Французской революции. Он работал в комитете по экономическим реформам и предлагал улучшения условий в парижских тюрьмах и больницах, но это его не спасло. Во времена Большого террора в 1794 г. он был казнен на гильотине. Рассказывают, что Лавуазье просил отложить казнь, чтобы закончить свои эксперименты, но ему сказали: «Республика не нуждается в ученых». Говорят также, что он попросил помощника сосчитать, сколько раз он моргнет, когда его голова будет отделена от тела, но эта история, скорее всего, апокриф.

*Антуан Лавуазье –
первый настоящий
химик*



по химии выпустил в 1789 г. Антуан Лавуазье. В нее он включил список из 33 элементов – веществ, которые не поддавались дальнейшему разделению. К сожалению, в списке Лавуазье числились и такие элементы, как свет и «теплород» – некий флюид, который своим движением приводит к потере или увеличению тепла (см. стр. 89).

Лавуазье не считал составленный им список элементов окончательным, призывая к дальнейшим исследованиям и новым открытиям. Не сумел он и организовать свой список элементов в периодическую таблицу – это в 1869 г. сделал русский химик Дмитрий Менделеев (1834–1907). Периодическая таблица элементов важна для истории физики, поскольку в ней элементы расположены в соответствии с их свойствами, раскрыто значение атомного числа и его связь с валентностью – способом соединения элементов друг с другом.

Будучи эмпириком, Лавуазье утверждал, что в своей работе он «пытался... найти истину путем соединения фактов и с максимальной силой подавить размышления, которые часто являются ненадежным, обманывающим нас инструментом, чтобы уверенно следовать за факелом наблюдения и эксперимента». Еще один вклад Лавуазье в понимание



химических реакций на атомном уровне – это закон сохранения массы, понимание того, что в процессе химической реакции масса никогда не теряется и не прирастает. Но несмотря на составленный список элементов, Лавуазье не верил в атомы, считая эту теорию философски невозможной.

ВСЕ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО

Признание существования атомов – это хорошее начало, но, чтобы из них получилась материя и большее количество элементов, чем выявил Лавуазье, необходимы были способы их соединения. Соединение атомов в группы оставалось загадкой для ранних атомистов. Ньютон писал о неких «агентах природы», которые могут соединять атомы.

Первым шагом к разгадке стало определение соотношений атомов в химических соединениях. Французский химик Жозеф Пруст (1754–1826) вывел закон постоянных отношений – с 1798 по 1804 гг. он, занимая пост директора королевской лаборатории в Мадриде, провел множество экспериментов. Согласно его закону, в любом конкретном химическом соединении элементы всегда присутствуют в неизменном массовом соотношении.

Через несколько лет после гибели Лавуазье английский химик Джон Дальтон (1766–1844) развил

*Отто фон Герике
проводит эксперимент
по демонстрации вакуума*

«Потребовалось лишь мгновение, чтобы отсечь эту голову, но не хватит и века, чтобы появилась другая, подобная ей».

Математик и астроном Жозеф-Луи Лагранж
о казни Лавуазье, 1794 г.

эту идею и заложил основы современной атомной теории. Свою работу он начал в 1803 г. и опубликовал в 1808 г. В ней он сформулировал пять наблюдений:

- Все элементы состоят из атомов.
- Все атомы каждого элемента идентичны.
- Атомы одного элемента отличаются от атомов всех остальных элементов и могут быть определены по своему атомному весу.
- Атомы не могут быть созданы, уничтожены или разделены в результате химических процессов.
- Атомы одного элемента могут сочетаться с атомами другого элемента, образуя химическое соединение; соединение всегда содержит химические элементы в постоянном отношении.

Дальтон сформулировал закон кратных отношений. Он не стал изучать





конкретное соединение, состоящее из двух элементов, а стал изучать элементы, которые могут сочетаться по-разному. Он обнаружил, что относительные пропорции всегда являются небольшими целыми числами. Так, например, углерод и кислород могут образовывать монооксид углерода (CO) или диоксид углерода (CO₂).

Используя веса соединений кислорода и углерода, можно определить пропорцию: в CO она составляет 12:16, а в CO₂ – 12:32. То есть соотношение кислорода в CO к кислороду в CO₂ составляет 1:2.

Из пропорций масс элементов в химических соединениях можно было определить относительные атомные массы. Дальтон вычислил атомную массу в соответствии с массой каждого элемента в соединении. В качестве базовой единицы (1) он использовал водород. Но он ошибочно предположил, что простые соединения всегда образуются в соотношении 1:1, поэтому формула воды у него получилась HO, а не H₂O, в результате чего в его таблице атомных чисел появились серьезные ошибки. Дальтон также не понимал, что некоторые элементы существуют как двухатомные молекулы (то есть в парах, как, например, O₂). Ошибки Дальтона были исправлены в 1811 г., когда итальянский химик Амедео Авогадро (1776–1856) понял, что в фиксированном объеме любого газа при одинаковой температуре и давлении содержится одинаковое количество молекул (число Авогадро – $6,0221415 \times 10^{23}$ моль⁻¹). На основании этого Авогадро вычислил, что, когда два литра водорода взаимодействуют с одним литром кислорода, эти газы сочетаются в соотношении 2:1. Сегодня Авогадро (полное его имя Лоренцо Романо Амедео Карло Бернадетт Авогадро ди Кваренья э Черрето) счи-

тается основоположником атомно-молекулярной теории.

Атомы – истина или ложь?

Хотя сегодня мы понимаем, что работы Дальтона выглядят вполне убедительно, современники не удовлетворились его объяснениями. Физики разделились на два лагеря – те, кто принимал существование атомов, и те, кто не принимал. К счастью, имелись веские практические причины для продолжения изучения газов. Создание парового двигателя повысило интерес к термодинамике и к изучению свойств и поведения атомов. Поведение атомов можно было связать с действием горячих газов – так в середине XIX в. появились законы термодинамики.

Первое визуальное доказательство того, что материя состоит из мельчайших частиц, было получено (хотя и не сразу объяснено) в 1827 г. шотландским ботаником Робертом Брауном (1773–1858). Исследуя под микроскопом частицы пыльцы в воде, Браун заметил, что они постоянно вращаются, словно наталкиваясь на что-то невидимое. То же движение он заметил, исследуя пыльцу, которая хранилась 100 лет. Это доказало, что движение не связано с живой пылью. Браун не мог объяснить увиденное, поэтому долгое время научное сообщество не проявляло интереса к броуновскому движению. В 1877 г. Ж. Дельсо вернулся к этой идее: «По моему представлению, это явление есть результат термального молекулярного движения в жидкой среде (частиц)». Французский физик Луи Жорж Гуи (1854–1926) в 1889 г. установил, что чем мельче частицы, тем сильнее выражено движение, что вполне соответствовало гипотезе Дельсо. Австрийский



геофизик Феликс Мария Экснер (1876–1930) в 1900 г. оценил движение, связав его с размером частицы и температурой. Тем самым он проложил путь Альберту Эйнштейну, который в 1905 г. предложил математическую модель, объясняющую броуновское движение.

Эйнштейн был убежден, что движение вызвано молекулами, и впервые сумел оценить размеры молекул. Его теорию в 1908 г. подтвердил французский физик Жан Перрен (1870–1942) – с помощью модели Эйнштейна он сумел определить размер молекулы воды. Это стало первым экспериментальным доказательством существования молекул, за что в 1926 г. Перрен получил Нобелевскую премию по физике. После этого отвергать существование атомов и молекул мог только отъявленный варвар.

ДЕЙСТВИТЕЛЬНО ЛИ АТОМЫ НЕДЕЛИМЫ?

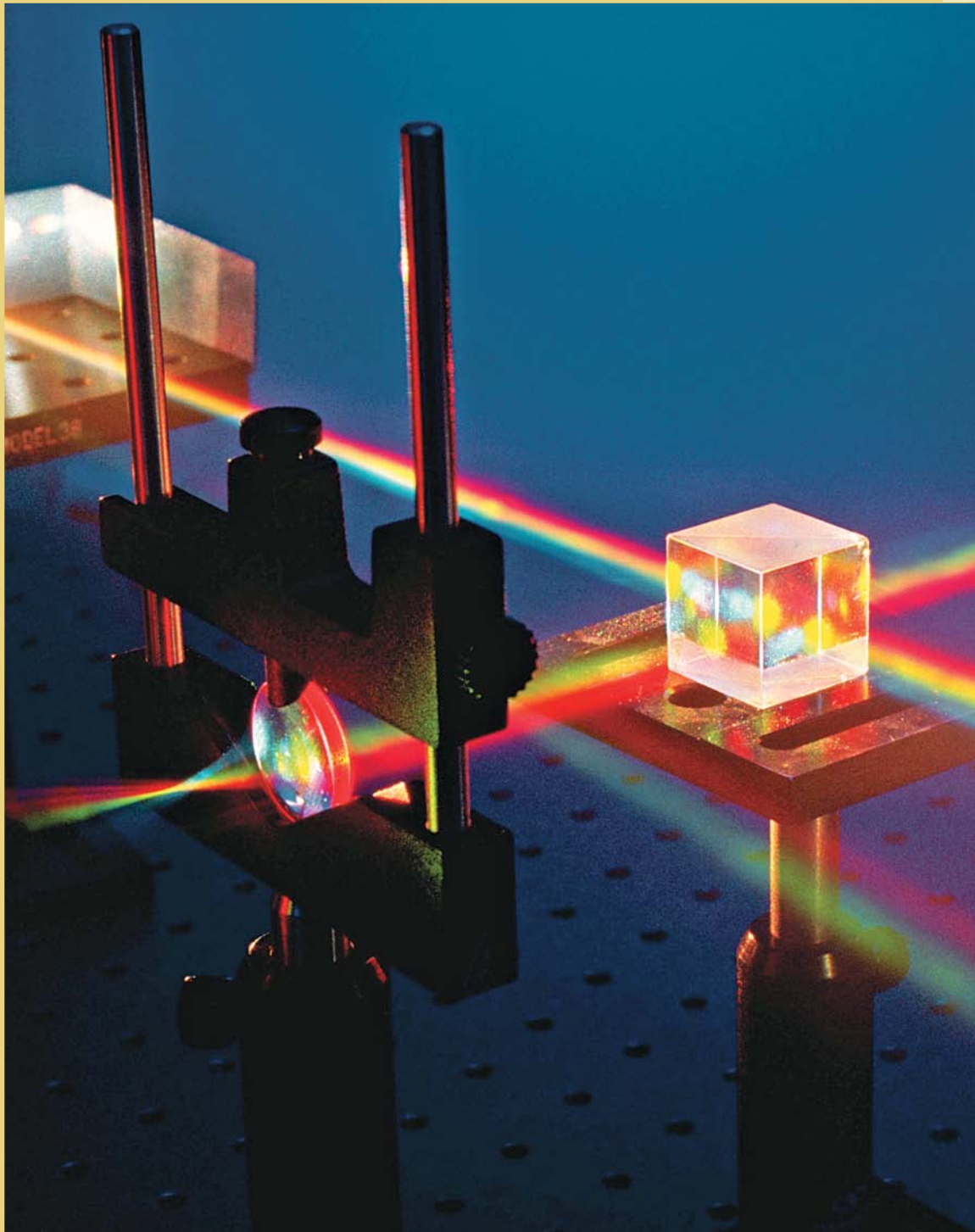
Если принять модель Демокрита, который утверждал, что атомы – мельчайшие неделимые частицы материи, то называть атомы атомами будет неправильно. Хотя Эйнштейн и Перрен доказали существование атомов, стали появляться доказательства существования более мелких, субатомных, частиц. Британский физик Джозеф Джон (Джей Джей) Томсон в 1897 г. открыл электрон, и концепция неделимости атома рухнула. Атом считался мельчайшей частицей всего несколько коротких лет. Но прежде чем мы с вами заглянем внутрь атома, давайте обсудим некоторые понятия, которые вроде бы не из чего не состоят. Я говорю о свете, силах, полях и энергии.

АТОМЫ: ВОПРОС ЖИЗНИ И СМЕРТИ

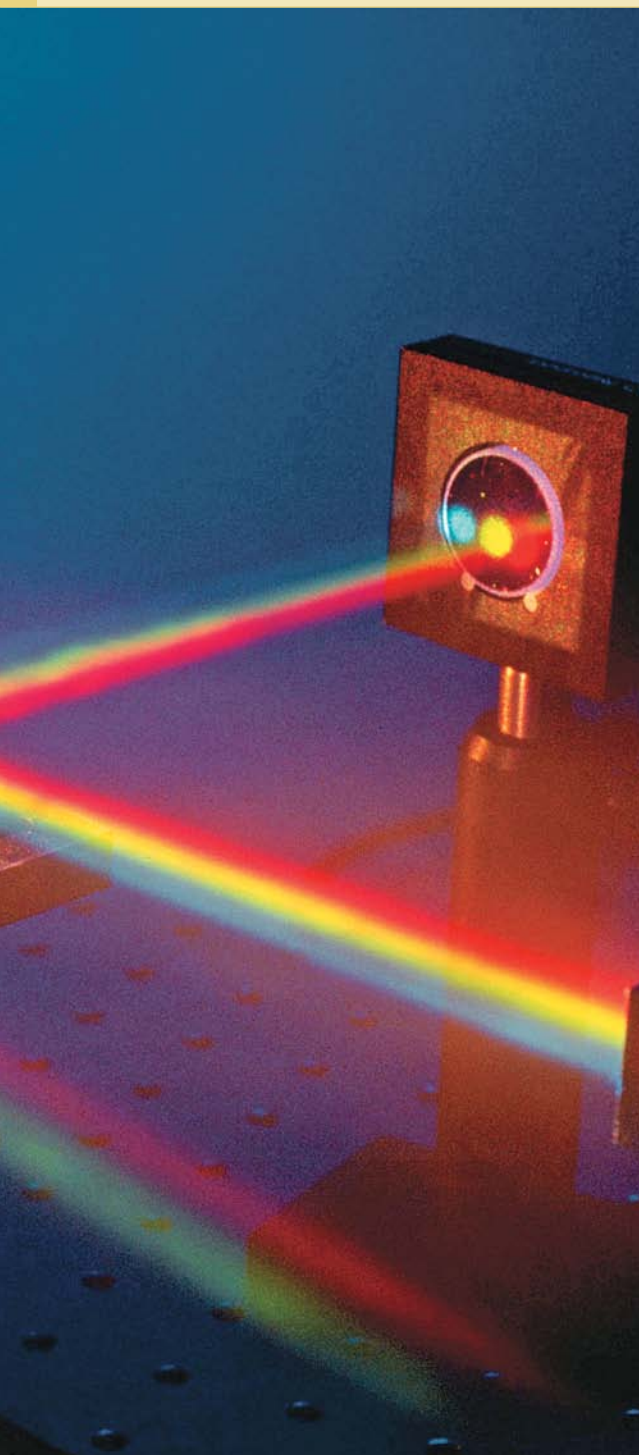
Споры о том, существуют ли атомы, велись в течение всего XIX в. Некоторые физики утверждали, что атомы – это всего лишь полезная математическая конструкция, а не часть реальности. Все это заставило эмоционально и психически нестабильного австрийского ученого, убежденного атомиста Людвигу Больцмана (1844–1906) искать решение, которое удовлетворило бы обе стороны и положило конец спорам. Он взял идею немецкого физика Генриха Герца (1857–1894) о том, что атомы – это картины (Bilder). Это означало, что атомисты могут считать их реальными, а их противники – аналогами или образами. Такое объяснение никого не удовлетворяло, и Больцман решил стать философом и найти способ опровергнуть аргументы против атомизма. На физической конференции в американском Сент-Луисе в 1904 г. Больцман понял, что большинство физиков настроено против атомов. Его даже не пригласили участвовать в физической секции. В 1905 г. он стал переписываться с немецким философом Францем Brentano (1838–1917) с целью продемонстрировать, что философию следует отделить от физики (эту же идею в 2010 высказал британский космолог Стивен Хокинг). Но замысел его не удался. Разочаровавшись в физиках, которые отвергали атомную теорию, Больцман покончил с собой – в 1906 г. он повесился.



Людвиг Больцман



Пусть свет работает – **ОПТИКА**



Люди тысячелетиями пользовались светом солнца, луны и звезд, костров, а потом и светильников. Свет настолько важен для нашего существования, что его часто связывали с религиозными убеждениями и суевериями. В нем видели животворную и созидательную силу. На протяжении человеческой истории свет всегда занимал особое место. Веками люди считали свет божеством, элементом, частицей, волной и, наконец, волновой частицей. Поскольку свет неразрывно связан со зрением, оптика изучает и свет, и зрение. Лишь около ста лет назад ученые начали понимать, что видимый свет – это всего лишь часть общего спектра электромагнитного излучения.

Прорывом в изучении оптики стало открытие того, что белый свет состоит из нескольких разных цветов



Первый взгляд на свет

Первые идеи о природе света возникли в Индии в V или VI в. Школа Санкхья считала свет одним из пяти основных «тонких» элементов, из которых состоят элементы «вещественные». Школа Вайшешика, которая придерживалась атомистического взгляда на мир, утверждала, будто свет представляет собой поток стремительно движущихся атомов огня, что мало чем отличается от современной концепции фотонов. В индийском тексте I в. до н. э. «Вишну Пурана» солнечный свет называют «семью лучами Солнца».

Древние не отделяли свет от зрения. В VI в. до н. э. греческий философ Пифагор утверждал, что лучи исходят из газа, как щупальца, и мы видим предметы, когда эти лучи их касаются. Такая модель получила название эмиссионной (или экстрамиссионной) теории. Платон также полагал, что зрение возможно благодаря лучам, испускаемым глазом. Эмпедокл в V в. до н. э. писал об огне, излучаемом глазами. Такое восприятие глаз, как факелов, не могло объяснить, почему мы не можем ночью видеть так же хорошо, как и днем, поэтому Эмпедокл предположил, что глазные лучи должны взаимодействовать со светом другого источника – солнца или светильника.

Древнейшая дошедшая до нас работа по оптике принадлежит греческому фи-



Титульный лист труда Лукреция «De rerum natura» («О природе вещей»)

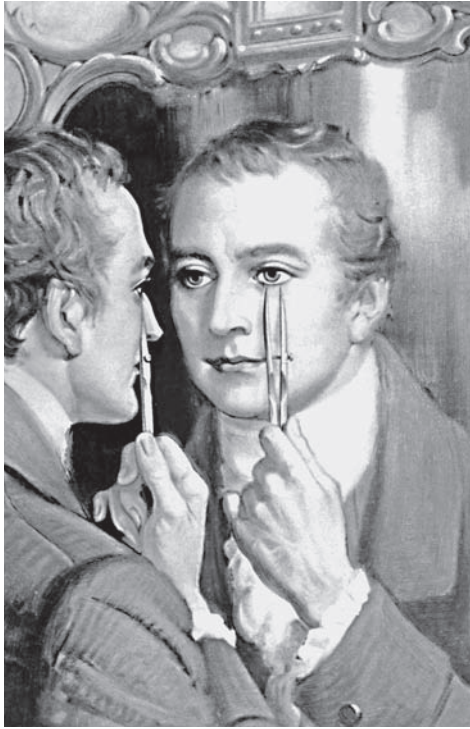
лософу Евклиду (330–270 гг. до н. э.). Он также придерживался эмиссионной модели. Евклид более известен как математик, поскольку он начал изучать геометрическую оптику и математику перспективы. Он связал размеры объектов с расстоянием от глаза и вывел закон от-

ражения: угол падения равен углу отражения, поэтому отраженный образ кажется расположенным на таком же расстоянии от зеркала, как и объект, который находится перед ним.

Примерно через 300 лет другой великий греческий математик,

*Солнечный свет, как и жар,
относится к этим предметам,
Так как они состоят из мелких начальных частичек;
Бьются как будто они друг о друга
в пространстве воздушном,
Без промедленья идя непрерывно, под градом ударов.*

Тит Лукреций Кар, «О природе вещей», 55 г. н. э.
(пер. Ф. А. Петровского)



Угол падения равен углу отражения, поэтому отражение Томаса Юнга находится на таком же расстоянии от зеркала, как и он сам перед зеркалом

ле и развитие физики, затормозилась. Немногие оставшиеся греческие мыслители перебрались на восток. Самые ранние эксперименты со светом провел греческий астроном Клавдий Птолемей (ок. 90 – ок. 168 г. н. э.), когда работал в Александрийской библиотеке в римском Египте. Он обнаружил, что, входя в плотную среду (например, из воздуха в воду), свет меняет направление на перпендикулярное поверхности. Из этого он сделал вывод о том, что скорость света в более плотной среде снижается.

Хотя Птолемей признавал эмиссионную модель зрения, он сделал вывод о том, что лучи, *исходящие из глаза*, ведут себя точно так же, как и световые лучи, *попадающие в глаз*. Так он окончательно соединил теории зрения и света. Но прошло много веков, прежде чем было признано, что зрение – это результат попадания света в глаз, и глаз никоим образом не «хватает» образы окружающего мира. Этот важнейший шаг сделал в 1025 г. арабский ученый Ибн аль-Хассан Ибн аль-Хайсам,

Герон Александрийский (ок. 10 – 70 г. н. э.), доказал, что внутри одной и той же среды свет всегда движется по кратчайшему пути.

Если свет распространяется по воздуху и в нем же наблюдается, то он не должен отклоняться. Герон понял, что отражение света от плоских зеркал не нарушает этого принципа и вновь доказывает, что углы падения и отражения равны.

ИГРА СВЕТА

Когда Древняя Греция перестала быть культурным центром Европы, интеллектуальная деятельность, в том чис-

его, которого в Европе называли Альхазеном. Его труд «О перспективе» был переведен на латынь, получил название «De aspectibus» и пользовался большой популярностью.



Евклид, древнегреческий математик



Из-за преломления объект, частично погруженный в воду, кажется сломанным или изогнутым на границе между средами

В своих работах по оптике аль-Хайсам опирался на более ранние работы арабского ученого аль-Кинди (ок. 800 – 870), который утверждал, «что все в мире... излучает лучи во всех направлениях, которые заполняют весь мир». Аль-Хайсам доказывал, что лучи доставляют в глаз свет и цвета внешнего мира. Он описывал структуру глаза и принцип работы линзы, изготавливал параболические зеркала и писал о преломлении света. Также он заявлял, что скорость света должна быть конечной. Другой арабский ученый,

Ибн аль-Хайсам



Абу Райхан аль-Бируни (973–1048), установил, что скорость света значительно больше скорости света.

Работу аль-Хайсама продолжили Кутб аль-Дин аль-Ширази (1236–1311) и его ученик Камаль аль-Дин аль-Фаризи (1267–1319). Они объяснили возникновение радуги расщеплением белого солнечного света на составляющие цвета спектра. Примерно в то же время германский профессор Теодорих Фрайбургский (1250–1310) с помощью сферической фляги с водой показал, что радуга возникает, когда солнечный свет преломляется, попадая из воздуха в каплю воды, а затем снова преломляется, выходя из воды в воздух. Он правильно определил угол радуги (между центром и гало) в 42 градуса. Но при этом он не мог понять, что вызывает вторичную радугу. 300 лет спустя Рене Декарт обнаружил вторичное отражение света в каплях воды, из-за чего возникает вторичная радуга, а цвета могут инвертироваться.

БОЖЕСТВЕННЫЙ СВЕТ

Труды арабских ученых на латынь чаще всего переводили ученые, работавшие в мавританской (контролируемой арабами) Испании. Вскоре эти работы распространились по всей Европе. Оптика заинтересовала многих европейских ученых, в том числе англичанина Ричарда Гросстеста (ок. 1175 – 1253), а позже другого англичанина, Роджера Бэкона (ок. 1214 – 1294).

Гросстест работал в то время, когда ученые постепенно начали отказываться от идей Платона,



Радуга возникает из-за преломления и отражения света в каплях воды

отдавая предпочтение трудам Аристотеля, с которыми их познакомили арабские ученые. В своей теории света Гросстет использовал труды Аристотеля, Аверроэса и Авиценны. Поскольку он был епископом, то отправной точкой для него стали слова из Книги Бытия 1:3 «Да будет свет».



ИБН АЛЬ-ХАЙСАМ (АЛЬХАЗЕН, 965–1040)

Аль-Хайсам родился в Басре на территории Персидской империи. Он изучал теологию и пытался преодолеть различия между суннитской и шиитской тенденцией в исламе. Не преуспев в этом, он обратился к математике и оптике. Большая



часть работ по оптике была написана в те десять лет, что он провел пленником в Каире, где его считали сумасшедшим. Похоже, он симулировал безумие после того, как провалился его чрезмерно амбициозный проект по предотвращению наводнений на Ниле. Чтобы проверить свою гипотезу о том, что свет не меняет своего направления в воздухе, аль-Хайсам построил первую в мире камеру-обскуру – коробку с отверстием, через которое внутрь попадает свет и показывает на противоположной стенке образ, который можно перенести на бумагу. Аль-Хайсам твердо верил в необходимость экспериментального подтверждения своих теорий. Будучи убежденным экспериментатором, он сумел создать поистине научный метод.

Камера-обскура



«Искатель истины – не тот, кто изучает труды древних и, следуя своей естественной предрасположенности, доверяет им, но тот, кто сомневается в своей вере и оспаривает узнанное от них, тот, кто полагается на спор и демонстрацию».

Ибн аль-Хайсам

Сотворение мира он считал физическим процессом расширения и сжатия концентрических сфер света. Он утверждал, что свет бесконечно самовоспроизводится, поскольку световая сфера бесконечно расширяется вокруг точечного источника. Работы Гросстега – это, скорее, метафизика, чем физика, но весьма оригинальная, поскольку до него никто еще не утверждал, что процесс сотворения – это действие

света как «первой формы». Оригинальность Гросстега доказывает и то, что он был первым западным мыслителем, предложившим теорию множественных бесконечностей: «...Сумма всех чисел, четных и нечетных, бесконечна и больше суммы всех четных чисел, хотя и она тоже бесконечна; ибо она превосходит ее на сумму всех нечетных чисел».

Роджер Бэкон, приехавший в Париж из Оксфордского университета, познакомился с большинством греческих и исламских трудов по оптике между 1247 и 1267 гг. На основании этого он написал работу «Оптика». Позже он разработал учебную программу, включавшую в себя науки, которые в те времена не изучали в университетах.

АРИСТОТЕЛЬ ПОД ЗАПРЕТОМ И В ПРОГРАММЕ

Возрождение интереса к трудам Аристотеля в Европе произошло благодаря латинским переводам его трудов, сохранным арабским ученым. Католическая церковь не сразу признала его учение. Книги Аристотеля по естественным наукам (*Libri naturales*) были осуждены университетом Парижа в 1210 г., 1215 и 1231 гг., то есть изучать их было запрещено. Но примерно в 1230 г. все труды Аристотеля были переведены на латынь. Парижский факультет сдался, и в 1255 г. Аристотель вернулся в учебную программу, а чтение его трудов стало обязательным. Роджер Бэкон, который в то время работал в Париже, одним из первых ощутил на себе эффект разрешения парижским ученым взяться за труды Аристотеля.



Средневековый список «Физики» Аристотеля на латыни



Ему же принадлежит модель экспериментальной науки, основанная на его трудах по оптике. Бэкон утверждал, что знания лингвистики и физики необходимы для эффективного изучения теологии – по-видимому, так он пытался склонить на свою сторону римскую католическую церковь. Но церковь на протяжении веков продолжала противиться научному прогрессу. Католические власти преследовали и даже казнили ученых, которые выступали против общепринятого библейского толкования физических явлений.

Из мрака

Вплоть до Ренессанса поистине оригинальных трудов по оптике и свету в Европе не было. Окончательно развенчали Аристотелеву модель Вселенной, которая доминировала в научном мире почти 2000 лет, великие ученые XVI–XVII вв. – Николай Коперник (1473–1543), Галилео Галилей (1564–1642), Иоганн Кеплер (1571–1630) и Исаак Ньютон (1642–1727). Они разработали законы механики и оптики, которые сохранились в течение последующих четырех-пяти веков. Наибольший вклад в оптику внесли Кеплер и Ньютон.

Германский математик и астроном Кеплер полагал, что Бог создал Вселенную по доступному для понимания плану.



Венгерские марки, выпущенные в честь Кеплера и его вклада в космическую науку

ТЕЛЕСКОП ГАЛИЛЕЯ

Об изобретении телескопа Галилей узнал в Венеции. В Италию приехал голландский мастер, который намеревался продать инструмент вене-



Галилей преподносит свой телескоп дожу Венеции Леонардо Донато, 1609 г.

цианскому сенату. Поскольку перекупить телескоп Галилею не удалось, он построил собственный – всего за 24 часа, и его инструмент превосходил все существующие. Он не стал использовать две вогнутые линзы, которые давали перевернутое изображение, а взял одну вогнутую и одну выпуклую линзу, благодаря чему изображение получилось правильным. Это убедило сенат изменить решение о покупке голландского телескопа. Позже Галилей построил еще более качественный инструмент и подарил его дожу Венеции, что позволило ему победить в конкурсе и сохранить за собой профессорский пост в университете Падуи.



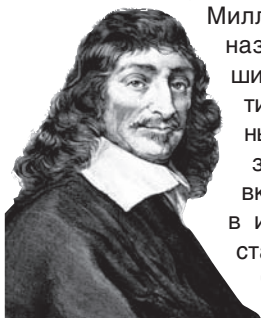
Следовательно, человек может понять принципы устройства Вселенной через научное наблюдение и размышление. Хотя Кеплер более известен как великий астроном, он предложил прием прослеживания движения лучей света от точки к точке для того, чтобы определить и объяснить их траекторию. Из этого он сделал вывод о том, что человеческий глаз преломляет световые лучи, попадающие в него через зрачок, и фокусирует их на сетчатке. Он объяснил принцип

функционирования очков – ими пользовались уже около трехсот лет, но никто не понимал принципа их устройства. Когда в 1608 г. телескопы получили более широкое распространение, Кеплер объяснил принцип их работы. Свои труды по оптике Кеплер опубликовал в 1603 г., за сорок лет до рождения Исаака Ньютона.

Хотя первый астрономический телескоп был построен Леонардом Диггесом в Англии в начале 50-х годов

РЕНЕ ДЕКАРТ (1596–1650)

Декарт родился во Франции, в городе Лаэ (Ла-Э-ан-Турен). Он был сыном местного политика. Мать мальчика умерла, когда ему был всего год. По воле отца Рене начал изучать юриспруденцию и науки, но стать адвокатом не захотел и погрузился в изучение математики, философии и физики, уделяя время вольным размышлениям и несению службы. К счастью, он был достаточно богат, чтобы позволить себе столь свободный образ жизни. Декарта называют «отцом современной философии». Разработку системы декартовых координат британский философ Джон Стюарт



Милль (1806–1873) назвал «величайшим шагом на пути прогресса точных наук». Самым значительным вкладом Декарта в историю физики стала механистическая модель – он представил

На модели зрения по Декарту показано, как лучи света попадают в глаз, а информация затем передается в эифиз. мозга



Вселенную в виде механической системы, действие которой подчиняется законам физики.

Декарт с детства был очень чувствительным и любящим комфорт человеком. Он поздно вставал и говорил, что лучше всего ему работается в удобной постели (так он и создал свою систему координат, см. врезку на стр. 45). Когда юная шведская королева Кристина пригласила его стать ее учителем и настояла на том, чтобы занятия начинались в пять утра в нетопленной библиотеке, то потребовалось всего пять месяцев философствования, чтобы у Декарта развилась серьезная болезнь легких, которая свела его в могилу в возрасте всего 46 лет.



XVI в. (см. стр. 159), этот инструмент чаще всего связывают с именем другого ученого – Галилео Галилея (см. врезку на стр. 41).

СКВОЗЬ ЯРКОЕ СТЕКЛО

Линзы меняют путь света, это основной оптический инструмент. Линзы появились задолго до того, как кто-то понял принцип их действия. Древнейшая линза – линза Нимврода, изготовленная в древней Ассирии 3000 лет назад из куска горного хрусталя. Аналогичными линзами пользовались в Вавилоне, Древнем Египте и Древней Греции – для увеличения предметов или разведения огня путем фокусировки солнечных лучей. Чтобы получить линзы, греки и римляне наполняли сферические стеклянные сосуды водой, придавать же стеклам необходимую форму научились лишь в Средние века.

О первом использовании линз для корректировки зрения пишет римский историк Плиний Старший (23–79 гг. н. э.). Он рассказывает о том, что Нерон наблюдал за боями гладиаторов в Колизее через изумруд. Камни для чтения – выпуклые стекла или кристаллы – использовались для увеличения текста с XI в. Цельные стеклянные линзы стали использовать в очках с 1280 г., хотя никто поначалу не понимал, как и почему они работают. Для созданных в XVI–XVII вв. микроскопа и телескопа требовались более точные

линзы. По мере совершенствования приемов шлифования стали появляться линзы лучшего качества, а это вело к новым открытиям, из-за которых требовались еще более точные линзы. Величайшие ученые Ренессанса и эпохи Просвещения – Галилей, бельгийский создатель микроскопа Антоний ван Левенгук (1632–1723) и голландский физик и астроном Христиан Гюйгенс (1629–1695) – делали линзы самостоятельно.

ДАВЛЕНИЕ ЭФИРА

В своих работах по оптике Декарт описал работу глаза и предложил улучшение конструкции телескопа. Для математического описания многих свойств света, в том числе законов отражения и преломления, он использовал аналогии из механики. Но его сдерживало нежелание признать существование пустоты. Теоретики, подобные Гассенди, который считал, что атомы движутся в пустоте, воспринимали свет как поток быстро движущихся в пространстве частиц. Без пустоты Декарту нужен был другой механизм. Он считал, что существует некий тонкий флюид – разновидность эфира – который заполняет все пространства, и зрение становится возможным благодаря давлению, передаваемому через этот флюид. Если солнце давит на тонкий флюид, давление мгновенно передается глазу, который благодаря этому видит солнце. Основа такой теории была весьма шаткой, особенно, если учесть, что расстояние от Земли до Солнца составляет 150 миллионов километров, но она заложила основу для более значительной работы Христиана Гюйгенса (см. стр. 48), сына близкого друга Рене Декарта. Работы Декарта подтолкнули Ньютона к развитию собственных

Линза Нимврода, обнаруженная в Курдистане (на севере Ирана)





«Декарт был слишком мудрым человеком, чтобы ограничить себя женой; но, поскольку он был мужчиной, у него были желания и аппетиты мужчины; и тогда он нашел хорошую, симпатичную женщину, которая ему понравилась и от которой у него имелись дети (думаю, два или три). Родившись от такого отца, они должны были получить хорошее воспитание. Он был настолько просвещенным, что все образованные люди наносили ему визиты, и многие хотели, чтобы он показал им свои инструменты (в те дни изучение математики во многом зависело от понимания инструментов и, как говорил сэр Генри Сэвил, от трюков). Он открывал небольшой ящичек своего стола и показывал им пару компасов со сломанной ножкой; а в качестве линейки он использовал сложенный пополам лист бумаги».

Джон Обри,
«Краткие жизнеописания»

идей, но он двинулся в другом направлении.

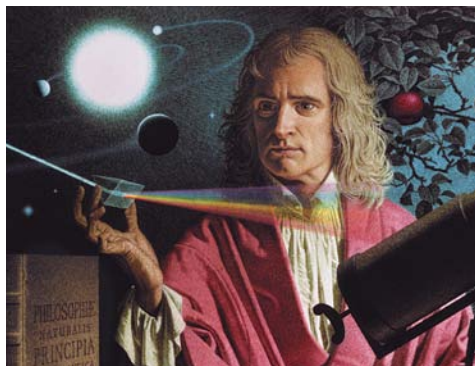
ПОВЕЛИТЕЛЬ СВЕТА: ИСААК НЬЮТОН

Ньютона по праву можно назвать величайшим ученым Земли. Он был тем атлантом, на плечах которого другие стояли более четырехсот лет. Его работы по силам и гравитации (см. стр. 84) более

знамениты, чем труды по оптике, но отнюдь не более значимы.

Ньютон успешно расщепил белый свет на составляющие цвета спектра, а затем собрал цветные лучи в белый свет, убедительно показав, что белый – это смешение цветов. О такой возможности писали давно. Аристотель утверждал, что радуга возникает благодаря тучам, которые действуют на солнечный свет, как линзы. Такое же объяснение давал и аль-Хайсам. Римский философ Луций Анней Сенека (ок. 55 г. до н. э. – ок. 40 г. н. э.) в труде «Исследования о природе» («Naturales quaestiones») писал о том, что получить цвета, сходные с цветами радуги, можно, пропустив солнечный свет через стеклянные призмы.

Но во времена Ньютона большинство людей считало цветной свет разновидностью тени – соединением белого света с мраком. Декарт полагал, что цвет – это результат вращательного движения частиц, составляющих свет. Великий интеллектуальный соперник Ньютона, Роберт Гук, считал, что цвет отпечатан на свете, подобно тому, как свет прохо-



Сквозь призму гения: работы Исаака Ньютона по гравитации и оптике произвели революцию в натурфилософии

«Природа и законы природы скрыты в ночи; Бог сказал: “Да будет Ньютон”, и стал свет».

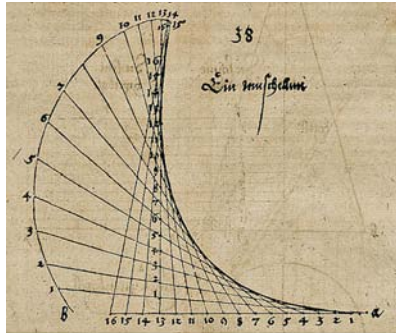
Александр Поуп, 1727 г.



МУХА, КОТОРАЯ ПОПАЛА В ИСТОРИЮ

Декарт дал свое имя системе координат, которая и сегодня используется для определения точки в трехмерном пространстве. Положение точки определяется по трем осям — x , y , z . Он говорил, что придумал эту систему в 1619 г., когда лежал в постели и наблюдал за мухой, которая жужжала в углу его спальни. Декарт понял, что положение мухи в любой момент времени можно точно определить по расстоянию от двух ближайших стен и потолка или

пола — другими словами, координатами в трех измерениях. Из этого простого наблюдения вытекало то, что геометрическую форму можно представить числами (координатами углов), а кривую описать рядом чисел, связанных друг с другом уравнением (так параболу, к примеру, можно представить в виде графика). Вся система отражения геометрии через алгебру стала возможной благодаря тому, что однажды Декарт засмотрелся на залетевшую в его спальню муху.

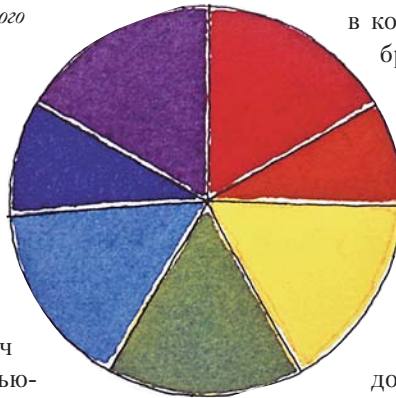


В декартовой геометрии, расположив ряд точек на соответствующих расстояниях от двух осей, уравнение можно представить в виде графика

При быстром вращении цветного колеса Ньютона цвета становятся неразличимы, и круг кажется белым

дит через цветные витражи.

Гук пытался расщепить свет с помощью призмы, но получил лишь белый луч с цветными краями. Ньютон добился успеха в том, в чем потерпел неудачу Гук, и все потому что у него были превосходные инструменты. Он сделал маленькое отверстие в черной ширме, чтобы в его кабинет



в колледже Тринити в Кембриджском университете проникал узкий луч света, и расщепил его с помощью искусно сделанной стеклянной призмы. Результат отразился на другой ширме, расположенной в нескольких футах от окна. Обеспечив достаточное пространство для нормального распределения цветных лучей, Ньютон получил четкий спектр. Ньютон сумел вывести экспериментальную оптику за границы человеческих ощущений.



«Если я и видел дальше других, то потому что стоял на плечах гигантов».

Исаак Ньютон, публичное письмо Роберту Гуку, написанное по настоянию Королевского общества во имя примирения – истинного или показного – после возникшего между учеными раздора

Во время знаменитого опасного опыта он ввел большое, тупое шило себе в глазницу настолько глубоко, насколько это было возможно, не повредив глазное яблоко. Он хотел исказить форму глазного яблока и понять, как такое искажение повлияет на восприятие цвета. Ньютон понял, что цветные объекты кажутся нам цветными в силу света, который они

отражают. Например, красная шапка кажется красной, потому что она отражает красный свет, а белая рубашка отражает все цвета. Он также связал разные цвета с разной степенью преломляемости.

Несмотря на заслуживающую восхищения преданность науке, Ньютон был человеком тяжелым, высокомерным и скандальным. Его неприятие Гука превратилось в манию, но не один Гук его раздражал. Он ненавидел очень многих. Слава Гука могла бы быть и больше, если бы он не умер раньше Ньютона, который присвоил себе одно из его открытий – так называемые Ньютоновы цветные кольца, которые можно видеть в тонкой пленке масла на воде. Ньютон сознательно тридцать лет не публиковал свой труд «Оптика» о свете и цветах. Этот труд увидел свет только после смерти Гука, когда тот уже не мог оспорить авторство.

«Я взял тупое шило и установил его между своим глазом и костью так близко к задней стороне глаза, как только смог. А затем надавил на глаз с задней стороны, чтобы получилось искривление, и при этом возникли белые, темные и цветные круги. Какие-то круги были заметнее, когда я продолжал потирать глаз концом шила; но если я не шевелил ни глазом, ни шилом, хотя шила не убирал, круги тускнели и часто исчезали, пока я снова не начинал двигать шилом или глазом.

Если эксперимент проводился в светлой комнате, то, хотя глаза мои были закрыты, свет все же проникал в них сквозь веки. И тогда появлялся большой, широкий темный внешний круг, а внутри него другая светлая точка, цвет которой был подобен цвету, видимому остальным глазом. Внутри этой точки появлялась еще одна темная точка. А особенно если я сильнее нажимал на глаз маленьким заостренным шилом, то внешний круг получал светлую кайму».

Записная книжка Ньютона,
CUM MS Add. 3995

«Микрография» Гука

Самый знаменитый труд Гука – «Микрография» – был опубликован в 1665 г. Это был прекрасный пример того, как развитие оптики быстро привело к развитию других сфер науки, в частности, биологии и астрономии. Хотя Гук не первым использовал микроскоп, именно он ввел этот инструмент в широкий оборот и усовершенствовал конструкцию и микроскопа, и телескопа.

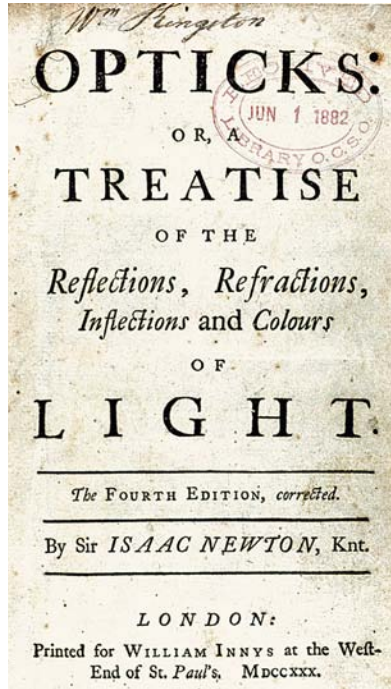
В «Микрографии» приводились рисунки предметов, органических материалов и кро-



хотных организмов, которые Гуку удалось рассмотреть в свой микроскоп. Детальнейшие иллюстрации – автором некоторых из них был архитектор Кристофер Рен – были просто потрясающими, что сделало «Микрографию» одним из наиболее значимых научных трудов в истории человечества. Сэмюэль Пипс записал в дневнике, что читал книгу до двух часов ночи, и назвал труд Гука «самой оригинальной из всех прочитанных им книг».

Волны или частицы?

Одно дело признать, что белый свет состоит из разных цветов, но совсем другое – понять, что такое цвет. Споры о том, состоит ли свет из частиц или это некая волна, велись еще в Древней Индии. В Европе Эмпедокл говорил о лучах, а Лукреций – о частицах. Этот спор длился веками. Гук вслед за Декартом считал свет разновидностью волны. И это было еще одной из причин для конфликта с Ньютоном, который писал о корпускулах (т. е. частицах) света – эту идею впервые предложил Гассенди, и Ньютон узнал об этом в 60-е гг. XVII в. Ньютон был настолько влиятелен, что волновую



Титульный лист трактата Ньютона по оптике, 1704 г.

теорию в Британии не признавали долгое время. Но в остальной Европе высокомерие и скандальный характер Ньютона сделали его непопулярным, а вместе с ним и его корпускулярную теорию. Ньютон отвергал волновую теорию, так как полагал, что продольные колебания (вибрация в направлении распространения света) не могут приводить к поляризации. Никто не рассматривал возможности поперечных колебаний (вибрации в направлении, перпендикулярном распространению света). Ньютон принял идею люминофорного (светоносного) эфира, посредством которого распространяется свет, хотя она не была жизненно необходима для его корпускулярной теории, поскольку частицы могли столь же свободно распространяться в пустоте. Он также считал, что корпускулы света колеблются между двумя состояниями – «простого отражения» и «простой передачи». Периодичность – это

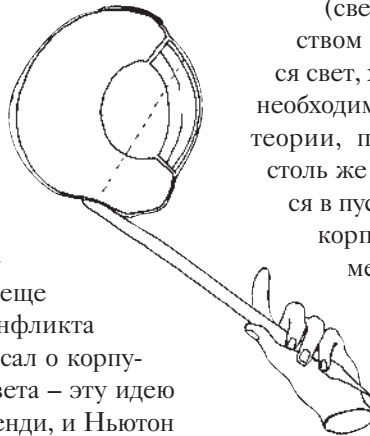
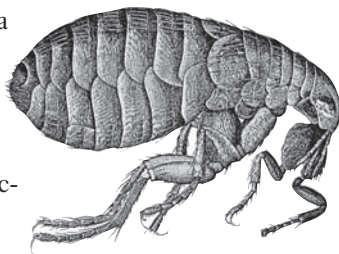


Иллюстрация из трактата Ньютона по оптике, на которой показан его опыт с шиллом



основная характеристика волновой теории, и в этом он превзошел квантовую механику (см. стр. 116).

Хотя имя Ньютона тесно связано с корпускулярной теорией, в его трудах встречаются отголоски обеих идей. Так, например, он объяснял



Увеличенное изображение блохи из «Микрографии» Гука

дифракцию тем, что световые corpusculы создают в эфире локализованные волны. Интересно, что такая точка зрения приближает его к современному представлению о «дуализме света» – сегодня мы считаем, что свет обладает качествами и волны, и частицы.

«[Гук] был весьма умеренного роста, слегка кривоватый, с бледным маленьким лицом и большой головой; большими серыми глазами навыкате, с небыстрым взглядом. У него была мягкая шапка каштановых волос, которые очень красиво вились. В пище своей он был всегда умеренным и скромным. Он обладал острым, изобретательным умом и был человеком добродетельным и воспитанным. Когда я говорю об его великой изобретательности, вы и представить себе не можете, насколько превосходна была его память: она словно состояла из двух корзин – в одну информация поступала, из другой выходила. Он определенно был величайшим специалистом по механике нашего времени. Его ум был более склонен к геометрии, чем к арифметике. Он холостяк и, я полагаю, никогда не женится. Его старший брат оставил одну дочь, которая и будет его наследницей. И главное его достоинство заключается в исключительной вежливости и доброте.

Таким был мистер Роберт Гук, который изобрел часы с маятником, оказавшиеся намного более полезными, чем любые другие.

Он изобрел механизм быстрого деления или быстрого определения делителя».

Джон Обри,
«Краткие жизнеописания»

Волновые фронты и кванты

Христиан Гюйгенс в Европе разрабатывал теорию волнового фронта. Свою теорию света он закончил в 1678 г., но опубликовал лишь в 1690 г. Теория основывалась на его собственных экспериментальных изысканиях. Подобно Декарту, который был частым гостем в семье родителей Гюйгенса, он считал, что свет – это волна, распространяемая в эфире. Он предсказал, что свет в более плотной среде движется медленнее, чем в менее плотной. Это было очень важно, поскольку Гюйгенс, в отличие от Декарта, считал скорость света конечной.

Теория волнового фронта Гюйгенса объясняет, как возникают и ведут себя волны, наталкиваясь на препятствия, – отражаются, преломляются или разбиваются. Он предположил, что каждая точка волны становится центром всплеска, который распространяется во всех направлениях. Свет он считал пульсирующим феноменом. Повторяющиеся волны излучаются и распространяются со скоростью света. Световая волна распространяется в трехмерном пространстве, принимая сферическую форму.

На границе, достигнутой световыми лучами, всплески сталкиваются друг с другом и могут друг друга уничтожить.



РОБЕРТ ГУК (1635–1703)

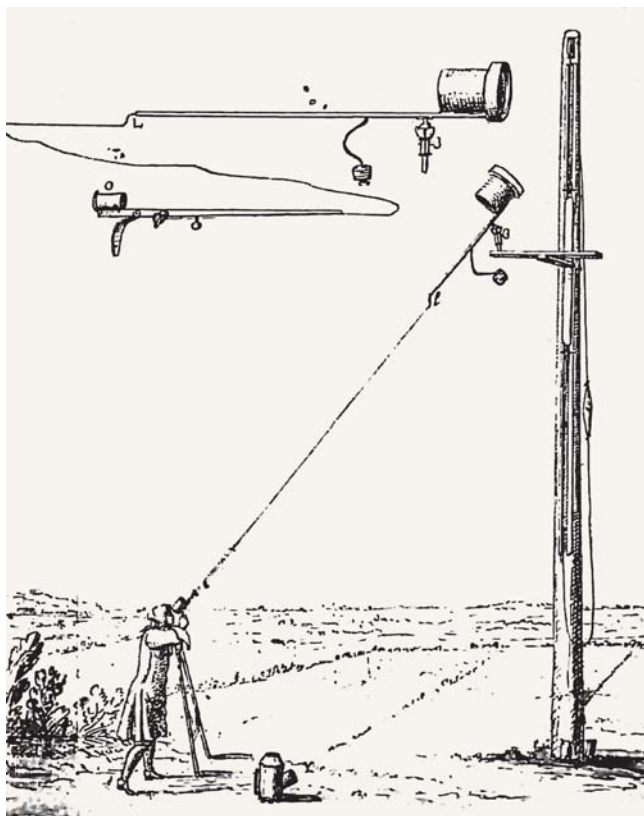
Роберт Гук родился на острове Уайт, где его отец был викарием церкви Всех Святых в городе Фрешуотер. Когда отец умер, Роберт в возрасте 13 лет поступил в Вестминстерскую школу в Лондоне, а затем в колледж Крайстчерч Оксфордского университета, избрав путь хориста. Если бы здоровье позволило, то Гук посвятил бы себя Церкви, но его увлекла наука. В Оксфорде он стал помощником химика Роберта Бойля. В 1660 г. Гук вернулся в Лондон и в 1662 г. стал одним из основателей Королевского общества. Как первый куратор общества, Гук должен был каждую неделю демонстрировать «три или четыре значительных эксперимента». Он постоянно работал со своим микроскопом, а затем опубликовал рисунки увиденного в книге «Микрография» (1665). Гук предложил термин «клетка» для обозначения составных частей живой ткани (название было связано с тем, что в срезе пробки он увидел «поры», которые напомнили ему комнаты или монашеские кельи). Гук был одним из главных помощников Кристофера Рена в деле восстановления Лондона после Большого пожара 1666 г. – эта

должность сделала его богатым. Он построил королевскую психиатрическую Вифлеемскую больницу – печально известный «Бедлам».

Гук был гениальным мыслителем, ученым-экспериментатором и механиком. Ему принадлежат открытия и усовершенствования в самых разных областях. Так он улучшил воздушный насос, микроскоп, телескоп и барометр. Он первым начал использовать пружины в часовых механизмах. Большинство его идей развили впоследствии другие люди. Гук обеспечил им мощный трамплин, хотя почти не получил признания. Он предложил теории горения и тяготения. В 1679 г. он даже предложил закон обратных квадратов применительно к силе тяготения, который стал краеугольным камнем труда Ньютона по этой теме. Ньютон никогда не допускал даже намеков на первенство или гениальность Гука. Его враждебность лишила Гука того места в истории, которого он по праву заслуживал. До нас не дошло ни одного его портрета.

*Часть разрушенного Лондона после
Большого пожара 1666 г.*





Воздушный телескоп Гюйгенса имел большое фокусное расстояние, которое достигалось разделением объектива и окуляра и соединением их с помощью каната

сти, другие же считали, что ему просто повезло и он нашел верный ответ по совершенно ложным причинам.

В XIX в. несколько ученых из разных европейских стран выдвинули теорию о том, что свет — это поперечная волна (которая колеблется перпендикулярно направлению распространения, подобно ползущей по земле змее). В 1817 г. французский физик Огюстен-Жан Френель (1788–1827) представил собственную волновую теорию света Академии наук. К 1821 г. он доказал, что поляризацию можно объяснить

лишь тем, что свет представляет собой поперечные волны, не имеющие продольной вибрации. Тем самым отвергалось главное возражение Ньютона против волновой теории света. Френель известен изобретением линз, носящих его имя. Изначально они предназначались для усиления светового луча маяков.

Когда они сталкиваются с непрозрачным предметом, части всплеска разрушаются, а некоторые сохраняются, образуя сложную структуру линий по краям теней и образы, создающие картину дифракции. Мнения ученых разделились: одни считали, что Гюйгенс открыл этот принцип в силу своей гениально-



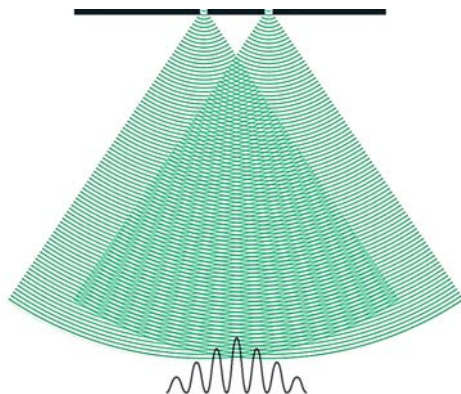
Христиан Гюйгенс, 1671 г.



Томас Юнг

ЭКСПЕРИМЕНТ ЮНГА С ДВУМЯ ЩЕЛЯМИ

В 1801 г. Томас Юнг провел опыт, который раз и навсегда доказал волновую природу света. Он пропустил свет через две щели, рассчитывая увидеть сумму результатов экспериментов с одиночными щелями. Но он получил сложную дифракционную картину, вызванную интерференцией света, проникающего через две щели. Чем больше щелей создавал Юнг, тем сложнее была картина. Это доказало, что свет – это волна, со своими провалами и пиками волн, которые либо разрушают, либо усиливают друг друга, создавая интерференционную картину. Юнг также предположил, что разные цвета являются результатом разной длины волны, и это стало небольшим шагом к осознанию того, что видимый свет – это лишь часть большого спектра электромагнитного излучения. Это было подтверждено в XIX в., но гораздо позже. Сегодня мы знаем, что этот спектр включает в себя гамма-лучи, рентгеновские



Интерференционная картина, которая получается, когда свет проходит через две щели, подтверждает волновую теорию света

лучи, ультрафиолетовое излучение, видимый свет, инфракрасное излучение, микроволны, радиоволны и длинные волны.

Новый рассвет – электромагнитное излучение

Первым доказал, что электромагнитное излучение состоит из поперечных волн энергии, движущихся со скоростью света, Джеймс Клерк Максвелл (1831–1879). Разные типы электромагнитного излучения, включая световые и радиоволны, характеризуются разной длиной волны. Английский физик Майкл Фарадей (1791–1867) уже продемонстрировал связь между электромагнетизмом и светом в 1845 г., когда доказал, что плоскость поляризации светового луча вращается в магнитном поле (см. врезку на стр. 105).

Максвелл все еще предполагал, что существует некий светоносный эфир, в котором и распространяются все виды электромагнитного излучения.



Эфир отличался от всего остального тем, что являл собой истинный континуум – он был бесконечно делимым и не состоял из отдельных частиц, как обычная материя. Эфир не просто мог бесконечно делиться, в нем могли распространяться энергетические волны. В теории Максвелла были проблемы, решить которые удалось лишь тогда, когда Макс Планк доказал, что энергия излучается крохотными, но конечными импульсами, которые получили название квантов. (Иначе, по весьма сложным причинам, всю энергию во Вселенной можно было бы преобразовать в волны высокой частоты.)

Альберт Эйнштейн в 1905 г. в работе по фотоэлектрическому эффекту (см. врезку на стр. 53) показал, что свет ведет себя так, словно состоит из квантов, то есть крохотных блоков энергии, ныне называемых фотонами. Он использовал так называемую постоянную Планка, чтобы связать энергию фотона с его частотой.



Джеймс Клерк Максвелл

Сегодня считается, что свет обладает квантово-волновым дуализмом: иногда он ведет себя как волна, а иногда – как частица. Полезно было бы предсказывать, когда свет будет проявлять те или иные качества, и квантовая механика позволяет предсказать это (см. стр. 117).



КОНЕЦ ЭФИРА – ЭКСПЕРИМЕНТ МАЙКЕЛЬСОНА-МОРЛИ

Обычно мы представляем себе волну, распространяющуюся в определенной среде, воздухе или воде. Точно так же ученые представляли, что световые волны должны подобным образом распространяться в светонесном эфире.

Первую в истории цветную фотографию Джеймс Клерк Максвелл сделал в 1861 г. На ней изображена лента в шотландскую клетку



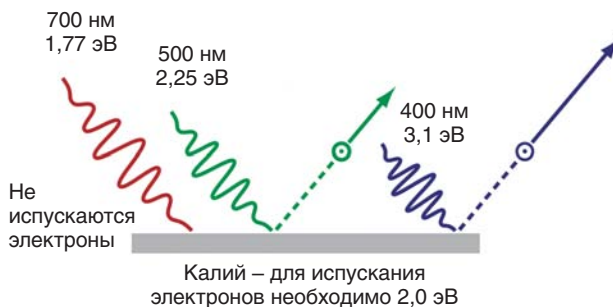
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Когда в 1921 г. Альберту Эйнштейну присудили Нобелевскую премию по физике, то сделали это не за самую знаменитую его идею – теорию относительности. Премию присудили за работу по фотоэлектрическому эффекту. Эйнштейн объяснил, как фотон (в то время этого термина еще не существовало) может выбить электрон с его орбиты в атоме, порождая крохотный выброс энергии. Этот принцип лежит в основе работы фотоэлектрических солнечных панелей, вырабатывающих электричество из солнечного света. Электроны, которые солнечный свет выбивает из пластины полупроводникового материала, например, кремния, можно направить по проводу, а затем использовать для полезной работы или накопить для дальнейшего использования. Впервые фотоэлектрический эффект описал французский

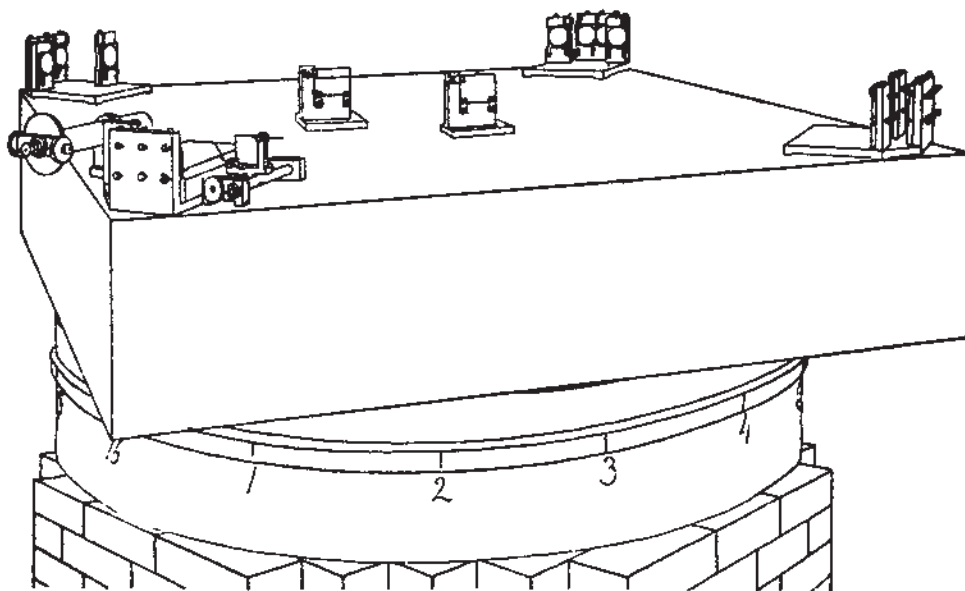


Ранний фотоэлектрический элемент, способствовавший развитию телевидения

физик Александр Беккерель (1820–1891) в 1839 г. Он заметил, что, когда некоторые металлы облучаются синим или ультрафиолетовым светом, возникает электрический ток, но не смог объяснить это явление. Эйнштейн воспользовался идеей квантов, предложенной Максом Планком для описания энергии атомов, и применил ее для описания маленьких выбросов световой энергии – фотонов. Количество энергии фотона зависит от длины волны света. Если фотоны синего света обладают энергией, достаточной для того, чтобы выбить электрон с его орбиты и освободить его, вызывая электрический ток, то энергии фотонов красного света для этого недостаточно. Увеличение интенсивности красного света ни к чему не приводит, так как отдельные фотоны красного света не обладают достаточной энергией.



Фотоны, попадающие на поверхность, смогут выбить электроны только в том случае, если они обладают достаточной энергией. Красный свет не дает тока, а синий или зеленый дает



Окончательно с идеей простились после эксперимента, выполненного в 1887 г. двумя американскими физиками, Альбертом Майкельсоном (1852–1931) и Эдвардом Морли (1838–1923). Ученые предположили, что если эфир существует, то он должен заполнять пространство, поскольку переносит свет солнца и звезд на землю. В 1845 г. британский физик Джордж Габриель Стокс (1819–1903) предположил, что, поскольку Земля с большой скоростью движется в космосе, должен существовать эффект эфирного ветра, возникающего, когда планета проходит через эфир. На любой точке поверхности Земли скорость и направление эфирного «ветра» будет различной в зависимости от времени суток и года. И это позволит определить движение Земли относительно эфира, изучая ско-

Оборудование Майкельсона-Морли для измерения скорости света было создано с намерением доказать существование эфира

рость света в разное время и в разных направлениях.

Майкельсон и Морли построили установку для столь точного определения скорости света, что она могла бы обнаружить эффект эфирного ветра, если он существует. Их аппарат расщеплял луч света на два луча, которые расходились в перпендикулярных направлениях к двум зеркалам. Лучи отражались туда и обратно на расстоянии 11 метров, а затем вновь совмещались в окуляре.

«[Эфир] это единственная субстанция, которой мы доверяем в динамике. Единственное, в чем мы уверены, – это реальность и материальность светоносного эфира».

Уильям Томсон, лорд Кельвин, 1884 г.



Ученые прошлого не могли прийти к согласию, находится ли Земля в пустом пространстве или движется сквозь эфир

Если Земля движется в эфире, луч, движущийся параллельно движению эфира, вернется к окуляру позже луча, движущегося перпендикулярно эфиру. Если один луч движется медленнее другого, то это проявится в интерференционных картинах, возникающих при совмещении лучей. Установка была построена на блоке мрамора, плавающем в контейнере с ртутью, установленном в подвале здания. Это позволяло максимально снизить вибрацию, которая могла бы повлиять на результаты. Оборудование было чрезвычайно чувствительно и вполне могло бы выявить эффект, который возник бы, если бы Земля действительно подвергалась воздействию эфирного ветра.

Интерферометр Майкельсона (см. стр. 56) можно использовать для получения цветных интерференционных картин белого света

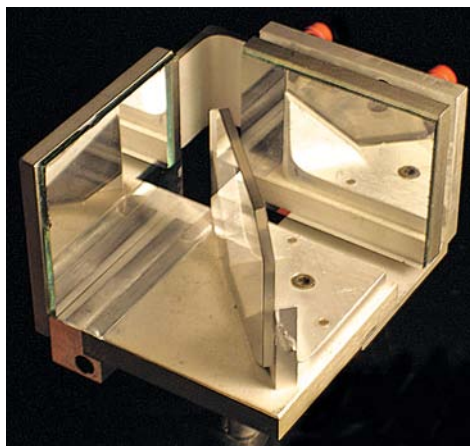




ПУСТЬ СВЕТ РАБОТАЕТ - ОПТИКА

Интерферометр Майкельсона расщепляет луч света на два луча, затем отражает их и потом совмещает полученные лучи

Когда статистически надежных положительных результатов получить не удалось, Майкельсон и Морли вынуждены были признать, что их эксперимент не удался. Другие ученые пытались усовершенствовать установку, но доказательств существования эфира получить так и не удалось. Опыт Майкельсона-Морли, конечно же, не провалился. Он доказал, что светоносного эфира не существует. К сожалению, Майкельсон сделал вывод не о том, что эфира не существует, а о том, что модель неподвижного эфира, который переносит свет, предложенная Огюстеном-Жаном Френелем, верна.



Юпитер и его луна Ио; затмения Юпитера, вызванные его лунами, убедили Гюйгенса в том, что скорость света конечна





С

Скорость света обозначается буквой «с» (как в формуле $E=mc^2$) от латинского слова *celeritas*, что означает быстроту или скорость.



Со скоростью света

Уже в 429 г. до н. э. Эмпедокл считал: свет движется с конечной скоростью, несмотря на то, что нам кажется, будто он перемещается мгновенно. Но Эмпедокл являл собой исключение среди античных мыслителей, которые в большинстве своем соглашались с Аристотелем, утверждавшим, что скорость света бесконечна. Арабские ученые Авиценна и аль-Хайсам соглашались с Эмпедоклом. Ту же точку зрения разделяли Роджер и Фрэнсис Бэконы. Но даже в XVII в. преобладало мнение, разделяемое и Декартом, что свет движется с бесконечной скоростью.

Первую попытку опровергнуть это утверждение и измерить скорость света предпринял в 1667 г. Галилей. Он использовал очень примитивный метод: они с помощником встали на расстоянии 1,6 километра друг от друга и стали открывать и закрывать горящие фонари, чтобы заметить время, за которое смогут увидеть свет. Этот опыт показал, скорее, скорость их реакции, чем скорость света. Галилей пришел к выводу о том, что если скорость света и не бесконечна, то уж точно очень велика – не менее, чем в десять раз больше скорости звука, которую в 1636 г. уже измерил французский философ и математик Марен Мерсенн (1588–1648).

Гюйгенс был убежден, что скорость света конечна. К этому его подтолкнули опыты датского ученого Оле Рёмера (1644–1710), работавшего в Париже совместно с итальянским астрономом Джованни Кассини (1625–1712). Рёмер и Кассини наблюдали затмения лун Юпитера. Ученые заметили, что, хотя затмения должны происходить с регулярными интервалами, они случаются не всегда вовремя – и отклонения зависят от положения Земли относительно Юпитера. Они сделали вывод о том, что, когда Земля находится на большем расстоянии от Юпитера, мы видим затмение позже, поскольку свету придется преодолевать большее расстояние. В 1676 г. Кассини заявил, что расхождения во времени этих затмений можно объяснить только одним: скорость света конечна. Он вычислил, что свету требуется 10–11 минут, чтобы дойти от Солнца до Земли, но далее исследовать этот предмет не стал, предоставив точное определение скорости света Рёмеру. Кассини точно предсказал время затмения Ио в 1679 г., заявив, что оно произойдет на десять минут позже ожидаемого. Опираясь на точную (на то время) оценку диаметра орбиты Земли, Рёмер вычислил скорость света – 200 000 километров в секунду. Если мы подставим в формулу Рёмера точное значение



орбиты земли, то получим скорость 298 000 километров в секунду.

Это число поразительно близко к современной оценке скорости света, которая составляет 299 792,458 километров в секунду. (Это значение не будет изме-

нено в будущем, так как метром считается расстояние, которое свет преодолевает за $1/299\,792,458$ секунды.)

В 1678 г. Гюйгенс, используя метод Рёмера, доказал, что свет Луны достигает Земли за считанные секунды.

ТЕПЛОЙ ЛУЧ АРХИМЕДА

Считается, что греческий ученый, математик и инженер Архимед (ок. 287 – ок. 212 г. до н. э.) во время осады Сиракуз (ок. 214 – 212 г. до н. э.) установил на берегу параболические зеркала и использовал солнечный свет, чтобы поджечь вражеские корабли. В 1973 г. на военно-морской базе близ Афин был проведен опыт, в ходе которого 70 покрытых медью зеркал диаметром $1,5 \times 1$ м с расстояния в 50 метров направили солнечный свет на деревянную копию римского боевого корабля, покрытого дегтем. Корабль за секунды был охвачен пламенем. Сходный эксперимент в 2005 г. провели студенты Массачусетского технологического

института. Им также удалось в идеальных погодных условиях поджечь макет корабля.

Хотя этот прием, равно как и использование вогнутых линз для разведения огня, основан на применении света, поджигал корабли и хворост вовсе не видимый белый свет, а невидимое инфракрасное излучение (жар), солнечный свет сопровождающее.

Архимед поджег вражеский корабль с помощью зеркала; в действительности для этого потребовалось далеко не одно зеркало!





Ньютон в своих «Началах» («Principia») утверждал, что свету Солнца потребуется семь-восемь минут на то, чтобы достичь Земли. Эта цифра поразительно близка к реальной, которая в среднем составляет 8 минут 20 секунд.

Ньютон и другие ученые полагали, что скорость света различна в разных средах. Если свет состоит из частиц, в этом утверждении есть смысл. Если же свет – это волна, то это не так. Расчеты Гюйгенса убедили не всех, и мнения о конечности скорости света разошлись. Раз и навсегда дал ответ на этот вопрос английский астроном Джеймс Брэдли (1693–1762). Он определил световую аберрацию (или звездную аберрацию). Нам кажется, что звезда описывает небольшой круг вокруг своего истинного положения вследствие движения Земли (скорости и направления) относительно звезды. Чтобы прийти к такому выводу, Брэдли потребовалось более восемнадцати лет.

В XIX в. два французских физика повторили опыт Галилея с фонарями, но сделали это более сложным образом. В 1849 г. физик Ипполит Физо (1819–1896) использовал два фонаря, быстро вращающееся колесо с зубцами, которые то закрывали фонарь, то открывали его, и зеркало, которое свет отражало. Свет мог пройти через один и тот же разрыв, если бы отразился достаточно быстро. Скорость света можно было бы вычислить по скорости вращения колеса. Вращая колесо с сотней зубцов со скоростью несколько сотен оборотов в секунду, Физо смог вычислить скорость света. По его вычислениям она составляла 1600 километров в секунду. Леон Фуко (1819–1868), прославившийся своим маятником, использовал сходный принцип. Он направил луч света на вращающееся зеркало, расположенное под наклоном,

МАНТИЯ НЕВИДИМОСТИ

В 90-е гг. XX в. ученые разработали мета-материалы с негативным индексом отражения. Индекс отражения материала показывает, какая часть падающего света будет отражена. Вакуум имеет индекс отражения 1, у более плотных материалов индекс отражения выше. В 2006 г. мета-материалы использовались для создания первого покрытия, которое делало предмет невидимым для микроволн. Частицы мета-материала должны быть меньше длины волны света, и тогда свет будет их попросту обтекать, как вода обтекает камни в ручье. Пока что покрытие, которое работает со световыми волнами и имеет площадь более нескольких микронов, не доведено до совершенства.





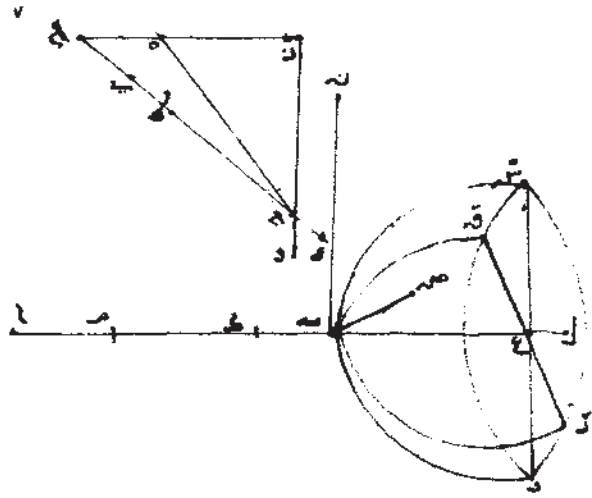
Оригинальный манускрипт с описанием закона отражения Ибн Саля, ок. 984 г.

а затем отразил его от второго зеркала, которое находилось в 35 километрах.

Когда угол вращающегося зеркала изменялся, ученый мог вычислить угол, под которым возвращенный свет отражается вновь. Благодаря этому Фуко смог определить, насколько отдалилось зеркало и сколько времени прошло. В 1864 г. Физо предположил, что «длину световой волны можно использовать в качестве стандарта длины», и дал новое определение метра относительно скорости света, которая была достигнута. В разработке теории относительности Эйнштейн отталкивался от представления о том, что скорость света во Вселенной постоянна.

ПРЯМО И ЧЕСТНО

Анаксагор уже в V в. до н. э. был уверен в том, что свет движется только по прямой. Это убеждение просуществовало очень долго, пока в XX в. Эйнштейн не заявил, что траектория света может искривляться под действием силы тяготения. Древние ученые понимали, что свет может менять направление – например, в результате отражения или преломления при переходе из одной среды в другую. Птолемей дал приблизительное описание преломления. Этот эффект в 984 г. описал персидский физик Ибн Саль (ок. 940 – 1000).



لان ان مائته عليها سطح مستوي غيره فلان هذا السطح يقطع سطح بر ص
على نقطة ت فلا بد من ان يقطع احد خطي ب ن بص فليكن ذلك
الخط ب ص و الفصل المشترك بين هذا السطح وبين سطح قطع في ر
خط ب ش فلان هذا السطح ياتر مسيط ب على نقطة ت بخط
ب ش يطر سطح قطع و ب د على نقطة ت و كذلك خط ب ص وهذا محال
فلا ياتر مسيط ب على نقطة ت ب سطح مستوي غير سطح ب ن ص

Однако математический закон, объясняющий и предсказывающий угол преломления, носит имя голландского астронома Виллеброрда Снелла (1580–1626). Хотя Снелл открыл этот закон в 1621 г., он его не опубликовал. Доказательство закона в 1637 г. опубликовал Декарт. Закон Снелла работает потому, что, как доказал французский математик Пьер де Ферма (1601–1665), свет движется по кратчайшему пути в любой среде. То, что свет может двигаться по кривой, было впервые доказано в начале XX в. в рамках демонстрации теории относительности Эйнштейна.

В 1919 г. астроном Артур Эддингтон возглавил британскую экспедицию на остров Принсипи близ побережья

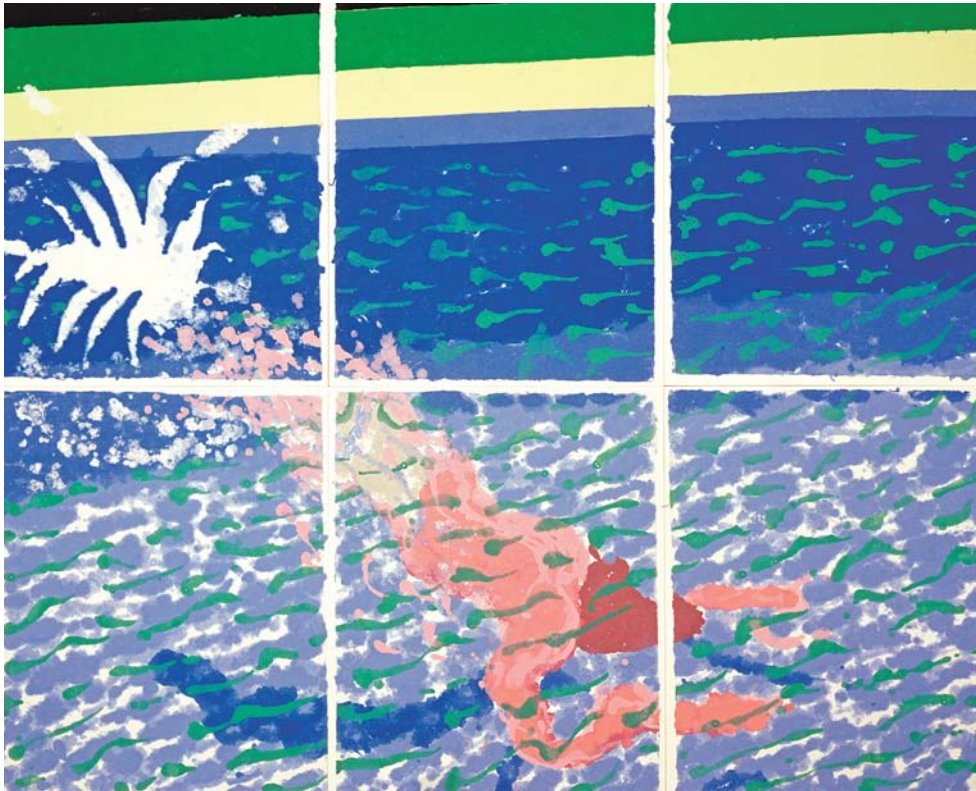


Африки, чтобы наблюдать там полное солнечное затмение. Экспедиция фотографировала звезды, расположенные близ Солнца, которые в другое время не видны из-за солнечного света. Одна звезда, которая располагалась за Солнцем и всегда была скрыта от глаз, оказалась четко видна на фотографии Эддингтона. Это доказало, что свет звезды движется по траектории, которая искривилась под действием гравитационного поля Солнца, что изменило положение звезды на ту точку, где она стала видимой.

Артур Дэвид Хокни написал несколько картин, изображающих бассейн. В них он показал эффекты преломления и отражения света в воздухе и воде

МЕСТО СВЕТА В СПЕКТРЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Свет занимает особое место в истории физики, потому что он виден, и, благодаря ему, человечество может воспринимать окружающий мир. Но, как показали работы Максвелла, видимый свет – это лишь одна из форм электромагнитного излучения. Все формы излучения движутся со скоростью света, все они являются квантовыми формами энергии (то есть могут существовать и как частицы, и как волны), но мы можем видеть только видимый свет. Ранее не делалось попыток отделить жар Солнца (инфракрасное излучение) от солнечного света. Другие формы электромагнитного излучения – рентгеновские лучи, радиоволны и микроволны – были открыты лишь в конце XIX в.





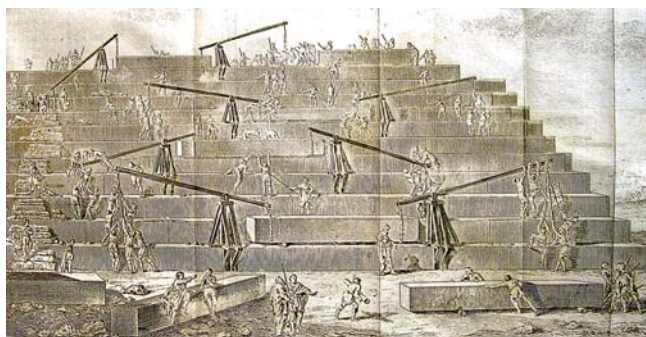
Масса В ДВИЖЕНИИ – МЕХАНИКА



Механикой называют описание поведения тел под влиянием сил. Классическая механика начала развиваться, когда Ньютон сформулировал три закона движения. Они связаны с поведением тел и материи всех типов и размеров больше атомного – от мяча до огромных галактик. Эти законы описывают поведение жидкостей, газов и твердых тел, неодушевленных предметов и частей живых организмов. Люди использовали физические силы в собственных интересах задолго до того, как смогли понять принцип их действия и задумались над законами, ими управляющими. Первые строители использовали рычаги и ролики для перемещения огромных каменных блоков. Они использовали гравитацию, чтобы опускать предметы на место, и проверяли перпендикулярность линий с помощью отвесов.

Укрощение механической энергии сделало возможным развитие современного мира

Древние египтяне использовали механические устройства – рычаги и ролики, – чтобы перемещать каменные блоки при строительстве пирамид



Механика в действии

Используя силы, воздействующие на материю, мы заставляем работать на себя законы механики. Египетские строители пирамид не понимали (насколько нам известно), какие силы участвуют в перемещении каменных блоков. Создатели сложных оросительных систем Шри-Ланки не имели формального знания гидродинамики. Тем не менее, и египтяне, и сингалезы смогли опытным путем, способом проб и ошибок использовать законы физики в своих интересах.

Плодородным полумесяцем называют область, которая тянется от Среди-

земноморья до Персидского залива. Она охватывает все земли между реками Тигр и Евфрат (греки называли эту область Месопотамией, то есть «расположенной между двух рек»), территории современной Сирии и Ирака. Земледелие зародилось здесь около 10 000 лет назад. К 5000 г. до н. э. шумеры построили первые города, а для этого им нужно было вырезать, перемещать и складывать огромные каменные блоки. Шумеры изобрели колесо – так началось укрощение физических сил.

ДРЕВНИЕ ИНЖЕНЕРЫ И ГИДРАВЛИКА В ДЕЙСТВИИ

Инженеры-гидравлики построили сложную оросительную систему на Шри-Ланке еще в III в. до н. э. Система основывалась на изобретении *бисо-котува*, сходном с современным клапанным колодцем, который регулирует поток воды. Огромные водохранилища с дождевой водой были отгорожены дамбами, каналы и шлюзы давали воды столько, что сингалезы, населяющие Шри-Ланку, могли спокойно питаться рисом. Первый резервуар для дождевой воды был построен в годы правления царя Абхайи (474–453 гг. до н. э.). Значительно более сложные

и обширные системы были построены спустя несколько веков. Начало было положено в годы правления царя Васобы (65–108). Его инженеры построили 12 оросительных каналов и 11 водохранилищ, самое большое из которых имело протяженность 3 километра. Величайшие достижения приходятся на годы правления царя Паракрамбаху Великого (1164–1196), когда сингалезские инженеры добились ровного градиента в 20 см на километр в оросительных каналах, которые тянулись на 80 километров.



Население постоянно росло, и народ Месопотамии впервые начал практически использовать гидродинамику. Уже в VI тысячелетии до н. э. люди создали оросительные системы, чтобы поливать свои посеы.

Текущую воду можно было использовать не только для полива. Она обладала собственной силой, и ее давление можно было применить для полезной работы. Впервые движущую силу воды использовали в Древнем Китае, когда Чжан Хэ (78–139) с ее помощью вращал армиллярную сферу (глобус, используемый в астрономии для определения положения звезд). Ду Си в 31 г. использовал водяное колесо для управления мехами доменной печи для плавки железа.

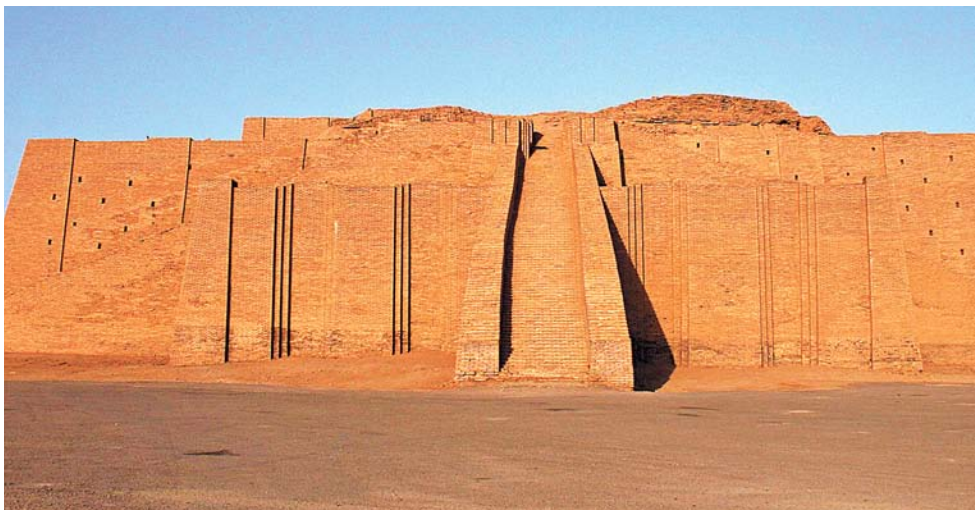
Механики Древней Греции

Хотя первые цивилизации уже использовали механику практически, не сохранилось никаких сведений о том, что кто-то систематически изучал или анализировал действие сил. Первые свидетельства абстрактного размышления о том, как и почему силы воздействуют на объекты, относятся к периоду Древней Греции.

В своей «Механике» Аристотель описывает то, как с помощью рычагов, прикладывая небольшое усилие, можно перемещать большие тяжести. Он писал: «Под воздействием одинаковой силы та часть радиуса круга, которая расположена дальше от центра, движется быстрее, чем та, что располагается ближе к центру».

Аристотель понял это вскоре после изобретения разновидности весов с плечами разной длины. Когда плечи весов имеют одинаковую длину, вес на одной чаше можно уравновесить весом на другой. Но при неравной длине плеч, весы также можно уравновесить, перемещая точку опоры планки весов и смещая один вес вдоль плеча. Таким образом, размышления о механических силах возникли лишь после появления практического устройства, использовавшего эти силы. Существование неравноплечих весов позволило Аристотелю наблюдать и размышлять.

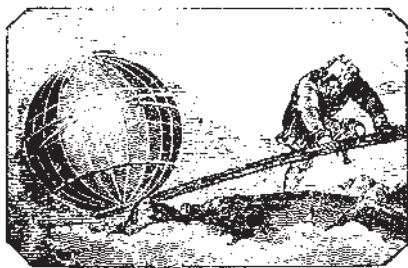
Великий зиккурат Ура (ныне на территории Ирака) был построен около 4000 лет назад и представляет собой великое достижение инженерной мысли





ИЗОБРЕТЕНИЯ АРХИМЕДА

Архимед весьма практично использовал свои знания в области механики. Царь Гиерон II приказал ему построить большой корабль – первый роскошный лайнер в истории. Этот корабль должен был нести 600 человек и иметь на борту все удобства, включая садовые украшения, спортивную площадку и храм Афродиты. Считается, что винт Архимед изобрел, чтобы откачивать воду, которая просачивалась в корпус. Это устройство представляло собой вращающуюся винтообразную конструкцию, заключенную в цилиндр и приводимую в движение руками. То же устройство использовалось для подачи воды из низко расположенных источников в оросительные каналы. Используется оно и по сей день. Архимеду приписывают и другие изобретения, в том числе параболические зеркала для фокусировки солнечных лучей для поджога вражеских кораблей. Как это часто бывает, война стала стимулом для научного развития.



Говорят, что Архимед утверждал, что, если бы у него был достаточно хороший рычаг и точка опоры, он мог бы сдвинуть Землю. В принципе, это действительно возможно

«Дайте мне точку опоры, и я сдвину Землю».

Архимед

Открытие Аристотеля стало предшественником закона рычага, для которого примерно через век нашел доказательство Архимед (ок. 287 – 212 гг. до н. э.). Впрочем, закон был уже хорошо известен и до того, как Архимед его доказал.

В современной форме доказательство гласит, что вес, умноженный на расстояние с одной стороны от точки опоры, равен весу, умноженному на расстояние с другой стороны:

$$WD = wd$$

Архимед выразил ту же идею в терминах соотношений, поскольку он не принимал умножения несходных мер (веса и расстояния). В соотношениях закон рычага имеет такой вид:

$$W:d = w:D$$



Архимедов винт используется для перемещения воды даже в современных оросительных системах





Задача динамики

Аристотель начал с предположения о том, что все объекты движутся под воздействием приложенных к ним сил и продолжают двигаться, пока это воздействие не прекратится. Продолжение движения движущегося тела сегодня называется моментом. Такое предположение Аристотеля объясняет то, что происходит, когда мы что-то тянем или толкаем. Но движение летящих предметов оно не объясняет. Если мы что-то кидаем, выпускаем стрелу из лука или пулю из пистолета, то объект продолжает двигаться и после того, когда предмет или человек, инициировавший «толчок», теряет контакт с летящим объектом. Аристотель решил эту проблему, передав роль «двигателя» среде, в которой движется летящий объект: воздух продолжает оказывать воздействие на стрелу, продвигая ее к цели. Эта сила возникает в воздухе, когда стрела срывается с тетивы лука.

Греческий математик Гиппарх (ок. 190 – ок. 120 г. до н. э.) отвергал эту идею. Он утверждал, что сила передается самому летящему предмету. Так, стрела, летящая вверх, обладает большей силой – импульсом, – чем сила тяжести. Эта сила уносит ее вверх и не дает упасть на землю, но со временем она ослабевает. Ослабевает она сама по себе, а не в силу сопротивления воздуха, силы тяжести или иных влияний. В той точке, где импульс равен силе притяжения, стрела на мгновение оста-



Стрела, выпущенная вверх, будет двигаться по предсказуемой параболической траектории

навливается, а затем начинает падать, и скорость ее падения повышается по мере того, как уменьшается первоначальный импульс, стремящийся к нулю. Поскольку импульс уменьшается, он не может более сопротивляться силе притяжения. Когда остаточного импульса не остается, стрела падает с той же скоростью, как и предмет, который уронили, а не бросили. Модель Гиппарха объясняла также поведение падающего или уроненного тела. Сначала предмет находится в состоянии равновесия между направленной вниз силой притяжения и направленной вверх броском руки. Вертикальная сила броска высвобождается в тот момент, когда объект отрывается от руки, но затем постепенно уменьшается, и предмет с ускорением устремляется к земле. Модель учитывает и скорость падения, поскольку она становится постоянной, после того как импульс тела сведется к нулю.

Философ Иоанн Филопон (490–570), которого иногда называют Иоанном Грамматиком или Иоанном Александрийским, придерживался той же теории импульса. Он утверждал, что летящее тело обладает силой, приложенной к нему «двигателем», но сила эта ограничена, и когда она иссякает, тело возвращается к своему нормальному движению. В XI в. Авиценна (ок. 980 – 1037) обнаружил недостатки модели



СТАТИКА

Если древние греки занимались динамикой (механикой движения), то римлянам увлекала статика. Статика объясняет, как силы, находящиеся в равновесии, удерживают массу в неподвижном состоянии. Это фундаментальный прин-



цип архитектуры: неуравновешенные силы могут просто разрушить здание или мост. Арочный мост, к примеру, стоит, потому что давление, испытываемое камнями, образующими арку, идеально сбалансировано. Проблемы средневековой и ренессансной архитектуры, для которой характерны сводчатые потолки, арки и купола, были проблемами статики, и решены они были блестяще.

Купол флорентийского собора Санта-Мария дель Фьоре, построенный Филиппо Брунеллески – это триумф инженерной мысли: он удерживается одним лишь весом собственных кирпичей

Филопона. Он утверждал, что летящий предмет получает отклонение, а не силу, и это отклонение не может угаснуть естественным образом.

В вакууме, к примеру, летящий предмет будет двигаться вечно под воздействием полученного им отклонения. Авиценна также считал, что летящий предмет отклоняется в силу движения воздуха, который он смещает с места.

Испанский арабский философ Аверроэс (1126–1198) стал первым человеком, который определил силу, как «работу, проделанную по изменению кинетического состояния материального тела». Он утверждал, «что эффект и мера силы – это изменение кинетического состояния материально устойчивого тела». Аверроэс высказал идею о том, что неподвижные тела обладают сопротивлением к началу движения – сегодня мы называем это инерцией.

Однако свою идею он применял только к небесным телам. Фома Аквинский распространил эту концепцию на тела земные. Кеплер развил модель Аверроэса и Фомы Аквинского. Именно он ввел в оборот термин «инерция», и это понятие стало центральной концепцией ньютоновской динамики. Это означает, что Аверроэсу принадлежит одно из двух величайших открытий, необходимых для того, чтобы из Аристотелевой динамики родилась динамика Ньютона.

Французский философ XIV в. Жан Буридан (ок. 1300 – ок. 1358) связал импульс, придаваемый «двигателем», со скоростью и направлением движущегося тела. Он считал, что импульс может быть либо прямой линией, либо кругом – круг объяснял движение планет. Его идеи сходны с современной концепцией момента.

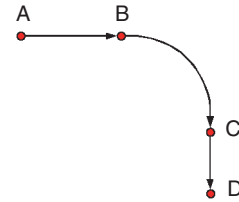


Ученик Буридана, Альберт Саксонский (ок. 1316 – 1390), развил эту теорию, разделив траекторию летящего предмета на три стадии. На первой стадии (А–В) тяжесть не влияет на движение, и тело движется в направлении импульса, приданного ему движителем. На второй стадии (В–С) тяжесть восстанавливает свою силу, а импульс ослабевает, и тело начинает двигаться вниз. На третьей стадии (С–D) тяжесть берет свое и устремляет тело вниз, поскольку импульс исчезает.

ОСКОРБИТЕЛЬНЫЕ СЛУХИ

Дошедшие до нас истории о жизни Буридана, скорее всего, не соответствуют истине, но, судя по ним, философ обладал живым и колоритным характером. Говорят, что во время спора из-за женщины он ударил будущего Папу Климента VI по голове тупфлей, и что у него был роман с королевой. Узнав об этом, король Франции приказал бросить его в мешке в Сену.

Пушечное ядро, вылетев из дула, летит горизонтально по прямой, а затем падает на землю



Туннельный эксперимент

Один из самых важных мысленных экспериментов в истории науки связан с воображаемым падением пушечного ядра в туннель, идущий через центр Земли на другую сторону земного шара. Опыт этот обсуждался несколькими средневековыми мыслителями, которые развивали идеи Авиценны и Буридана об импульсе. Считалось, что пушечное ядро на другой стороне земного шара взлетит на ту же высоту, с какой было брошено.

Объяснялось это тем, что ядро получит импульс силы тяжести, воздействующей на него в процессе бросания в туннель, и импульса этого будет достаточно для противодействия тяжести на выходе из туннеля. Когда ядро достигнет той высоты, с какой было брошено, импульс исчезнет, ядро упадет, проделает тот же путь и продолжит подобные колебательные движения.

«Когда движитель отправляет тело в движение, он придает ему определенный импетус, определенную силу, которая заставляет тело двигаться в том направлении, которое придал ему движитель, – вверх, вниз, вбок или по кругу. Приложенный импетус увеличивается в том же отношении, что и скорость. В силу этого импетуса камень продолжает двигаться после того, как бросивший перестает его двигать. Но из-за сопротивления воздуха (и из-за тяжести камня), которое устремляет его в направлении, противоположном приданному импетусом, импетус этот постоянно ослабевает. Поэтому движение камня постепенно замедляется. В конце концов импетус настолько уменьшается или исчезает вовсе, что тяжесть камня преобладает и устремляет камень к его естественному месту».

Жан Буридан, «Вопросы к Аристотелевой “Физике”»

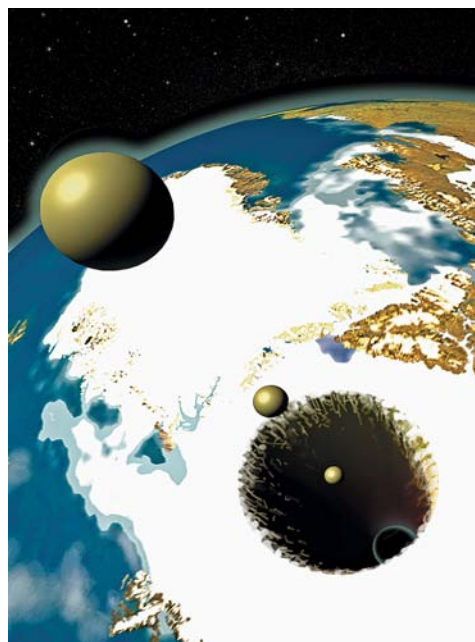


ОКСФОРДСКИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛИ – ЛИШЕННЫЕ ТРИУМФА

Оксфордские вычислители – это группа математиков, работавших в колледже Мертон в Оксфорде в XIV в. В группу входили Томас Брэдвардин, Уильям Гейтс-бери, Ричард Свайнсхед и Джон Дамблетон. Они изучали мгновенную скорость и пришли к открытию закона падающих тел задолго до Галилея, которому его обычно приписывают. Они также сформулировали и продемонстрировали теорему средней скорости: если движущийся объект в течение определенного времени равномерно ускоряется, то он проделает тот же путь, как и объект, движущийся с его средней скоростью за тот же период времени. Они одними из первых стали считать такие свойства, как температура и сила, теоретически измеряемыми количественно, хотя и не имели способов сделать это. Оксфордские вычислители предлагали использовать математику для решения проблем натурфилософии. К сожалению, их часто высмеивали, поскольку изыскания их были весьма туманны и непонятны, и группа канула в безвестность.

Это был первый пример изучения динамики колебательного движения, столь важного для физики XVII в.

Туннельный эксперимент использовался для объяснений колебания маятника, которое рассматривалось как туннельный эксперимент в микрокосме. Маятник двигался вниз к низшей точке



своей траектории (горизонтальной средней точке), а приобретенный им импульс направлял его далее по горизонтали (но одновременно и вверх), пока сила не иссякала и маятник не устремлялся вниз, приобретая новый импульс, но на этот раз в противоположном направлении. Для Аристотелевой динамики и моделей Гиппарха и Филопона маятник представлял собой необъяснимую аномалию. Эти ученые не видели никаких причин, которые заставляли бы маятник после падения вновь устремляться вверх. И вот, наконец, это явление было объяснено.

Истинное рождение классической механики

Ученые XVI–XVII вв. искали объяснения движения физических тел – от летящих снарядов до звезд.

Первые теории динамики тщательно изучались и менялись. Наибольший вклад в развитие механики внесли Гали-

Знаменитый воображаемый эксперимент с падением пушечного ядра в туннель, проходящий через центр Земли



лей в Италии и Исаак Ньютон в Англии. Столь же важен вклад астрономов – например, Иоганна Кеплера.

Опыт Галилея с катящимся шаром

Галилей еще в юности испытывал недоверие к аристотелевой физике. Еще будучи студентом в Пизе, он смог опровергнуть утверждение Аристотеля о том, что тяжелые тела падают быстрее легких. Галилей показал, что градины разного размера достигают земли одновременно и падают с одинаковой высоты. (Конечно, это ложное доказательство, так как Галилей не мог знать, действительно ли градины начинают свое падение в одно и то же время.) Он доказал также, что пушечное ядро, кото-

рое поражает цель на той же высоте, на какой покинуло пушку, делает это с той же скоростью, с какой вылетело из дула.

Галилея особенно интересовали летящие и падающие тела. Вряд ли он действительно провел знаменитый приписываемый ему опыт со сбрасыванием пушечных ядер разного веса с падающей Пизанской башни, чтобы доказать, что они падают с одинаковой скоростью. Скорее всего, это был виртуальный эксперимент. Но сделал он это или нет, концепция проведения опыта для проверки идеи и использования результатов для доказательства истинности научного утверждения занимала центральное место в научной деятельности Галилея.

ДЕКАРТ И МЕХАНИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Рене Декарт первым предположил существование неизменных законов природы. В 1618 г. он встретился с голландским ученым-любителем, специалистом по механистической философии, Исааком Бекманом (1588–1637), и эта встреча вдохновила его на разработку механистической модели. Декарт попытался объяснить весь материальный мир, в том числе и органическую жизнь, с точки зрения размеров, форм и взаимодействия частиц материи, движущихся в соответствии с физическими законами. Даже человеческое тело он считал своеобразной машиной, хотя и исключил душу из своей механистической схемы. По его представлению, Бог был изначальным движителем, который придал Вселенной импульс, необходимый для ее существования. Но после этого Вселенная стала жить собственной жизнью, подчиняясь законам физики, как обычные часы. Декарт считал, что если начальные условия будут известны, то можно будет предсказать результат работы любой системы.



Декарт полагал, что одушевленные существа действуют как часовой механизм, подчиняясь законам физики



Вряд ли Галилей сбрасывал пушечные ядра с падающей Пизанской башни, но идея это оказалась весьма привлекательной

Она стала основой научного метода.

Вместо того, чтобы сбрасывать пушечные ядра с опасной высоты, Галилей провел другие эксперименты с силами. Он использовал шары разного веса на наклонной плоскости.

В те времена у часов не было минутной стрелки, поэтому добиться точности эксперимента было нелегко. Галилей использовал водяные часы и собственный пульс – так он измерял время, за которое шары достигали края наклонной плоскости. Ему удалось доказать, что эффект гравитации одинаков и для легких, и для тяжелых предметов. Это противоречило учению Аристотеля и, очевидно, здравому смыслу. Но Галилей указал на следующее: перо или лист бумаги падают медленнее пушечного ядра по той причине, что сопротивление воздуха замедляет падение этих предметов, а вовсе не потому, что гравитация в меньшей степени влияет на легкие объекты.

Эксперимент с катящимися шарами доказал и нечто другое. Уменьшая наклон плоскости, Галилей понял, что без силы, которая остановит шар, он может катиться по горизонтальной плоскости вечно. И это тоже противоречило учению Аристотеля. Это противоречило и здравому смыслу – если двигать по столу кирпич, то он остановится, как только мы перестанем его толкать. И даже тележка на колесах через какое-то время остановится. Галилей верно



выявил силу, которая прекращает движение. Это была сила трения. Однако он ошибочно истолковал свое открытие о том, что движение будет продолжаться, пока его не остановят. Он решил, что, поскольку Земля вращается, то инерционное движение всегда будет происходить по кругу. Только Декарт доказал, что объекты движутся по прямой, если на них

не воздействует сила, заставляющая изменить траекторию движения.

ОСТАНОВКА И НАЧАЛО

Инерция не позволяет телу начать движение. Чтобы движение началось, инерцию нужно преодолеть. Момент – это стремление движущегося тела продолжать движение, после того как тело получает начальный импульс.

ЭКСПЕРИМЕНТ ГАЛИЛЕЯ НА ЛУНЕ

В 1971 г. астронавты «Аполлона-15» продемонстрировали правильность утверждений Галилея относительно падающих тел. На Луне нет атмосферы и, следовательно, нет сопротивления воздуха. Падающие предметы, одновременно сброшенные с одинаковой высоты, касались поверхности одновременно независимо от их веса или формы. В качестве примера астронавты использовали перо и геологический молоток.



ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ (1564–1642)

До 11 лет Галилей учился дома, а затем его отправили в монастырь, чтобы он получил более формальное образование. К ужасу отца, в монастыре Галилею понравилось, и в 15 лет он решил стать послушником.

К счастью для истории науки, у него возникла глазная инфекция, и отец забрал его домой во Флоренцию, чтобы вылечить. В монастырь Галилей так и не вернулся. По настоянию отца он отправился в университет Пизы, чтобы изучать медицину, но там его увлекла математика, а медицину он совсем забросил. В 1585 г.

он покинул университет, не получив степени, но через четыре года вернулся – профессором математики!

Профессорам платили не много. Бедность Галилея еще более усугубилась, когда отец его умер, пообещав (но не обеспечив) большое приданое сестре Галилея. В 1592 г. Галилей сумел занять пост профессора математики в университете Падуи, который считался более престижным, и платили там больше. Но финансовые проблемы так и не кончились, и Галилей стал искать способы преодолеть их. Сначала он изобрел термометр – впрочем, в коммерческом отношении это изобретение оказалось неудачным. Потом он придумал механическую вычислительную машину, которая какое-то время приносила ему доход. В 1604 г. Галилей, работая вместе с Кеплером, изучал новую звезду (сверхновую), а примерно в 1608 г. он



доказал, что летящие тела движутся по параболе. В 1609 г. Галилей начал строить собственные телескопы. В течение года он сумел добиться двадцатикратного увеличения, тогда как

более ранние телескопы давали лишь трехкратное. Телескоп он отправил Кеплеру, и тот с его помощью сумел доказать астрономические открытия Галилея. Открытие спутников Юпитера и фаз Венеры (см. стр. 161) доказывали теорию Коперника о том, что Земля вращается вокруг Солнца (гелиоцентризм).

На протяжении многих лет

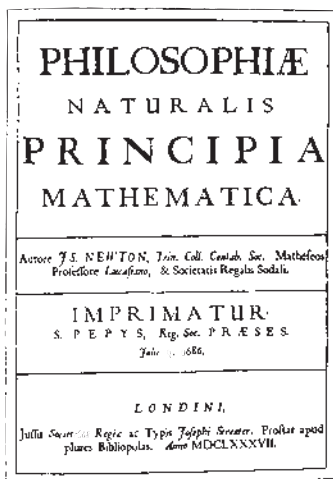
Галилей воздерживался от высказывания и публикации своих идей, поскольку они шли вразрез с доктриной католической Церкви. В 1616 г. ему было запрещено излагать и преподавать гелиоцентрическую модель. В 1632 г. ему позволили опубликовать дискуссионный трактат по этой теме «Диалог о двух главнейших системах мира». Впрочем, даже в такой форме книга настолько противоречила геоцентрической модели, что в 1634 г. Галилея обвинили в ереси, и остаток жизни он провел под домашним арестом. В этот период он закончил свой труд «Беседы и математические доказательства двух новых наук». В нем Галилей сформулировал основы научного метода и объявил, что человеческий разум способен постичь Вселенную, которая управляется законами, поддающимися математическому объяснению.



«Начала» Ньютона стали, пожалуй, самой значительной научной работой в истории человечества

Момент теряется, когда тело замедляется и останавливается, реагируя на силу, воздействующую на него в направлении, противоположном направлению движения. Работы Аристотеля, Гиппарха, Филопона и Авиценны по динамике также оперировали понятием, сходным с моментом и его утратой. Ученые изучали, как и почему тело продолжает двигаться, а затем останавливается после первоначального импульса. Однако они не смогли правильно понять, почему происходит остановка. Персидские физики объясняли постепенное замедление движения, возникшего в результате импульса, врожденной склонностью тела к покою – *inclination ad quietem*. Склонность к покою – прекрасное определение инерции. Впервые это явление описал Аверроэс. Однако не инерция является причиной прекращения движения.

Убедительный эксперимент, отвергший роль инерции как основной силы, замедляющей движение, был проведен в 1640 г. Пьером Гассенди на борту гребного корабля французского военного флота. Корабль с максимальной скоростью двигался по Средиземному морю, а с вершины мачты сбрасывали пу-



шечные ядра. И каждый раз они пробивали палубу в одном и том же месте – у подножия мачты. Движение корабля не влияло на место падения ядер. Это доказало, что тело продолжает двигаться в приданном ему направлении, пока не будет остановлено некоей силой. Пушечные ядра двигались вместе с кораблем, потому что ничто не мешало их поступательному движению, которое

продолжалось одновременно с вертикальным движением. Гассенди высоко ценил Галилея и, как и он, являлся сторонником экспериментального метода.

ГОВОРIT МАСТЕР

Форму классической механики, которая господствовала в физике более 200 лет, иногда называют ньютоновой механикой, поскольку именно Исаак Ньютон в 60-е гг. XVII в. сформулировал три закона движения.

Это закон инерции, второй закон ускорения и закон действия и проти-

ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ НЬЮТОНА

Первый закон: всякое тело продолжает удерживаться в состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние.

Второй закон: приложенная сила вызывает ускорение, пропорциональное массе тела ($F = ma$ или $F/m = a$).

Третий закон: каждое действие силы вызывает равное и противоположно направленное противодействие. (Например, ракета движется вперед с той же силой, с какой выхлопные газы выбрасываются назад.)

Эти законы воплощают в себе законы сохранения энергии, момента и кинетического момента.



водействия. Второй и третий законы Ньютон изложил в трактате «Математические начала натуральной философии» («Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica»), опубликованном в 1687 г. Обычно этот трактат называют просто «Началами». Величайшим достижением Ньютона стало то, что он подробно описал основы механики, используя собственную математическую систему, которая ныне называется дифференциальным исчислением.

ДВИЖЕНИЕ И ГРАВИТАЦИЯ

Ньютон сформулировал принципы сохранения момента и кинетического момента, а также описал гравитацию в своем законе всемирного тяготения. Согласно ему, каждая частица Вселенной, обладающая массой, притягивает любую другую частицу, обладающую массой. Это притяжение и есть гравитация. Когда яблоко падает с дерева, его притягивает на Землю именно гравитация. Но в то же время яблоко и само оказывает слабое гравитационное воздействие на Землю. Гравитационная сила между двумя телами обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Закон всемирного тяготения, опубликованный в 1678 г., стал первой силой, получившей математическое описание. Сформулировав закон, Ньютон впервые показал, что вся Вселенная управляется одними и теми же законами и эти законы можно смоделировать.

Ньютоновы законы движения и гравитации в равной степени применимы и к обычным предметам на Земле, и к небесным телам. Они объясняют большую часть движения, наблю-

даемого в окружающем нас мире. Сбой эти законы дают только в тех случаях, когда объекты движутся со скоростью, близкой к скорости света, или имеют крайне малые размеры – подобные возможности Ньютону и в голову не приходили. Законы Ньютона объясняли открытия Галилея, в том числе и его виртуальный эксперимент с пушечными ядрами разной массы, а также утверждение Кеплера о том, что планеты движутся по эллиптическим орбитам. Во Вселенной Ньютона движение всех тел было предсказуемым при наличии информации об их массе и воздействующих на них силах.

ВСЕЛЕННАЯ КАК ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН

Ньютон проверил свои новые законы, показав, как они объясняют движение планет солнечной системы. Он показал, что изгиб орбиты Земли является результатом ускорения в направлении солнца и что притяжение солнца определяет орбиты планет. Его объяснения подкреплялись данными, полученными ранее Кеплером (см. стр. 158). Небесная механика – изучение движения небесных тел и сил, на них воздействующих, – стала испытательным полигоном для физических теорий. На протяжении веков человечество все лучше понимало движение планет, поскольку люди узна-

ли о существовании гравитационных полей и учли их воздействие в вычислениях, основанных на законах Ньютона.

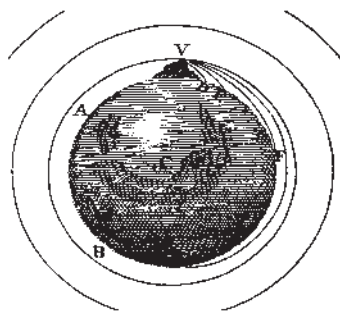
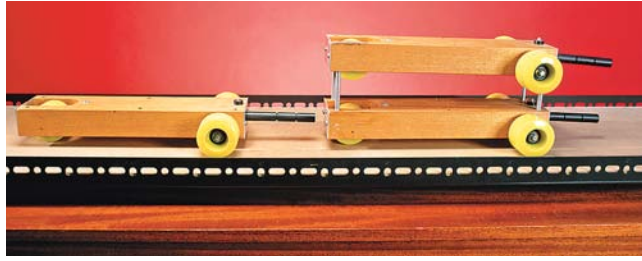


Рисунок из «Трактата о системе мира» Ньютона показывает, как отпустить пушечное ядро на орбиту



Многие школьники с легкостью могут повторить эксперименты Галилея, катая деревянные грузовики по наклонной плоскости



Ньютон понимал, что орбиты планет не совсем таковы, какими должны быть по его расчетам. Он твердо верил, что каждые несколько веков требуется божественное вмешательство, которое возвращает все в нормальное состояние и ставит главных возмутителей спокойствия – Юпитер и Сатурн – на подобающие им места. Разобрался в том, что происходит на самом деле, французский математик и астроном Пьер Симон Лаплас (1749–1827). В своей работе он опирался на законы Ньютона.

Воздух и вода

Если некоторые силы очевидны – мы толкаем, к примеру, игрушечный грузовик, и он катится, – то понять другие бывает довольно сложно. Давление воды или воздуха может сдвинуть, деформировать или даже разрушить тело. Жидкости ведут себя не так, как тела, как может вести себя планета или яблоко. Жидкость может течь, она не имеет фиксированной формы, а это означает, что сила, ею ока-

ИСААК НЬЮТОН (1642–1727)

Ньютон родился недоношенным в Рождество 1642 г. (по до-григорианскому календарю). Думали, что младенец не выживет. В детстве его считали странным. В школе он был очень невнимательным, а в Кембридже он считался посредственным студентом. Из-за чумы 1665 г. университет закрыли, и Ньютону пришлось отправиться домой, в Линкольншир. Здесь он впервые в черновом варианте сформулировал свои законы движения и задумался о гравитации. По возвращении в Кембридж в 1669 г. он стал профессором математики и оптики – в возрасте всего



27 лет. Ньютон продемонстрировал, что белый свет состоит из всех цветов спектра, и разработал дифференциальное исчисление – хотя авторство его спорно, поскольку одновременно с ним и совершенно независимо ту же идею разработал Готтфрид Лейбниц (1646–1716). Перу Ньютона принадлежат два важных научных труда – «Начала» и «Оптика». Ньютон был печально известен своим высокомерием и скандальным характером. Он часто ссорился со многими учеными, а с Робертом Гуком у него была настоящая вражда.



зывается, отличается от силы, оказываемой твердым телом.

Но, несмотря на это, вполне возможно увидеть падающую жидкость и понять порождаемые ею силы. Поведение газов увидеть и исследовать чуть сложнее, поскольку большинство газов невидимы. Но нам понятно, что ветер может гнуть деревья и разрушать здания. Следовательно, движущийся газ обладает значительной силой, но экспериментировать с ней сложнее.

Анаксагор проводил публичные опыты, доказывающие существование давления воздуха. Он наполнял воздухом закрытый сферический сосуд и погружал его в воду. Хотя в дне сосуда имелись отверстия, вода не заполняла сосуд, поскольку он уже был полон воздухом. Анаксагор не довел свою работу до определения атмосферного давления, но он показал, что листья парят в воздухе именно благодаря сопротивлению воздуха. Архимед предположил, что тело, погруженное в воду, подвергается воздействию выталкивающей силы, которая равна весу вытесненной им воды.

Герон Александрийский (ок. 10 – 70 г. н. э.) нашел практическое применение давлению воздуха, воды и пара. Он изобрел ветряное колесо, которое приводило в действие музыкальный орган, и первый в мире паровой двигатель. Он создал также автоматическую дверь: воздух, нагреваемый огнем на алтаре, вытеснял воду, которая собиралась в резервуаре и своим весом натягивала веревку, которая распахивала двери. Герон придумал и первый в мире автомат



Падающий лист не падает прямо на землю – в силу малой массы и большой поверхности его легко подхватывает ветром

и даже шоу автоматических кукол. Автомат наливал определенное количество святой воды. Брошенная монетка падала на тарелочку, та наклонялась, открывала клапан, и вода текла.

Когда монета соскальзывала с тарелочки, противовес прекращал ток воды. Кукольное представление управлялось системой нитей, узлов и простыми машинами, которые действовали путем вращения цилиндрических зубчатых колес. Со времен античности было известно, что воду можно накачивать на высоту около десяти метров, но не выше. Этот вывод был сделан путем проб и ошибок. В 40-е гг. XVII в. ученые начали связывать этот факт с атмосферным давлением. В 1640 г. итальянский математик Гаспаро Берти (1600–1643) случайно сумел создать водяной барометр. Он заполнил водой 11-метровую трубу и запечатал ее. Затем один конец погрузили в емкость с водой и открыли. Часть воды вытекла, но 10,4 метра остались заполненными, а в верхней части трубы образовалось пустое пространство – вакуум. Итальянский физик Джованни Батиста Балиани (1582–1666) в 1630 г. установил, что невозможно накачать воду выше этого уровня. Он попросил Галилея объяснить это явление. Галилей сказал, что воду сдерживает ва-



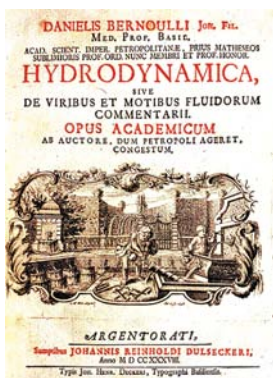
Эолипил – древний паровой двигатель, разработанный Героном Александрийским; выходящий пар заставлял верхнюю сферу вращаться



куум, и вакуум не выдерживает веса большего, чем вес воды на высоте 10 метров. В то время большинство людей, включая Галилея, считали, что воздух не имеет собственного веса.

От воды к ртути

Друг и ученик Галилея, Эванджелиста Торричелли (1608–1647), в 1644 г. предположил, что воздух имеет вес, и именно под весом воздуха вода в трубке опускается до высоты в 10 метров. Поскольку Торричелли подозревали в колдовстве, свои опыты ему приходилось проводить в тайне. Поэтому он выбрал более плотную жидкость, которая остановилась бы на меньшем уровне. Он решил использовать ртуть, которая в 16 раз плотнее воды, и поэтому высота столба составила всего 65 сантиметров.



Титульный лист «Гидродинамики» Бернулли – первого труда по механике жидкостей

Французский математик и физик Блез Паскаль (1623–1662) повторил опыт Торричелли в ртутном барометре. Он пошел дальше: попросил своего шурина взять прибор на гору и испытать его там. Обнаружив, что на высоте ртуть опускается ниже, Паскаль резонно предположил, что вес воздуха там меньше, следовательно, он оказывает меньшее давление. На основании своих наблюдений он сделал вывод о том, что давление воздуха снижается по мере увеличения высоты. На определенной высоте воздух заканчивается, то есть над слоем земной атмосферы располагается вакуум. Сегодня единица давления называется Паскалем (Па) в честь великого ученого. Один Паскаль равняется одному Ньютону на квадратный метр.

ВИННЫЙ БАРОМЕТР

Поняв, как работает его барометр, Паскаль решил проверить убеждение сторонников Аристотеля в том, что «пустая» часть трубы заполнена парами жидкости, которые и придают давление водяной столб. (Они отвергали идею о том, что в верхней части трубы может создаваться вакуум.) Поскольку считалось, что вино испаряется быстрее воды, Паскаль выбрал для публичной демонстрации вино. Он попросил сторонников Аристотеля заранее предсказать, что произойдет. Они предположили, что столб вина будет ниже столба воды, поскольку больше вина испарится и давление будет выше. Все оказалось не так, и Паскалю удалось одержать победу.

Гидродинамика

Хотя люди тысячелетия назад укротили движение жидкостей, понимать его природу начали лишь в середине XVIII в. Математик итало-швейцарского происхождения, Даниэль Бернулли (1700–1782), изучал движение жидкостей и газов. Свой фундаментальный труд «Гидродинамика» он опубликовал в 1738 г. Он обнаружил, что быстро текущая жидкость оказывает меньшее давление, чем текущая медленно. И этот принцип можно распространить на любую жидкость или газ. Когда Бернулли вставлял тонкую вертикальную трубочку в стенку широкой горизонтальной трубы, по которой текла вода, вода в узкой трубочке поднималась.



Чем выше давление воды в широкой трубе, тем выше вода поднимается в узкой трубке. Если трубу сделать уже, то давление текущей жидкости возрастает. Если диаметр трубы уменьшить вдвое, то давление увеличится в четыре раза, поскольку в действие вступает закон квадратов.

Свои выводы Бернулли изложил в виде закона, который сегодня носит его имя: в любой точке трубы, по которой течет вода, сумма кинетической энергии, потенциальной энергии и энергии давления определенной массы жидкости является постоянной. Этот закон – эквивалент закона сохранения энергии. Явление, описываемое законом Бернулли, позволяет самолету лететь, дает нам возможность предсказывать погоду и помогает моделировать циркуляцию газов в звездах и галактиках.

По настоянию отца Бернулли учился на врача, поэтому его интересовал кровоток в человеческом организме. Он разработал способ измерения кровяного давления: вводил капиллярную трубочку в кровеносный сосуд и измерял высоту, на какую поднимается кровь. Метод был инвазивным и неудобным, тем не менее, им пользовались более 150 лет, до 1896 г.

**СОЕДИНЕНИЕ
ЖИДКОСТЕЙ И МАССЫ**

До тех пор, пока все не согласилось с тем, что материя состоит из атомов, приравнять поведение твердых тел и жидкостей было невозможно. Но как только стало понятно, что жидкости и газы состоят из молекул, ученые смогли понять,

что давление воды и воздуха связано с воздействием движущихся частиц на те тела, с которыми они вступают в контакт. И действительно, изучение броуновского движения доказало существование атомов (см. стр. 32). Атомная модель материи окончательно получила всеобщее признание в начале XX в. И в то же время положение ньютоновой механики впервые пошатнулось.

**Заставим механику
работать**

Во время промышленной революции XVIII–XIX вв. механизация промышленности, сельского хозяйства и транспорта полностью изменила жизнь Европы и Северной Америки. Население стало массово перебираться из сельской местности в города. Благодаря машинам появилось массовое производство товаров. Сельскохозяйственный труд более не требовал такого количества работников. Перемещения товаров, продуктов и людей стали более эффективными. Потребность в совершенствовании машин стала двигателем научного прогресса. В ткацком станке «Дженни-пряжа», созданном в 1764 г. Джеймсом Харгривзом, использовался простой механизм, который приводил в действие восемь вертикальных веретен на одном колесе. Кольцепрядильная машина, разработанная в 1771 г. англичанином



Механический способ измерения давления крови использовался вплоть до конца XX в.



Томасом Аркрайтом, использовала силу текущей воды.

Первыми паровыми машинами были насосы. Но, когда Джеймс Уатт усовершенствовал паровой двигатель, силу пара стало возможным использовать для самых разных работ. Эти изобретения были сделаны не физиками, а практичными людьми, которым нужно было выполнять практическую работу и искать практические решения. Такие решения появлялись благодаря наблюдениям и вдохновению, а не становились результатами теоретических изысканий. А потом наука помогла объяснить принцип действия машин времен промышленной революции и усовершенствовать их – и продолжает делать это и по сей день.

НОВЫЕ ОСНОВЫ НЬЮТОНОВОЙ ФИЗИКИ

Законы Ньютона заложили основы классической механики, но в течение последующих веков их развивали и расширяли. Швейцарский математик и ученый Леонард Эйлер (1707–1783) распространил действие законов Ньютона с частиц на твердые тела (идеальные твердые тела конечного размера) и вывел два дополнительных закона, которые объясняли, что внутренние силы в телах распределяются неравномерно. Принцип Эйлера «природа ленива» имеет множество применений в физике – в частности, этот закон объясняет, что свет движется по кратчайшему пути. Блестящий математик итало-французского происхождения Жозеф-Луи Лагранж (1736–1813) сменил Эйлера на посту директора берлинской Академии наук. Он собрал воедино все достижения ньютоновой механики за век, прошедший с момента смерти Ньютона, и переформулировал их в лагранжевой механике. Труд «Аналитическая механика» Лагранж начал писать в 19 лет, а закончил,

когда ему было уже 52. В нем он, опираясь на собственную математическую систему, изложил все, что произошло в эти годы. Используя математические методы, Лагранж описал ограничения механической системы с учетом всех вариантов, которые могли случиться в ходе истории. Уравнения Лагранжа связывают кинетическую энергию системы с ее обобщенными координатами, обобщенными силами и временем. В его книге не было рисунков – поразительное достижение для книги по механике. В своих методах он использовал вычисления и полностью отказался от геометрии. Работа Лагранжа упростила многие вычисления в динамике, поскольку в ней использовались скалярные функции кинетической и потенциальной энергии, а не соединение сил, ускорений и других векторных качеств.

Эйлер и Лагранж занимались и динамикой жидкостей, но использовали разные подходы. Эйлер описывал движение отдельных частиц жидкости, а Лагранж разделил жидкость на регионы и проанализировал их траектории.

Значительный вклад в современную практическую механику внес еще один математик, ирландский дворянин, сэр Уильям Роуэн Гамильтон (1805–1865). В трактате «Об общем методе в динамике» (1835) он сумел выразить энергию системы в смысле момента и положения, сведя динамику к проблеме вычисления вариантов. Переформулированную им классическую механику в гамильтоновских уравнениях иногда называют Гамильтоновой механикой. В процессе работы он установил, что между ньютоновой механикой и геометрической оптикой существует тесная связь. Истинное значение его работы стало ясно лишь сто лет спустя, когда зародилась квантовая механика.



СОЕДИНЕНИЕ ИНЕРЦИИ И ГРАВИТАЦИИ

Между законами инерции и гравитации Ньютона и теорией относительности Эйнштейна стоит австрийский физик Эрнст Мах (1838–1916). Ньютон считал пространство абсолютным фоном, на котором разворачивается движение. Мах же утверждал, что движение всегда относительно другого объекта или точки. Подобно Эйнштейну, он полагал, что смысл имеет только относительное движение. Следовательно, инерцию можно понять только в том случае, если имеются другие объекты, с которыми можно сравнить движение или покой предмета. Если бы не было звезд и планет, мы не смогли бы понять, что Земля вращается. Принцип Маха – сам он не назвал его принципом, этот термин предложил Эйнштейн – был сформулирован в довольно общих терминах: «Масса там является источником инерции здесь». Без массы «там» не может быть инерции «здесь».

БОЛЬШИЕ И МАЛЫЕ

Ньютонова механика прекрасно работала для крупных объектов Вселенной, но давала сбои, когда дело касалось очень малого. Когда физики начали догадываться о существовании атомных и субатомных частиц, они обнаружили, что законы физики, которые считались абсолютно неизменными, более не работают. Мельчайшие частицы вели себя очень странно. Твердая уверенность в законах физики поколебалась, и в XX в. эти законы подверглись пристальному рассмотрению. Изучение атома должно было бы показать, что идеи Ньютона прекрасно объясняют функционирование Вселенной. Но в действительности оказалось, что в очень малых количествах материя ведет себя самым удивительным образом.

СЭР УИЛЬЯМ РОУЭН ГАМИЛЬТОН (1805–1865)

Гамильтон проявлял поразительные способности уже в детстве. Читать он научился в три года. В пять лет он мог переводить с латыни, греческого и древнееврейского, в 11 лет составил руководство по грамматике сирийского языка, а в 14 приветствовал на персидском языке приехавшего в Дублин посла Персии. Его талант к математике и астрономии был просто невероятным, и профессором астрономии и королевским астрономом Ирландии его избрали, когда он еще не окончил университета.

Надо сказать, что Гамильтон довольно много пил, а питался исключительно бараньими отбивными. При этом работал он чаще всего в собственной столовой. После его смерти на столе среди тарелок с костями были обнаружены научные труды по математике, астрономии, динамике, оптике и механике.



Классическая механика исчерпала себя. На атомном уровне, на скоростях, близких к скорости света, и в мощных гравитационных полях она более не работала. Прежде чем рассмотреть атом и обсудить, как он влияет на законы природы, нам нужно немного вернуться назад и поговорить об энергии – второй половине уравнения массы в движении.



ЭНЕРГИЯ – ПОЛЯ И СИЛЫ



Когда сила приводит массу в движение, мы понимаем, что в действие вступила энергия. Может показаться удивительным, что при изучении сил со времен античности первые натурфилософы не обращали внимания на энергию. Концепция энергии относительно нова – она появилась лишь в XVII в. Сам термин «энергия» (от греческого *energia*, предложенного Аристотелем) обрел свой современный смысл в 1807 г. стараниями и гением Томаса Юнга (во время эксперимента с двойными щелями). Самые явные формы энергии – это свет и тепло. Их мы совершенно бесплатно получаем от солнца. Человечество сумело укротить химическую энергию, высвобождаемую при сгорании топлива, гравитационную энергию падающего тела, кинетическую энергию ветра и движущейся воды, а также электрическую и ядерную энергию.

Молния и ветер – это мощные выбросы энергии в природе, пугающие своей разрушительной силой

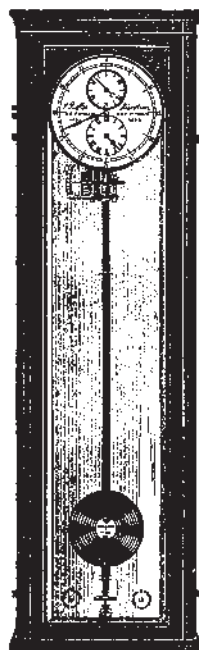


Сохранение энергии

Материя сохраняется, то есть не создается и не исчезает. То же самое происходит и с энергией. Ее можно превратить из одной формы в другую – и именно так мы заставляем энергию выполнять полезную работу. Но энергия никогда не исчезает. Галилей установил, что маятник превращает гравитационную потенциальную энергию в кинетическую, то есть энергию движения. Когда маятник находится в высшей точке своей траектории, он на мгновение переходит в состояние покоя, то есть его потенциальная энергия достигает максимума. При движении потенциальная энергия превращается в кинетическую, а в противоположной высшей точке потенциальная энергия вновь достигает максимума.

ИЗОБРЕТЕНИЕ «ЭНЕРГИИ»

То, что разные виды энергии эквивалентны, становится очевидно не сразу.



Часы с маятником были изобретены в 1656 г. Христианом Гюйгенсом: на движение маятника всегда требуется одно и то же время

«Существует факт или, если угодно, закон, управляющий всеми явлениями природы, всем, что было известно до сих пор. Исключений из этого закона не существует; насколько мы знаем, он абсолютно точен. Название его – сохранение энергии. Он утверждает, что существует определенная величина, называемая энергией, которая не меняется ни при каких превращениях, происходящих в природе. Само это утверждение весьма и весьма отвлеченно; это по существу математический принцип, утверждающий, что существует некоторая численная величина, которая не изменяется ни при каких обстоятельствах. Это отнюдь не описание механизма явления или чего-то конкретного, просто-напросто отмечается то странное обстоятельство, что можно подсчитать какое-то число и затем спокойно следить, как природа будет выкидывать любые свои трюки, а потом опять подсчитать это число – и оно останется прежним».

Ричард Фейнман, американский физик, 1961 г.



Фигуристка может увеличить скорость вращения, прижав руки к телу, или замедлить движение, раскрыв руки



Даже сегодня не существует фундаментального понимания того, что есть энергия и как она работает.

Готтфрид Лейбниц (1647–1717) математически обосновал превращения разных видов энергии друг в друга и назвал этот процесс *vis viva*. Его работы и исследования голландского математика и философа Вильгельма Гравезанда (1688–1742) были продолжены французским физиком, маркизой Эмили дю Шатле (1706–1749). Она установила, что энергия движущегося тела пропорциональна его массе, умноженной на квадрат скорости. Современное определение кинетической энергии практически такое же:

$$E_k = 1/2 mv^2$$

БОРЬБА С ОГНЕМ

Первые теории о том, как и почему предметы горят, были связаны с неким компонентом горючей материи, называемым флогистонем. Когда материя горит, высвобождается флогистон. Это была, строго говоря, не теория энергии, но теория физических и химических из-



Люди тысячелетиями использовали огонь, не имея представления о принципе его действия

менений, вызываемых огнем. Первая теория появилась в 1668 г. и связана она была с трудами алхимика Иоганна Бехера (1635–1682). Он пересмотрел существовавшую со времен Эмпедокла (см. стр. 20) древнюю модель материи, состоящей из четырех элементов – земли, воздуха, воды и огня, и заменил ее

ВЕЧНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Принцип сохранения энергии позволяет предположить, что можно создать вечный двигатель: он будет использовать произведенную собой энергию для дальнейшего ее производства, и так будет происходить постоянный процесс изменения формы энергии. Эту идею в 1150 г. впервые предложил индийский математик Бхаскара (1114–1185). Он описал колесо с прикрепленными к его ободу сосудами, заполненными ртутью. При движении ртуть будет перемещаться и своим весом вызывать дальнейшее движение. Даже Роберт Бойль, который знал гораздо больше, предлагал систему, которая будет постоянно наполнять чашу водой, опустошать ее и вновь наполнять. Но все идеи вечного двигателя обречены на неудачу, поскольку энергия теряется при трении и в силу неэффektivности. В XVIII в. французская Королевская академия наук и Американское патентное бюро окончательно объявили о том, что проекты и предложения по созданию вечных двигателей рассматриваться не будут.



Лаборатория Лавуазье в Париже

тремя формами земли: *terra lapidea*, *terra fluida* и *terra pinguis*.

В 1703 г. профессор медицины и химии университета немецкого города Галле Георг Эрнст Шталь (1660–1734) слегка изменил эту модель и переименовал *terra pinguis* во флогистон. Флогистоном он назвал вещество без запаха, цвета и вкуса, которое высвобождается из материи при горении. Когда весь флогистон высвободится, природа сгоревшей материи изменится – дерево, к примеру, превратится в пепел. Но если материя горит в закрытом пространстве, она может сгореть не вся, так как воздух насыщается флогистоном. Эта теория не помогала объяснить, как у металлов при горении или нагреве увеличивается масса (теперь мы знаем, что это происходит в силу образования оксидов), но теоретики флогистона сумели найти хитрое решение. Они заявили, что иногда флогистон не имеет веса, иногда имеет вес позитивный, а иногда – негативный, поэтому потеря флогистона может привести к увеличению массы горящей материи. Флогистон участвовал также в процессах коррозии и присутствовал в живых организмах – живое существо не может жить



в пропитанном флогистоном воздухе, где что-то сгорело, а железо будет в нем ржаветь.

Теоретики не опускались до химических объяснений, пока Антуан-Лоран Лавуазье (см. стр. 30) не продемонстрировал, что при сгорании или коррозии материала происходит соединение его с кислородом. Осознание, что это обеспечивает связь с жизненными процессами (для дыхания также необходим кислород), стало первым шагом к пониманию того, что в основе жизни лежат

химические процессы. Если флогистон, а затем кислород смогли объяснить химический процесс горения, то выделяющееся тепло оставалось загадкой вплоть до 1737 г., когда дю Шатле высказала идею о том, что позже получило название инфракрасного излучения.



Георг Эрнст Шталь



ГАБРИЭЛА ЭМИЛИЯ ЛЕ ТОННЕЛЬЕ ДЕ БРЕТЕЙ, МАРКИЗА ДЮ ШАТЛЕ (1706–1749)

Дочь французского аристократа, Эмилия дю Шатле считалась слишком высокой для женщины, и отец решил, что ей вряд ли удастся выйти замуж. Он нанял для нее лучших учителей (к 12 годам она могла говорить на шести языках) и позволил заниматься интересующими ее физикой и математикой. Мать подобного не одобряла и хотела отправить дочь в монастырь, но, к счастью, отец сумел настоять на своем. Эмилию интересовали азартные игры, и свои знания математики она использовала для повышения шансов на выигрыш. Выигранные деньги она тратила на книги и лабораторное оборудование.

Эмилия все же вышла замуж, у нее было трое детей. Муж часто отсутствовал – то на войне, то в своих многочисленных поместьях. И Эмилия могла свободно заниматься наукой и принимать любовников – говорят, что среди них был и знаменитый философ Вольтер (Франсуа-Мари Аруэ). Совершенно точно можно сказать, что Вольтер был интеллектуальным другом Эмилии и много времени проводил в поместье дю Шатле Сире-сюр-Блез, где они вместе работали в лаборатории. Эмилия перевела «Начала» Ньютона и написала трактат «Основы физики» (1740), где попыталась примирить взгляды Ньютона и Лейбница. В 1737 г. она участвовала в конкурсе Академии

наук, предложив статью о свойствах огня. В ней она предполагала, что свет разных цветов обладает разной степенью нагрева, тем самым предвосхитив определение инфракрасного излучения. В конкурсе она не победила, но ее статья была опубликована.

В ходе одного из своих опытов она бросала пушечные ядра в мокрую глину и установила, что удвоение скорости ядра в четыре раза увеличивает глубину впадины. Из этого она сделала вывод о том, что сила пропорциональна массе, умноженной на квадрат скорости ($m \times v^2$), а не просто на скорость, как полагал Ньютон.



Эмилия дю Шатле была выдающейся женщиной-физиком в те времена, когда наука была чисто мужской прерогативой



Термодинамика

Создание парового двигателя и многих других машин промышленной революции означало, что человечеству жизненно необходимо понять термодинамику – как тепло вырабатывается, передается и может быть использовано для физической работы. В XVIII в. существовали две теории природы тепла, не исключаящие друг с другом. Это модель теплорода и механическая модель.

Механическая модель основывалась на движении крохотных частиц. Кинетическая теория газов была изложена в книге Даниэля Бернулли «Гидродинамика», опубликованной в 1738 г. Он предположил, что газы состоят из движущихся молекул. Когда эти молекулы ударяются о поверхность, возника-

Один из экспериментов Румфорда с пушечными стволами. Он предположил, что частицы двигаются из-за нагрева, а нагрев может вызываться трением

ет давление; их кинетическая энергия ощущается как тепло. Эту модель мы принимаем и сегодня.

Модель теплорода заключалась в том, что тепло – это форма материи, разновидность газа, состоящего из неделимых частиц. Атомы тепла – или теплорода – могут соединяться с атомами других веществ или распространяться свободно и проникать между атомами другой материи.

«Теперь я так же убежден в том, что теплород не существует, как и в существовании света».

Гемфри Дэви, 1799 г.



ТЕПЛО И ХОЛОД

В 80-е гг. XVII в. ученые верили в то, что тепло – это результат действия «теплорода». А некоторые полагали, что холод вызывается присутствием другого вещества, «хладорода». Эта теория была опровергнута швейцарским философом и физиком Пьером Прево (1751–1839), который заявил, что холод – это всего лишь отсутствие тепла. В 1791 г. Прево доказал, что все тела, сколь бы холодными они ни казались, излучают некое тепло.

Лавуазье отвергал флогистон, но в то же время признавал существование теплорода. Он полагал, что атомы теплорода входят в состав кислорода, а их высвобождение приводит к нагреванию и сгоранию. Когда нагрев вызывается трением, то это происходит, потому что атомы теплорода выделяются из движущегося тела.

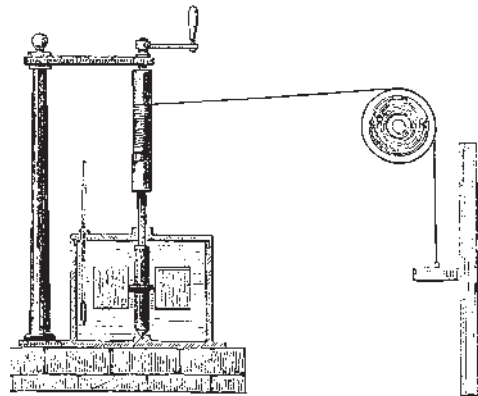
Американский физик Бенджамин Томпсон граф Румфорд (1753–1814) провел эксперимент, в ходе которого взвесил лед, растопил его и взвесил образовавшуюся жидкость. Он обнаружил, что существенной разницы в весе нет, то есть никакого теплорода в процессе таяния льда не выделилось. Но сторонники модели теплорода возразили ему, заявив, что теплород имеет крайне малую массу, которой можно пренебречь. Граф Румфорд заметил также, что при сверлении отверстий в металле – например, при изготовлении пушек – выделяется большое количество тепла. В сочетании с экспериментами английского химика Гемфри Дэви (1778–1829) это должно было убедить всех в ошибочности теории теплорода – ведь тепло может возникать в результате простой физической рабо-

ты. Хотя некоторые сомневались в теории теплорода, но выводы графа Румфорда и Дэви так и не были приняты, пока спустя 50 лет английский физик Джеймс Прескотт Джоуль (1818–1889) не повторил некоторые их опыты.

Джоуль провел эксперименты, чтобы показать, что работу можно превратить в тепло. Например, пропуская под давлением воду через цилиндр с отверстиями, он сумел повысить ее температуру. Тем самым он заложил основы теории сохранения энергии через ее превращение в разные формы и доказал, что теория теплорода ошибочна. (Удивительно, но сохранение тепловой энергии являлось основой теории теплорода, так как тепло превращалось в материю, которая, как уже было известно, сохраняется.)

Джоуль вычислил, что количество работы, необходимой для повышения температуры одного фунта воды на один градус по Фаренгейту, составляет 838 фунтов на фут. (Один футо-фунт – это вращательный момент, создаваемый силой в один фунт, действующей на перпендикулярном расстоянии в один фут от точки опоры.)

С помощью этого оборудования Джоуль измерил механический эквивалент тепла





ФИЗИКА СОБИРАЕТ СТАТИСТИКУ

Джеймс Клерк Максвелл сформулировал так называемое распределение Максвелла, связанное со скоростями молекул. Тем самым он проложил путь к вычислению пропорционального количества молекул, движущихся с определенной скоростью (или вероятностью того, что частица будет иметь такую скорость) в газе, где молекулы находятся в свободном движении. Это был первый статистический закон физики. Затем его сменило распределение Максвелла-Больцмана, где приемы и выводы Максвелла были уточнены.

Джоуль испробовал разные методы и получил сходные результаты, что позволило сделать вывод о том, что теория и полученные результаты приблизительно верны.

Поначалу теорию Джоуля встретили без энтузиазма, отчасти потому что она основывалась на очень точных измерениях, различия в температуре составляет $\frac{1}{200}$ долю градуса. Когда Майкл Фарадей и Уильям Томсон (позже ставший лордом Кельвином) в 1847 г. побывали на презентации Джоуля, то заинтересовались его идеями, но потребовалось немало времени, прежде чем они разделили его точку зрения.

Первое сотрудничество с Томсоном произошло, когда у Джоуля был медовый месяц. Они договорились измерить разницу температур воды в верхней

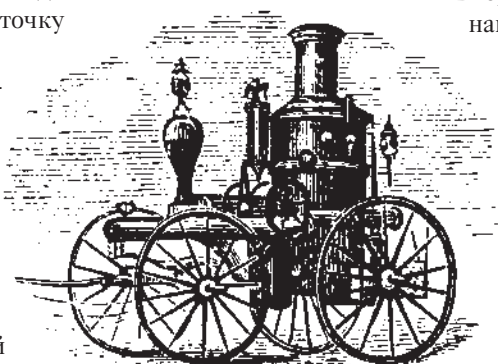
и нижней точке водопада во Франции, но опыт так и не удался. С 1852 по 1856 г. Томсон и Джоуль переписывались. Джоуль продолжал опыты, а Томсон комментировал результаты. Джоуль сделал вывод о том, что тепло есть форма движения атомов. Хотя атомная модель материи не была в тот момент общепринятой, Джоуль был хорошо знаком с ней по трудам английского химика Джона Дальтона (см. стр. 31) и всем сердцем ее принимал.

ЗАКОНЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

Три закона термодинамики определяют, что можно, а чего нельзя сделать в любой системе, связанной с теплом и энергией. Законы появились в XIX в., когда окончательно было установлено, что тепло – это движение частиц.

Первый закон термодинамики в 1850 г. сформулировал Рудольф Клаузиус (1822–1888). Это явное отражение закона сохранения энергии: изменение внутренней энергии системы равно потребованному для этого количеству тепла за вычетом работы, выполненной системой. Другими словами, энергия никогда не создается и не исчезает. Закон в формулировке Клаузиуса основывался на опыте Джоуля, который доказал, что работа (или энергия) эквивалентна теплу.

Второй закон термодинамики в действительности был открыт до первого.



Паровой двигатель преобразует тепловую энергию в кинетическую и приводит в движение агрегат или транспорт



НИКОЛЯ ЛЕОНАР САДИ КАРНО (1796–1832)

Николя Карно родился в Париже. Он был сыном видного политика и кузеном Мари Франсуа Сади Карно, президента Французской Республики с 1887 по 1894 г. С 1812 г. молодой Карно учится в Эколь Политеchnik в Париже, где его учителями стали известные физики Симеон-Дени Пуассон (1781–1840), Жозеф Луи Гей-Люссак (1778–1850) и Андре-Мари Ампер (1775–1836). Паровой двигатель, который использовался уже с 1712 г., более пятидесяти лет назад усовершенствовал Джеймс Уатт. Но усовершенствования эти велись методом проб и ошибок и больше полагались на предположения, чем на научные выводы. Когда Карно начал изучать паровой двигатель, его средняя эффективность составляла всего 3 процента. Он искал ответы на два вопроса: «Является ли работа, выполняемая источником тепла, потенциально бесконечной?» и «Можно ли усовершенствовать тепловой двига-



Николя Сади Карно

тель, заменив пар другой рабочей жидкостью или газом?» Разбираясь с этими вопросами, он разработал математическую модель парового двигателя, которая помогла ученым понять, как он работает.

Хотя Карно в своих изысканиях отталкивался от теории теплорода, его работа заложила основы второго закона термодинамики. Он установил, что паровой двигатель вырабатывает энергию не благодаря «потреблению теплорода, но [благодаря] передаче его от теплого тела холодному», и вырабатываемая энергия тем больше,

чем больше разница температур «между теплым и холодным телами». Свои выводы он опубликовал в 1824 г., но работа Карно не получила признания, пока в 1850 г. к ней не вернулся Рудольф Клаузиус.

Карно умер от холеры в возрасте всего 36 лет. Опасаясь распространения инфекции, большую часть его бумаг и других вещей попросту сожгли. Поэтому судить о его таланте мы можем по единственной книге.

Французский военный инженер Николя Сади Карно (см. врезку выше) описал теоретическую идеальную тепловую машину, в которой энергия не теряется на трение или потери, и дока-

зал, что эффективность машины зависит от разницы температур между двумя телами. Поэтому паровой двигатель, в котором используется сверхнагретый пар, будет производить работы больше,



чем тот, где используется более холодный пар. Двигатель (например, дизель), в котором используется топливо более

высокой температуры, будет более эффективным.

Как и в большинстве работ по термодинамике XIX в., Карно в качестве отправной точки использовал существующие механизмы. На их основе он анализировал и объяснял физические принципы их работы. Практическая физика двигала развитие теоретической.

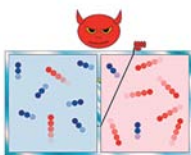
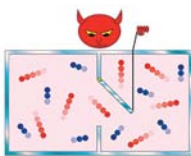
Карно объяснял свои открытия на основании теории теплорода. С помощью энтропии закон сформулировал Клаузиус. Он утверждал, что система всегда стремится к наивысшей энтропии. Энтропией обычно называли «беспорядок». Более точным будет другое определение: энтропия – это мера нехватки энергии системы для выполнения работы; в любой реальной системе определенная часть энергии всегда теряется на рассеиваемое тепло. Когда топливо сгорает, энергия из организованного состояния (низкая энтропия) переходит в состояние дезорганизованное (высокая энтропия). При каждом сгорании топлива общая энтропия Вселенной возрастает. Клаузиус объединил первый и второй законы термодинамики, заявив, что количество энергии во Вселенной остается постоянным, но ее энтропия стремится к максимуму. Если Вселенной когда-нибудь наступит конец, она превратится в огромную кашу несоединенных атомов. Такое состояние называют тепловой смертью Вселенной. Впервые его описал Клаузиус.

Третий закон термодинамики был открыт гораздо позже, в 1912 г. Открытый немецким физиком и химиком Вальтером Нернстом (1864–1941) закон гласит, что ни одна система не может достичь абсолютного нуля, то есть температуры, при которой движение атомов почти прекратится, а энтропия устремится к минимуму или к нулю.

ДЕМОН МАКСВЕЛЛА

В 1871 г. Джеймс Клерк Максвелл предложил умозрительный эксперимент, который должен был бы обмануть второй закон термодинамики. Он описал герметичный сосуд, разделенный на две части. В одной содержится горячий газ, в другой – холодный. В разделительной стенке есть небольшое отверстие. В нормальных условиях тепло переходит из горячей зоны в холодную, быстрые частицы сталкиваются с медленными и увеличивают их скорость, и наоборот. Со временем в обеих частях сосуда будут содержаться частицы со сходным распределением скоростей и с одинаковой температурой. Но в эксперименте Максвелла участвовал демон, который сидел у отверстия и регулировал перемещение частиц. Демон открывал отверстие и пропускал быстрые частицы в одном направлении, а медленные – в другом. В результате температура в горячей части повысится за счет холодного газа, и энтропия системы понизится. Однако система не может обмануть закон, поскольку любое существо, выполняющее функции демона, должно использовать энергию для работы.

В 2007 г. шотландский физик Дэвид Ли сделал попытку построить демона Максвелла нано-размеров. Машина могла разделять медленно и быстро движущиеся частицы, но нуждалась в энергии для своей работы.





Абсолютный ноль

Третий закон термодинамики требует концепции минимальной температуры, ниже которой она упасть не может. Такой минимум называется абсолютным нулем. Впервые концепцию минимально возможной температуры выдвинул Роберт Бойль в 1665 г. в трактате «Новые опыты и наблюдения над холодом», где говорилось о *primum frigidum*. Многие ученые того времени полагали, что есть «некое тело, которое по своей природе является исключительно холодным, и во взаимодействии с которым все другие тела приобретают это качество».

Французский физик Гийом Амонтон (1663–1705) стал первым, кто подошел к этой проблеме практически. В 1702 г. он построил воздушный термометр и заявил, что температура, при которой воздух не «поднимается», чтобы влиять на измерения, является «абсолютным нулем». По его шкале таким абсолютным нулем была температура около -240°C . Швейцарский математик и физик Иоганн Генрих Ламберт (1728–1777), который в 1777 г. предложил шкалу абсолютных температур, оперировал с показателем -270°C – довольно близко к тому уровню, который принят сегодня.

Однако этот почти точный показатель не получил всеобщего признания. Пьер-Симон Лаплас и Антуан Лавуазье в 1780 г. предположили, что абсолютный ноль – это 1500–3000 градусов ниже точки замерзания воды, и уж точно не менее 600 градусов ниже точки замерзания. Джон Дальтон называл температуру -3000°C . Жозеф Гей-Люссак, проведя исследования взаимосвязи объема и температуры газа, пришел к более точной

Действие термометра Галилея основано на колебании давления в зависимости от температуры; при абсолютном нуле давления нет, поскольку атомы не двигаются



цифре. Он установил, что при постоянном давлении объем газа при повышении температуры на каждый градус выше нуля увеличивается на $1/273$. Из этого он сумел вывести цифру абсолютного нуля -273°C , то есть еще больше приблизился к реальному показателю.

Ситуация изменилась после того, как Джоуль доказал, что тепло имеет механическую природу. В 1848 г. Уильям Томсон (впоследствии лорд Кельвин) разработал температурную шкалу, основанную исключительно на законах термодинамики, а не на свойствах конкретного вещества (в отличие от Фаренгейта и Цельсия). Кельвин определил значение абсолютного нуля, которое сохранилось и по сей день: $-273,15^{\circ}\text{C}$. Его показатель оказался весьма близким к тому, что был определен с помощью воздушного термометра и теории Гей-Люссака. Шкала Кельвина основана на шкале

Цельсия, но начинается с температуры $-273,15^{\circ}$, а не с нуля. Хотя Кельвин пользовался большим влиянием и был президентом Королевского общества, ему тоже были свойственны заблуждения – он категорически отвергал теорию эволюции Дарвина и существование атомов.

Тепло и свет

Человечеству тысячелетиями было известно, что солнечный свет дает не только свет, но и тепло. Взаимосвязь же между ними была установлена относительно недавно.



НАСКОЛЬКО ХОЛОДНО?

Даже в далеком космосе нет абсолютного нуля. Приблизительная температура во внешнем космосе составляет $2,7^\circ \text{K}$, поскольку повсюду присутствует фоновое излучение космических микроволн – тепло, оставшееся после Большого взрыва. Самая холодная область, насколько нам известно, это галактика Бумеранг – темное газовое облако с температурой чуть больше 1°K . Самая низкая температура, какой удалось достичь искусственным образом, составляет 0,5 миллиардных долей градуса Кельвина. В 2003 г. ее удалось достичь на кратчайшее время в лаборатории Масчачусетского технологического института.



Первым человеком, который заметил эту связь, был итальянский ученый Джамбатиста делла Порта (ок. 1535 – 1615). В 1606 г. он описал тепловой эффект света. Делла Порта был не только ученым, но и драматургом. Он писал трактаты по сельскому хозяйству, химии, физике и математике. Его трактат «Природная магия» (1558) вдохновил ученых на создание в 1603 г. итальянской научной академии, Академия деи Линчеи (Академия «рысьеглазых»). На титульном листе книги была изображена рысь, а во вступлении автор описывал ученого, который «острым рысьим глазом изучает все то, что воплощает себя,

чтобы, наблюдая, можно было использовать это».

Эмилия дю Шатле установила связь между теплом и светом, заметив, что нагревательная способность света зависит от его цвета. Хотя это должно было бы привести к изучению электромагнитного спектра и открытию инфракрасного излучения, в то время сделать это не удалось. В 1901 г. Макс Планк (см. врезку) сделал важное открытие: он связал свет и тепло, изучая излучение черного тела. Но это был случайный прорыв, результат стечения обстоятельств, впоследствии ставший основой для развития квантовой механики.

«[Квантовое решение проблемы черного тела] было актом отчаяния, потому что нужно было любой ценой, сколь бы высока она ни была, найти теоретическое обоснование».

Макс Планк, 1901 г.

ИЗЛУЧЕНИЕ ЧЕРНОГО ТЕЛА И КВАНТОВАЯ ЭНЕРГИЯ

Многие виды материалов при нагреве начинают светиться, излучая свет в спектре от красного до желтого и белого. Длина



Академия деи Линчеи с 1883 г. располагается в римском палаццо Корсини

волны излучаемого света при повышении температуры уменьшается и смещается в синюю часть спектра.

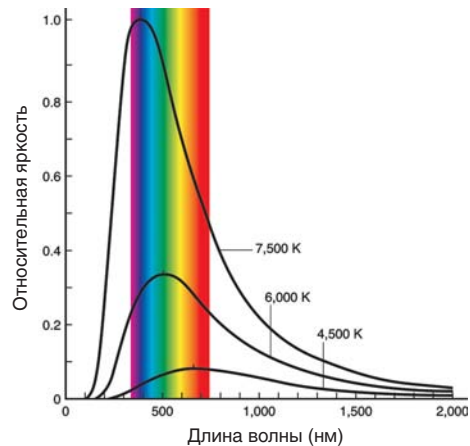
Поэтому свет горячего тела из желтого и красного становится более белым, а затем голубоватым. График, отражающий такое распределение тепла и цвета, называется кривой излучения черного тела. Идеальным «черным телом» называют такое, которое поглощает все падающее на него излучение. Кубик, сделанный из графита и имеющий крохотное отверстие, можно приблизительно считать идеальным черным телом (отверстие выполняет роль черного тела). Когда черное тело нагревается, оно начинает светиться, при разных температурах излучая свет разной длины волны. Цвет излучаемого света целиком зависит от температуры и не зависит от материала тела.

При температуре 7500° К черное тело излучает свет в фиолетовой части спектра; при температуре 4500° К свет смещается в красную часть

Планк попытался рассчитывать точное количество света, излучаемого черным телом на разной длине волны. Для этого он взял графитовый кубик с маленьким отверстием. Хотя он сумел составить очень точную формулу для получения правильного результата, чтобы довести ее до совершенства, он сделал весьма странное предположение. Его мнение сводилось к тому, что вместо сплошного потока света, излучаемого из отверстия, какой должна быть волна, луч следовало разбить на отдельные небольшие фрагменты или частицы волны – кванты. Планк вовсе не считал, что энергетические кванты станут частью общей физики. Он считал их чисто математической уловкой, которая в будущем будет отвергнута в результате новых открытий или вычислений. Как же он ошибался!

ДРУГИЕ ФОРМЫ ЭНЕРГИИ

Когда ученые начали внимательно изучать свет и тепло, им удалось обнаружить совершенно новые формы энергии. Многие виды энергии, которые давно уже использовались человечеством, названия свои получили лишь в XIX в.





Для определения температуры лавы при извержении вулкана можно использовать метод спектроскопии, то есть анализа света, излучаемого текущей лавой

Французский ученый Гюстав-Гаспар де Кориолис (1792–1843) в 1829 г. описал кинетическую энергию, а в 1853 г. шотландский физик Уильям Ранкин (1820–1872) предложил термин «потенциальная энергия». И первым новым источником энергии стало электричество. Хотя все видели молнии, никто не понимал, что их действие связано с электричеством.

Открытие электричества

Сначала было открыто статическое электричество. Даже в древности люди знали, что при натирании янтаря или гагата возникает некая сила, которая заставляет пух и кусочки ткани притягиваться к камню.

Но никто не понимал природы этого явления. Английский натурфилософ сэ

МАКС ПЛАНК (1858–1947)

Жизнь Макса Планка была долгой, но трагической. Он родился в Киле, в герцогстве Гольштейнском (ныне Германия). Сначала он хотел стать музыкантом. Он спросил у одного музыканта, чему бы ему следует научиться, тот ответил, что человеку, у которого возникает такой вопрос, никогда не стать музыкантом. Тогда Планк переключился на физику, хотя его профессор сказал ему, что в физике уже нет места для новых открытий. К счастью, Планк ему не поверил. Сформулированная им квантовая теория стала основой для физики XX в.

Первая жена Планка умерла в 1909 г., по-видимому, от туберкулеза. Во время Первой мировой войны один его сын был убит на Западном фронте,

а второй, Эрвин, попал в плен к французам. Дочь Планка, Грета, умерла при родах в 1817 г., а ее сестра-близнец Эмма в 1919 г. умерла при сходных обстоятельствах (после смерти Греты она вышла замуж за ее мужа).

В 1944 г. дом Планка в Берлине был полностью разрушен во время бомбардировки, и все его научные работы и письма погибли. Последней каплей стала гибель сына Эрвина: в 1945 г. нацисты казнили его за участие в заговоре с целью убийства Гитлера. После казни Эрвина Планк утратил волю к жизни и умер в 1947 г.

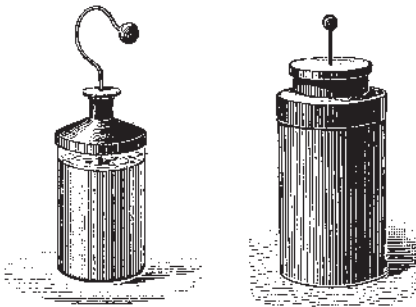




*Электрический генератор
Отто фон Герике, работавший
на статическом электричестве*

Томас Браун (1605–1682), назвал «электричеством» «силу, способную притягивать соломинки и легкие тела и разворачивать свободно лежащую иглу». В 1663 г. немецкий ученый Отто фон Герике построил первый электростатический генератор. Герике уже проводил эксперименты с давлением воздуха, которые доказали возможность существования вакуума (см. стр. 27). Его электростатический генератор – «машина трения» – представлял собой шар серы, который можно было вращать между ладоней, создавая заряд. Исаак Ньютон предложил вместо серного использовать стеклянный шар. Впоследствии стали использоваться и другие материалы. В 1746 г. была создана машина трения с большим колесом, которое поворачивало несколько стеклянных шаров, а в качестве проводников использовались меч и пушечный ствол, подвешенные на шелковых нитях. В другой машине вместо ладони использовалась кожаная подушка. В 1785 г. была создана машина, где использовались два цилиндра, покрытых заячьим мехом.

Гораздо больше экспериментов с электричеством проводилось в XVIII в.



Генераторы статического электричества стали популярным развлечением во время публичных научных лекций. Примерно в 1744 г. двое ученых независимо друг от друга изобрели лейденскую банку. Это были голландский учитель математики Питер ван Мушенбрук (1692–1761) и немецкий священник Эвальд Георг фон Клейст (1700–1748). Изобретение представляло собой банку, частично заполненную водой. Сквозь пробку в нее был введен металлический стержень или проволока. Это было простейшее устройство для накопления электричества. Для большей эффективности банку снаружи оборачивали металлической фольгой.

Когда фон Клейст впервые коснулся своей банки, он ощутил такой сильный электрический разряд, что рухнул на пол. Лейденская банка стала полезным инструментом для экспериментов с электричеством и предшественницей современного конденсатора. Изучая этот инструмент, Бенджамин Франклин обнаружил, что заряд сохраняется в стекле, а не в воде, как предполагалось ранее.

ВОЗДУШНЫЕ ЗМЕИ И ГРОЗЫ

Американский ученый Бенджамин Франклин (1706–1790), который принимал участие в составлении Декларации

Лейденская банка



ПЕРВАЯ МАШИНА ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ?

Вполне возможно, что древние египтяне использовали электрических скатов в медицинских целях. Римляне применяли глазчатых электрических скатов для снятия боли. Поскольку такой скат (*Torpedo torpedo*) производит электрический разряд, его можно использовать для чрескожной электростимуляции в целях обезболивания. Римляне пользовались скатами для снятия болей при подагре, головных болях, хирургических операциях и родах. Рыбы во время процедуры погибали, поскольку их вытаскивали из воды. Превзошел всех в попытках скопировать воздействие электрической рыбы Генри Кавендиш, который в 1776 г. сделал кожного ската. Изучив рыбу, он сначала сделал ее из дерева, но понял, что дерево плохо проводит электричество. Во второй раз он сделал ската из кусков толстой кожи, обложив его тонкими оловянными пластинами, имитирующими электрические органы. Пластины он соединил с лейденскими банками и погрузил своего кожного ската в соленую воду. Опустив руку в воду рядом с рыбой, он почувствовал удар током, сходный с тем, что описывали люди, подвергшиеся атаке настоящих скатов.

независимости, в 1752 г. впервые продемонстрировал электрическую природу молнии.

В ходе знаменитого эксперимента он проверил свою теорию, прикрепив металлический стержень к воздушному змею и привязав ключ к другому концу нити. Во время грозы Франклин выпустил змея, а ключ подвесил рядом с лейденской банкой. Даже без молний электрического заряда грозовых туч было достаточно, чтобы ключ зарядился по влажной нити, и между ним и лейденской банкой начали проскакивать искры. Франклин предположил, что электричество может иметь положительный или отрицательный заряд. Он изобрел громоотвод, по которому электрический заряд молнии по металличе-

скому стержню безопасно уходил в землю, и колокола, получившие его имя (см. врезку на стр. 99).

МОДА НА ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Эксперименты с электричеством стали популярным научным развлечением. Иногда в нем участвовали несчастные, порой не желавшие того добровольцы. Первым систематические опыты с электричеством стал проводить английский красильщик, физик-любитель Стивен Грей (1666–1736). Он пригласил бездомного мальчишку, подвесил его на изолированном проводе и дал в руки заряженную стеклянную палочку. Когда мальчик касался палочкой небольших металлических листов, с его носа сыпались искры. Эксперименты Грея были занимательными (по крайней мере, для зрителей). В 1729 г. он сумел продемонстрировать проводимость — явление передачи электричества



Бенджамин Франклин проводит эксперименты с молнией в процессе изучения электричества



«В сентябре 1752 г. я установил железный стержень, чтобы притянуть молнию в свой дом и провести ряд экспериментов. Чтобы узнать, когда стержень зарядится, я прикрепил к нему два колокола – предосторожность, очевидная для всякого электрика.

Я обнаружил, что колокола иногда звонят и без молнии или грома, а лишь когда над стержнем оказывается черная туча; что иногда после вспышки молнии они неожиданно замолкают; а в других случаях после вспышки они неожиданно начинают звонить; что электричество иногда бывает очень слабым, и когда возникает малая искра, другой приходится ждать какое-то время; а в другие моменты искры сыплются одна за другой, и однажды между колоколами образовалась непрерывная дуга размером с воронье перо. Даже при одинаковых условиях я получал совершенно разные результаты».

Бенджамин Франклин, 1753 г.

от одного материала другому, в том числе и через воду.

В сходном эксперименте электрический заряд пропускали по цепочке стариков, взявшихся за руки. Химик Шарль Дюфе (1698–1739), работавший в Париже, развил идеи Грея. В 1733 г. он установил, что каждый предмет и каждое живое существо содержат в себе некое электричество. Он продемонстрировал, что электричество это может принимать две формы – отрицательную, которую он назвал «смоляной», и положительную

Георг Ом, именем которого названа единица электрического сопротивления



или «стеклянную». В 1786 г. итальянский физик Луиджи Гальвани (1737–1798) пропускал электрический ток через мертвых лягушек, отчего их лапки судорожно подергивались. Из этого он сделал вывод, что нервы лягушек передают электрические импульсы, которые заставляют работать мышцы конечностей.

ЗАСТАВИМ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО РАБОТАТЬ

Чтобы электричество стало возможным использовать, нужно было найти способ высвободить или генерировать его там и тогда, когда это необходимо. Первая электрическая ячейка, предшественница батареи, была разработана итальянским физиком Алессандро Вольта (1745–1827). Его именем названа единица измерения электрического потенциала. Электрический «столб», созданный в 1800 г., состоял из стопки цинковых, медных и бумажных дисков, замоченных в соляном растворе. Вольта не представлял, почему это устройство генерирует электрический ток, но его это не волновало, поскольку результат был достигнут. Действие ионов по передаче электрического заряда было описано в 1884 г. шведским ученым Сванте Августом Аррениусом (1859–1927). Немецкий ученый Георг Ом (1789–1854) использовал свой вариант батареи Вольты для собственных исследований электричества. Он сформулировал закон, носящий теперь его имя. Закон Ома определяет связь напряжения с силой тока и сопротивлением проводника, впервые он был опубликован в 1827 г.

$$I = U/R,$$

где I – это сила тока в амперах, U – это напряжение в вольтах, а R – сопротивление в омах.



Сопротивление материала остается постоянным вне зависимости от напряжения, поэтому изменение напряжения непосредственно влияет на силу тока.

ОЖИДАНИЕ СВОЕГО ЧАСА: МАГНЕТИЗМ

Мы не можем двигаться дальше, не вспомнив о магнетизме. Еще древние заметили, что некоторые материалы способны притягивать железо или ориентироваться по оси север-юг. Но это явление, подобно магии, оставалось необъяснимым.

Аристотель писал, что Фалес (ок. 625–545 г. до н. э.) в VI в. до н. э. дал описание магнетизма. Примерно в 800 г. до н. э. индийский врач и писатель Сушрута описал использование магнитов для извлечения металлических заноз из тела. Еще одно упоминание о магнетизме мы находим в китайском трактате IV в. до н. э. «Книга хозяина Долины Дьявола». Там говорится: «Магнетит притягивает железо к себе». Магнетит – это металлический магнитный железняк.

Куски этого минерала с правильной кристаллической структурой можно намагнитить с помощью удара молнии. Китайские гадатели начали использовать этот минерал на таблицах предсказаний еще в I в. до н. э. Для из-



Магнетит – естественный магнит, который притягивает магнитные металлы, такие как железо и сталь

готовления компасов магнетит применяли уже в 270 г. н. э., но первое документальное подтверждение применения компаса в мореплавании – это книга Чжу Юя «Из бесед в Пинчжоу», написанная в 1117 г. В ней говорится: «Мореплаватель знает географию, по ночам он смотрит на звезды, а днем на солнце; когда темно и небо закрыто тучами, он смотрит на компас». По-видимому, в Европе навигационный компас разработали самостоятельно. Если китайский компас имел 24 деления, то европейские всегда имели 16. На Ближнем Востоке компас появился уже после того, как его использование зафиксировано в Европе, следовательно, этот инструмент не мог попасть в Европу из Китая через Ближний Восток. И, наконец, если китайские компасы часто делались так, чтобы указывать на юг, то европейские всегда указывали на север.

Первые научные исследования магнетизма провел англичанин Уильям Гилберт (1544–1603), придворный ученый Елизаветы I. Гилберт воспользовался латинским словом *electricus*, то есть «янтарный». В 1600 г. он опубликовал свою книгу «О магните», в которой описал свои опыты по изучению природы магнетизма и электричества.



Компас использует магнитное поле Земли и указывает направление

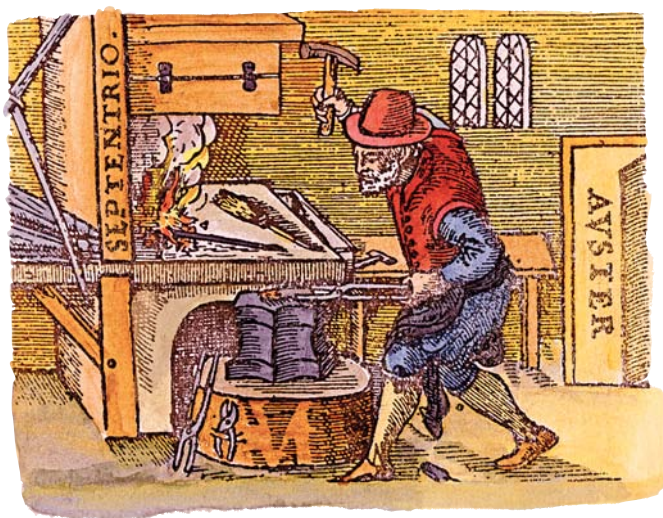


Это было первое рациональное объяснение таинственной способности стрелки компаса всегда вставать по оси север-юг. Так стало понятно, что и Земля является магнитом. Гилберт сумел опровергнуть распространённое среди моряков убеждение в том, что чеснок способен испортить компас (рулевым не позволяли есть чеснок рядом с корабельным компасом), и идею о том, что на Северном полюсе есть огромная магнитная гора, которая способна выдернуть из корабля все железные гвозди, если подойти к ней слишком близко.

На идее магнетизма основаны и истории о железном гробе Мухаммеда, который плавает в воздухе, подвешенный между двумя магнитами. (Конечно, если бы это действительно было так, достаточно было бы одного магнита, расположенного над гробницей, так как гравитация обеспечила бы направленный вниз импульс.)

Электромагнетизм – сочетание электричества и магнетизма

Практическое применение электричества началось в начале XIX в. В 1820 г. датский физик и химик Ганс Христиан Эрстед (1777–1851) заметил, что электрический ток может отклонить стрелку компаса. Так ученые впервые задумались о связи между электричеством и магнетизмом. Всего через неделю Андре-Мари Ампер дал более детальное объяснение. В Академии наук он проде-



Кузнец делает магнит, изображение из книги Уильяма Гилберта «О магните»

монстрировал, что параллельные проводы, по которым пропущен электрический ток, либо притягиваются, либо отталкиваются в зависимости от направления тока. Так были заложены основы электродинамики. В следующем году Майкл Фарадей провел такой эксперимент: он поместил магнит на блюдо с ртутью и подвесил над ним провод так, чтобы он касался ртути. Фарадей обнаружил, что, когда он пропускает по проводу электрический ток, провод начинает вращаться вокруг магнита. Это явление он назвал «электромагнитным вращением» – оно легло в основу электромотора. В действительности переменное магнитное поле создает электрическое поле, и наоборот.

Фарадею не хватило времени на то, чтобы продолжить свою работу по электромагнетизму, первый мощный электромагнит в 1825 г. создал американский ученый Джозеф Генри (1797–1878).

Он установил, что, вращая изолированный провод вокруг магнита и пропуская по нему ток, можно значительно



увеличить мощность магнита. Генри построил электромагнит, способный поднять около 1600 кг. Затем он разработал прототип электрического телеграфа. Генри протянул через Академию Олбани тонкий провод длиной 1,7 километра и пропустил по нему ток. Так ему удалось привести в действие колокольчик, подвешенный на другом конце. Хотя телеграф изобрел Сэмюэль Морзе (1791–1872), Генри доказал, что подобная идея вполне возможна.

Если выбирать одно имя среди тех, кто занимался электричеством, то это будет имя Майкла Фарадея. Хотя в 20-е гг. XIX в. он был слишком занят, чтобы продолжить работы по электромагнетизму, Фарадей все же вернулся к этой теме в 1831 г. и открыл принцип электрической индукции. Он разместил две катушки проволоки на противоположных сторонах железного кольца, а затем пропустил по одной из

них ток. Тем самым он намагнитил кольцо и на короткое время вызвал электрический ток в другой катушке –



*Джозеф
Генри*

ПОЛЯ И СИЛЫ

Поле – это среда, в которой сила передается на расстоянии. Магнитное поле – это область, в которой действует магнитная сила. Обычно его изображают в виде линий, исходящих из северного полюса магнита и направленных к его южному полюсу. Сила электромагнитной или гравитационной силы уменьшается пропорционально квадрату расстояния от источника: на двойном расстоянии от источника сила будет составлять всего четверть от исходной. Закон обратных квадратов относительно сил впервые был изложен Ньютоном, когда он изучал силу тяготения.

так был создан первый электрический трансформатор. Через полторы недели он изобрел динамомашину, в которой постоянный магнит колебался над катушкой проволоки, вызывая в ней ток. Закон индукции Фарадея гласит, что меняющийся во времени магнитный поток вызывает пропорциональную электродвижущую силу. На этом принципе основывается вся генерация электроэнергии. Фарадей ввел в оборот термины «электрод», «анод», «катод» и «ион», обозначив так часть молекулы, которая участвует в передаче электричества между катодом и анодом. Истинную природу ионных растворов и их проводимости окончательно разъяснил Аррениус, получив в 1903 г. за свою работу Нобелевскую премию.

РАССВЕТ НОВОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭРЫ

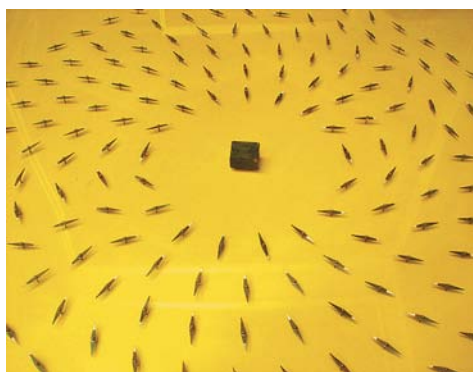
Опираясь на практическую работу Эрстеда и Фарадея, Джеймс Клерк Максвелл математически описал отношения между электричеством и магнетизмом. Результатом его работы стали четыре эпохальных уравнения, опубликованные в 1873 г.



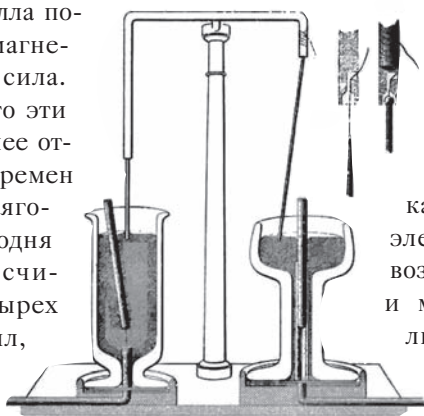
«Это было первым открытием того, что гальванический ток можно передавать на большие расстояния с весьма незначительным уменьшением силы для осуществления механических воздействий и тех усилий, с помощью которых производилась эта передача. Я понял, что электрический телеграф возможен... Я не подразумевал какой-то особой формы телеграфа, но говорил лишь об общем факте: удалось показать, что гальванический ток можно передавать на большие расстояния с энергией достаточной для осуществления нужного механического воздействия на желаемый объект».

Джозеф Генри

Уравнения Максвелла показали, что электромагнетизм – это единая сила. Эйнштейн полагал, что эти уравнения – величайшее открытие в физике со времен закона всемирного тяготения Ньютона. Сегодня электромагнетизм считается одной из четырех фундаментальных сил, поддерживающих функционирование Вселенной, наряду с гравитацией и сильной и слабой ядерными силами, которые действуют внутри атомов и между ними. Электромагнитные силы соединяют ионы в молекулы и обеспечивают притяжение между электронами и атомным ядром.



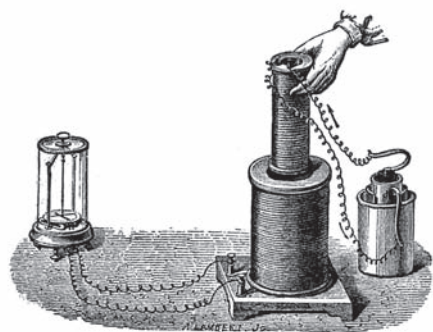
Демонстрация магнитного поля с помощью стрелок компасов, расположенных вокруг магнита



Оборудование Фарадея для демонстрации электромагнитного вращения

Максвелл объяснил, как из одних и тех же электромагнитных волн возникают электрическое и магнитное поля. Различные электрические поля сопровождаются столь же разнообразными магнитными полями, расположенными

под прямым углом к ним. Максвелл установил также, что волна электромагнитного поля движется в пустом пространстве со скоростью 300 миллионов метров в секунду – со скоростью света. Это было поразительное открытие. Не всех порадовало вывод о том, что свет – это часть электромагнитного спектра. Эйнштейн включил работы Максвелла в свою теорию относительности, заявив, что, является поле электрическим или магнитным, зависит от системы координат восприятия. В одной системе поле является магнитным, в другой – электрическим.



Аппарат Фарадея демонстрирует электромагнитную индукцию между двумя катушками провода. Жидкостная батарея справа обеспечивает ток. Малая катушка входит и выходит из большой катушки, чтобы создать в большой катушке ток. Наличие тока показывает гальванометр, расположенный слева

Новые волны

Хотя Максвелл предсказал существование радиоволн, обнаружить их не удавалось до тех пор, пока в 1888 г. германский физик Генрих Рудольф Герц (1857–1894) не сгенерировал в своей лаборатории электромагнитные волны с длиной волны 4 м. Герц не понял значимости радиоволн. Когда его спросили, какое значение может иметь его открытие, он ответил: «Полагаю, никакого». Сгенерировав радиоволны, Герц выяснил, что в каких-то средах они распространяются, а от каких-то отталкиваются – это качество впоследствии привело к созданию радара. Открытие радиоволн окончательно подтвердило выводы Максвелла об электромагнитном излучении. В последующие годы были открыты микроволны, рентгеновские лучи, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, гамма-лучи. Так был заполнен электромагнитный спектр.

Следующими на очереди оказались рентгеновские лучи. Считается,

ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ФАРАДЕЯ

1. Электромагнитное поле индуцируется в проводнике при изменении окружающего его магнитного поля.
2. Величина электромагнитного поля пропорциональна скорости изменения магнитного поля.
3. Направление индуцируемого электромагнитного поля зависит от направления изменения внешнего магнитного поля.

что открыл эти лучи в 1895 г. германский физик Вильгельм Конрад Рентген (1845–1923). Он описал их и дал им свое имя. Но Рентген был не первым, кто наблюдал этот вид излучения. Впервые они были обнаружены в 1875 г. соотечественником Рентгена, Иоганном Вильгельмом Гитторфом (1824–1914). Гитторф был одним из изобретателей трубки Крукса – экспериментального устройства, предназначенного для изучения катодных лучей. Внутри трубки создается вакуум, в котором поток электронов движется между катодом и анодом. Трубка Крукса – это предшественник катодной лучевой трубки, использовавшейся в телевизорах до изобретения современных плазменных экранов. Однажды Гитторф оставил возле трубки Крукса фотографические

«Превратить магнетизм в электричество!»

Список дел Майкла Фарадея, 1822 г.;
цель достигнута в 1831 г.



МАЙКЛ ФАРАДЕЙ (1791–1867)

Майкл Фарадей родился в Лондоне, в бедной семье. В 14 лет ему пришлось оставить школу и поступить учеником к переплетчику. Учился он самостоятельно – читал научные книги, над которыми работал. Прослушав в Королевском институте четыре лекции Гемфри Дэви, Фарадей в 1812 г. написал ему письмо с просьбой принять его на работу. Сначала Дэви отказал, но в следующем году принял его на работу помощником химика в Королевском институте. Сначала Фарадей просто помогал другим ученым, но потом начал проводить собственные опыты, в том числе и с электричеством. В 1826 г. он поло-

жил начало Рождественским лекциям Королевского института и Пятничным вечерним размышлениям – эти традиции сохраняются и по сей день. Многие лекции Фарадей читал сам, что создало ему репутацию ведущего научного лектора своего времени. В 1831 г. он открыл явление электромагнитной индукции, заложив основы практического использования электричества, которое до этого считалось просто любопытным феноменом, не имеющим реального значения.

В знак признания его достижений Фарадею дважды предлагали пост президента Королевского общества

(и дважды он предложение отклонял) и рыцарство (от него он тоже отказался). Свою жизнь он закончил во дворце Хэмптон-Корт в доме, пожалованном ему супругом королевы Виктории, принцем Альбертом.



*Майкл Фарадей
в своей лаборатории
в Королевском институте*

пластины и впоследствии обнаружил на них образовавшиеся тени. Но ученый не придавал этому факту значения.

Другие ученые тоже приближались к рентгеновским лучам и до того, как Рентген сделал знаменитый снимок руки своей жены и объяснил это явление. После смерти ученого его лабораторные документы были сожжены, поэтому мы не знаем точно, что же про-

изошло. Но, судя по всему, он исследовал катодные лучи с помощью экрана, покрытого платиноцианистым барием, и трубки Крукса, закрытой со всех сторон черным картоном. Рентген заметил слабое зеленое свечение экрана и понял, что некие лучи проходят сквозь картон и заставляют экран светиться. Он изучил эти лучи и через два месяца опубликовал научную работу.



УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \rho / \epsilon_0$$

Первое уравнение Максвелла – это закон Гаусса, описывающий форму и силу электрического поля. Уравнение показывает, что сила поля уменьшается в зависимости от расстояния в соответствии с тем же законом обратных квадратов, что и сила тяготения.

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

Второе уравнение описывает форму и силу магнитного поля: силовые линии всегда образуют петли, двигаясь от северного к южному полюсу магнита (и магнит всегда должен иметь два полюса).

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

Третье уравнение описывает, как меняющиеся электрические токи создают магнитные поля.

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \alpha_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \alpha_0 i_{\text{enc}}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \alpha_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \alpha_0 \mathbf{j}_c$$

Четвертое уравнение описывает, как меняющиеся магнитные поля создают электрические токи. Это уравнение называют также законом индукции Фарадея.

РАДИАЦИЯ

Когда французский физик Анри Беккерель (1852–1908) в 1896 г. узнал о существовании рентгеновских лучей, способных выходить из яркого пятна на стенке трубки Крукса, он решил, что фосфоресцирующие объекты также могут излучать такие лучи. Беккерель был профессором физики Французского музея естественной истории и благодаря этому имел доступ к большой коллекции фосфоресцирующих материалов. Он обнаружил, что

«Практически невозможно не прийти к выводу о том, что свет состоит из поперечных колебаний той же среды, которая вызывает электрические и магнитические явления».

Джеймс Клерк Максвелл, ок. 1862 г.

если эти материалы имеют возможность какое-то время впитывать энергию солнечного света, то они будут светиться в темноте, пока энергия не иссякнет. Затем он выяснил, что, если завернуть фотопластину в черную бумагу, изолировав ее от света, и поместить над блюдом с фосфоресцирующими солями, «заряженными» солнцем, на пластине появятся изображения. Поместив металлический предмет между пластиной и блюдом, он получил теневое изображение этого предмета на фотопластине – точно как на рентгеновских пластинах. Впоследствии Беккерель усовершенствовал свой опыт. Он все подготовил и решил оставить установку на солнце. Хотя несколько дней в Париже было пасмурно, Беккерель все же выставил свою пластину. Он думал, что ничего не выйдет. К своему удивлению, он увидел изображение – использованные им



Такой снимок руки собственной жены сделал Рентген. Это первый в мире рентгеновский снимок. На нем отчетливо видно обручальное кольцо

«Это все равно никому не нужно [...] Это всего лишь эксперимент, доказывающий, что маэстро Максвелл был прав – у нас просто есть эти загадочные электромагнитные волны, которых мы не можем увидеть невооруженным взглядом. Но они существуют».

Генрих Герц о своем открытии радиоволн, 1888 г.

ДА БУДЕТ СВЕТ

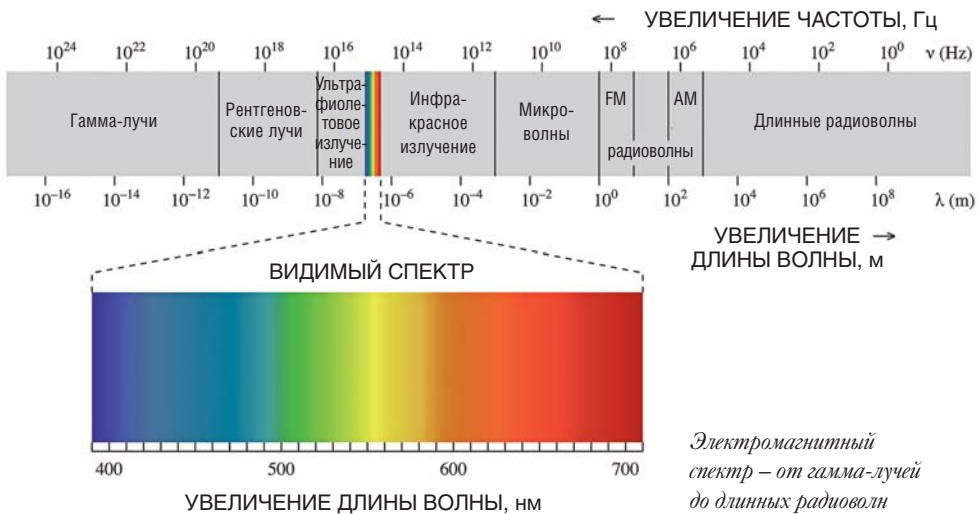
Впервые электричество было подано на уличные фонари в 1881 г. Это произошло в городе Годалминг, в английском графстве Суррей. Водяное колесо на реке Вэй приводило в действие генератор Сименса, который питал дуговые лампы в городе, подавал электричество в несколько магазинов и в другие заведения.

соли урана излучали рентгеновские лучи и без солнца, нарушая закон сохранения энергии, поскольку энергия вроде бы возникала из ничего.

Беккерель пошел дальше и обнаружил излучение, которое не являлось рентгеновскими лучами, поскольку отклонялось магнитным полем и, следовательно, должно было состоять из заря-

женных частиц. Более по этой теме он не работал, предоставив эту честь польскому физико-экспериментатору Мари Кюри.

Мари Кюри (1867–1934) работала над диссертацией об «урановых лучах». В ходе работы она обнаружила, что руда, из которой добывали уран, настуран, более радиоактивна, чем сам элемент.



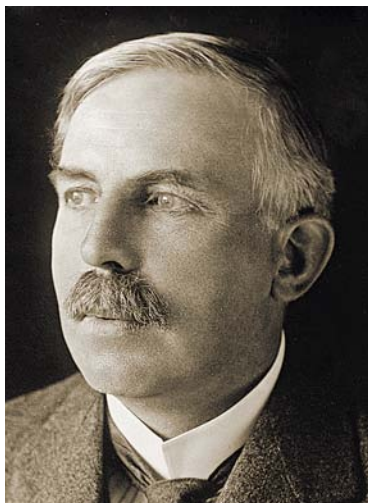


БЕККЕРЕЛЬ НАВСЕГДА

Пост профессора физики во Французском музее естественной истории был должностью наследственной. Она была создана для Антуана Беккереля (1788–1878) в 1838 г., и вплоть до 1948 г. ее занимали исключительно Беккерели. Династия прервалась, поскольку у последнего не оказалось сына, которому можно было бы передать этот пост.

Из этого следовало, что в руде содержатся другие, более радиоактивные элементы. Вместе со своим мужем Пьером Мари выделила два таких элемента – полоний и радий. Прошло четыре года с момента открытия в 1898 г., прежде чем удалось получить десятую долю грамма радия из нескольких тонн настурана. Пьер установил, что грамм радия способен нагреть четыре трети грамма воды с точки замерзания до температуры кипения за час – и может делать это снова и снова. Казалось, что найден бесконечный источник энергии – поразительное открытие.

Супруги Кюри не знали, какой формой энергии является радиоактивность. Это открытие принадлежит британскому химику и физику родом из Новой Зеландии Эрнесту Резерфорду (1871–1937). Резерфорд работал в лаборатории Кавендиша в Кембридже. Он стал первым, кого приняли в Кембридж как студента-исследователя –



Эрнест Резерфорд

все исследователи должны были сначала получить университетскую степень. В университет Резерфорд попал за два месяца до открытия Рентгена, получив стипендию Новой Зеландии. Впрочем, получил он ее совершенно случайно. На стипендию претендовали двое, и выделили ее второму участнику, но он впоследствии отказался. Резерфорд начал работать с радиоволнами и мог открыть длинноволновую передачу до Маркони, но коммерческий потенциал открытий его не интересовал, поэтому он забросил эту тему.

Занявшись радиацией, Резерфорд установил, что форма, открытая Беккерелем, состоит из двух видов: альфа-излучение, которое можно блокировать листом бумаги или несколькими сантиметрами воздуха, и бета-излучение, способное проникать вглубь материи. В 1908 г. Резерфорд доказал, что альфа-излучение – это поток альфа-частиц, то есть атомов гелия, лишенных электронов. Бета-излучение состоит из быстро движущихся электронов – подобно катодным лучам, но с большей энергией. В 1900 г. Резерфорд открыл третий вид

радиации, который он назвал гамма-излучением. Подобно рентгеновским лучам, гамма-лучи являются частью электромагнитного спектра. Это высокоэнергетические волны с длиной волны еще меньшей, чем у рентгеновских лучей. Работа Резерфорда позволила ему проникнуть в атом, и мы с вами отправимся вслед за ним.



ТРЕБУЮТСЯ АТОМЫ

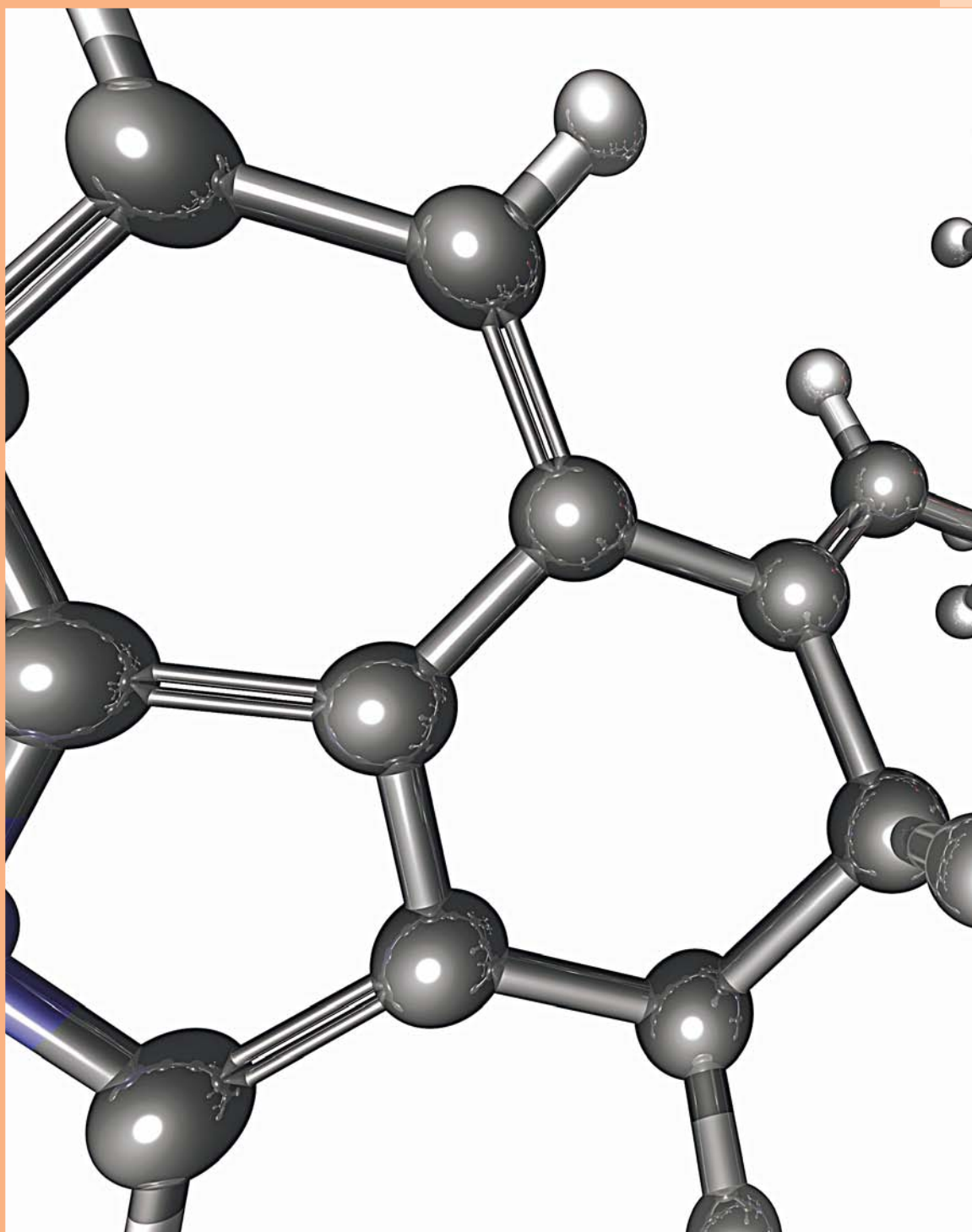
Работы по термодинамике в конце XIX в. окончательно разрушили модель теплорода. Физики, такие как австриец Людвиг Эдуард Больцман и англичанин Джеймс Клерк Максвелл, стали считать, что тепло – это мера скорости движения частиц, хотя и не были полностью уверены в природе участвующих в процесс частиц. Передачу тепла и электропроводимость стало возможным постичь в полной мере, когда стало ясно, что они зависят от атомной модели материи. Чтобы электричество передавалось по проводнику, электроны должны были проходить между атомами. Чтобы передать тепло из одного места в другое путем проводимости или конвекции, частицы должны двигаться. Принятие на рубеже XX в. атомной модели материи открыло дверь к исследованию строения атома, а это позволило более глубоко понять, как ведет себя и передается энергия.

МАРИЯ КЮРИ (СКЛОДОВСКАЯ, 1867–1934)

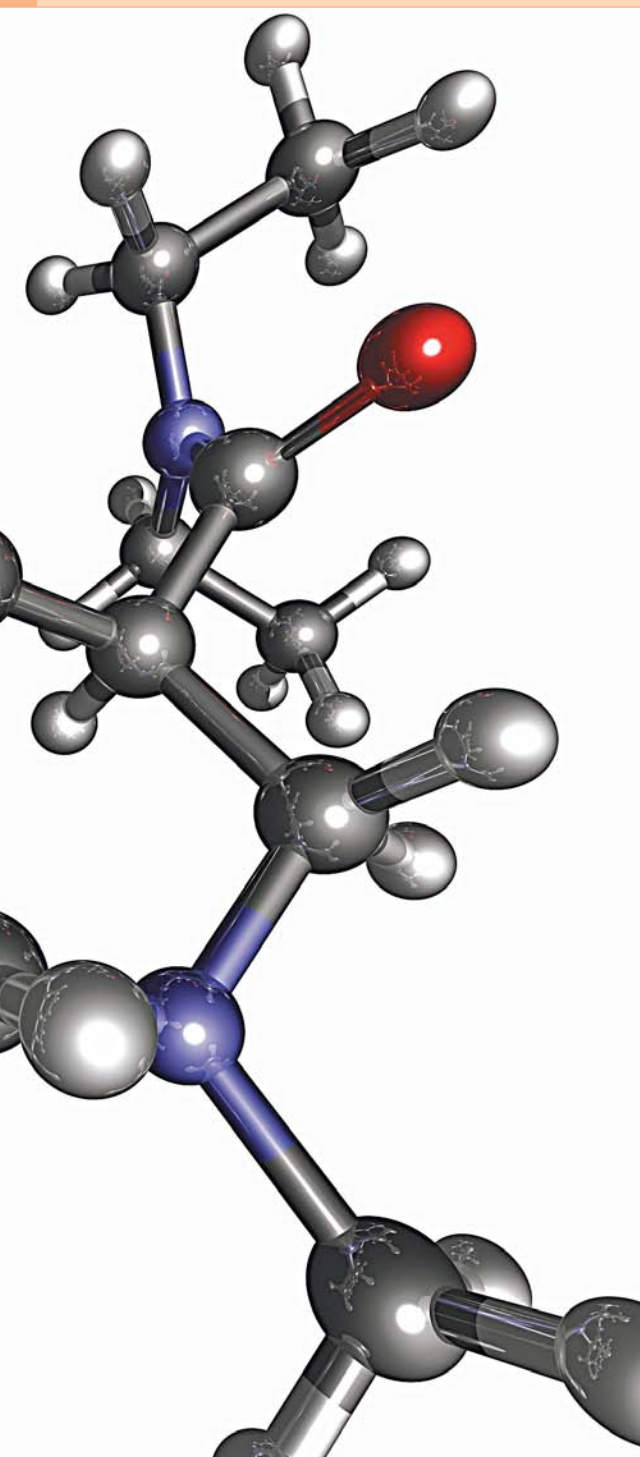
Мария Склодовская родилась в Варшаве, когда Польша была частью Российской империи. Не имея возможности поступить в университет на родине, она отправилась в Париж и поступила в Сорбонну. Там она познакомилась с Пьером Кюри и вышла за него замуж. Пьер уже работал с магнитными материалами. Беременность замедлила работу Марии над диссертацией, посвященной «урановым лучам». Ей приходилось работать за глухой ширмой, поскольку академики опасались, что присутствие женщины в лаборатории вызовет столь сильное сексуальное напряжение, что никто не сможет работать – по крайней мере, мужчины. В 1898 г. она начала работы по выделению неизвестных ра-



диоактивных элементов из настурана (урановой руды). Пьер забросил собственную работу и стал ей помогать. Вместе они открыли два радиоактивных элемента – полоний (названный в честь Польши) и радий. В 1903 г. Мария и Пьер Кюри получили Нобелевскую премию по физике, которую они разделили с Анри Беккерелем. Всего через три года Пьер погиб – он поскользнулся на улице, и проезжавший мимо экипаж раздавил его череп. Возможно, он упал из-за головокружения – таков симптом лучевой болезни. Мария умерла от лейкемии в 1934 г. Она тоже стала жертвой радиации. Ее записные книжки настолько радиоактивны, что даже сегодня они хранятся в свинцовом сейфе. Мария Кюри – единственная женщина, удостоенная двух Нобелевских премий: вторую, по химии, она получила в 1911 г. за свои работы по радиоактивности.

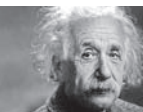


Внутри АТОМА



Люди еще с древности полагали, что атомы – это строительные блоки материи. Буддистские мыслители VII в. до н. э. считали, что вся материя состоит из атомов, которые, по их мнению, являлись формой энергии. В Европе доатомисты, такие как Эмпедокл и Анаксагор, также говорили о существовании невидимых крохотных частиц материи. Эти первые философы-ученые сделали свои выводы на основании одного лишь дедуктивного мышления. Хотя атомизм на много веков вышел из моды, в конце концов эта модель, опираясь на эксперименты и наблюдения, одержала победу. Но ранние атомисты были не совсем правы. Они считали атомы мельчайшими неделимыми частицами материи, а это оказалось не так, поскольку атомы состоят из субатомных частиц. По мере того, как ученые проникали вглубь атома, им открывались причудливые и непредсказуемые глубины.

*Открытие атомной структуры материи
распахнуло физикам дверь в совершенно новый мир*



Вскрытие атома

Описывая атомную теорию в 1803 г., Джон Дальтон утверждал, что элементы состоят из идентичных атомов, которые соединяются пропорционально целым числам и образуют химические соединения. Эта теория не получила всеобщего признания, пока французский физик Жан Перрен (1870–1942) не определил размеры молекулы воды. Это произошло спустя более ста лет, в 1908 г. Впрочем, многие ученые уже приняли атомную теорию и работали с ней гораздо раньше. Но и до того, как теория получила подтверждение, стало ясно, что атомы не являются мельчайшими неделимыми частицами.

Британский физик Джозеф Джон Томсон (1856–1940) в 1897 г. в ходе изучения катодных лучей и трубок Крукса (см. стр. 104) открыл существование электрона. Томсон обнаружил, что катодные лучи распространяются гораздо медленнее света и, следовательно, не могут, как это раньше считалось, являться частью электромагнитного спектра. Он сделал вывод о том, что катодные лучи представляют собой поток электронов. Идея о том, что электрон – это часть атома, которая может высвобождаться и действовать самостоятельно, окончательно опровергла более раннее убеждение в неделимости атома. В 1899 г. Томсон измерил заряд электрона и вычислил его массу, сделав поразительный вывод о том, что эта масса приблизительно равна одной двухтысячной массы атома водорода.

«Предположение о том, что материя может состоять из частиц, более мелких, чем атом, просто поразительно!»

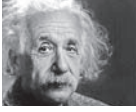
Дж. Дж. Томсон

Хотя за свою работу по изучению электрона Томсон в 1906 г. был удостоен Нобелевской премии, значимость ее стала очевидной не сразу. Современные физики не понимали смысла открытия электронов. На ежегодном ужине Кавендишской лаборатории в Кембридже прозвучал такой тост: «За электрон: пусть он никогда и никому не пригодится!»

Рождественские пудинги и солнечные системы

Модель атома, предложенная Дж. Дж. Томсоном в 1904 г., получила название «рождественского пудинга», потому что она напоминала шар пудинга на сале с добавлением изюма. Томсон описал атом как облако с положительным зарядом, в котором распределены электроны. Типичный пример нового использования старой терминологии: Томсон назвал их «корпускулами». Положительно заряженная часть внешне напоминала туманность, а электроны напоминали равномерно распределенные по этой туманности изюминки, возможно, движущиеся по фиксированным орбитам.

Модель рождественского пудинга рухнула в 1909 г. после опыта, проведенного немецким физиком Гансом Гейгером (1882–1945) и новозеландцем Эрнестом Марсденом (1889–1970) в университете Манчестера под руководством Эрнеста Резерфорда. Ученые направили пучок альфа-частиц на очень тонкий лист золотой фольги, окруженный круглым листом сульфида цинка. Под воздействием альфа-частиц (ядер гелия) сульфид цинка начал светиться. Экспериментаторы считывали на то, что альфа-частицы пройдут через лист с незначительным отклонением, и полученный после прохождения через фольгу рисунок позволит понять распределение заряда внутри атомов золота.



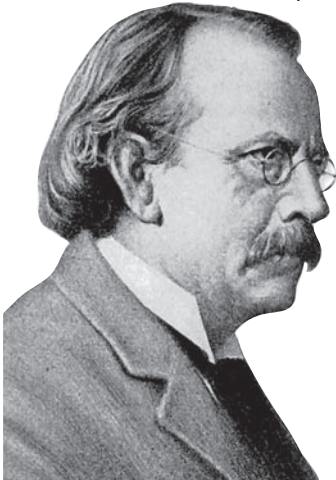
Результаты оказались поразительными. Отклонились лишь немногие частицы, но все они отклонились под углом значительно больше 90 градусов. Резерфорд рассчитывал, что этот опыт подтвердит модель рождественского пудинга. Он оказался совершенно не готов к таким результатам. Единственный вывод, какой он мог сделать, заключался в том, что положительный заряд атома сосредоточен в небольшом центре, а не разпространен по всему атому.

Резерфорду пришлось искать новую модель структуры атома взамен не

оправдавшей себя модели рождественского пудинга. Новая модель состояла из маленького плотного ядра, окруженного свободным пространством, в котором по своим орбитам двигались электроны. Резерфорд не знал, имеет ли ядро положительный или отрицательный заряд, но определил, что его размеры должны быть менее $3,4 \times 10^{-14}$ м (сегодня установлено, что ядро примерно в пять раз меньше этого значения). Радиус атома золота составлял примерно $1,5 \times 10^{-10}$ м, следовательно, ядро составляло менее 1/4000 диаметра атома.

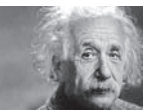
ДЖОЗЕФ ДЖОН ТОМСОН (1856–1940)

Джозеф Джон был сыном переплетчика. Он был слишком беден, чтобы учиться на инженера, поэтому решил поступить в Тринити Колледж в Кембридже, где можно было получить стипендию, и стал изучать математику. Впоследствии Томсон возглавил этот колледж, учредил Кавендишскую лабораторию, которая стала самой престижной физической лабора-



торией мира, и получил Нобелевскую премию по физике за свои работы по электрону. Экспериментируя с катодными лучами, Томсон в 1897 г. открыл новую частицу – электрон, а в 1899 г. измерил ее массу и заряд. В 1912 г. он показал, как можно использовать положительные лучи, излучаемые перфорированным анодом, в разрядной трубке для отделения атомов разных элементов. Этот опыт стал основой масс-спектрометрии – метода, который и сегодня используется для анализа состава газов и других веществ.

Томсон был страшно неуклюж. Все тонкие эксперименты он поручал своим научным помощникам, и они даже старались держать его подальше от лаборатории, чтобы он не испортил оборудование. Но все его очень любили, и он сам ценил и умел вдохновлять своих помощников. Семеро его помощников и собственный сын были удостоены Нобелевской премии. В 1908 г. Томсону было присвоено рыцарское звание.



«Атомы элементов состоят из нескольких отрицательно заряженных корпускул, заключенных в сферу единого положительного заряда».

Дж. Дж. Томсон, 1904 г.

На верхней схеме показан ожидаемый результат эксперимента Резерфорда с золотой фольгой при условии, что альфа-частицы проходят через атом. Нижняя схема показывает поразительный результат – некоторые частицы отразились

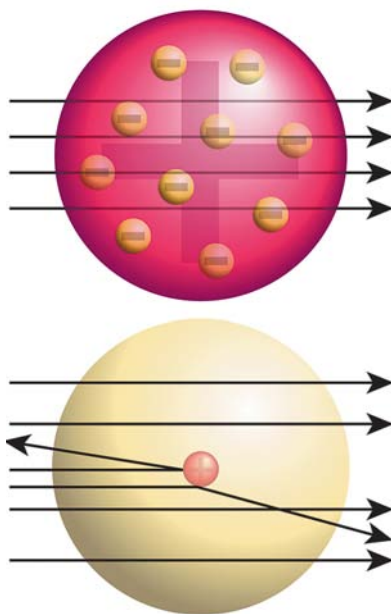
Модель Сатурна

В 1904 г. японский физик Хантаро Нагаока предложил модель атома по подобию Сатурна с его кольцами. Согласно его модели, у атома было массивное ядро, вокруг которого по орбитам двигались электроны, удерживаемые электромагнитным полем. Такая идея пришла в голову Нагаоке, когда он, путешествуя по Германии и Австрии в 1892–1896 гг., узнал о кинетической теории газов и работе Джеймса Клерка Максвелла по стабильности колец Сатурна. В 1908 г. Нагаока забросил свою теорию.

Резерфорд продолжил работать с атомом. Он предложил новую структуру: ядро, содержащее позитивно заряженные частицы – протоны, открытые им в 1918 г., и несколько электронов. Остальные электроны, по его мнению, вращались вокруг ядра.

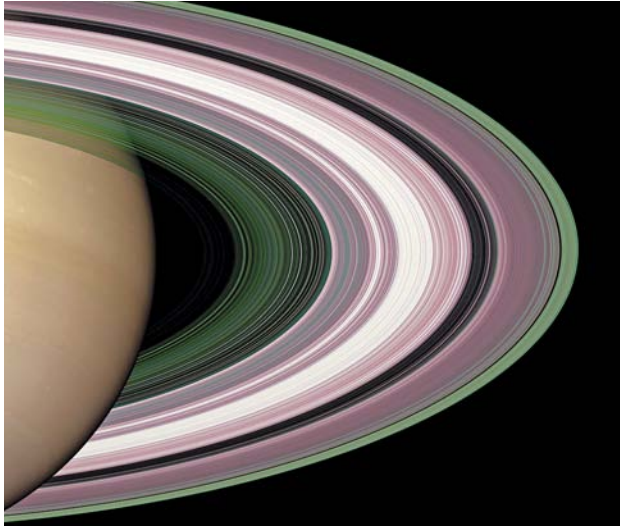
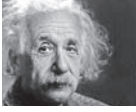
Датский физик Нильс Бор (1885–1962) усовершенствовал модель Резерфорда в 1913 г. в части движения электронов. Он утверждал, что электроны движутся в окружающем ядро пространстве не случайным образом, а по строго определенным орбитам.

Они физически неспособны постоянно испускать излучение (что могли бы делать в соответствии с законами классической физики). Бор полагал, что орбиты электронов имеют круговую форму и являются фиксиро-



«Это самое невероятное событие, которое было в моей жизни. Это почти так же невероятно, как если бы вы выстрелили 15-дюймовым снарядом в папиросную бумагу и он, отразившись, попал бы в вас. При анализе я понял, что такое рассеяние должно быть результатом однократного столкновения, и, произведя расчеты, увидел, что это никоим образом невозможно, если не предположить, что подавляющая часть массы атома сконцентрирована в крошечном ядре. Именно тогда у меня и зародилась идея об атоме с крошечным массивным центром, в котором сосредоточен заряд».

Эрнест Резерфорд



Кольца Сатурна послужили образцом для модели атома Нагаоки

на какую орбиту или уровень перейдет электрон, зависит от энергии фотона. Когда атом излучает фотон, электрон возвращается на прежнюю орбиту (более низкий энергетический уровень).

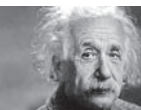
Бор считал, что на каждой орбите достаточно места лишь для определенного количества электронов, поэтому все они не могут собраться максимально близко к ядру, как бы им этого ни хотелось. А это означало, что орбиты заполняются от центра к периферии. Электрон поглощает или высвобождает фотон или квант энергии только в тот момент, когда совершает «квантовый скачок» между орбитами. Количество поглощенной или высвобожденной энергии – или длина волны – определяется орбитой.

Схема кажется слегка искусственной, но Бор проверил свою теорию и обнаружил, что атомы водорода излучают энергию именно той длины волны, которая была им предсказана, если электроны могут переходить с одной

ванными. Он предложил планетарную модель атома, в которой электроны вращались вокруг ядра, как планеты вокруг солнца. Но, в отличие от планет, электроны могут переходить на другие орбиты, испускать или поглощать определенное количество (квант) энергии в зависимости от того, движутся они к ядру или от него. В соответствии с моделью Бора, единичный электрон атома водорода, к примеру, может существовать лишь на ограниченном числе орбит. Каждая орбита представляет собой определенный энергетический уровень. Низший, то есть ближайший к ядру, уровень называется основным. Когда атом водорода поглощает фотон света, электрон переходит на орбиту большего радиуса (более высокий энергетический уровень). То,



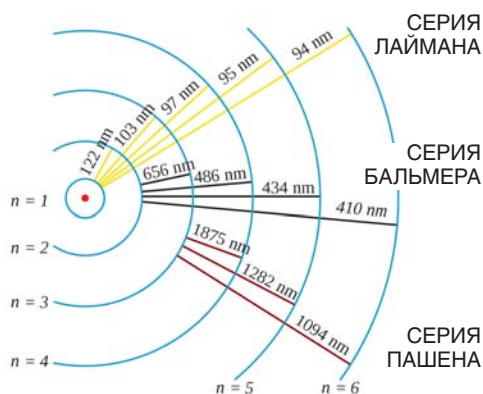
Нильс Бор, 1935 г.



орбиты на другую. Орбиты он назвал оболочками. Более того, модель Бора объясняла, почему водород – и вообще любой элемент – обладает уникальным спектром поглощения и излучения. Этот принцип лег в основу метода спектроскопии, с помощью которого астрономы определяют химический состав звезд.

Квантовые чудеса

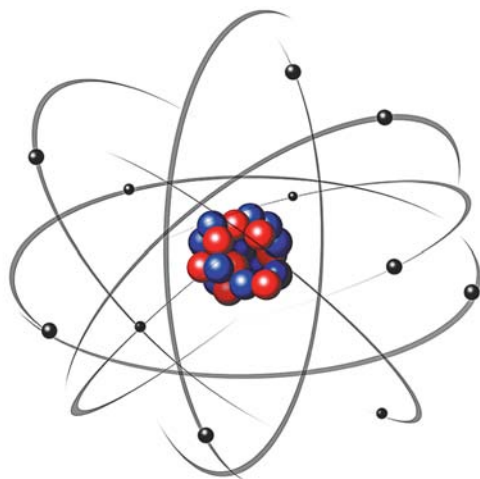
Когда Макс Планк говорил о кванте как о способе перемещения энергии небольшими блоками, он и не думал, что кто-то отнесется к квантам всерьез. Это было теоретическое решение, которое, по его мнению, будет вытеснено, как только кто-нибудь с помощью математики объяснит происходящее. Но он открыл реальное положение дел, сколь бы невероятным оно ни казалось. Его теория не просто оказалась истинной, но и заложила основу для совершенно нового вида физики, оперирующей со



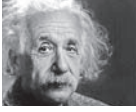
Переходы электронных оболочек водорода с соответствующими энергиями

странным миром субатомных частиц. Квантовая механика, объясняющая поведение мелких частиц так же, как Ньютонова механика объясняла поведение более крупных систем, началась с определения квантов, данного Планком. Мир субатомных частиц – это странное царство невозможного и самых невероятных предположений.

Эйнштейн отнесся к квантам исключительно серьезно. Его работа по фотоэлектрическому эффекту (см. стр. 53) опиралась на кванты Планка, но применительно к свету. Эйнштейн предположил, что фотон может обладать энергией, достаточной для того, чтобы выбить из атома электрон. Поток выбитых электронов порождает электрический ток. Поначалу его идея не пользовалась популярностью, поскольку уступала уравнениям Максвелла и общепринятому мнению о том, что свет имеет волновую природу. Здесь физика впервые столкнулась с корпускулярно-волновым дуализмом – с тем, что свет иногда ведет себя как волна, а иногда как частица.



В модели атома Бора электроны, как правило, остаются в своих оболочках и вращаются вокруг ядра



Солнечные батареи используют фотоэлектрический эффект – вырабатывают электричество в результате воздействия фотонов на полупроводник

УМНЫЙ СВЕТ

Еще более невероятным было другое открытие: оказалось, что свет «знает», как вести себя, чтобы удовлетворить экспериментаторов. Когда ученые хотели доказать, что свет – это волна, свет вел себя как волна. Когда экспериментаторы доказывали корпускулярную теорию света, свет вел себя как частица. Его невозможно было поймать.



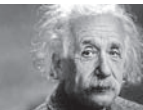
НИЛЬС БОР (1885–1962)

Работа датского физика и философа Нильса Бора является основой развития квантовой механики. Именно он превратил схематичную гипотезу в рабочую концепцию. С помощью

*Альберт Эйнштейн
(слева) с Нильсом Бором*

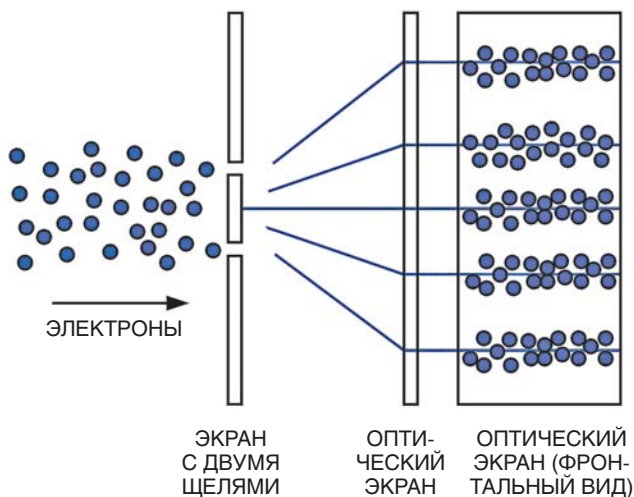


квантовой физики он объяснил теорию атомной структуры Резерфорда и спектр водорода. Бор никогда не недооценивал сложность стоящих перед ним задач. Однажды он заметил: «Вам никогда не понять квантовой физики. К ней можно только привыкнуть». Бор начал свои исследования в университете Копенгагена, затем переехал в Англию, где работал в Кембридже и Манчестере. Потом он вернулся в Копенгаген и основал там институт теоретической физики. В 1922 г. Бор был удостоен Нобелевской премии по физике. Во время Второй мировой войны он подключился к работе команды, создавшей атомную бомбу. Его карьера могла бы пойти совершенно другим путем. В 1908 г. Бор хотел стать вратарем датской национальной футбольной команды, но случайно пропустил отбор. Футбол потерял многое, но физика приобрела гораздо больше.



Если луч света проходит через две щели, то на экране возникает стандартная картина интерференции из темных и светлых полос. При уменьшении силы света наступает момент, когда отдельные фотоны попадают на экран по одному, вызывая вспышки. Но в целом картина по-прежнему остается стандартной. Кажется, что фотоны «знают», одна или обе щели открыты, и, если открыты обе щели, создают все ту же интерференционную картину. Возникает впечатление, что каждый отдельный фотон может одновременно проходить через обе щели. Если одна щель закрыта, даже когда фотон уже отправился в путь, фотоны могут пройти только через открытую щель. Если на одной из щелей установить детектор, который определяет, проходит ли фотон через эту щель или через другую, фотоны, словно не желая быть пойманными, прекращают создавать интерференционную картину – они неожиданно начинают вести себя как частицы.

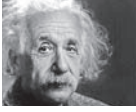
Это само по себе очень странно, но есть и более странные вещи. В 1924 г. французский физик Луи-Виктор де Бройль (1892–1957) предположил, что частицы, из которых состоит материя, тоже могут вести себя как волны. А это означало, что корпускулярно-волновой дуализм присутствует повсюду, и вся материя обладает своей длиной волны. В 1927 г. его странная идея нашла подтверждение. Электроны явно вели себя как волны и давали ту же картину дифракции, что и свет. А затем выяснилось, что и крупные частицы – протоны и нейтроны – тоже могут вести себя как волны.



Эксперимент с двумя щелями, дающий дифракционную картину света, можно повторить с электронами, и это доказывает, что они тоже могут вести себя как волна

Работа де Бройля стала его диссертацией. В ней он утверждал, что электроны – это волны, движущиеся по орбитам, которые должны занимать, а энергетические уровни позволенных орбит являются гармониками волны, благодаря чему волны постоянно усиливают друг друга. Де Бройль проверил свою теорию, доказав, что электроны отклоняются кристаллической решеткой. Это явление было успешно продемонстрировано в 1927 г. двумя учеными, работавшими независимо друг от друга – один в США, другой в Шотландии. За эту работу де Бройль и двое других ученых в 1937 г. были удостоены Нобелевской премии по физике.

Важность работы де Бройля заключалась в том, что она доказывала корпускулярно-волновой дуализм всей материи. Его уравнение доказывает, что момент частицы (или чего угодно), умноженный на длину ее волны, равен константе Планка. Поскольку константа Планка очень мала,



длина волны всего, что больше молекулы, тоже мала в сравнении с реальным размером. Нас не волнует длина волны автобуса или тигра, а вот когда мы переходим ко все более мелким частицам, то их волновые свойства приобретают особое значение.

ГИГАНТЫ И ИХ ПЛЕЧИ

Классическая физика началась с Ньютона и его «чудесного года» (annus mirabilis) – 1666 г. Второе рождение физики в сфере квантовой механики началось с публикации в 1905 г. Альбертом Эйнштейном его теории относительности. И Ньютон, и Эйнштейн опирались на труды многих ученых, работавших до них. Именно благодаря этому стали возможны истинные научные прорывы. Их открытия имели огромное значение для всей последующей истории.

ЕЩЕ ОДИН НЬЮТОНОВ МОМЕНТ

То, что частицы могут вести себя как волны, перестало казаться невероятным после того, как в 1905 г. Эйнштейн объяснил природу этого явления.

В приложении к своей специальной теории относительности Эйнштейн привел раннюю (менее убедительную) форму своего уравнения, которую обычным языком можно изложить так:

Энергия = масса x квадрат скорости света

А более знакомая форма:

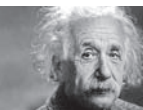
$$E = mc^2$$

Эта формула перевернула мир. Она столь же важна, как и «Начала» Ньютона. Уравнение Эйнштейна утверждает, что энергия – это *то же самое*, что и материя, только в другой форме. Материю можно превратить в очень большое количество энергии. Эта идея лежит в основе ядерной энергетики и ядерного оружия – в обоих случаях расщепление

ВОЛНЫ И ЧАСТИЦЫ

Корпускулярно-волновой дуализм прекрасно проявился в истории Нобелевской премии по физике. Одним из тех, кто получил премию вместе с де Бройлем (справа) за доказательство волновых свойств электронов, был Джордж Томсон, сын Дж. Дж. Томсона, получившего в 1906 г. Нобелевскую премию за доказательство корпускулярной природы электрона. Оба они не ошибались – оба объяснения до сих пор приняты. (Нобелевским лауреатам не позволено ошибаться.)





ядра атома приводит к высвобождению огромного количества энергии.

Эта фундаментальная проблема моделей атома Резерфорда и Бора не могла быть решена в рамках ньютоновой физики. Поскольку электрон обладает отрицательным зарядом, он должен притягиваться к положительно заряженному ядру. Чтобы оставаться на орбите, электрон должен ускоряться, но тогда он будет выделять энергию, постоянно излучая электромагнитное излучение. Теряя в этом процессе энергию, электрон вскоре по спирали устремится к ядру, и атом исчезнет. «Вскоре» в данном случае – это еще мягко сказано. Все может произойти в одну десятимиллиардную долю секунды.

В решении этой загадки принимали участие многие физики, но самый значительный вклад внес австрийский физик-теоретик Эрвин Шрёдингер (1887–1961).

Волна или частица?

Если частица ведет себя как волна, то можем ли мы определить, где она находится? Шрёдингер задался этим вопросом и попытался дать на него ответ. Он отказался от идеи о том, что электроны движутся по фиксированным орбитам,

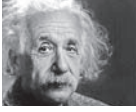
Космические ракеты используют ядерную энергию для выработки огромного количества энергии, в которой они нуждаются

поскольку в квантовой механике невозможно точно определить положение электрона. Шрёдингер утверждал, что мы можем вычислить вероятность положения частицы, опираясь на свое понимание волновой природы и математической вероятности, но точное положение частицы определить невозможно. Это утверждение называется уравнением Шрёдингера.

Применив это уравнение к электронам, мы можем сказать, что с вероятностью 80–90 % электрон находится в определенной области, но всегда остается небольшая вероятность того, что он находится где-то в другом месте. В конце концов, мы получаем «волновую функцию», которая описывает вероятность расположения волны-частицы в определенном месте.

Возьмем более крупный пример: если муха влетит в закрытую коробку, то волновая функция мухи даст нам вероятность ее положения в любой конкретной точке пространства коробки. Волновая функция стремится к нулю в тех точках, где мухи быть не может. Поэтому, если часть коробки слишком узкая для мухи, то в этой точке волновая функция схлопывается (и вне коробки, если в стенках не имеется отверстий, через которые муха может вылететь). Шрёдингер сформулировал свое уравнение в 1926 г., все-





АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН (1879–1955)

Эйнштейн родился в немецком городе Ульм, но в детстве жил в Швейцарии и Италии, так как из-за деловых проблем отца семье приходилось часто переезжать. Несмотря на то, что впоследствии его назвали гением, Эйнштейн не был хорошим учеником. Его отец даже консультировался со специалистом, считая сына умственно отсталым. Эйнштейн не смог поступить в политехнический институт Цюриха из-за плохого знания математики. Академическая карьера ему не светила, и он начал работать в патентном бюро Берна. Это решение оказалось правильным. Он не только преуспел в работе, но еще и имел достаточно свободного времени, чтобы удовлетворять свой интерес к физике. Работая в патентном бюро и в свободное время изучая физику, Эйнштейн смог опубликовать пять выдающихся статей по фотоэлектрическому эффекту, броуновскому движению и специальной теории относительности. На основе опубликованных работ он в 1909 г. смог занять академический пост в Цюрихе, а в 1921 г. за те же ранние работы он получил Нобелевскую премию. Ограничения специальной теории относительности, применимой только к телам, находящимся в постоянном и последовательном движении, и не

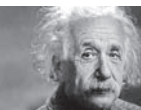
учитывающей гравитации, Эйнштейна не удовлетворяли. И тогда он начал работать над общей теорией относительности. Работа оказалась сложнее, чем он думал. Математика давалась ему нелегко, но в 1916 г. он все же опубликовал общую теорию относительности. Теории Эйнштейна совершенно изменили представления человечества о пространстве, времени, материи и энергии. Когда астроном Артур Эддингтон частично подтвердил теорию Эйнштейна, доказав, что гравитация может отклонять свет (см. стр. 60), Эйнштейн стал международной научной суперзвездой. Он бежал в США от нацистского преследования и провел там остаток жизни, работая в Принстонском университете.

Хотя Эйнштейн участвовал в начальном этапе разработки атомной бомбы, но глубоко сожалел об этом и впоследствии начал кампанию за ядерное разоружение. Он способствовал созданию государства Израиль. В области теоретической физики Эйнштейн работал до конца жизни, безуспешно пытаясь создать общую теорию поля – единую теорию или группу связанных теорий, которые объяснили бы всю Вселенную. Эйнштейн никогда полностью не принимал достижения квантовой механики (см. стр. 125).

го через два года после появления работы де Бройля по корпускулярно-волновому дуализму.

В модели Шрёдингера электрон предстает в некоем облаке вероятности, охватывающем все места, где он может находиться. Плотнее всего облако там, где электрон находится с большей вероятностью, наименьшая плотность там,

где электрона, скорее всего, не будет. При каждом измерении вы можете получить другой результат. Но если провести достаточно измерений, то некоторые – наиболее вероятные – места будут появляться чаще остальных. Эти наиболее вероятные результаты соответствуют энергетическим уровням, предложенным Бором.



То есть модель Шрёдингера дает точные результаты и не имеет ограничений, свойственных модели Бора. Но замена определенности на вероятность сильно обеспокоила квантовых физиков.

В то же время, когда Шрёдингер разрабатывал волновую модель электрона, немецкий физик Вернер Гейзенберг (1901–1976) предложил собственную

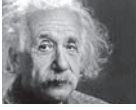
В 1929 г. великие физики собрались в Чикаго: (слева направо) Артур Комптон, Вернер Гейзенберг, Джордж Монк, Поль Дирак, Хорст Экardt, Генри Гейл, Роберт Малликен, Фридрих Хунд и Фрэнк Хойт

математическую модель электрона, в которой предпочтение отдавалось корпускулярным свойствам, проявляющимся

в процессе квантовых скачков между орбитами. Свою статью он, как и Шрёдингер, опубликовал в 1926 г. В то же время британский физик Поль Дирак (1902–1984) разработал



Вернер Гейзенберг (слева) купается с друзьями. Даже ядерным физикам нужно иногда расслабиться



третью, более математическую и теоретическую, модель.

Дирак стремился доказать, что две другие модели – Гейзенберга и Шрёдингера – по сути своей одинаковы и все три говорят одно и то же, но слегка по-разному. Трое ученых получили Нобелевскую премию за вклад в квантовую механику.

МОЖЕМ ЛИ МЫ БЫТЬ УВЕРЕНЫ?

Принцип неопределенности Гейзенберга, сформулированный в 1927 г., гласит, что мы не можем знать о частице абсолютно все. Гейзенберг понял, что одно из следствий квантовой механики заключается в том, что невозможно в одно и то же время оценить все свойства частицы. Если мы измеряем ее положение и скорость, то не можем оценить оба параметра определенно: повышение точности одного измерения снижает определенность другого. Сам факт наблюдения положения частицы делает определение скорости менее определенным. Это фундаментальное свойство квантового описания измерения, которое невозможно изменить изменением метода или средства наблюдения.

Сначала Гейзенберг подкрепил принцип неопределенности умозрительным экспериментом. Мы, к примеру, можем определить положение движущейся частицы, направив на нее луч света. Тогда возможны два варианта: фотон может поглотиться, и тогда электрон перейдет на другой энергетический уровень – в этом случае мы изменим атом, и наше измерение будет ложным. Если же фотон не будет поглощен, а пройдет мимо, то нам вообще не удастся произвести никаких измерений.

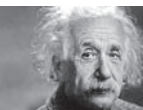
Принцип неопределенности еще более осложняется, когда мы пытаемся рассматривать и «частицу», и фотон в свете корпускулярно-волнового дуа-

КУДА МЫ МОЖЕМ ПОПАСТЬ? ПАРАДОКС ЭЛЕКТРОНА

Вся квантовая механика основывается на принципе неопределенности. Если строить модель атома в соответствии с Ньютоновой механикой, то возникает вопрос, почему электроны не притягиваются к ядру и не сливаются с ним. Эту проблему можно решить с помощью принципа Гейзенберга. Момент частицы на конкретной орбите известен, но ее положение нельзя определить точно – она находится где-то на орбите. Но если частица притянется к ядру, ее положение будет известно, но известен станет и ее момент, потому что он станет равен нулю. Слившись с ядром, электрон нарушит принцип неопределенности, а ему не позволено этого делать. В действительности самая малая орбита атома (орбита электрона в атоме водорода) мала настолько, насколько это возможно без нарушения принципа неопределенности – математика в действии. Размеры атомов и само их существование определяется принципом неопределенности.

лизма. Гейзенберг понимал, что принцип неопределенности влияет не только на настоящее, но и на прошлое и будущее. Поскольку положение всегда является всего лишь набором вероятностей, траектория движения частицы вовсе не такова, какой кажется. Гейзенберг говорил: «Траектория существует лишь тогда, когда мы ее наблюдаем». Будущий путь частицы невозможно предсказать с определенностью.

Ньютонова физика оперирует с определенностью, с причиной и следствием.



«Если вас не поражает квантовая теория, значит, вы ее не понимаете».

Нильс Бор

Это детерминистская модель, в которой знание позволяет делать предсказания. Новая квантовая механика ставит все с ног на голову – по крайней мере, на атомном уровне. В определенных кругах эта теория не пользовалась популярностью. Даже Эйнштейн не верил в нее, говоря: «Бог не играет в кости». Впрочем, математическое обоснование ему пришлось признать. И действительно, с начала XX в. математическое моделирование стало брать верх над экспериментальной физикой, проверяемой в лабораториях. Умозрительный эксперимент, подкрепленный математическими выкладками, стал основным орудием новой, преимущественно теоретической, физики.

КОПЕНГАГЕНСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Если Шрёдингер сосредоточивался на волновом аспекте корпускулярно-волнового дуализма, то Гейзенберг больше внимания уделял частицам. Свою работу Гейзенберг представил в виде матриц, а Шрёдингер оперировал теорией вероятности. Вокруг этих двух подходов сложились два лагеря физиков, и каждый считал, что другой ошибается.

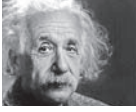
В 1927 г. Бор, Гейзенберг и немецкий физик Макс Борн (1882–1970) вместе постарались примирить противоречивые аспекты квантовой теории. Их работа получила название «Копенгагенская интерпретация». Ученые пришли к выводу о том, что не только атомные частицы или фотоны «выбирают», вести им себя как волны или как части-

цы, и являются они тем или другим. Те свойства, которые заставляют их вести себя тем или иным образом, являются двумя сторонами одной и той же монеты. То, что мы видим, и как интерпретируем увиденное, зависит от того, что мы ищем и как ведем наблюдение. Свет одновременно существует и как волна, и как частица, но в момент нашей оценки проявляет одно или другое свойство. Сам факт измерения или наблюдения определяет результат, поскольку он зависит от выбранного нами вида наблюдения. В тот момент, когда осуществляется измерение и определяется «волновость» или «частичность», волновая функция схлопывается. Точнее, она мгновенно и скачкообразно меняется на волновую функцию, которую можно связать с результатом измерения.

Бор признавал значимость принципа неопределенности, но он пошел дальше Гейзенберга, указывая на то, что речь идет не о проблеме, которая возникает в результате физического вмешательства в процессе измерения, но о чем-то более фундаментальном: сам факт измерения меняет исследуемую ситуацию (или систему). Это порождает сомнения в самой сути научного метода. Не существует объективного наблюдателя, если акт измерения или наблюдения сам по себе влияет на результат.

КОТ В КОРОБКЕ

Объяснение Бора удовлетворило не всех. Шрёдингер высказал свое неприятие, описав умозрительный эксперимент, доказывающий абсурдность Копенгагенской интерпретации. В ходе эксперимента Шрёдингера, кота закрывали в коробке с устройством, которое состояло из крохотного количества радиоактивного вещества, счетчика Гейгера, колбочки с синильной кислотой и молотка.



Кот Шрёдингера, одновременно живой и мертвый, в коробке где одновременно яд и есть, и нет

существует бесконечное количество параллельных вселенных, что дает все возможные ответы на все возможные вопросы. В моменты принятия решений (или наблюдения) Вселенная расщепляется. Эта теория помогает нам принять бесконечность. Если каждый раз, когда вы делаете выбор между чаем и кофе, или когда головастик плывет налево или направо, или падающая ветка оказывается на крыше или на земле, Вселенная расщепляется, то таких вселенных действительно должно быть много.

КВАНТОВАЯ ЗАПУТАННОСТЬ: ПАРАДОКС ЭЙНШТЕЙНА-ПОДОЛЬСКОГО-РОЗЕНА

Одним из тех, кто не принял Копенгагенскую интерпретацию, был Альберт Эйнштейн. В 1935 г. Эйнштейн и американские физики Борис Подольский (1896–1996) и Натан Розен (1909–1995) разработали так называемый парадокс ЭПР. Предположим, частица распадается

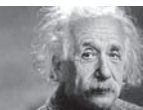
Устройство настроено так, что если атом радиоактивного вещества распадется, обнаружение высвободившейся частицы приведет к тому, что молоток разобьет колбочку, и кот отравится газом. Вероятность того, что атом распадется или не распадется, одинакова. Кот не может вмешаться в работу устройства. Кот остается в коробке в течение часа. К концу этого часа шансы того, что он жив (или мертв) 50 : 50. В соответствии с аргументами Бора и Копенгагенской интерпретацией, состояние кота (жив или мертв) невозможно определить, пока мы не заглянем в коробку. И это, по словам Шрёдингера, ужасно.

МНОЖЕСТВЕННОСТЬ ВСЕЛЕННЫХ

Еще одной реакцией на непривлекательную идею о существовании всего в облаке вероятностей до момент наблюдения стала модель «множественных миров», предложенная в 1957 г. американским физиком Хью Эвереттом III (1930–1982). Эта идея заключалась в том, что



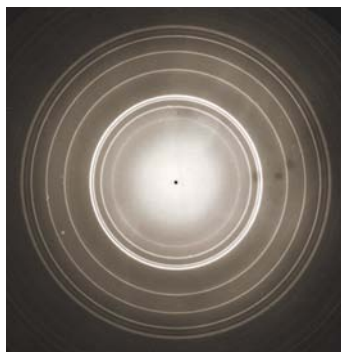
Эрвин Шрёдингер



ВНУТРИ АТОМА

ся, образуя две другие частицы. Они должны иметь равный и противоположно направленный момент, чтобы уравновесить друг друга (сохранение момента количества движения). И все их остальные квантовые свойства должны так же уравновеситься, чтобы сохранить свойства исходной частицы. Такая связь между частицами должна продолжать существовать после того, как они возникли и разошлись своими путями. Если мы определили свойство одной частицы, то это приве-

Фредерик Жолио и Ирен Жолио-Кюри в своей лаборатории

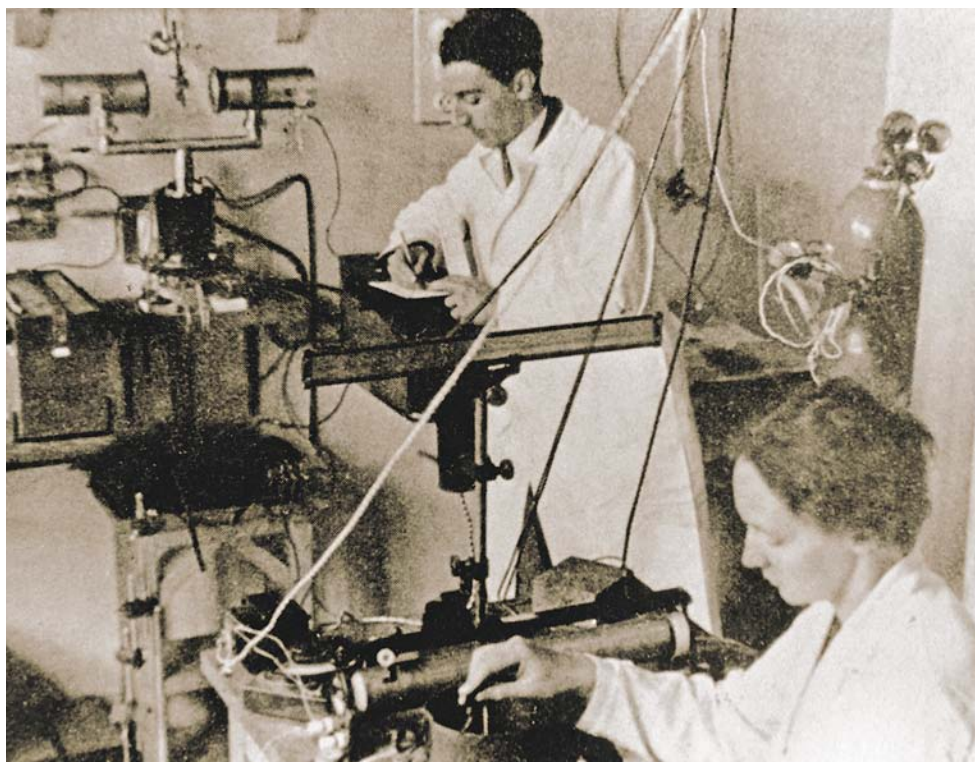


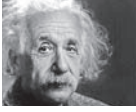
Дифракция электронов бериллия

дет к коллапсу волновой функции того же свойства другой частицы – это влияние мгновенно и неизбежно. Как кот Шрёдингера, запутанные частицы Эйнштейна были сознательно придуманы, чтобы показать абсурд-

ность Копенгагенской интерпретации, но в конце концов лишь подкрепили ее.

С тех пор было доказано существование запутанных частиц, даже разделенных многими километрами. Запутанность может иметь практическое применение, поскольку она предлагает новые, эффективные методы вычисления





Джеймс Чедвик получил Нобелевскую премию за работу по нейтронам, выполненную в феврале 1932 г.

(с использованием «кубитов» – квантовых битов), может обеспечить мгновенную связь и качественное шифрование. Запутанность позволяет передавать информацию со скоростью, превышающую скорость света.

Поиск новых атомных частиц

Давно известно, что электроны можно без труда выбить из атома, поскольку именно так в 1897 г. их и обнаружили. В начале 30-х гг. XX в. Вальтер Боте (1891–1057), Ирен Жолио-Кюри (1897–1956, дочь Марии и Пьера Кюри) и ее муж Фредерик Жолио-Кюри (1900–1958) выяснили, что при бомбардировке бериллия альфа-частицами возникает совершенно новый вид излучения. Это излучение могло выбивать что-то из других элементов, но ученые не сразу поняли, что именно. О полученных результатах Жолио-Кюри сообщили в январе 1932 г. Английский физик Джеймс Чедвик (1891–1974) сразу же повторил эксперимент и объяснил эффект, предположив,

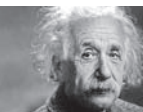


что альфа-частицы выбивают из атомов бериллия «кусочки» ядра. Сначала он решил, что эти «кусочки» являются парами протон-электрон, поскольку они не имели электрического заряда (или их заряд был уравновешен).

В 1920-е гг. Чедвик искал нейтральную частицу, которая, как он ожидал, представляет собой соединение протона и электрона. Но самая значительная его работа, за которую в 1935 г. он был удостоен Нобелевской премии, была выполнена в февральские дни 1932 г. Эксперименты, проведенные им в 1934 г. опровергли

КАНДИДАТЫ В НЕЙТРОННОЕ БРАТСТВО

За два года до того, как Чедвик назвал незаряженную частицу ядра «нейтроном», австрийский физик Вольфганг Паули (1900–1958) использовал то же название для теоретической частицы, которая, как он предполагал, излучается ядром в процессе бета-излучения. В то время его идея получила настолько малую известность, что Чедвик без проблем использовал то же название. Существование частицы Паули было подтверждено в 50-е гг., и сегодня она носит название «нейтрино» (см. стр. 135).



ТВЕРДЫНЯ ВЕЧНАЯ

В 1920 г. Фредерик Содди предсказал, что превращение одного изотопа в другой изотоп или элемент можно использовать для определения возраста геологических материалов. Сегодня этот метод широко используется. Так, например, углерод-14 превращается в азот-14 в процессе бета-распада с известной скоростью – за 5730 лет он разложится наполовину (период полураспада). Измерив соотношение углерода-14 и азота-14 в скальной породе, мы можем определить ее возраст. Этот прием называется радиоуглеродным датированием.

его ранние умозаключения, поскольку частицы оказались слишком тяжелыми, чтобы быть соединением одного протона и одного электрона. Чедвик решил, что это новый тип субатомной частицы, который не имеет заряда. Эту частицу он назвал нейтроном. И это позволило легко объяснить существование разновидностей химических элементов с разными атомными весами – изотопов. Все изотопы конкретного элемента должны содержать одинаковое количество протонов и электронов, но количество нейтронов в них может быть различно.

Нейтрон – это настоящая атомная суперзвезда. Он делает возможной цепную реакцию, которая лежит в основе атомной бомбы и функционирования атомных электростанций. Его можно использовать для анализа структуры других атомов, поскольку нейтроны не отклоняются положительным или отрицательным зарядом.

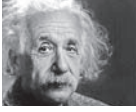
СОБЕРЕМ ВСЕ ВМЕСТЕ

Протоны и нейтроны тесно соседствуют друг с другом в ядре, которое занимает крохотное место в атоме – примерно одну стотысячную его объема. Если бы

диаметр атома равнялся диаметру футбольного стадиона, то размер ядра был бы равен размеру одной песчинки. Если бы атом был размером с Землю, то диаметр ядра составил бы 10 километров. Однако протоны должны отталкивать друг друга, так как имеют одинаковый заряд. Как же они ухитряются столь тесно соседствовать в атомном ядре? Это явление объясняется так называемым сильным ядерным взаимодействием, существование которого

первым в 1934 г. предположил японский физик Хидэки Юкава (1907–1981). Он предположил, что это взаимодействие обеспечивают новые частицы – мезоны, которыми обмениваются протоны и нейтроны. Мезоны – это короткоживущие частицы, которые существуют всего несколько стомиллионных долей секунды.

В отличие от гравитационных, электрических и магнитных сил, сильное ядерное взаимодействие не подчиняется закону обратных квадратов. Оно очень велико – в сто раз сильнее электрической силы – и действует на очень коротком расстоянии (до 13 см). На больших расстояниях это взаимодействие полностью исчезает. На радиусе ядра взаимодействие настолько сильно, что может преодолеть электростатическое отталкивание протонов. Но даже в таких условиях сильное взаимодействие не может сблизить их настолько, чтобы они раздавили друг друга – между протонами сохраняется небольшое расстояние. Диапазон силы ограничивает размер атомного ядра. Истинный переносчик ядерного взаимодействия пи-мезон, или пион, был открыт в 1947 г. Это открытие принадлежит британцу Сесилу Пауэллу



(1903–1969), бразильцу Сезару Латгесу (1924–2005) и итальянцу Джузеппе Оккиалини (1907–1993), которые изучали космические лучи. В 1949 г. Юкава за свое предсказание получил Нобелевскую премию по физике.

Все распадается

Хотя многие физики раздумывали над тем, как атому удастся сохранять свою целостность, другие изучали, как он распадается. После открытия радиоактивности Анри Беккерелем исследования пошли в разных направлениях.



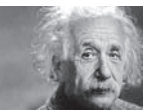
Атомная электростанция в Каттеноме, Франция

ЦЕПИ РЕАКЦИЙ ЯДЕРНОГО ДЕЛЕНИЯ УРАНА–238

Когда радиоактивный изотоп распадается, он превращается в другой элемент, дочерний нуклид. Он тоже может быть радиоактивным, что приводит к дальнейшему распаду. Время, необ-

ходимое для распада половины атомов образца изотопа, называется периодом полураспада. Уран–238 превращается в свинец–206, и процесс этот состоит из 14 этапов, показанных в таблице.

Элемент	Тип распада	Период полураспада	Дочерний нуклид
Уран–238	Альфа-излучение	4,5 миллиарда лет	Торий–234
Торий–234	Бета-излучение	24 дня	Протактиний–234
Протактиний–234	Бета-излучение	1,2 минуты	Уран–234
Уран–234	Альфа-излучение	240 000 лет	Торий–230
Торий–230	Альфа-излучение	77 000 лет	Радий–226
Радий–226	Альфа-излучение	1600 лет	Радон–222
Радон–222	Альфа-излучение	3,8 дня	Полоний–218
Полоний–218	Альфа-излучение	3,1 минуты	Свинец–214
Свинец–214	Бета-излучение	27 минут	Висмут–214
Висмут–214	Бета-излучение	20 минут	Полоний–214
Полоний–214	Альфа-излучение	160 микросекунд	Свинец–210
Свинец–210	Бета-излучение	22 года	Висмут–210
Висмут–210	Бета-излучение	5 дней	Полоний–210
Полоний–210	Альфа-излучение	140 дней	Свинец–206

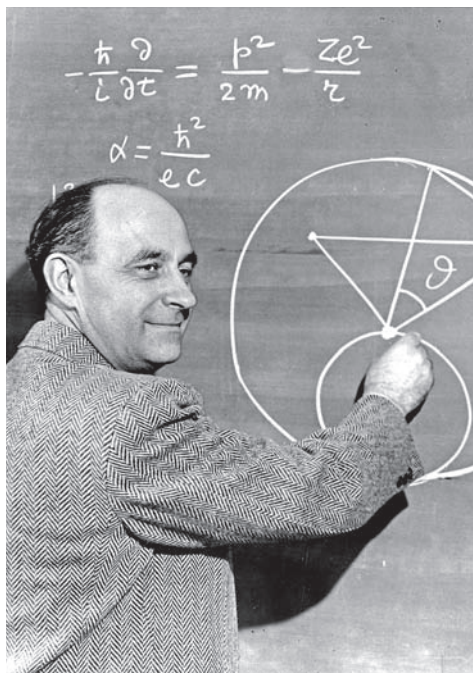


«От этих процессов мы можем получить гораздо больше энергии, чем дает нам протон, но в среднем мы не можем рассчитывать на получение энергии подобным образом. Это очень слабый и неэффективный способ получения энергии. И любой, кто пытается получить энергию путем превращения атомов, несет чушь. Но тема эта имеет научный интерес, поскольку позволяет лучше понять природу атома».

«The Times», 12 сентября 1933 г.,
из речи Эрнеста Резерфорда об атомной энергии

Резерфорд и английский химик-радиолог Фредерик Содди (1877–1956) в 1903 г. совместно разработали модель радиоактивного распада. Они объяснили, что атом тяжелого элемента нестабилен и распадается либо через потерю альфа-частицы (ядро гелия), либо через распад нейтрона на протон и излучение бета-частицы (электрона). В обоих случаях количество протонов в ядре меняется, и атом превращается в другой

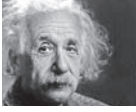
Энрико Ферми



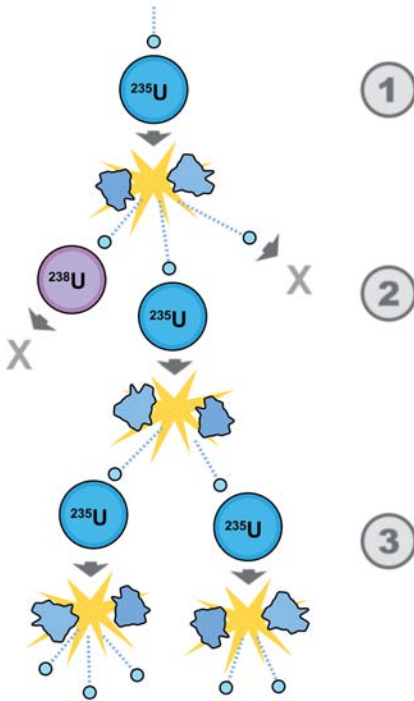
элемент. Ученые предсказали, что в результате распада радия будет появляться гелий – этого результата Содди добился в 1903 г., работая в Лондоне с шотландским химиком сэром Уильямом Рамзаем (1852–1916). В 1913 г. Содди установил, что излучение альфа-частицы уменьшает атомное число вдвое (поскольку теряется два протона), а излучение бета-частицы увеличивает атомное число на единицу (поскольку нейтрон распадается на электрон, который теряется, и протон, который сохраняется, тем самым увеличивая атомное число). Варианты элемента с разными атомными массами Содди назвал «изотопами».

В 1919 г. Резерфорд выяснил, что при бомбардировке азота альфа-частицами теряется ядро водорода (один протон) и азот превращается в изотоп кислорода. Это было первое искусственное превращение одного элемента в другой – цель, к которой так стремились алхимики прошлого, хотя и с более амбициозной целью превращения простых металлов в золото. Опыт Резерфорда не был первым шагом в новый мир алхимии – он стал первым шагом в царство ядерной физики.

Между 1920 и 1924 г. Резерфорд и Чедвик доказали, что большинство легких элементов при бомбардировке альфа-частицами будут излучать протоны.



Цепная реакция распада урана-235, вызванная бомбардировкой нейтронами



УКРОЩЕНИЕ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ

Превращение одного элемента в другой можно стимулировать искусственно, и этот процесс может быть источником колоссальной энергии. Энергия, высвобождающаяся в результате взрыва атомной бомбы или вырабатываемая атомной электростанцией, возникает в ходе ядерной цепной реакции, когда частицы, излучаемые одним распадающимся атомом, вызывают распад другого.

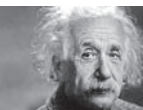
В 1934 г. Ирен и Фредерик Жолио-Кюри открыли явление наведенной радиоактивно-

сти. Они обнаружили, что, бомбардируя некоторые элементы альфа-частицами, их можно превратить в нестабильные радиоактивные изотопы, которые начинают распадаться. Их исследования продолжил итальянский физик Энрико Ферми (1901–1954). Он использовал медленные нейтроны для получения более эффективной наведенной радиоактивности. Бомбардируя уран нейтронами, Ферми получил новый (так ему казалось) элемент – гесперий. Но в 1938 г. группа из четырех немецких и австрийских ученых установила, что в результате своего опыта Ферми расщепил ядро урана на две примерно равные части. Этот был процесс ядерного деления.

Венгерский физик Лео Силард (1898–1964) понял, что нейтроны, выделяющиеся при реакции ядерного деления, можно использовать для стимулирования той же реакции в других атомах, то есть для самоподдерживающейся цепной реакции. Силард находился в Лондоне, когда на глаза ему попала статья в «The Times», в которой отвергалась идея Резерфорда о том, что атомную энергию можно использовать в практических целях.

Первый в мире самоподдерживающийся ядерный реактор, Чикаго, 1942 г. (фотографий не сохранилось)





«ОСВОБОЖДЕННЫЙ МИР» – ИЛИ НЕТ

Лео Силард вдохновил роман британского писателя Герберта Уэллса «Освобожденный мир» (1914), в котором описывались ужасные разрушения, вызванные новым оружием – «атомной бомбой». Придуманные писателем атомные бомбы продолжали взрываться в течение нескольких дней. И тогда Силард серьезно задумался об управлении ядерными цепными реакциями для изготовления настоящей атомной бомбы. В 1938 г. Силард переехал в США и через год убедил Альберта Эйнштейна вместе с ним написать письмо президенту Рузвельту с предложением начать исследовательскую программу по созданию атомной бомбы, чтобы нацистская Германия не успела сделать новое оружие первой. Так начался Манхэттенский проект. Силард считал, что своей работой защищает мир от предсказанного Уэллсом уничтожения. Он верил, что атомная бомба станет оружием сдерживания и никогда не будет использована. Но, к его разочарованию, контроль над проектом перешел в руки военных. Силард предлагал испытать атомную бомбу, чтобы продемонстрировать японцам ее мощь и вынудить их к бескровной капитуляции. Правительство США отклонило его предложение. В 1945 г. атомные бомбы были сброшены на японские города Хиросима и Нагасаки, что привело к колоссальным разрушениям и гибели сотен тысяч человек. После войны Силард предсказал возникновение ядерного тупика, что и произошло во время холодной войны. Впоследствии Силард окончательно отошел от физики и сосредоточился на исследованиях в области молекулярной биологии.

«Мы нажали на кнопку и увидели вспышки. Какое-то время мы следили за ними, а потом выключили все и отправились домой... Тем вечером у меня не осталось сомнений в том, что миру суждено великое горе».

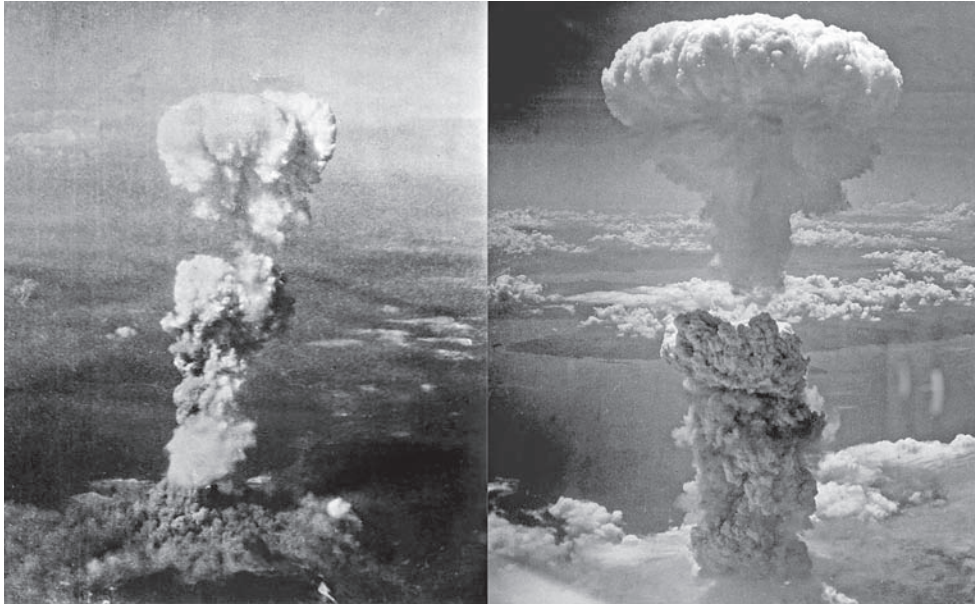
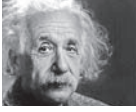
Лео Силард об успешном запуске цепной реакции урана в Колумбийском университете, Манхэттен, 1938 г.

Идя на работу в больницу святого Варфоломея и остановившись у светофора на Саутгемптон-Роу в Блумсбери, Силард вдруг понял, как может работать ядерная цепная реакция. В следующем году он получил патент на свое изобретение. Силард получил патенты и на цепную реакцию, и на ядерный реактор (с Энрико Ферми), но патент на цепную реакцию он в 1936 г. передал Британскому адмиралтейству. Впоследствии Силард стал основным организатором создания атомной бомбы (см. врезку).

В 1939 г. Фредерик Жолио-Кюри получил экспериментальные доказательства цепной реакции, и ученые многих стран мира (в том числе Соединенных Штатов, Великобритании, Франции, Германии и Советского Союза) стали искать средства на ядерные исследования. Первый ядерный реактор, «Чикагская поленница-1», был создан в декабре 1942 г. В нем получали плутоний для ядерного оружия.

Конец классического атома

Даже в модели Бора поведение атома невозможно было объяснить методами классической физики. Крохотное ядро



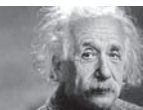
Взрыв атомных бомб над Хиросимой (слева) и Нагасаки (справа), август 1945

содержит протоны и нейтроны, соединенные сильным ядерным взаимодействием. В оставшемся пустом пространстве вокруг ядра по соответствующим орбитам снуют электроны, никогда не сходя со своих орбит, но имея возможность при соответствующих обстоятельствах перескакивать с одной на другую. Древние с их концепцией неделимого атома были бы в ужасе, узнав, что атом не просто состоит из электронов, протонов и нейтронов, но протоны и нейтроны могут делиться дальше. Во второй половине XX в. были открыты кварки, удерживаемые взаимодействием, переносимым глюонами. Интересно, что это то же самое взаимодействие, которое удерживает вместе протоны и нейтроны. Соединение протонов и нейтронов является побочным эффектом. Сильное взаимодействие, воздействующее на кварки, гораздо интереснее. Эта сила не ослабевает с увеличением расстояния, а возрастает до максимума на расстоянии, значительно большем, чем

размер протона или нейтрона. Глюоны были открыты в 1979 г. с помощью электро-позитронного коллайдера PETRA в Германии.

Протоны и нейтроны являются примерами адронов, которые состоят либо из трех кварков (барионы) или одного кварка и одного анти-кварка (мезоны). Эксперименты, проведенные в 1968 г. в Стэнфордском центре линейных ускорителей, показали, что протон не является неделимым, но состоит из мелких объектов, которые Ричард Фейнман назвал «партонами». Кварковая модель была предложена в 1964 г., но партоны не сразу связали с кварками.

Кварки обладают шестью ароматами: «нижний», «верхний», «странный», «очарованный», «прелестный» и «истинный». Кварки антиматерии – антикварки – обладают анти-ароматами, что



породило такие странные концепции, как «антистранный» кварк и «антиверхний» кварк. В нормальной жизни их можно было бы назвать «обыденным» и «нижним», но в странном мире кварков «нижний» – это вовсе не «антиверхний».

Протоны и нейтроны являются барионами и единственными стабильными адронами, хотя нейтроны стабильны только внутри ядра атома. Существует около сорока известных или предсказанных видов барионов и около пятидесяти известных или предсказанных видов мезонов. Они носят странные названия – например «двойная заряженная нижняя омега» (барион неизвестной массы или срока жизни). Некоторые из них живут очень недолго (если вообще существуют), например, дельта-барион – срок его жизни всего $5,58 \times 10^{-24}$ секунд. (Это означает, что в течение секунды тридцать раз возникает и исчезает столько дель-

та-частиц, сколько звезд во Вселенной.) Первыми из мезонов были обнаружены каоны и пионы – их в космических лучах обнаружили в 1947 г.

Субатомных частиц столько, что описать их все в этой книге невозможно. Достаточно лишь сказать, что многие еще не обнаружены или существование их не доказано, многие обладают неизвестными свойствами и функциями.

МАТЕРИЯ И АНТИМАТЕРИЯ

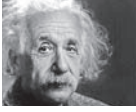
В 1927 г. Поль Дирак опубликовал релятивистское волновое уравнение электрона, которое в полной мере соответствовало требованиям специальной теории относительности (см. стр. 122). Удивительно, что оно имело два решения: одно описывало знакомый нам электрон, а другое – электрон с положительным зарядом. Сначала Дирак пытался сопоставить его с протоном, но его масса оказалась слишком велика. Даль-

УТИНЫЙ КВАРК

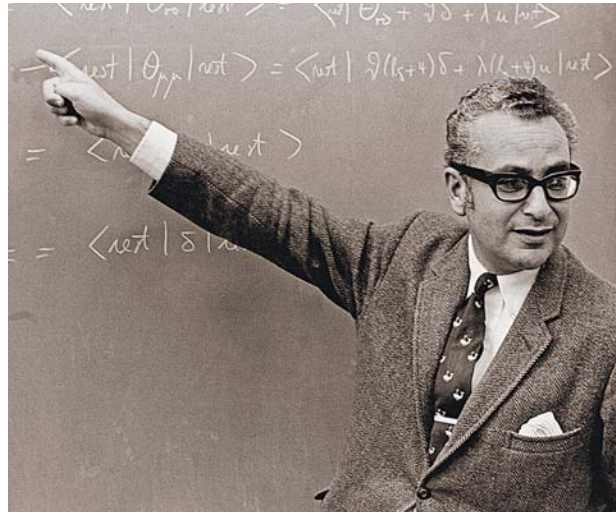
Название «кварк» предложил один из двоих ученых, которые независимо друг от друга предположили их существование в 1964 г. Это был Мюррей Гелл-Манн. Он назвал новую частицу, услышав кряканье уток. Он собирался назвать частицу «кворком», но никак не мог определиться с написанием, а потом нашел слово «кварк» в романе Джойса «Поминки по Финнегану».

*Три кварка для мастера Марка!
Скверный, конечно, имеет он барк.
К тому же и другие барки,
видимо, не лучшей марки.*





нейшие исследования показали, что при использовании достаточного количества энергии можно создать пару частиц с противоположными электрическими зарядами, но идентичной массой. В 1932 и 1933 г. Карл Андерсон обнаружил следы положительно заряженной частицы, как и предсказывал Дирак. Он назвал ее позитроном. Другие ученые сочли ее первой открытой частицей антиматерии. Позитрон уже нашел практическое применение в медицине, где появилась позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ). Теперь мы знаем, что все частицы имеют соответствующие им частицы антиматерии с полностью противоположными свойствами.



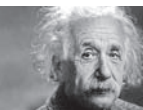
Мюррей Гелл-Манн дал кваркам название

Частицы-призраки

Одна из самых интересных и неуловимых частиц – нейтрино. Впервые о существовании нейтрино заговорил Вольфганг Паули в 1930 г. Такая частица понадобилась ему, чтобы сформулировать уравнение. Когда ядро радиоактивного атома распадается, высвобождаемая энергия должна быть равна той, что существует изначально. Но Паули обнаружил, что это не так. Терялось энергии больше, чем следовало, а это означало, что происходит некое излучение, которое не могут уловить детекторы. Паули понял, что во время бета-распада излучаемые электроны могут иметь практически любое количество энергии, вплоть до максимального для каждого конкретного типа ядра. Но если это действительно так, то нарушается закон сохранения энергии. И Паули предложил радикальное решение проблемы:

он постулировал существование другой, незаряженной частицы, которая не поддается квантованию и может нести любое количество кинетической энергии вплоть до заранее определенного максимума. Свою потенциальную частицу Паули назвал нейтроном. Через два года Чедвик использовал это название для другой частицы, которую мы и сегодня называем нейтроном.

В 1933 г. Энрико Ферми предложил назвать таинственную частицу Паули «нейтрино». Ферми предположил, что нейтрон распадается на протон и электрон (что действительно происходит вне атомного ядра), а также незаряженную частицу нового вида – нейтрино. Затем во время бета-распада излучаются электрон и нейтрино. Нейтрино оставался умозрительной частицей вплоть до 1953 г., когда его обнаружили американские физики Фредерик Райнес (1918–1998) и Клайд Коуэн (1919–1973). В качестве «нейтринных ловушек» они установили рядом с ядерным реактором большие емкости с водой.



«Сегодня я сделал нечто очень плохое, предложив частицу, которую невозможно обнаружить. Ни один теоретик никогда не должен делать подобного».

Вольфганг Паули, дневник, 1930 г.

Ученые вычислили, что реактор вырабатывает десять триллионов нейтрино в секунду, и сумели уловить три нейтрино в час. Пойманные нейтрино дали столь необходимое доказательство того, что эти частицы действительно существуют.

Нейтрино обладают крайне малой массой и не имеют заряда, поэтому они могут беспрепятственно проходить практически через все. Если направить пучок нейтрино на свинцовую стену толщиной 3000 световых лет, половина из них свободно пройдет через нее. Существуют нейтрино, оставшиеся от Большого взрыва, нейтрино, излучаемые Солнцем и возникшие в результате взрыва звезд. Каждую секунду через ваше тело про-

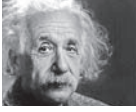
ходит около ста триллионов нейтрино. Большую часть атомов составляет пустое пространство – ядро можно сравнить с песчинкой на футбольном стадионе. Поэтому дорога для нейтрино свободна. А поскольку они не имеют заряда, то не отклоняются и не захватываются электронами или протонами.

Примерно через десять лет после обнаружения первого нейтрино в шахте золотодобычи в Южной Дакоте был установлен специализированный нейтринный детектор. Он представлял собой огромный резервуар, заполненный жидкостью для химической чистки с большим содержанием хлора. Когда нейтрино сталкивается с атомом хлора, вырабатывается радиоактивный аргон. Каждые несколько месяцев анализ содержимого резервуара показывал присутствие около 15 атомов аргона. Следовательно, за это время 15 нейтрино столкнулись с атомами хлора. Детектор непрерывно использовался в течение более тридцати лет.

Сегодня существует множество нейтринных детекторов, расположенных под землей, в старых шахтах, в океане и даже подо льдами Антарктики.



Детектор эксперимента MINOS (поиск нейтринных осцилляций с использованием главного инжектора) в Суданском подземном государственном парке (Миннесота) использовался для исследований нейтрино



Нейтрино беспрепятственно могут попасть в любой детектор, но подземные ловушки помогают ученым не путать их с космическими лучами (своды шахт, вода и лед задерживали крупные частицы). В японском детекторе нейтрино Super-K используется 50 000 тонн воды, заключенных в огромный резервуар с 13 000 световых сенсоров. Сенсоры фиксируют голубые вспышки, возникающие при столкновении нейтрино с атомами и возникновении электронов. Отследив путь электрона в воде, физики могут вычислить направление движения нейтрино и определить его источник. Большинство нейтрино поступает к нам от солнца. В 2001 г. физики обнаружили, что нейтрино имеют три «аромата». Видов этой частицы оказалось гораздо больше, чем казалось ученым, но пока что открыты только те, что при взаимодействии с материей создают электроны. Открытие ароматов имело огромное значение – оказалось, что нейтрино обладают массой. Детектор для определения массы нейтрино был построен в Германии в 2012 г.

Ричард Фейнман описал спин и вращение электронов. Эта идея пришла к ученому, когда он увидел вращающуюся тарелку и задумался об ее «покачивании».

«Я был в кафетерии, и какой-то парень, дурчась, бросил тарелку в воздух. Пока она летела вверх, я увидел, что она покачивается, и заметил, что красная эмблема Корнелла на тарелке вращается. Мне было совершенно очевидно, что эмблема вращается быстрее, чем покачивается тарелка. Мне было нечего

ОКРУЖНОЙ ПУТЬ

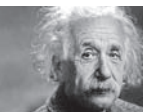
Тритиевый нейтринный эксперимент в Карлсруэ (KATRIN) должен определить массу нейтрино. Установку построили в 250 милях от немецкого города Карлсруэ. Но она была слишком велика, чтобы перемещать ее по узким дорогам, поэтому ее доставляли на место по Дунаю, затем через Черное море, оттуда в Средиземное море, обогнув Пиренейский полуостров, через Ла-Манш и далее по Рейну до Леопольдсхафена. Только оттуда установку перевозили по дороге. Путь занял два месяца, а его протяженность составила 5600 миль.

делать, и поэтому я начал обдумывать движение вращающейся тарелки. Я обнаружил, что, когда угол наклона очень маленький, скорость вращения эмблемы вдвое больше, чем скорость покачивания – два к одному...

И я продолжал разрабатывать уравнения покачивания. Затем я подумал о том, как орбиты электронов начинают двигаться в общей теории относительности. Затем уравнение Дирака в электродинамике. И уже потом – квантовая электродинамика. И еще этого не осознав (понимание пришло через очень короткое время), я “играл”... Дело шло как по маслу, играть было легко. Это было вроде как откупорить бутылку. Одно вытекало из другого без всяких усилий. Диаграммы и все остальное, за что я получил Нобелевскую премию, вышли из этой пустячной возни с покачивающейся тарелкой».

Последняя потерянная частица

До их обнаружения антиматерия и нейтрино были чисто теоретическими понятиями. Сегодня охота ведется на другую теоретическую частицу – бозон Хиггса. Иногда бозон Хиггса называют «частицей Бога». Это последняя обнаруженная частица в так называемой стандартной модели физического мира.

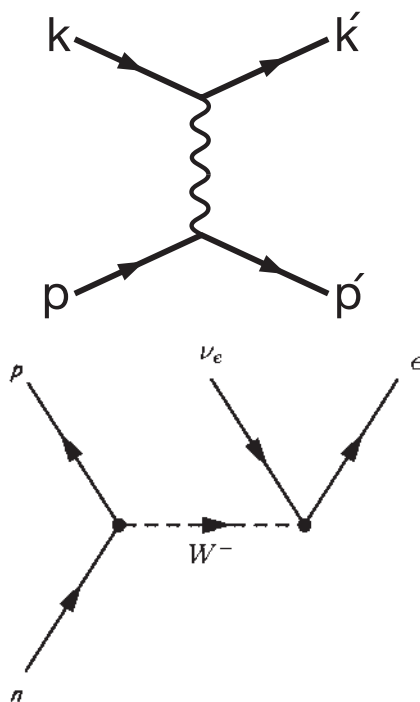
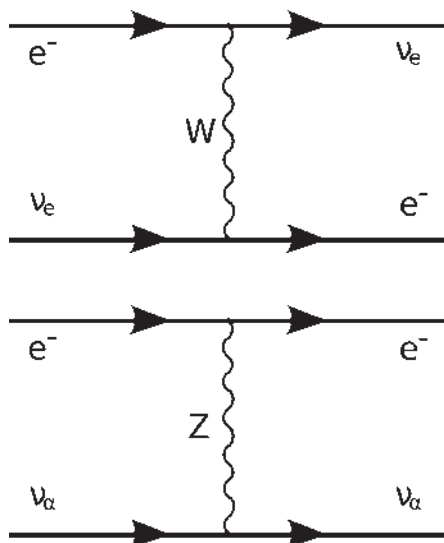


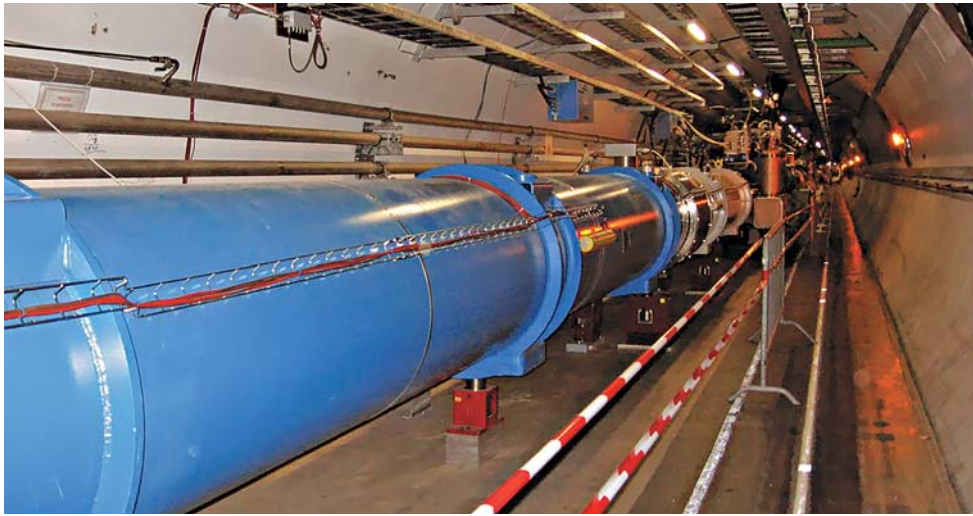
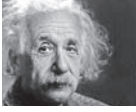
РИЧАРД ФЕЙНМАН (1918–1988)

Фейнман родился в Нью-Йорке. Отец рано познакомил его с физикой – сам он шил военную форму, но очень интересовался наукой и логикой. Фейнман учился в Массачусетском технологическом институте и Принстонском университете, а во время Второй мировой войны стал работать в Манхэттенском проекте по созданию атомной бомбы. Позже он перешел в Калифорнийский технологический институт. Ричард Фейнман был харизматичным и популярным лектором, имел весьма необычные хобби и интересы – он обожал играть на барабанах в стрип-баре. Он разработал математическую теорию физики частиц и доказал, что взаимодействие между электронами (или позитронами) можно рассматривать как обмен виртуальными фотонами. Эти взаимодействия он отобразил в форме «диаграмм Фейнмана». Он даже украсил этими диаграммами свой автомобиль, который и сейчас хранится в гараже в Калифорнии. Он был пионером квантового исчисления и разработал концепцию нанотехнологий. Нильс Бор лично обсуждал с ним проблемы физики, потому что все остальные настолько благоговели перед Бором, что не смели противоречить ему или указывать на недостатки его аргументов.

Диаграммы Фейнмана:

- (1) взаимодействие нейтрино с материей с заряженным током;
- (2) взаимодействие нейтрино с материей с нейтральным током;
- (3) процесс рассеивания;
- (4) распад нейтрона





Туннель адронного коллайдера в ЦЕРНе

Бозон Хиггса не существует ни в одной физической модели. В некоторых моделях может существовать несколько видов бозона Хиггса. Выяснение того, существует ли такая частица или нет, поможет ученым решить, какая из предложенных моделей более справедлива. Бозон Хиггса считается компонентом поля Хиггса. Прохождение через поле Хиггса дает частицам массу. Если бозон Хиггса существует, он является неотъемлемой частью материи и присутствует везде. Первое полное описание частицы Питер Хиггс дал в 1966 г.

Для поиска бозона Хиггса необходимы большие коллайдеры, такие как большой адронный коллайдер в ЦЕРНе в Швейцарии или Теватрон в Фермилаб в США. Бозон Хиггса может возникнуть в адронном коллайдере при столкновении протонов на большой скорости разными способами.

Частицы со звезд

В большом адронном коллайдере ученые пытаются смоделировать условия, существовавшие в самом начале Вселенной, когда частицы сталкивались под огромным давлением. То, что мы хоть как-то представляем себе, каким могло быть начало Вселенной, является результатом тысяч лет наблюдений и размышлений о звездах и космосе. И процесс этот, несомненно, начался еще в доисторическую эпоху, когда наши древние предки в изумлении смотрели на небо и придумывали истории, чтобы объяснить все то, что представало перед ними.

ПЕРЕИМЕНОВАНИЕ НЕСУЩЕСТВУЮЩЕГО

Многие ученые возражают против популярного термина «частица Бога». Поэтому в 2009 г. был даже объявлен конкурс на новое название бозона Хиггса. Самым популярным названием стало «бозон бутылки шампанского». Другие участники предлагали назвать его «мастодоном», «мистероном» и «нон-экзистеном».



Дотянуться до ЗВЕЗД



Мы не знаем, когда люди впервые посмотрели на звезды и стали думать о них. Кто-то видел на небе картины – созвездия. В эти картины складывались 4000 звезд, видимых невооруженным глазом. А от картин уже рукой подать до историй, их сопровождающих. Некоторые истории стали основой религиозных верований. Они пытались объяснить необъяснимое – происхождение мира, причины смены времен года, движения звезд и планет по небосклону. Другие старались найти более рациональные объяснения. Они наблюдали, считали, измеряли, а потом делали предсказания. Они постоянно испытывали и оттачивали свои предсказания, поскольку с течением времени в их моделях возникали проблемы и вопросы. Древние астрономы были первыми учеными. Они не шли вразрез с религиозными традициями своих культур, но работали рука об руку с ними, предсказывая движение небесных тел и создавая календари, имевшие не только практическое, но и религиозное значение.

Млечный путь – наш дом во Вселенной, но это всего лишь одна из сотен миллиардов галактик



Во французском Карнаке сохранилось 3000 доисторических вертикально поставленных камней

Звезды и камни

Некоторые древнейшие постройки человечества могли предназначаться для тщательного наблюдения за движением луны, звезд и планет по небосклону. 3000 камней французского Карнака датируются 4500–3300 гг. до н. э. Они вполне могли иметь астрономическое значение. Круг вертикально поставленных камней в Стоунхендже на юге Англии был создан в 3000–2200 гг. до н. э. Этот круг мог быть небесной обсерваторией: летом солнце встает практически на центральной оси Стоунхенджа. Прецессия Земли (то, как планета колеблется на своей оси в процессе вращения) означает, что Стоунхендж 4000 лет назад давал менее точную информацию, чем сегодня, но он все же мог давать астрономические данные, полезные для ведения сельского хозяйства и религиозного поклонения. Другие исследователи нашли

Доисторический Стоунхендж в английском Солсбери мог быть создан для астрономического использования



способы получения более точной информации о различных небесных телах, в том числе о луне и планетах, и предположили, что Стоунхендж – это результат десятилетий, а то и веков астрономических наблюдений

Великие пирамиды в египетской Гизе настроены еще более точно. Их строительство завершилось в 2680 г. до н. э. Четыре стороны каждой из трех пирамид астрономически ориентированы по сторонам света – север-юг и запад-восток. Отклонение составляет малую долю градуса. Положение пирамид может отражать расположение центральных звезд созвездия Ориона. Другие пирамиды могут быть связаны с другими звездами Ориона, а Нил – с Млечным путем. Древнейшее описание астрономии в Древнем Египте мы видим на потолке гробницы Сенемута, главного архитектора и астронома при дворе царицы Хатшепсут (ок. 1473 – 1458 г. до н. э.). Несколько построек майя в Южной Америке совпадают со звездным скоплением Плеяды и звездой Эта в созвездии Дракона.

ДРЕВНИЕ ЗВЕЗДОЧЕТЫ

Никаких документов, подтверждающих астрономическое использование или значение Стоунхенджа и пирамид не сохранилось. Но были древние астро-



Великие пирамиды Гизы в Египте могут быть связаны со звездами и сторонами света

номы, которые вели записи примерно в тот же период. Китайские астрономы стали наблюдать небо из специально построенных обсерваторий уже в 2300 г. до н. э. Первая информация о комете относится к 2296 г. до н. э., о звездном дожде – к 2133 г. до н. э., а о солнечном затмении – к 2136 г. до н. э. Китайская астрономия служила астрологии. Звездочетам нужно было предсказывать затмения и другие небесные явления, чтобы выбирать благоприятные моменты для событий при королевском дворе и сражений. По звездам предсказывали будущие успехи и гадали о здоровье императора. Пророки могли оказаться фатальными – нам известно, по крайней мере, о двух обезглавленных в 2300 г. до н. э. астрономах, которые неточно предсказали солнечное затмение. В захоронении в Сишуйпо в провинции Хэнань, которому уже около 6000 лет, были найдены ракушки и кости, сложенные в форме трех созвездий китайской астрономии: Лазурного Дракона, Белого Тигра и Северного Ковша. До нас дошли кости оракула, которым 3200 лет. Они носят названия звезд, связанных с 28 лунными домами. Китайцы верили в то, что небесные события показывают или предсказывают значительные события

на Земле. С XVI в. до н. э. и до XIX в. н. э. почти каждая китайская династия назначала тех, кто наблюдал и описывал астрономические события и изменения. Эти записи – бесценный материал для современных историков астрономии.

Плодородный полумесяц Месопотамии (современный Ирак) стал местом зарождения нескольких древних цивилизаций. Примерно в 2600 г. до н. э. появилась шумерская цивилизация. Сохранились десятки тысяч шумерских глиняных табличек до 2400 г. до н. э. – среди них есть сельскохозяйственный альманах с астрономическими данными, в соответствии с которыми шумеры сеяли и убирали урожай.

Примерно в 1600 г. до н. э. на этих территориях появились вавилоняне. Их астрономы пользовались государственной поддержкой. Они составляли календари и делали астрологические предсказания. Они составляли списки звезд и начали вести записи о движениях планет, о солнечных и лунных затмениях. Это помогало им довольно точно предсказывать новые затмения. Судя по всему, именно они открыли цикл лунных затмений из 223 месяцев. К 800 г. до н. э. они зафиксировали положение Венеры, Юпитера и Марса относительно звезд и описали ретроградное (обратное) движение планет.

Вавилоняне составили календарь из двенадцати месяцев со странным прибавлением: иногда в календаре появлялся тринадцатый месяц, что позволяло точно отсчитывать года. В некоторых регионах Вавилонского царства знали семидневную неделю. Вавилоняне делили круг на 360 градусов, а день на двенадцать «каспу», за каждый из которых

На изразцах изображены китайские созвездия Лазурного Дракона и Белого Тигра

солнце проходило 30 градусов небосвода. Дуга в один градус служила им единицей измерения углов.

Наличие системы измерения углов позволяло вавилонским астрономам оценивать ретроградное движение планет. Судя по глиняным табличкам, относящимся к нескольким векам, они могли предсказывать положение планет и ретроградное их движение, даже не понимая, как и почему это движение происходит. Они не пытались дать научное объяснение или создать модель, поскольку их предсказания служили только практическим и религиозным целям.

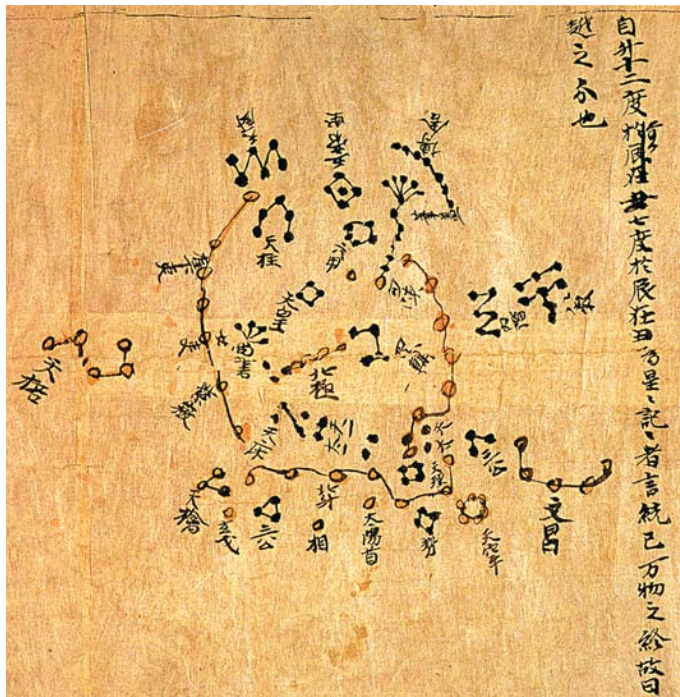


От наблюдения к размышлению

Если китайские, шумерские и вавилонские астрономы просто фиксировали положение звезд и разные события, то древние греки подходили к астрономии более теоретически и научно. Они пытались объяснить и смоделировать поведение небесных тел.

Примерно в 500 г. до н. э. Пифагор предположил, что земля – это шар, а не плоскость. В V в. до н. э. Анаксагор утверждал, что солнце – это раскаленный камень, а Луна – это часть земли. В 270 г. до н. э. Аристарх говорил, что Земля вращается вокруг Солнца. Ранее люди считали, что Земля – это центр, вокруг которого вращаются Луна, Солнце,

планеты и звезды. Аристарх впервые определил размеры Солнца и Луны и расстояние до них от Земли. Поскольку солнце намного больше Земли, то оно вряд ли может быть подчиненным телом, вращающимся по орбите вокруг Земли. Рассчитав время лунного затмения, Аристарх вычислил расстояние от Земли до Луны.



Китайская карта звездного неба Дуньхуан, 700 г. н. э.



*«И тогда кажется более вероятным, что экватор земного шара в одну секунду (это время, за которое быстро идущий человек делает единственный шаг) может проделать четверть британской мили (а шестьдесят секунд равны одному градусу большого круга Земли) или что экватор *primus mobile* за то же время должен пройти пять тысяч миль с невообразимой быстротой... Быстрее, чем крылья молнии, если они действительно поддерживают истину, которая особенно касается движения земли».*

Эдвард Райт, вступление к трактату Уильяма Гилберта «De magnete» (1600), где объяснялось, почему более вероятно то, что Земля вращается вокруг своей оси, чем то, что Солнце вращается вокруг Земли каждые 24 часа

ли. Прошло 1800 лет, прежде чем к ней снова вернулись.

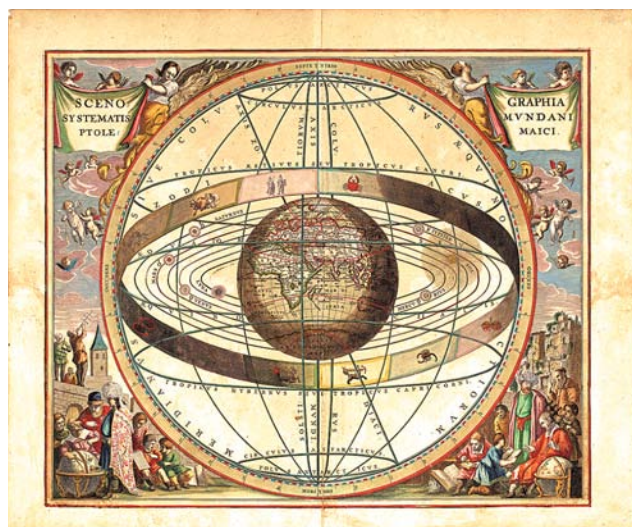
ГИППАРХ — ВЕЛИЧАЙШИЙ АСТРОНОМ АНТИЧНОСТИ?

Греческий астроном Гиппарх родился в Никее приблизительно в около 190 г. до н. э., но большую часть жизни провел на Родосе. Его называли величайшим астрономом античности, хотя до нас дошли лишь немногие его работы.

Он установил, что это расстояние примерно в 60 раз больше радиуса Земли, что вполне соответствует современным данным. Аристарх решил, что Солнце в девятнадцать раз дальше от Земли, чем Луна, и диаметр его в десять раз больше диаметра Земли, хотя и не был твердо уверен в этих цифрах. К сожалению, современники не приняли выводов Аристарха. Они утверждали, что если бы Земля вращалась вокруг Солнца, то они периодически удалялась бы от звезд и тогда их размеры казались бы людям разными. В действительности же Земля находится настолько далеко от звезд, что расстояние, ею проделываемое, является просто мизерным и никак не влияет на видимые размеры звезд. Но в остальном это был весьма разумный аргумент. Впрочем, в те времена человек не мог представить себе таких расстояний, и модель Аристарха отверг-



Гиппарх с изобретенной им армиллярной сферой



*Карта с изображением
Птолемеевой Вселенной,
где Земля находится в центре,
1660–1661*

Нам он известен, в первую очередь, благодаря трактату Птолемея «Альмагест». Гиппарх использовал работы вавилонских астрономов, соединяя ва-

ет положение 121 звезды. Но Гиппарх указал положение 850 звезд, видимых невооруженным глазом, и разбил их на шесть групп в соответствии с яркостью. Такая система используется и по сей день. Гиппарх составил список всех затмений, произошедших за прошлые 800 лет, и в 134 г. до н. э. открыл новую звезду в созвездии Скорпиона. Его считают изобретателем тригонометрии и астрологии с алидадой. Птолемей утверждал, что Гиппарх объяснил круговое движение Солнца и Луны, но не знал движения планет, хотя собрал информацию о них и доказал, что современные теории относительно звезд ошибочны. Самое знаменитое достижение Гиппарха – это обсуждение того, как точки солнцестояния и равноденствия медленно смещаются с востока на запад относительно определенных звезд – этот процесс носит название прецессии равноденствий.

Гиппарх первым точно определил продолжительность года – 365 дней 5 часов и 55 минут. Он заметил, что времена года имеют разную продолжительность,



*Птолемей
с армиллярной
сферой*



и вычислил продолжительность месяца с точностью до одной секунды.

СФЕРЫ ПТОЛЕМЕЯ

Из Древнего мира до нас должна была дойти гелиоцентрическая система Аристарха но ее место заняла система, описанная Птолемеем примерно в 140 г. н. э. Он не являлся ее автором, а всего лишь описал существующие взгляды в своем трактате «Великое математическое построение» (сегодня его называют «Альмагестом» по арабскому названию). Птолемей писал, что Земля расположена в центре концентрических сфер. По этим сферам вокруг Земли вращаются Луна, Солнце, планеты и звезды. Греки считали круг идеальной формой, а, поскольку небеса – это царство совершенства, орбиты должны быть круглыми. Впрочем, это не касалось наблюдаемого движения планет.

Чтобы модель работала, круговые орбиты планет должны быть смещены по отношению к центру Земли. Было ясно, что Венера и Меркурий вращаются по орбите вокруг Солнца, поэтому в модели Птолемея они действительно движутся по круговой орбите вокруг солнца, которое следует по круговой орбите вокруг Земли. Марс, Юпитер и Сатурн – планеты, которые видны невооруженным глазом – также вращались вокруг чего-то, но не вокруг Солнца. Птолемей выявил пустые точки, где располагался фокус орбит этих планет – эти точки и вращались вокруг Земли по круговой орбите. Такая модель смещенных

МЕНЕЕ ПРАВДОПОДОБНАЯ МОДЕЛЬ

В индуистской мифологии утверждается, что плоская земля стоит на четырех слонах, а те стоят на панцире огромной черепахи. Не существует астрономических данных, которые подтверждали бы такую модель. Английский писатель Терри Пратчетт воспользовался индуистской легендой и создал собственный Плоский мир. Естественно, возникает вопрос, а на чем же стоит черепаха? «А дальше идут сплошные черепахи», – этот ответ приписывали многим.



круговых орбит довольно точно описывала слегка неправильный путь планет, которые порой начинали двигаться в обратном направлении (ретроградное движение). Описать звезды было проще – они были просто разбросаны по дальней сфере, которая вращалась вокруг Земли, служа фоном для всего остального.

По мере повышения точности наблюдения за движением планет стало ясно, что модель Птолемея не может точно описать их траектории. Требовалось все больше и больше исправлений, чтобы модель согласовывалась с наблюдениями. И наконец, спустя больше тысячи лет, от этой модели отказались.



БРАХМАГУПТА (598–668)

Индийский математик Брахмагупта родился в городе Бхинмал в Раджастане, на северо-западе Индии. Он возглавлял астрономическую обсерваторию в Уджайне и написал четыре трактата по математике и астрономии. В одном из них впервые использован ноль. Брахмагупта предположил, что Земля вращается вокруг своей оси, и доказал, что Солнце дальше от Земли, чем Луна. Брахмагупта полагал, что Земля круглая, а не плоская. Тем, кто говорил, что с круглой Земли все должно падать, он рассказывал об явлении, сходном с гравитацией (см. цитату ниже). Он изобрел методы для вычисления положения небесных тел и предсказания затмений. Именно из работ Брахмагупты арабские астрономы узнали об индийской астрономии. Канка, которого в 770 г. из Уджайна пригласили ко двору халифа аль-Мансура, объяснял астрономию по трактату Брахмагупты «Брахмаспхутасиддханта».

«Все тяжелые вещи притягиваются к центру земли... Земля со всех своих сторон одинакова; все люди на земле стоят вертикально, и все тяжелые вещи падают на землю по закону природы, ибо такова природа земли, что она притягивает и удерживает вещи, равно как природа воды заставляет ее течь, а природа огня – гореть, а природа ветра – находиться в движении... Земля – единственная низкая вещь, и семена всегда возвращаются к ней, в каком бы направлении ты их не бросил, и никогда не улетают прочь от земли».

Брахмагупта,
«Брахмаспхутасиддханта», 628 г.

В ТЕМНОТЕ И ИЗ МРАКА

С угасанием эллинистического мира астрономия тоже вошла в период затмения. В Римской империи не было великих астрономов, и прогресс замедлился, пока не появилась арабская наука. В 813 г. аль-Мамун создал багдадскую школу астрономии. Если в Европе и Северной Африке ничего не происходило, то индийские астрономы делали наблюдения и описывали их, и их открытия дали пищу для развития астрономии арабской. Древнейший индийский трактат о звездах «Веданга Джьотиша» датируется 1200 г. до н. э., но это, скорее, астрологическая, чем астрономическая, работа, и использовалась она в религиозных целях. Первый настоящий астрономический текст «Арьябхатия» появился в Индии в 476–550 гг. Он сильно повлиял на арабских ученых. В нем впервые день стал начинаться с полуночи. В нем говорилось, что земля вращается вокруг своей оси – поэтому нам кажется, что звезды движутся по небу, а луна светится, отражая солнечный свет.

АРАБСКАЯ АСТРОНОМИЯ

Арабские астрономы первыми применили математику к описанию движения звезд и планет. Исламским астрономам был необходим надежный календарь, по которому можно было бы точно вычислять время молитвы на рассвете, в полдень, днем, на закате и вечером. Кроме того, им нужно было иметь возможность в любом месте точно определять направление на святой город Мекка. Они смотрели на небеса, чтобы справиться с этими задачами – ведь в Коране говорилось, что нужно использовать звезды для навигации: «Он – Тот, Кто сотворил для вас звезды, чтобы вы находили по ним путь во мраках суши и моря». Коран



Арабская карта звездного неба северного полушария, 1275 г.

также подтверждал справедливость эмпирических данных и ощущений, тогда как греческие мыслители наибольшее значение придавали рассудку. Коран призывал наблюдать, осознавать и размышлять – то есть прокладывал дорогу к научному методу.

В исламе астрологические предсказания осуждались. Когда в день смерти сына Мухаммеда случилось солнечное затмение, он не позволил людям рассуждать о Боге, сказав: «Затмение – это явление природы, и оно не связано с рождением или смертью человека». И это отличало арабскую астрономию от индийской и китайской, которые стояли на службе астрологии и использовались



для предсказания будущего.

Примерно с 700–825 г. н. э. большинство арабских астрономов занималось изучением и переводом астрономических трудов греческих, индийских и доисламских персидских (времен династии Сасанидов) ученых. Их собственные изыскания начались примерно в то время, когда халиф аль-Мамун учредил в Багдаде Дом Мудрости. В VIII в. в Ираке появилась китайская бумага – задолго до появления ее в Европе. И после этого стало намного проще собирать и распространять знания. С 825 г. и до захвата Багдада монголами в 1258 г. Дом Мудрости был интеллектуальным центром мира.

Первым крупным мусульманским трудом по астрономии стал трактат «Зидж аль-Синдх», написанный Мухаммедом ибн Мусой аль-Хорезми (ок. 780 – ок. 850) в 830 г. В нем содержались таблицы движения Солнца, Луны и пяти известных планет. Аль-Хорезми вошел в историю как математик (латинизированное его имя «Алгоритми» дало нам такой знакомый термин «алгоритм»). Арабские достижения в области математики способствовали изучению и развитию астрономии. Аль-Хорезми усовершенствовал солнечные часы и изобрел квадрант, используемый для измерения углов. Примерно в 825–835 гг. Хабаш аль-Хасиб аль-Марвази написал «Кни-



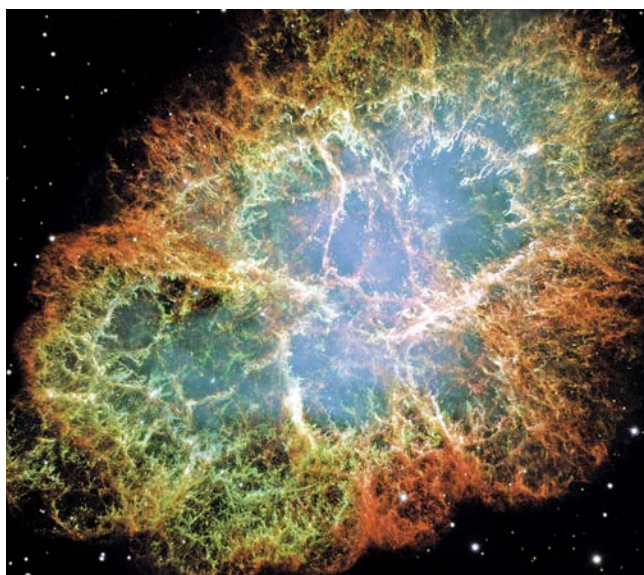
Поскольку молиться нужно было в точное время, арабам пришлось составить календарь и серьезно заняться астрономией



Крабовидная туманность возникла в результате взрыва сверхновой звезды, свидетелями которого астрономы стали в 1054 г.

гу о телах и расстояниях», в которой привел значительно более точные оценки некоторых астрономических расстояний. По его расчетам диаметр Луны составлял 3037 километров (сегодня установлено, что он составляет 3470 километров), а расстояние от Луны до Земли – 346 344 километра (в действительности 384 402 километра). В 964 г. персидский астроном Абд аль-Рахман аль-Суфи (903–986) записал свои наблюдения и зарисовал звезды, указав их расположение, величину, яркость и цвет. В его книге содержатся первые описания и рисунки галактики Андромеды. В 1006 г. египетский астроном Али ибн Ридван (988–1061) описал самую яркую сверхновую звезду в истории. Он утверждал, что она в два-три раза больше Венеры и на четверть ярче Луны. Ее же описали астрономы Китая, Ирака, Японии, Швейцарии и, возможно, даже шаманы американских индейцев.

Достижения арабских астрономов ограничивались их убеждением в том, что Земля находится в центре небесной системы, а бесконечность невозможна. Однако, Джафар Мухаммад ибн Муса ибн Шакир в XI в. предположил, что небесные тела подчиняются тем же физическим законам, что и тела на Земле (это противоречило убеждениям древних). В XI в. аль-Хайсам сделал



первую попытку применить в астрономии экспериментальный метод. Он создал специальный аппарат для проверки того, как Луна отражает солнечный свет. Аль-Хайсам менял настройки своего прибора и записывал результаты. Он предположил, что состав небес имеет меньшую плотность, чем воздух, и отверг точку зрения Аристотеля о том, что Млечный путь – это явление верхнего слоя атмосферы. Измерив параллакс, он определил, что Млечный путь находится очень далеко от Земли. В том же веке аль-Бируни установил, что Млечный путь состоит из звезд. Он также дал описание силы тяготения: «Притяжение всех вещей к центру Земли». Аль-Бируни утверждал, что гравитация существует и среди небесных тел и небесных сфер (он все еще оперировал в рамках модели Вселенной Птолемея). Аль-Хайсам утверждал, что Земля вращается вокруг своей оси – эту же идею ранее высказывал Брахмагупта. Аль-Бируни не видел никаких математических проблем во вра-

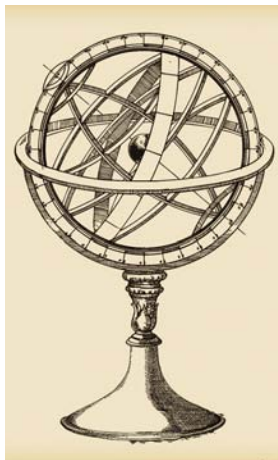
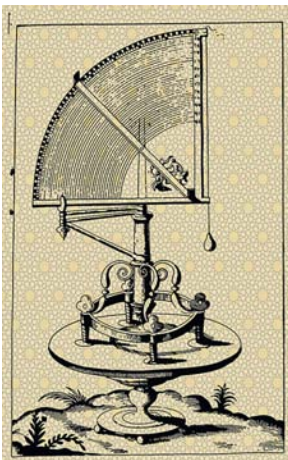


ДРЕВНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Древнейшие астрономические инструменты – это глиняные таблички из Вавилона, на которых изображены три концентрических круга, разделенных на двенадцать секторов. В каждом из 36 полей указаны названия созвездий и простые цифры, которые могут означать месяцы вавилонского календаря.

Астролябия показывает положение планет и звезд при условии, что Земля является центром Вселенной. Астролябии, по-видимому, появились незадолго до I в. н. э., хотя древнейший дошедший до нас инструмент является арабским и относится к 927–928 гг. н. э. В исламе сохранился рассказ о создании астролябии: Птолемей ехал на осле и смотрел на свою небесную сферу. Осел споткнулся, сфера упала, и осел ее раздавил. Посмотрев на расплюснутую сферу, Птолемей придумал астролябию.

Армиллярная сфера – это трехмерный эквивалент астролябии. На ней показано расположение планет и звезд на ряде концентрических кругов, в центре которых расположена Земля. Квадрант использовался для оценки подъема тела над горизонтом. Первое упоминание о квадранте мы находим у Птолемея в 150 г. н. э. Исламские астрономы строили большие квадранты, но самый знаменитый – это квадрант Тихо Браге (1546–1601). Он пользовался им в своей обсерватории в Ураниборге на датском острове Вен.



Старинные астрономические инструменты (по часовой стрелке сверху): астролябия, армиллярная сфера, квадрант



щении Земли. В 1030 г. он написал свое толкование трудов Брахмагупты.

Как и во всех других областях науки, тщательные исследования в области астрономии тормозились религиозными соображениями. Считалось, что ученые пытаются постичь замысел Бога. Пожалуй, самым значительным вкладом арабских ученых VIII–XII вв. в науку стало усовершенствование астрономических инструментов и развитие математики. Все это проложило дорогу европейским астрономам эпохи Ренессанса. Именно им было суждено переписать книгу небес.

ВЕЛИКАЯ ЗВЕЗДА-ГОСТЬ

Начиная с июля 1054 г. в небе 23 дня сияла звезда настолько яркая, что ее можно было видеть при дневном свете. Китайские астрономы назвали ее «звездой-гостем» в созвездии Тельца. Они записали, что желтый свет этой звезды был в четыре раза ярче Венеры. Звезда оставалась видна 653 дня.

Японский поэт Садаиэ Фудзивара писал об этой звезде. Ее изображение сохранилось на керамике американских индейцев анасази и мастеров Мимбреса. «Звезда-гость» была сверхновой, создавшей Крабовидную туманность. После

ПРОЗОРЛИВЫЕ МАЙЯ

Дрезденский кодекс – это текст майя, написанный в Южной Америке в XI или XII в. В нем зафиксированы удивительно точные наблюдения Луны и Венеры, сделанные 300 или 400 лет назад. Для майя Венера была самым значимым небесным телом после Солнца. Майя знали о существовании размытой туманности в центре созвездия Ориона: она фигурирует в народных сказаниях, и ее изображали возле очагов с помощью угля. Майя – единственная цивилизация, которая узнала об этой особенности Ориона, не имея телескопов.



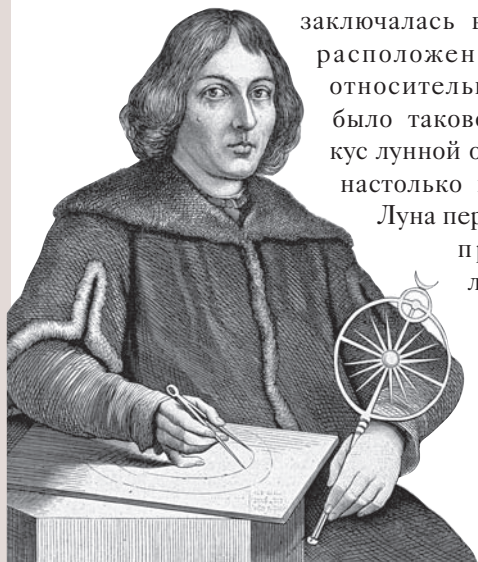


исчезновения новой звезды с ночного неба ее не видели около 700 лет, а в 1731 г. английский врач и астроном Джон Бевис (1695–1771) открыл туманность с помощью телескопа.

Земля вращается – снова

Прошло почти две тысячи лет с того времени, когда Аристарх впервые предположил, что Земля вращается вокруг Солнца, и эта идея вновь возродилась. В христианском мире упоминать об этом было опасно, поскольку Церковь учила, что небеса идеальны и неизменны, что человек – это венец творения, центр божественного плана. Как же Земля может исполнять подчиненную роль и вращаться вокруг Солнца? Подобная идея считалась еретической и могла привести к весьма печальным последствиям.

Проблемы были и с моделью Птолемея. Самая серьезная заключалась в том, что расположение Луны относительно Земли было таково, что фокус лунной орбиты был настолько велик, что Луна периодически приближалась к Зем-



Коперник

«Бог, когда создал мир, привел в движение каждую из небесных сфер как было угодно Его воле, и, приводя их в движение, Он сообщил им импульсы, которые далее двигали их, так что Ему более не приходилось поддерживать их движение... И эти импульсы, которые Он сообщил небесным телам, не уменьшились и не уничтожились впоследствии, ибо в небесных телах не существовало наклонности к другим движениям. Не было там также и сопротивления, которое могло бы уничтожить или уменьшить импульс».

Жан Буридан,
французский философ XIV в.

ле ближе, чем в другие моменты – причем настолько ближе, что становилась намного больше. Эта проблема и другие наблюдения заставляли ученых сомневаться в модели Птолемея, о чем в 1496 г. писал немецкий математик и астроном Иоганн Мюллер (1436–1476), известный под латинизированным именем Региомант. Человеком, который осмелился оспорить модель Птолемея, стал польский астроном Николай Коперник. Он не занимался наблюдениями, но решил, что более аккуратным объяснением будет то, что Земля вращается вокруг Солнца, а не наоборот. Копернику особенно не нравились маленькие круги мини-орбит, так называемые «экванты», которые были необходимы Птолемею, чтобы объяснить наблюдаемое движение планет в системе с единым, раз и навсегда зафиксированным центром Вселенной.

Хотя Коперник завершил разработку гелиоцентрической Вселенной примерно в 1510 г., он был достаточно осторожен и говорил о своей работе лишь немногим близким друзьям.

Свой эпохальный труд «О вращении небесных сфер» («De Revolutionibus Orbium Coelestium») он опубликовал лишь в 1543 г. Печатник Ретик успел лишь частично подготовить книгу Коперника, когда ему пришлось покинуть Нюрнберг. Работа перешла в руки лютеранина Андреаса Озиандера, который добавил к книге предисловие. В нем он писал, что Коперник вовсе не имел в виду, что Солнце *действительно* центр Вселенной, а представил на суд читателей всего лишь математическую модель, которая помогает объяснить наблюдения. Предисловие должно было предотвратить какую-либо критику со стороны Церкви, но Церковь практически не обратила внимания на книгу. Возражали против нее лишь лютеране. В год публикации книги Коперник умер – он даже не увидел ее в печатном виде. Его книга была позабыта, 400 напечатанных экземпляров не были распроданы. И все же именно эта книга положила начало современной астрономии и научной революции.

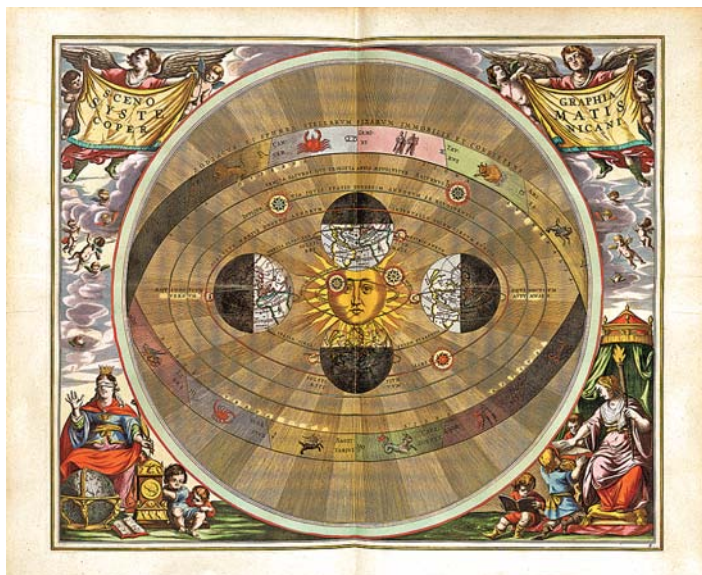
Хотя модель Коперника была лучше модели Птолемея, в ней тоже имелись определенные проблемы. Коперник считал, что звезды находятся на строго определенном месте на невидимой сфере, расположенной за самой далекой планетой. Чтобы звезды не двигались, они должны были находиться очень далеко. Сегодня эта концепция нас вполне удовлетворяет, но в XVI в. немедленно возникал вопрос, зачем Бог устроил такое огромное пустое место между самой далекой планетой и звездами.

Другая проблема заключалась в том, что если Земля вращается, то почему океаны не стекают с нее, а здания не разрушаются? С другой стороны, в отличие от модели Птолемея, модель Коперника объясняла наблюдаемое движение планет без обращения к сложным выдумкам.

Коперник разбил планеты на две группы. Меркурий и Венера располагались ближе к Солнцу, чем Земля. Марс, Юпитер и Сатурн – дальше. (Остальные планеты в то время были неизвестны.)

Коперник вычислил время, необходимое каждой планете для оборота вокруг Солнца, и определил относительные расстояния планет от Солнца. Это позволило сгруппировать их относительно орбиты Земли и подтвердило справедливость его модели.

Модель солнечной системы Коперника, в которой планеты вращаются вокруг Солнца





РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ, СЖИМАЮЩАЯСЯ ЗЕМЛЯ

Мы все привыкли считать себя центром всего сущего. Неудовольствие от понимания того, что Земля не является центром не только Вселенной, но даже и солнечной системы, было весьма велико. Тем не менее, астрономы предположили, что Солнечная система все же важна для Вселенной. Значительно позже астрономы, которые поняли, что Млечный путь – это галактика, предположили, что Солнце расположено близко к ее центру, а сам Млечный путь располагается в центре Вселенной – настоящей, большой Вселенной. Открытие того, что Млечный путь – это всего лишь галактика, насчитывающая миллиарды звезд, а Вселенная насчитывает миллиарды галактик, что солнечная система не является центром Млечного пути, а Млечный путь не является центром Вселенной, значительно повлияло на самосознание человечества. Мы, несомненно, всего лишь малозначащие существа, обитающие в малозначащем месте самой заурядной солнечной системы, входящей в самую обычную галактику – ничего особенного.



ВСЕ МЕНЯЕТСЯ

Тихо Браге был человеком колоритным. Он родился в аристократической семье, но был похищен в младенчестве. На дуэли он потерял часть носа и впоследствии заменил его протезом из серебра и золота. Он с детства был одержим звездами, но понял, что основой для любых предсказаний может быть лишь систематическое и точное наблюдение. В 1569 г. он построил гигантский квадрант радиусом

почти 6 метров. Кромка была калибрована по минутам и позволяла вести точные измерения. Тихо Браге пользовался им вплоть до 1574 г., когда буря разрушила инструмент.

В 1572 г. Тихо наблюдал очень яркую новую звезду в созвездии Кассиопеи. Поскольку считалось, что небеса совершенны и неизменны во веки веков, появление новой звезды представляло собой проблему. Астроном не сразу за-

фиксировал ее положение, раздумывая, не является ли она планетой, движущейся относительно неподвижных звезд. Он наблюдал звезду полтора года, и за это время она поблекла.

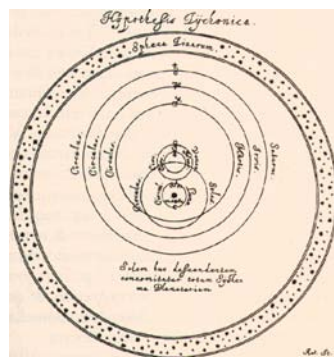
Изначально она была ярче Венеры, а затем стала обычной звездой, но не изменила своего положения. Когда Тихо Браге описал свое открытие в трактате «Новая звезда» («De Nova Stella»), он впервые в астрономами ввел термин «новая». Тихо Браге изучил свои данные, чтобы обнаружить параллакс, неизбежный, если Земля движется вокруг Солнца. Параллакс – это видимое изменение положения ближайшей звезды относительно более далеких звезд при рассмотрении ее с двух разных точек наблюдения. Не обнаружив параллакса, Тихо продолжил свои наблюдения, чтобы опровергнуть гелиоцентрическую модель Коперника. Несмотря на научный склад ума, Тихо считал, что небесные события предвещают глобальные изменения на Земле. Небесные явления он полагал причиной религиозных войн, которые велись в Европе в то время.

Не мог он принять и движение Земли. Если Земля движется в космосе, то камень, брошенный с башни, должен упасть в некотором отдалении от основания, потому что Земля должна сдвинуться и изменить траекторию камня. Эту идею Гассенди опроверг в 1640 г. (см. стр. 74).

Через несколько лет, в 1577 г., Тихо Браге сделал еще одно важнейшее для



Астрономический трактат Тихо Браге, в котором описана его модель солнечной системы



истории науки наблюдение – на сей раз над кометой. Он выяснил, что комета – это не локальный феномен, пролетающий рядом с Землей, даже ближе Луны. Кометы странствуют между планетами. А это означало, что идея Птолемея о хрустальных сферах, где расположены планеты и неподвижные звезды, неверна – ведь комета могла их разбить. Мысль Тихо Браге была революционной – как и концепция новой звезды.

Свою книгу Тихо Браге опубликовал в 1587–1588 г. В ней он описал собственную модель Вселенной. Модель эта представляла некий гибрид: в центре Вселенной, как и у Птолемея, располагалась неподвижная Земля, но остальные планеты вращались вокруг Солнца, которое, в свою очередь, вращалось вокруг Земли.

Благодаря такой модели исчезала необходимость в «деферентах» и «эпициклах», без которых не могла работать модель Птолемея. Кроме того, Тихо Браге окончательно развенчал идею хрустальных сфер и впервые заявил, что планеты «висят» в космосе без опоры.



Иоганн Кеплер (1571–1630)

Иоганн Кеплер был чуть моложе Тихо Браге. Этому выдающемуся астроному пришлось выбрать несколько другой подход. Интерес к астрономии у Кеплера родился в детстве, когда мать поднялась с ним на гору, чтобы наблюдать великую комету 1577 г. (ту же самую, что подтолкнула Тихо Браге к написанию трактата о кометах). Но Кеплер не мог самостоятельно проводить астрономические наблюдения – из-за оспы у него испортилось зрение. И тогда он стал изучать звезды с помощью математики. Кеплер собирался стать священником. Учась в Тюбингене, он изучал математику и астрономию и весьма преуспел в этом. Его учитель Михаэль Маэстлин официально преподавал модель Птолемея, но после занятий рассказывал избранным студентам – в том числе и Кеплеру – об астрономии Коперника.

Кеплер не был богат. Деньги он зарабатывал составлением гороскопов. В отличие от Тихо Браге, который действительно считал события земные и небесные связанными, Кеплер полагал гороскопы полной чепухой и про себя называл клиентов «жирноголовыми». Но это занятие давало ему деньги и делало популярным.

Собственную модель Вселенной Кеплер опубликовал в 1597 г. В ней причудливо сочетались идеи Коперника и древние идеи греческих физиков. Кеплер полагал, что шесть планет (включая и Землю) занимают орбиты, определяемые сферами, расположенными внутри и между пятью геоме-

трическими фигурами, построенными в соответствии с геометрией Евклида. Хотя само по себе это было неважно, он сделал очень значимое предположение. Кеплер полагал, что планеты движутся под действием силы, излучаемой Солнцем, но по мере удаления от Солнца воздействие этой силы ослабевает. Кеплер был первым, кто предположил, что источником движения планет является физическая сила, если, конечно, не считать физической силу ангелов.

ВСТРЕЧА АСТРОНОМОВ В ПРАГЕ

В 1597 г. Тихо Браге переехал в Прагу и стал официальным астрономом при дворе короля Богемии и императора Священной Римской империи Рудольфа II. Именно здесь в 1600 г. Кеплер впервые встретился с ним. Тихо собрал огромное количество информации, но он не обладал математическими навыками, чтобы обработать свои данные. Кеплер был выдающимся математиком, но не имел информации для работы. Казалось бы, их встреча была необходима обоим. Но отношения ученых были непростыми. Посетив Тихо, Кеплер вернулся в родной дом в Грац, а Тихо должен был добиться у императора Рудольфа выделения средств на его работу. Переговоры еще не завершились, а Кеплеру и другим лютеранам пришлось покинуть Грац за отказ от принятия католичества.

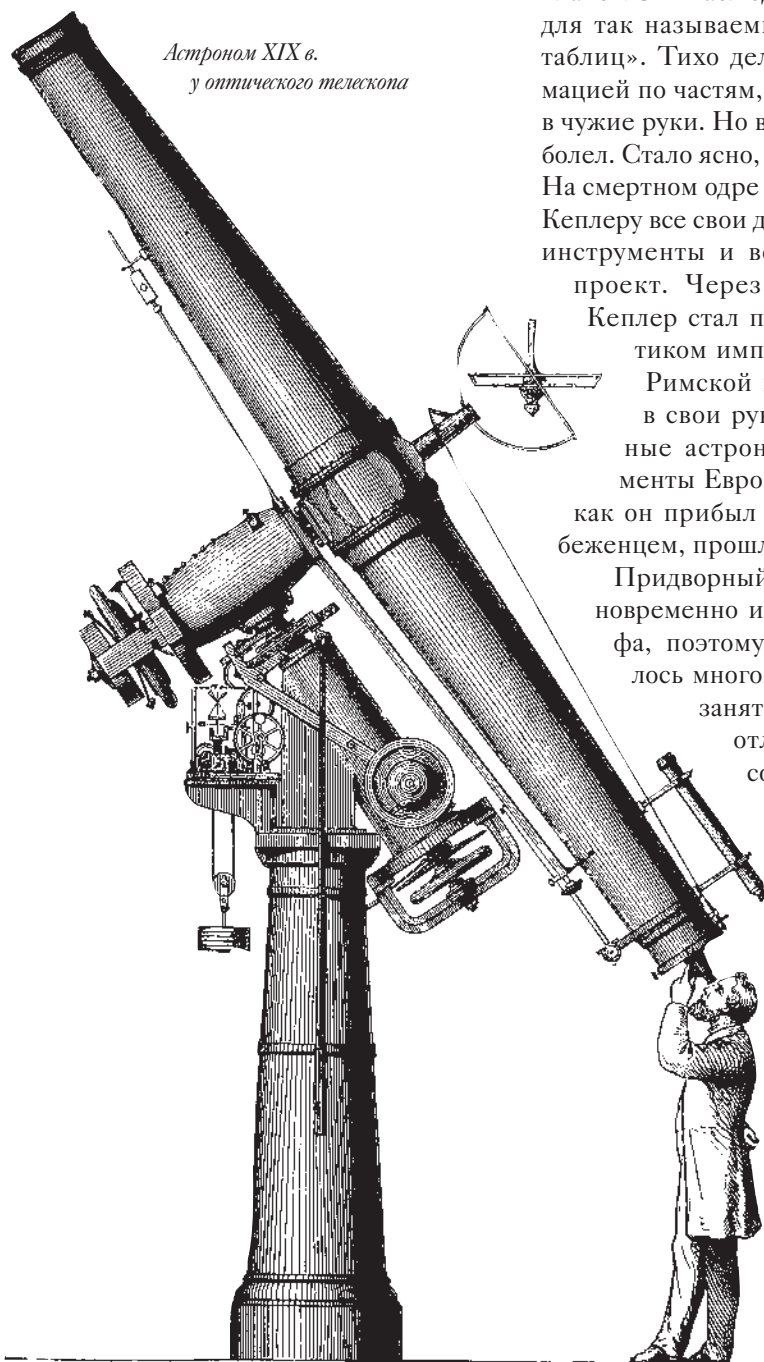
Кеплер прибыл ко двору Рудольфа как бегенец. Со временем Рудольф решил профинансировать работу Кеплера,



Тихо Браге



*Астроном XIX в.
у оптического телескопа*



сделав его помощником Тихо, который продолжал наблюдать за движением планет. Эти наблюдения стали основой для так называемых «рудольфинских таблиц». Тихо делился своей информацией по частям, не спеша отдать все в чужие руки. Но в конце 1601 г. он заболел. Стало ясно, что вскоре он умрет. На смертном одре Тихо Браге завещал Кеплеру все свои драгоценные данные, инструменты и весь рудольфинский проект. Через несколько недель

Кеплер стал придворным математиком императора Священной Римской империи и получил в свои руки самые современные астрономические инструменты Европы. С того момента, как он прибыл в Прагу неимущим беженцем, прошло меньше года.

Придворный математик был одновременно и астрологом Рудольфа, поэтому Кеплеру приходилось много времени тратить на занятия, которые, как он отлично знал, были совершенно бессмысленными. Зато все остальное время он мог посвящать своим расчетам, которые позволили ему сделать важнейшие открытия.

Кеплер установил, что каждая планета вращается вокруг Солнца по эллиптической орбите, а Солнце располагается в одном из фокусов эллипса. Он понял, что,



Ахроматический телескоп середины XVIII в. (слева). Копия отражающего телескопа Ньютона, 1672 г. (справа)

приближаясь к Солнцу, планеты движутся быстрее. Открытия Кеплера не сделали его научной суперзвездой. Честно говоря, в то время они почти не оказали никакого влияния. Многие по-прежнему не понимали, что Земля не является центром Вселенной. Лишь когда Исаак Ньютон изучил работы Кеплера и объяснил эллиптические орбиты планет силой тяготения, значимость его открытия стала очевидной. Религиозные раздоры, личные проблемы и трагедии помешали работе Кеплера. Его жена умерла (позже он женился повторно), его мать обвинили в ведьмовстве – она провела несколько месяцев в тюрьме, но потом ее, к счастью, отпустили.

Третий и последний закон Кеплер открыл в 1717 г. Он гласит, что квадрат времени, необходимого планете для оборота вокруг Солнца, пропорционален кубу ее расстояния от Солнца. Так, например, Марс в 1,52 раза дальше от Солнца, чем Земля, и год на этой планете равен 1,88 земного года. Рудольфинские таблицы, опубликованные в 1627 г., стали первыми современными астрономическими таблицами. В них использовалось новое изобретение – логарифмы, предложенные шотландским математиком и астрономом Джоном Непером (1550–1617). Логарифмы позволили определять положение планет в любое время – в прошлом и будущем.

Невидимое становится видимым

Тихо Браге работал без телескопа. Он определял положение звезд и планет с помощью компасов и квадрантов. В 1610 г. у Кеплера появился телескоп – свой инструмент ему прислал Галилей, чтобы он подтвердил собственные наблюдения Галилея. Изобретение телескопа полностью изменило мир астрономов – и всю Вселенную. Неожиданно стало ясно, чем планеты отличаются от звезд. Оказалось, что у некоторых планет есть собственные спутники, и планеты эти могут быть целыми мирами. Млечный путь превратился в скопление звезд, а самих звезд оказалось бесчисленное количество.

Первый астрономический телескоп Леонард Диггес (1520–1559) построил в Англии в начале 50-х гг. XVI в.



На его изобретение никто не обратил внимания, пока через двенадцать лет после смерти Леонарда, в 1571 г. его сын Томас (1546–1595) не опубликовал свою работу, посвященную этому изобретению. Томасу было всего 13 лет, когда умер его отец. Воспитание мальчика занялся Джон Ди (1527–1609), математик, философ, алхимик и придворный астролог королевы Елизаветы I. Томас получил доступ к великолепной библиотеке Ди, где хранилась и книга Коперника. В 1687 г. Томас опубликовал самый важный свой труд, переработанный трактат отца «Совершенное описание небесных сфер». Томас использовал не только гелиоцентрическую модель Коперника, но и собственную теорию о бесконечности Вселенной. Отвергнув идею о неподвижных звездах на дальней сфере, Томас Диггес заявил, что пространство бесконечно, и звезд в нем бесчисленное множество. Он ничем не доказал свою теорию, но, похоже, к этой мысли его подтолкнуло использование телескопа и понимание того, что Млечный путь – это скопление звезд. Поскольку Диггес писал на английском языке, а не на латыни, его идеи были доступны большему количеству людей, и популярность модели Коперника возросла.

Однако примерно в то же время Церковь начала обращать внимание на потенциально еретическую идею гелиоцентрической Вселенной. Враждебность Церкви могла быть связана с тем, что эту модель поддерживал Джордано Бруно, сожженный за ересь в 1600 г. Бруно был последователем религиозного учения герметизма, в основе которого лежали верования древних египтян о том, что Солнце – это бог, которому следует поклоняться. Естественно, что его привлекла гелиоцентрическая модель. Пропаганда модели Коперника

привлекла внимание Церкви, но распространное мнение о том, что его сожгли именно за это, безосновательна. В действительности Джордано Бруно осудили за то, что он утверждал, что Христос был создан Богом, а не являлся Богом (арианизм), и за занятия магией. И все же его убежденность в правоте гелиоцентрической модели усилила враждебность Церкви по отношению к новой системе, и к теории Диггеса о бесконечности Вселенной. Несмотря на довольно причудливые религиозные убеждения, Джордано Бруно намного опередил свое время как астроном. Он утверждал, что далекие звезды могут быть подобны нашему Солнцу, могут иметь собственные миры, в которых живут существа, столь же прекрасные, как люди.

ГАЛИЛЕЙ В КОСМОСЕ

В 1989 г. НАСА запустила космический аппарат «Галилей», который в 1995 г. вышел на орбиту Юпитера. По пути «Галилей» пролетел через пояс астероидов и открыл на орбите астероида Ида крохотный спутник, получивший название Дактиля. В 1994 г. «Галилей» сфотографировал фрагменты кометы Шумейкера-Леви, которая врезалась в Юпитер. Зонд, выпущенный в атмосферу Юпитера, зафиксировал ветры скоростью 720 километров в час, а затем разрушился. «Галилей» совершил одиннадцать витков вокруг Юпитера, собрал данные о планете и ее спутниках. Миссия аппарата была продолжена – «Галилей» изучил вулканический спутник Юпитера Ио и ледяной спутник Ганимед. В 2003 г. «Галилей» разрушился – сгорел в атмосфере Юпитера.



Астероид Ида с крохотным спутником Дактилем. Длина Иды составляет 56 километров, а Дактиля – всего 1,6 километра

Галилей, повелитель Вселенной

Величайшим пользователем телескопа, несомненно, был Галилей. Он увлекся астрономией в 1604 г., когда стал изучать сверхновую звезду, открытую Кеплером. Галилей установил, что звезда не двигается, а следовательно, должна находиться так же далеко, как и другие звезды. Галилей построил собственный телескоп, очень мощный для своего времени (см. стр. 41). В 1610 г. у него был инструмент с 30-кратным увеличением. С помощью своего телескопа он впервые наблюдал четыре самых ярких спутника Юпитера (ныне они называются «галилеевыми спутниками»). (Крупнейший спутник Юпитера, Ганимед, был обнаружен китайским астрономом Ган Дэ в 364 без всяких телескопов.) Сначала Галилей решил, что это «неподвижные звезды» близ Юпитера. Но последующие наблюдения показали, что спутники движутся. Когда один из них исчез, Галилей понял, что он скрылся за Юпитером и, следовательно, движется по орбите вокруг планеты. Это были первые небесные тела, вращающиеся не вокруг Солнца или Земли. Влияние этого открытия на современную космологию было огромным. Вплоть до 1892 г. другие спутники Юпитера были неизвестны, хотя сейчас мы знаем о 63 спутниках, вращающихся по относительно стабильной орбите вокруг планеты,



и множество более мелких может быть открыто в будущем.

В 1610 г. Галилей наблюдал также фазы Венеры, подобные фазам Луны. Это убедительно доказало, что планета должна двигаться по орбите вокруг Солнца, а фазы связаны с тем, что Солнце освещает разные части планеты во время этого движения. В результате в начале XVII в. большинство астрономов отказались от модели Птолемея и стали отдавать предпочтение гелиоцентрическим моделям Вселенной.

Но это было еще не все. Галилей наблюдал также кольца Сатурна, хотя и не смог понять, что они представляют. Он понял, что Млечный путь – это скопление огромного количества звезд, разглядел кратеры и горы на Луне, наблюдал пятна на Солнце и определил различия между планетами и звездами. Он утверждал, что звезды – это далекие солнца и оценил их расстояние от Земли, по относительной яркости. Галилей считал, что расстояние до ближайших звезд всего в несколько сотен раз превышает расстояние от Земли до Солнца.



Он полагал, что звезды, которые можно рассмотреть в телескоп, отстоят от Земли на расстояние в несколько тысяч раз больше расстояния от Земли до Солнца. Конечно же, в действительности расстояния эти гораздо больше, но даже эти цифры опровергали аргументы противников теории Коперника, утверждавших, что звезды находятся не так далеко. Галилей доказал, что звезды находятся не на фиксированном расстоянии, а разбросаны в пространстве. В трактате «Звездный вестник» («Sidereus Nuncius»), опубликованном в 1610 г., он утверждал, что при рассмотрении в телескоп планеты выглядят дисками, а звезды остаются точками света. Он видел Нептун, но не понял, что это планета. Галилей разглядел даже пятна на солнце, которые уже видели немецкий астроном Иоганн Фабриций (1587–1616) и английский астроном Томас Хэрриот (1560–1621). Галилей сделал вывод о том, что Солнце вращается вокруг своей оси, совершая полный оборот за 25 дней. Пятна на Солнце сыграли гораздо более важную роль в жизни Галилея, чем должны были.

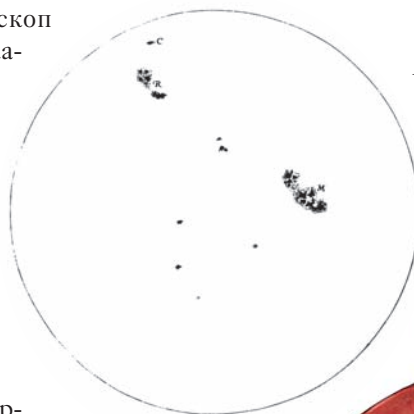
Меч, скрещенный с Богом

Наблюдения Галилея дали убедительные доказательства в пользу гелиоцентрической модели солнечной системы Копер-

EPPUR SI MUOVE

Говорят, что Галилей, отрекшись от своего убеждения в том, что Земля вращается вокруг Солнца, пробормотал себе под нос «*eppur si muove*» – «а все-таки она вертится». Впервые об этом стали говорить спустя век после смерти ученого. Вряд ли он действительно сделал нечто подобное перед лицом устрашающей инквизиции.

ника и вращения Земли. Но ученый не спешил обнародовать свои открытия – судьба Джордано Бруно вселяла в него опасения за собственную жизнь. Поначалу Церковь с энтузиазмом интересовалась открытиями Галилея. В 1611 г. он побывал у Папы Павла V.



Карта Галилея с солнечными пятнами, обнаруженными с помощью телескопа в 1612 г.



Папа Павел V (1552–1621)



БЕСТСЕЛЛЕР 1610 г.

13 марта 1610 г. Галилей отправил экземпляры своего «Звездного вестника» к флорентийскому двору. К 19 марта весь тираж – 550 экземпляров – был распродан. Книгу сразу же перевели на множество языков, и через пять лет она была доступна даже на китайском!

Подкомитет иезуитов довольно спокойно принял его сообщение о том, что Млечный путь – это скопление звезд, Сатурн имеет странную овальную форму с некими выпуклостями (тогда было еще неясно, что это кольца), у Луны неровная поверхность, Юпитер имеет четыре спутника, а у Венеры есть фазы. Комитет никак не возражал против этих открытий. Во время своего визита в Рим Галилей стал членом одного из первых научных обществ в мире – Академии деи Линчеи. На банкете в его честь впервые было произнесено слово «телескоп» – так назвали новый астрономический инструмент.

Впрочем, хорошие отношения Галилея с Церковью продлились недолго. Он опубликовал памфлет о пятнах на Солнце, в котором единственный раз публично высказался в пользу модели Коперника. Это привлекло внимание Церкви. Когда в 1615 г. Галилей снова прибыл в Рим, инквизиция начала изучение идей Коперника и пришла к выводу о том, что они «глупы и абсурдны... и формально являются еретическими». Вскоре после этого Галилею сообщили, что он не должен придерживаться, защищать или преподавать идеи Коперника, а в случае неповиновения его делом займется инквизиция. Поначалу Галилей не придавал этому значения. В 1629 г. он написал «Диалог о двух главных ми-

ровых системах», в котором описывал модели Коперника и Галилея в форме воображаемого диалога между сторонниками каждой из них.

Трактат был опубликован с разрешения Церкви при условии, что система Коперника будет осуждена. Папский цензор настаивал на включении в трактат предисловия и послесловия, где говорилось бы о том, что идеи Коперника – лишь гипотеза. Галилей должен был изменить изложение этих идей, даже при сохранении их содержания. Галилей внес в предисловие требуемые изменения, но они не понравились Папе Урбану VIII. Да еще и сторонника системы Птолемея в книге звали Симпличио, то есть простак.

БОРЬБА С ОТСТАЛОСТЬЮ

«Диалог» Галилея и «О вращении» Коперника остались в списке книг, запрещенных католической церковью даже после того, как общий запрет на книги, связанные с гелиоцентрической системой, в 1758 г. был снят. В 1820 г. церковная цензура отказалась пропустить книгу, в которой гелиоцентризм трактовался как установленный факт. Поданный протест рассматривался довольно долго. Книги Галилея и Коперника были исключены из списка при следующей публикации – в 1835 г. Спустя время католическая Церковь извинилась за свое отношение к Галилею, но лишь в 2000 г. Папа Иоанн Павел II назвал процесс над Галилеем одной из ошибок, совершенных Церковью за прошедшие 2000 лет и довольно поздно ею признанных.

ГАЛЛЕЙ КАК КАТАЛИЗАТОР

Когда в 1684 г. Галлей посетил Ньютона в Кембридже, они обсуждали идею, которую ведущие астрономы обдумывали уже давно. Речь шла о связи закона обратных квадратов с притяжением, которое удерживает планеты на орбите. В январе того же года Галлей обсуждал эту проблему с Робертом Гуком и Кристофером Реном. Галлей спросил Ньютона, какой, по его мнению, будет орбита планеты, если сила, существующая между ней и Солнцем, будет обратно пропорциональна квадрату расстояния. Ньютон ответил, что уже вычислил такую орбиту, и она представляет собой эллипс. После этой беседы Ньютон решил опубликовать «Начала», над которыми работал уже много лет. И этот его труд стал самой значительной научной книгой в истории.



Папа решил, что Галилей смеется над Церковью и поддерживает систему Коперника. Галилея вызвали в Рим, где он предстал перед трибуналом по обвинению в ереси – за «представление как истины ложной доктрины о том, что Солнце является центром мира».

Галилея убедили признать свою вину, чтобы избежать суда инквизиции и пыток. Он согласился с тем, что слишком далеко зашел в своей преданности идеям Коперника. Наказанием ему стало пожизненное заключение – со временем его перевели под домашний арест. В собственном доме он провел долгие годы – с 1634 г. до самой смерти в 1642 г.

В последние годы жизни Галилей написал свой величайший труд – «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки». Это был первый современный научный учебник, где описывался научный метод и давались математические и физические объяснения явлений, которые прежде разбирались только с помощью философских средств. Книга была тайно вывезена из Италии и в 1638 г. опубликована в Германии, в Лейдене. Она сразу же стала невероятно популярной повсюду, кроме Италии.

Каталогизация небес

Усовершенствование телескопа позволило астрономам составить более точные карты звездного неба. Во Франции под руководством Французской академии построили собственную обсерваторию. Королевское общество Лондона также потребовало создать обсерваторию в Британии. В 1675 г. в Гринвиче была построена Королевская обсерватория. Первым королевским астрономом стал Джон Фламстид (1646–1719), правда, в те годы эта должность называлась «астрономическим наблюдателем».



Фламстид вскоре начал переписываться с юным Эдмундом Галлеем (1656–1742), который тогда учился в Оксфорде и уже был страстно увлечен астрономией. В университет Галлей привез с собой телескоп длиной более семи метров. Он первым написал Фламстиду с предложением внести исправления в современный каталог звезд. Вскоре Галлей стал настоящим протеже Фламстида. Фламстид занялся составлением нового каталога звезд северного полушария. Галлей предложил параллельно изучать южное полушарие и вскоре получил королевское одобрение. Это исследование финансировал отец Галлея – он положил сыну содержание, которое в три раза превышало королевское жалованье Фламстида.

ВИДЕТЬ ВСЕ БОЛЬШЕ И БОЛЬШЕ

По мере того, как телескопы становились все более мощными, астрономы все больше узнавали о тайнах, которые ставили в тупик ученых прошлого. Галилей открыл «уши» Сатурна, которые странным образом через несколько лет исчезли. В 1655 г. Гюйгенс вместе со своим братом Константином начал совершенствовать телескоп с тем, чтобы устранить хроматическую aberrацию – цветные кромки вокруг изображений. Он направил свой 50-кратный телескоп на Сатурн и в 1652 г. открыл крупнейший спутник планеты – Титан. Через четыре года он обнаружил, что «уши», замеченные Галилеем, на самом деле являются кольцом.

МЕДЛЕННОЕ ВОЗВРАЩЕНИЕ

Комета Ньютона, великая комета 1679 г., стала первой, которую ученые наблюдали в телескоп. Она должна вернуться примерно в 11037 г. Ньютон использовал свои измерения траектории кометы для проверки законов Кеплера.

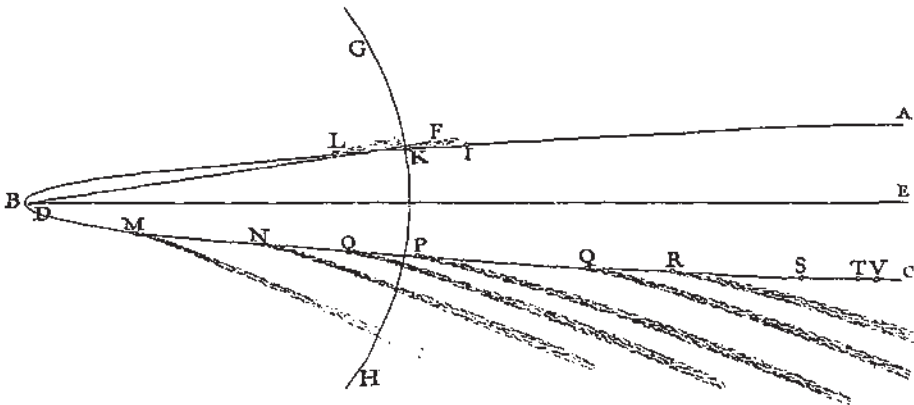


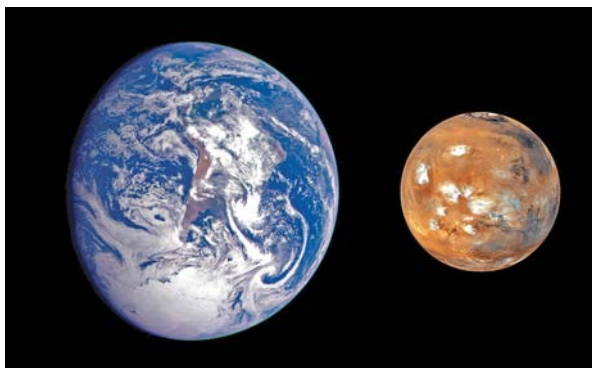
Схема орбиты кометы 1680 г., составленная Ньютоном, показывает параболическую траекторию

Соединение Солнца, Земли и Марса дало астрономам XVIII в. возможность вычислить размеры Солнца и расстояние от Солнца до Земли

«...Планета окружена тонким, плоским кольцом, нигде с ней не соприкасающимся и наклоненным к эклиптике». В то время ученые не знали, что представляет собой это кольцо. Сначала они полагали, что оно твердое или жидкое, но в 1675 г. Джованни Кассини обнаружил разрыв в системе колец. Определение природы кольца Сатурна явилось темой конкурса, специально объявленного в Кембриджском университете в 1855 г. Победителем стал Джеймс Клерк Максвелл. Он доказал, что единственно возможным являются крохотные твердые частицы, вращающиеся по орбите, поскольку все остальное было бы нестабильным. Кольца Сатурна кажутся нам сплошными лишь в силу значительного расстояния между Землей и этой планетой. Провота Максвелла подтвердилась в 1895 г., когда появились методы спектроскопического исследования.

В далекой, далекой галактике

Кассини прославился своей работой по определению расстояний между планетами и размеров Солнца. До этого единственным человеком, попытавшимся определить расстояние до Солнца, был греческий астроном Аристарх, и сделал он это в 280 г. до н. э. Труды Коперника позволили оценить отношения расстояний каждой планеты до Солнца, но по этим невозможно было определить абсолютные расстояния. Прекрасная возмож-



ность представилась в 1671 г., когда Солнце, Земля и Марс выстроились по прямой и расстояние между Землей и Марсом сократилось до минимума. Кассини был директором недавно открывшейся Парижской обсерватории. Он смог отправить своего коллегу Жана Рише в Южную Америку, в Кайенну для наблюдений, а сам занялся работой в Париже. Францией в то время правил Король-Солнце, Людовик XIV, и проект получил королевское одобрение. Зная, что Париж и Кайенну разделяют 10 000 километров, Кассини с помощью тригонометрии вычислил расстояние от Земли до Марса, а затем применил законы планетарного движения Кеплера и определил, что Солнце отстоит от Земли на 139 миллионов километров. Это всего на 9 % меньше, чем принятый сегодня показатель – около 150 миллионов километров. Дальнейшие вычисления показали, что размеры Солнца в 110 раз больше размеров Земли. После опубликования «Начал» Ньютона и описания действия силы тяготения, стало ясно, что масса Солнца в 330 000 раз больше массы Земли.

Расставить кометы по местам

Дружба между Галлеем и Ньютоном принесла свои плоды. Ученым удалось объяснить движение комет.

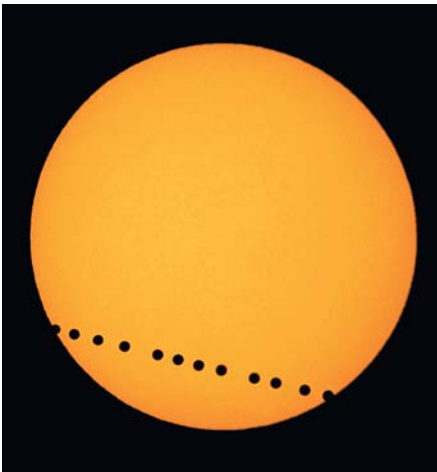


ТРАНЗИТ ВЕНЕРЫ

Английский астроном Джереми Хоррокс (1618–1641) еще до Кассини предположил, что точное определение транзита Венеры – прохождения планеты по диску Солнца – из разных точек Земли даст возможность вычислить расстояние от Земли до Солнца. Хоррокс сам наблюдал транзит Венеры в 1639 г., за два года до смерти. Следующий раз это явление наблюдалось в 1761 г., а затем в 1769 г. Галлей развил идею использования триангуляции для вычисления расстояния между Землей и Солнцем. Это расстояние стали считать астрономической единицей и начали использовать для вычисления размеров солнечной си-

стемы. Триангуляция – это метод вычисления положения чего-либо путем измерения угла из двух неподвижных точек, расстояние между которыми известно. Этот метод традиционно использовался для измерения высоты зданий и даже гор.

Галлей умер за 19 лет до следующего транзита, и реализовывать его идею пришлось другим ученым. Когда дата астрономического события приблизилась, ученые организовали экспедиции в разные точки мира, чтобы собрать информацию. Точно и надежно оценить транзит Венеры было очень трудно, но, собрав измерения, сделанные в разных точках земного шара, ученые получили цифру, примерно равную 153 миллионам километров – весьма близкую к принятой сегодня (около 150 миллионов километров). К концу XVIII в. астрономы уже имели реалистическое представление о размерах солнечной системы. Так были заложены основы современной астрономии, которой еще предстояло открыть самые отдаленные небесные тела.



Во время транзита Венеры планета кажется крохотной темной точкой, проходящей перед Солнцем

В «Началах» Ньютон показал, как можно вычислить путь кометы, наблюдая за ней из трех разных точек в течение двух месяцев. В книге он привел данные по 23 кометам. Он полагал, что кометы движутся по параболической траектории:

приходят извне солнечной системы, огибают Солнце и снова уносятся в открытый космос – так себя ведут так называемые непериодические кометы. Не желая заниматься расчетами движения комет, Ньютон передал свои данные Галлею.



Галлей тоже считал, что траектория движения кометы – это парабола. Но потом он заметил, что путь кометы 1607 г. (ее наблюдал Кеплер) очень сходен с путем кометы 1680 г., которую видел сам. Позже он обнаружил, что эта траектория совпадает с путем кометы, которую видели в 1531 г. Из этого он сделал вывод о том, что все три были одной и той же кометой, которая двигалась вокруг солнца не по параболе, а по очень широкой эллиптической орбите. Галлей предсказал возвращение той же кометы в 1758 г., вычислив ее период

в 76 лет. И она действительно появилась в Рождество 1758 г., через 16 лет после смерти Галлея. Сегодня эта комета носит его имя.

КОМЕТА ГАЛЛЕЯ В ИСТОРИИ

Комету Галлея видели еще в Древней Греции и Китае в 468–467 гг. до н. э. Метеор размером с «телегу», который упал, когда в небе проносилась комета, в Греции вспоминали целых пятьсот лет. Первое убедительное упоминание о комете Галлея мы находим в китайских текстах, где речь шла о ее появлении в 240 г. до н. э. Затем ее видели в 164 г. до н. э., о чем говорится в вавилонских глиняных табличках. На монетах с изображением царя Армении Тиграна Великого комета Галлея изображена на его венце.



Первое прохождение кометы Галлея было сфотографировано в 1910 г.

На гобелене из Байе показано появление кометы Галлея в 1066 г., когда это сочли зловещим предзнаменованием





КОМЕТА ПРИХОДИТ И УХОДИТ

«Я появился на свет вместе с кометой Галлея в 1835 г. Она вернется в следующем году, и я думаю, что мы вместе исчезнем. Если я не уйду с кометой Галлея, это станет величайшим разочарованием в моей жизни. Всемогущий Бог, наверное, решил: «Вот два причудливых необъяснимых явления, они вместе возникли, пусть вместе и исчезнут»».

Марк Твен,
«Автобиография», 1909 г.

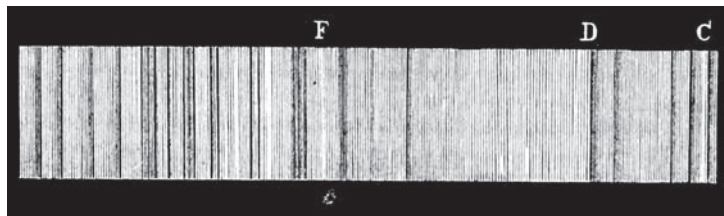
Марк Твен родился 30 ноября 1835 г., через две недели после максимального приближения кометы Галлея к Солнцу (перигелий). Он умер 21 апреля 1910 г., на следующий день после очередного перигелия кометы.

Это напоминание о появлении кометы в 87 г. н. э. Комета приблизилась к Земле в 837 г., когда расстояние составило всего 0,03 астрономической единицы. Хвост кометы тянулся по небу под углом 60 градусов. Комета Галлея изображена на гобелене из Байе и, возможно, на картине Джотто «Поклонение волхвов» в виде Вифлеемской звезды (ею комета не была, поскольку появлялась в 12 г. до н. э.). Комета появилась на небе в 1910 г., когда проходила на расстоянии 0,15 астрономической единицы. Тогда ее впервые сфотографировали, а хвост ее исследовали методом спектроскопии (метод анализа химического состава газообразного тела путем изучения характер-

ного рисунка спектральных линий, см. стр. 116). Спектр кометы показал (помимо всего прочего), что хвост ее содержит ядовитый газ цианоген. И это заставило астронома Камилля Фламариона (1842–1925) предположить, что прохождение через хвост кометы может убить все живое на Земле. Люди потратили целые состояния на противогазы, «антикометные таблетки» и «противокометные зонтики». Естественно, жизнь на Земле сумела пережить это явление.

Возвращение кометы в 1994 г. позволило не только сфотографировать ее, но и запустить к ней два зонда «Джотто» и «Вега». Ученые обнаружили, что комета имеет форму арахиса, ее длина составляет 16 километров, а ширина и толщина – 8 километров. Кома (атмосфера) кометы составляет 100 000 километров. Кома возникает, когда твердые монооксид и диоксид углерода на поверхности кометы превращаются в газ под воздействием солнечных лучей. Комета Галлея, по-видимому, состоит из мелких частиц, называемых грудой обломков, слабо связанных между собой. Период их вращения составляет 52 часа. Два зонда проанализировали около четверти поверхности кометы, обнаружив на ней холмы, горы, хребты, впадины и кратер.

Переменный звездный спектр созвездия Корона Бореалис (Северная Корона), 1877 г.





Вильямина Флеминг

СПЕКТРОСКОПИЯ – НОВЫЙ СПОСОБ АНАЛИЗА

В конце XIX в. зародился совершенно новый способ изучения звезд – анализ их спектра с помощью приема спектроскопии. Когда свет проходит через газ, волны определенной длины поглощаются, создавая характерный рисунок спектральных линий. Каждый газ обладает уникальным спектральным рисунком. Анализируя свет звезд, можно определить их химический состав. Пионер астрофотографии, американский астроном Генри Дрейпер (1837–1882) стал первым человеком, сфотографировавшим спектр звезды в 1872 г. На его фотографиях Веге хорошо видны характерные спектральные линии. До

своей смерти в 1882 г. Дрейпер сделал более ста фотографий спектра звезд. Его дело продолжил Эдвард Пикеринг (1846–1919). На посту директора обсерватории Гарвардского колледжа он начал проект широкомасштабного использования фотографической спектроскопии и составил подробный каталог звезд. Вдова Дрейпера согласилась профинансировать это предприятие. Так началась работа по созданию подробнейшего каталога Генри Дрейпера. Впервые этот каталог звездного спектра был опубликован в 1890 г., и в нем упоминалось 10 351 звезда.

Пикеринга раздражала конкуренция со стороны помощников-мужчин, и он заявил, что его служанка смогла бы справиться с работой лучше. Служанкой его была шотландка, Вильямина Флеминг (1857–1911). Вместе с мужем она эмигрировала в Америку, но тот бросил ее, когда она была беременна. Вильямина работала у Пикеринга, чтобы прокормить себя и сына. Она занималась каталогизацией и классификацией звезд и разработала систему буквенного кодирования по содержанию водорода в спектре (A – максимальное содержание).



Энни Джамт Кэннон



За девять лет Флеминг описала более 10 000 звезд. Она открыла 59 газообразных туманностей, более 310 переменных звезд, 10 сверхновых и туманность Конская голова. Пикеринг доверил ей руководство большой командой женщин-«вычислителей». Он нанял их, чтобы они выполняли вычисления, необходимые для классификации и каталогизации звезд. (Женщинам платили всего 25–50 центов в час, меньше, чем в то время получали секретарши.) Флеминг и несколько женщин из ее команды, в том числе Генриетта Суон Ливитт (1868–1921) и племянница Генри Дрейпера, Антония Мори (1866–1952), стали известными астрономами.

У Пикеринга работала и Энни Джамп Кэннон (1863–1941), которая усовершенствовала систему Флеминг и ввела классификацию звезд по температуре. В отличие от Флеминг, Кэннон, начиная работать у Пикеринга, имела степень по физике и уже изучала астрономию. Она была почти совершенно глухой – осложнение после скарлатины. Но именно Кэннон смогла примирить Мори и Флеминг, когда те начали спорить о методах классификации. Классификация Кэннон была такой: O, B, A, F, G, K, M (для запоминания использовалась поговорка: «Oh, Be A Fine Guy/Girl, Kiss Me»). Она получила название Гарвардской схемы спектральной классификации и используется и по сей день. Усовершенствованная схема называется системой Морган-Кинана, и в ней каждая буква дополнена цифрами от 0 до 9 и римскими цифрами от I до V, обозначающими светимость. И все же в основе ее лежит система Кэннон. Позже Кэннон взяла на себя руководство проектом каталогизации.

ПАРАЛЛАКС

Параллакс – это метод определения расстояния до объекта путем наблюдения его с двух разных точек. Для звезд небо фотографируют дважды с интервалом в шесть месяцев. Измерив, насколько звезда сместилась относительно остальных звезд, астрономы могут использовать метод триангуляции для определения расстояния от Земли до данной звезды.

Понять принцип параллакса можно и в домашних условиях. Возьмите карандаш в вытянутую руку и посмотрите на него сначала левым глазом, а затем правым. Вам покажется, что карандаш сместился относительно фона, поскольку каждый глаз видит его из своего положения.





Со всеми дополнениями каталог Дрейпера включает в себя описание и классификацию 359 083 звезд. Кэннон лично классифицировала 23 0 000 звезд, больше, чем все астрономы до нее. Она стала первой женщиной, удостоенной почетной докторской степени Оксфордского университета и первой женщиной – членом Американского астрономического общества.

ЗАГЛЯНУТЬ В ПУСТОТУ

Метод триангуляции, использованный Кассини в XVII в. для оценки расстояния до Марса, можно (при должном навыке) использовать для оценки расстояния до ближайших звезд. А для этого нужно использовать положения Земли с интервалом в шесть месяцев, то есть по обе стороны Солнца. Эти данные являются основой для триангуляции. Если расстояние от Земли до Солнца принять за единицу, то основа составит две астрономические единицы – достаточно много для требуемой точности измерений. За это время ближняя звезда изменит положение относительно более далеких



звезд – этот метод называется параллаксом (см. врезку на стр. 171).

Гюйгенс ранее пытался оценить расстояние от Земли до Сириуса, сравнивая яркость звезды с Солнцем. Предположив, что Сириус так же ярко, как Солнце, он решил, что звезда находится от нас в 27 664 раза дальше Солнца. Задача была трудной, так как ему нужно было сравнить наблюдения Солнца, проведенные днем, с наблюдениями Сириуса, проведенными ночью. Хотя принцип оценки видимого движения звезды по небу для вычисления расстояния до нее вполне разумен, прием это сложный и требует оборудования, каким астрономы прошлого просто не располагали. Первым точно оценил расстояние до звезд по параллаксу немецкий ученый Фридрих Бессель (1784–1846). В 1838 г. он определил, что от звезды 61 Лебеда нас отделяет 10,3 световых года. Шотландец Томас Хендерсон (1798–1844) в 1832 г. уже определил расстояние до Альфа Центавра, но результаты своих изысканий опубликовал лишь в 1839 г. Когда расстояние до звезды известно, то становится довольно легко обратить уравнения Гюйгенса для вычисления ее яркости.

Однако инструментов для выполнения такой задачи явно не хватало. Измерения приходилось делать на глаз, а фотография вообще еще не была изобретена. К 1900 г. были измерены лишь 60 параллаксов. С развитием фотографии процесс удалось значительно ускорить. В последующие 50 лет ученые измерили 10 000 параллаксов.

Спутник «Гиппарх» использовался для определения параллакса более ста тысяч звезд

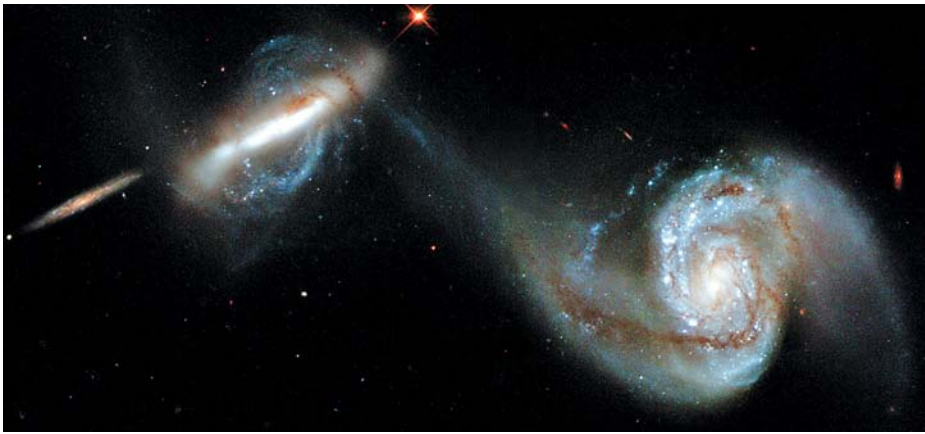


ТЕЛЕСКОПЫ В КОСМОСЕ

Космический телескоп «Хаббл» был запущен с помощью космического шаттла в 1990 г. Его назвали в честь знаменитого астронома. Телескоп вывели на околоземную орбиту, благодаря чему удалось получить снимки поразительной четкости, практически без помех от фонового света и без искажений, связанных с атмосферой

Земли. Идею космических телескопов предложили еще в 1923 г., задолго до того, как стало возможным построить нечто подобное.

Сделанные телескопом «Хаббл» снимки двух галактик, соединенных взаимным гравитационным притяжением



Между 1989 и 1993 гг. аппарат Европейского космического агентства «Гиппарх» измерил параллаксы 118 000 звезд. Каталог «Тихо-2», составленный на основе полученных аппаратом данных, включает в себя описание более двух с половиной миллионов звезд Млечного пути.

Для очень далеких звезд параллакс почти бесполезен. Генриетта Суон Ливитт – одна из команды «вычислителей» Генри Пикеринга – предложила другой метод, в котором использовалась информация о звездах из созвездия Цефея – цефеидах. Интенсивность свечения цефеид меняется, они пульсируют

с интервалами от одного до нескольких сотен дней. Зная расстояние до одной из цефеид, с помощью уравнения Ливитт, связывающего период пульсации со светимостью, можно определить расстояние до остальных звезд. Неожиданно появилась возможность определять расстояния внутри Млечного пути и даже за его пределами. Оказалось, что Вселенная гораздо больше, чем считалось ранее.

В 1918 г. американский астроном Харлоу Шепли (1885–1972) с помощью метода цефеид изучал шаровые скопления. Он считал, что они находятся внутри Млечного пути. Шепли обнаружил, что Млечный путь намного больше, чем



предполагали предшественники. И солнечная система оказалась вовсе не центром галактики. Зимой 1923–1924 гг. американский астроном Эдвин Хаббл (1889–1953) открыл цефеиды за пределами Млечного пути, в галактике Андромеды. Он сумел определить расстояние до галактики – примерно миллион световых лет (на самом деле это расстояние составляет около двух с половиной миллионов световых лет).

Полосы от звезд

Датский инженер-химик Эйна́р Герцшпру́нг (1873–1967) в свободное время изучал астрономию и увлекался фотографией. Он открыл связь между цветом звезды и ее яркостью. Хотя впоследствии Герцшпрунг стал известным профессиональным астрономом, на момент опубликования своих результатов был всего лишь любителем. В 1905 и 1907 гг. он опубликовал статьи в обычном журнале по фотографии, но профессиональные астрономы не обратили на них внимания.

Связь между яркостью и цветом звезд обнаружил также американский астроном Генри Норрис Расселл (1877–1957).

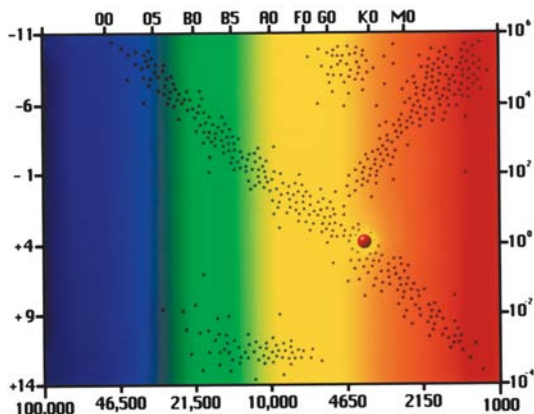
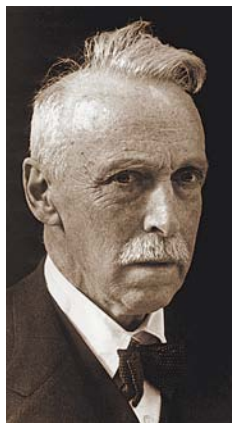


Диаграмма Герцшпрунга-Расселла показывает яркость (ось Y) и температуру (ось X) звезд; цвета меняются в зависимости от температуры



Эйна́р Герцшпру́нг



Генри Расселл



Артур Эддингтон

В 1913 г. он опубликовал свои результаты в более известном астрономическом журнале. Кроме того, Расселл отобразил свои результаты в виде графика. Вклад Герцшпрунга также был признан, и сегодня этот график носит название диаграммы Герцшпрунга-Расселла.

Цвет звезды – или, точнее, длина волны излучаемого ею света – говорит о ее температуре. Но общая яркость звезды зависит также от ее размера. Как обогреватель дает больше тепла, чем горящая спичка, хотя пламя спички горячее, так и размер звезды очень важен для ее температуры. Огромная красная звезда может излучать больше энергии, чем малая голубая звезда, хотя температура поверхности голубой звезды выше. Информация диаграммы Герцшпрунга-Расселла дала астрономам первое представление о том, что может происходить внутри звезд.

Тайная жизнь звезд

Британский астроном Артур Эддингтон, отправившийся в 1917 г. наблюдать солнечное затмение, которое подтвер-

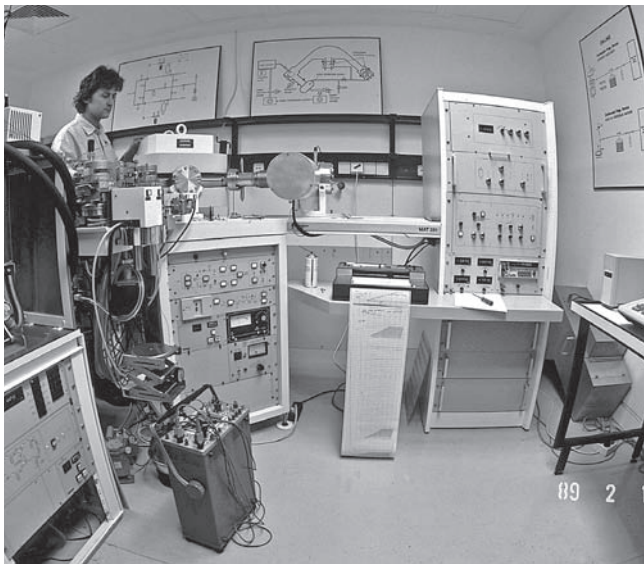


дило теорию относительности Эйнштейна, первым задумался о том, что может происходить внутри звезды. Информация диаграммы Герцшпрунга-Расселла и известная масса некоторых звезд позволила ему сделать вывод о том, что самые тяжелые звезды являются и самыми яркими. И в этом есть смысл. Чтобы не позволить гравитации сжать звезду до предела, звезда должна вырабатывать и излучать энергию. Чем больше масса, тем выше сила притяжения, и тем больше энергии необходимо для того, чтобы ей сопротивляться. Вскоре он обнаружил, что вне зависимости от размера и температуры поверхности внутренняя температура всех звезд главной последовательности примерно одинакова. Эддингтон также понял, что топливо, обеспечивающее звезду энергией, должно быть ядерным – иначе звезда просто не смогла бы накопить достаточное его количества для горения в течение миллиардов лет.

Сначала ученые предположили, что энергия Солнца поступает от радиоактивных изотопов, например, радия, но период полураспада радия слишком мал.

Серьезный прорыв был совершен в Кавендишском атомном исследовательском центре в английском Кембридже.

Масс-спектрометр использовался для оценки стабильных изотопов углерода и кислорода





«Звезда зависит от некоего огромного запаса энергии, неизвестной нам. Этот запас не может быть ничем иным, как субатомной энергией, которая, как известно, в изобилии присутствует во всей материи; мы иногда мечтаем о том, как человек когда-нибудь научится высвобождать ее и использовать для собственного блага. Запас этот совершенно неисчерпаем, нужно лишь научиться его открыть. Этой энергии Солнцу хватает для того, чтобы пылать в течение 15 миллиардов лет».

Артур Эддингтон, 1920 г.

В 1920 г. британский химик и физик Фрэнсис Астон (1877–1945) использовал масс-спектрометр для измерения массы водорода и гелия. В ядре водорода один протон, а в ядре гелия – два протона и два нейтрона. Астон установил, что четыре ядра водорода имеют массу чуть больше, чем одно ядро гелия. Эддингтон знал, что водород и гелий – это основные элементы Солнца. Будучи знакомым с теорией Эйнштейна, Эддингтон смог применить уравнение $E = mc^2$ к Солнцу и вычислить, что его энергия возникает в результате ядерной реакции: в центре Солнца водород превращается в гелий. Незначительное различие в массе, обнаруженное Астоном, превращалось в энергию.

В результате ядерной реакции тяжелые элементы превращаются в легкие благодаря расщеплению ядер. Точно так же ядерная реакция превращает легкие элементы в тяжелые через соединение ядер. Огромный объем газа означает, что высвобождаемой энергии Солнцу хватит на миллиарды лет. Позже было

Оборудование Вильзинга и Шейнера для обнаружения радиоволн Солнца

установлено, что внутри звезд и сверхновых вырабатываются все элементы, помимо водорода, гелия и лития.

СЛУШАТЬ ПУСТОТУ

Хотя мы уже оперируем расстояниями и количеством звезд, недоступными для древних звездочетов, есть еще очень многое, чего невозможно увидеть с помощью оптических телескопов, даже если те размещены в космосе. Но, используя невидимые части электромаг-

нитного спектра, например, радиоволны, мы можем заглянуть в космос еще глубже.

Начала радиоастрономии заложил изобретатель и предприниматель Томас Эдисон (1847–1931). В 1890 г. он написал о том, что вместе с коллегой может построить приемник, способный уловить радиоволны Солнца. Если бы он и построил такое устройство, то приемник, к сожалению, не смог бы уловить радиоволны космоса. Британский физик сэр Оливер Лодж (1851–1940) действительно построил нечто подобное в 1897–1900 гг., но не смог уловить радиоволны Солнца.





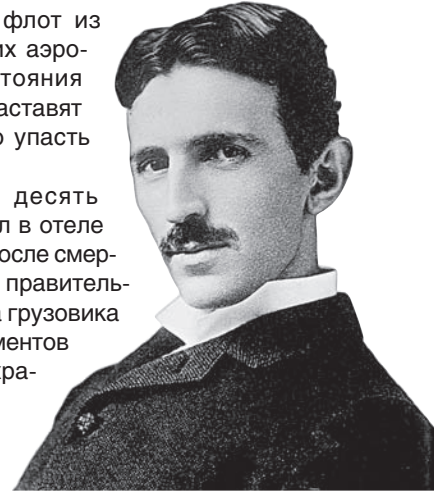
НИКОЛА ТЕСЛА (1856–1943)

Никола Тесла родился в Австро-Венгерской империи на территории современной Хорватии. Из университета его дважды исключали. Он порвал все отношения с родными и друзьями (друзья считали, что он утонул в реке Мура). В 1884 г. Тесла перебрался в США.

Тесла работал в области беспроводной связи, рентгеновского излучения, электричества и энергетики. Приехав в США, он начал работать у Томаса Эдисона, но ушел, поспорив с ним из-за денег. Позже он создал собственную лабораторию. Тесла был великим изобретателем, но порой его изобретения, характер и отношения с людьми были весьма эксцентричными. Его считали странным чудаком – тому в немалой степени способствовали утверждения о том, что он уловил радиосигналы инопланетян с Марса или Венеры. В 1904 г. американское патентное бюро отозвало патент, выданный Тесле на радио, и передало его Маркони. В 1909 г. Маркони получил Нобелевскую премию за изобретение радио. После конфликта с Маркони и Эддингтоном и разрушения военным

флотом его беспроводной радиостанции на Лонг-Айленде, чтобы она не была использована для шпионажа во время Первой мировой войны, положение Теслы заметно ухудшилось. Он стал буквально одержим цифрой 3 и голубями. Последним гвоздем в крышку гроба его репутации стало объявление об открытии так называемых «лучей смерти», которые могли «посылать по воздуху концентрированные лучи частиц такой невероятной энергии, что они смогут уничтожить флот из 10 000 вражеских аэропланов с расстояния в 200 миль... и заставят солдат замертво упасть в своих окопах».

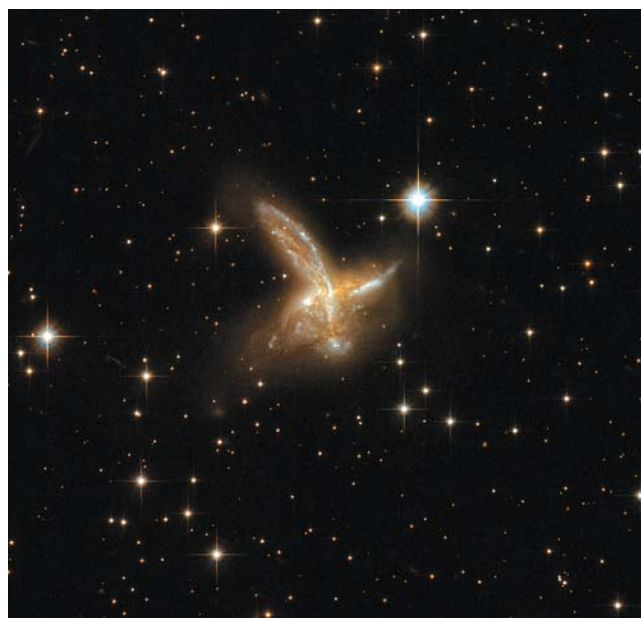
Последние десять лет Тесла прожил в отеле «Нью-Йоркер». После смерти американское правительство вывезло два грузовика его бумаг и документов в собственные хранилища.



Первыми, кто глубоко исследовал эту проблему, стали астрономы Иоганн Вильзинг (1856–1943) и Юлиус Шейнер (1858–1913), работавшие в Германии. Они сделали вывод о том, что радиоастрономия невозможна, потому что радиоволны поглощаются водным паром в атмосфере.

Французский студент-старшекурсник Шарль Норман предположил, что если атмосфера блокирует радиоволны космоса, то нужно постараться поднять антен-

ну повыше. Он установил свою антенну на вершине Монблана. Норману тоже не удалось уловить радиоволны Солнца – но ему просто не повезло. Его оборудование сработало бы в период максимальной солнечной активности, когда радиоволны излучаются на пиковом уровне. К сожалению, 1900 г. был периодом минимальной активности, и его опыт не удался. Но работы Макса Планка по излучению черного тела и световым квантам вскрыли иную проблему.

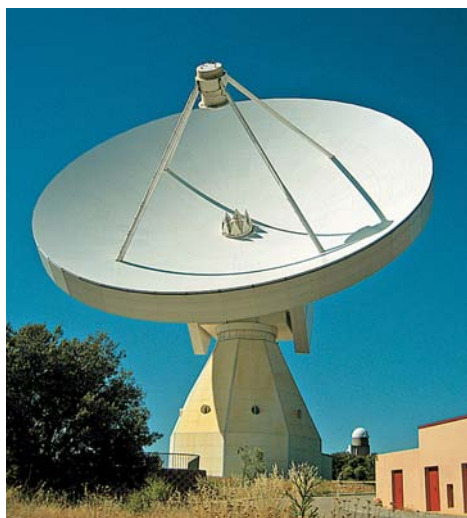


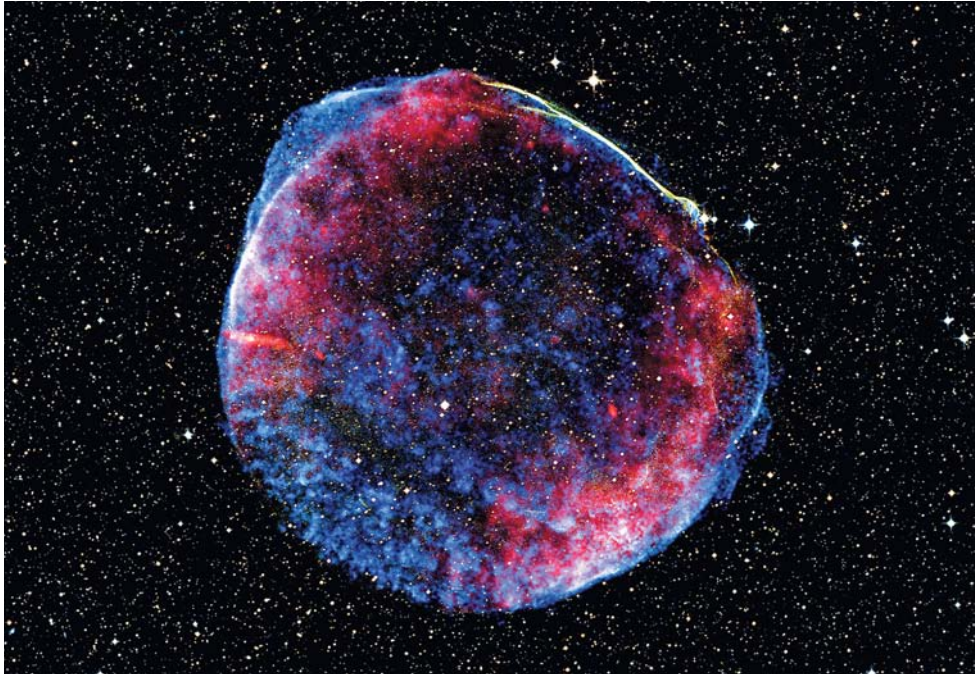
Фотография созвездия Стрельца, сделанная телескопом «Хаббл». Отсюда шел радиосигнал, зафиксированный Янским

После определения по уравнениям Планка количества излучения Солнца, приходящегося на радиоволны (длина волны 10–100 см) стало ясно, что излучение это будет очень слабым – слишком слабым для оборудования того времени. Следующий прорыв произошел в 1902 г., когда инженеры-электрики Оливер Хевисайд (1850–1935) и Эдвин Кеннелли (1861–1939) предсказали существование ионосферы – слоя ионизированных частиц в верхней части атмосферы, который отражает радиоволны. (Однако этот слой имеет важное значение для радиосвязи. Отражение радиоволн от ионосферы делает возможным передачу сигналов на большие расстояния.) Это печальное известие приостановило поиски, и в течение 30 лет никто не пытался уловить радиосигналы из космоса.

Антенна радиотелескопа астрономического центра Йебес, Испания

Прорыв произошел в 1932 г. Работавший в компании Bell Telephone в Нью-Джерси инженер Карл Янский (1905–1950) решил разобраться с атмосферными радиопомехами при трансатлантической телефонной связи. Янский использовал большую направленную антенну, и ему удалось уловить сигнал неизвестного происхождения, который повторялся каждые 24 часа. Сначала он решил, что сигнал исходит от Солнца, но затем понял, что повтор происходит каждые 23 часа 56 минут – то есть меньше, чем через сутки. Его друг, астрофизик Альберт Скеллет, предположил, что сигнал исходит от звезд.





Остатки сверхновой SB1006, возникшие в результате взрыва тяжелой звезды около 7000 лет назад

С помощью астрономической карты друзья выяснили, что источник находится в Млечном пути, а точнее, в центре галактики, примерно в созвездии Стрельца, поскольку максимальная мощность сигнала совпала с появлением этого созвездия. Янский считал, что источником сигнала является межзвездная пыль или газовое облако в центре галактики. Он хотел продолжить свою работу по изучению радиоволн Млечного пути, но его перевели на другой проект, и эту идею пришлось забросить. Единственное великое открытие знаменовало собой начало и конец его астрономической карьеры. Работа Янского вдохновила американского астронома-любителя Грота Ребера (1911–2002). В 1937 г. он построил во дворе своего дома парабо-

лический радиотелескоп и впервые исследовал небо на радиочастотах.

Радиоволны Солнца были обнаружены в 1942 г. Джеймсом Хеем (1909–2000), офицером-исследователем британской армии. Радиоастрономия стала уважаемой наукой. Радиоастрономы Мартин Райл (1918–1984) и Энтони Хьюиш (р. 1924–) в начале 50-х гг. составили карту небесных источников радиоволн и каталоги 2С и 3С (Второй и Третий Кембриджские каталоги радиоисточников).

Сегодня радиотелескопы часто устанавливаются группами. Их антенны направлены на один и тот же участок неба, и данные собираются со всех. Каждый телескоп имеет большой диск, фокусирующий получаемые антенной радиоволны. С помощью интерферометрии, разработанной Райлом и Хьюишем, данные с каждой антенны собираются и обрабатываются совместно.

МАЛЕНЬКИЕ ЗЕЛЕНЫЕ ЧЕЛОВЕЧКИ

Первый пульсар назвали «маленькими зелеными человечками», поскольку предполагалось, что импульсы – это сознательная радиопередача инопланетной формы жизни. Это открытие вызвало такую обеспокоенность, что руководство университета решило сохранить открытие в секрете. Затем Джослин Белл открыла новый пульсар, и стало ясно, что это явление природы.

Совпадающие сигналы усиливают друг друга, противоположные – друг друга уничтожают. Результатом является информация, которую можно было бы собрать с помощью одного гигантского диска. Чтобы минимизировать проблемы, создаваемые ионосферой и водным паром атмосферы, лучшие радиотелескопы часто располагаются на больших высотах в засушливых регионах.

Хотя с помощью радиотелескопов можно исследовать Солнце и планеты солнечной системы, наиболее полезны они для изучения объектов настолько отдаленных, что их невозможно увидеть в оптические телескопы. Радиотелескопы помогли открыть квазары и пульсары.

КВАЗАРЫ – МОЩНЫЕ И ДАЛЕКИЕ

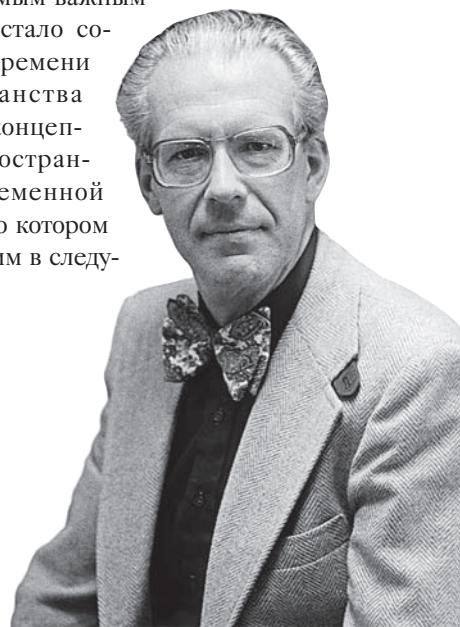
Квазар – это сокращенное название «квазизвездный объект». Квазары обладают огромной энергией с очень большим красным смещением (см. стр. 191), а это означает, что находятся они крайне далеко. Известно 200 000 квазаров, и все они находятся от 780 миллионов до 28 миллиардов световых лет от Земли, то есть их можно назвать самыми отдаленными объектами, о которых мы имеем какое-то представление. Первые кваза-

ры были обнаружены в конце 50-х гг. Их описал голландский астроном Мартен Шмидт (р. 1929) в 1962 г. Мощные выбросы излучения квазаров могут быть связаны с высвобождением гравитационной энергии при втягивании материи в огромную черную дыру. До 10 % этой массы превращается в энергию, которая способна вырваться до наступления «горизонта события» (см. стр. 187). Ядерная реакция, происходящая внутри звезд, не может выработать столько энергии, чтобы квазар светился достаточно ярко (видимым светом и другими видами электромагнитного излучения), и его можно было заметить с Земли на таком колоссальном расстоянии. Взрыв сверхновой может дать столько энергии, что она будет видна в течение нескольких недель. Квазары же видны постоянно. Чтобы были видны самые отдаленные квазары, они должны быть в два триллиона раз (2×10^{12}) ярче Солнца. Или должны были быть: эти объекты находятся в миллиардах световых лет от нас, поэтому мы видим их такими, какими они были в начале Вселенной.

ВВЕРХ, ВВЕРХ И ПРОЧЬ

Понимание астрономии и физики космоса в XX в. кардинально изменилось. Но, пожалуй, самым важным открытием стало соединение времени и пространства в единую концепцию – пространственно-временной континуум, о котором мы поговорим в следующей главе.

Мартен Шмидт





ПУЛЬСАРЫ – ВРАЩАЮЩИЕСЯ ЛУЧИ ЭНЕРГИИ

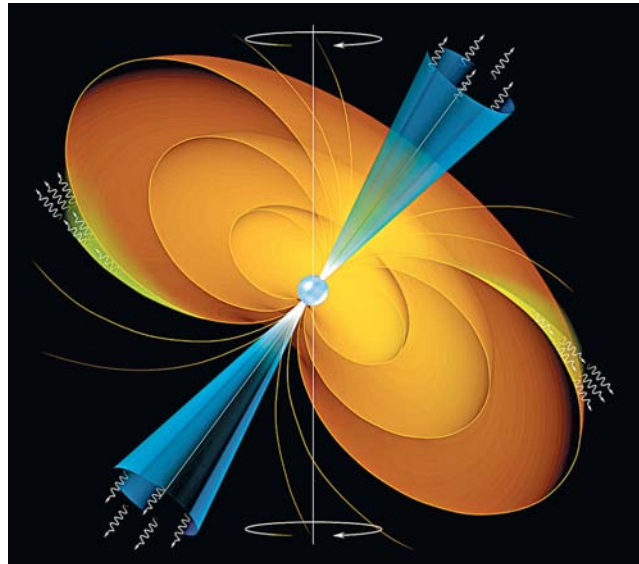
Пульсар – это сильно намагниченное, вращающееся звездное тело. Оно образуется, когда огромные запасы звездного «топлива» иссякают и оболочка схлопывается в тело невероятной плотности – нейтронную звезду. Пульсары получили свое название, потому что при вращении они испускают высоконаправленное излучение, наблюдать которое можно только тогда, когда оно направлено прямо на Землю – возникает световая пульсация, как луч маяка, скользящий по поверхности моря. Интервалы между импульсами составляют от 1,4 миллисекунды до 8,5 секунд. Темп пульсации замедляется, а через 10–100 миллионов лет окончательно угасает. Следовательно, большинство пульсаров (99 %) больше не пульсируют.

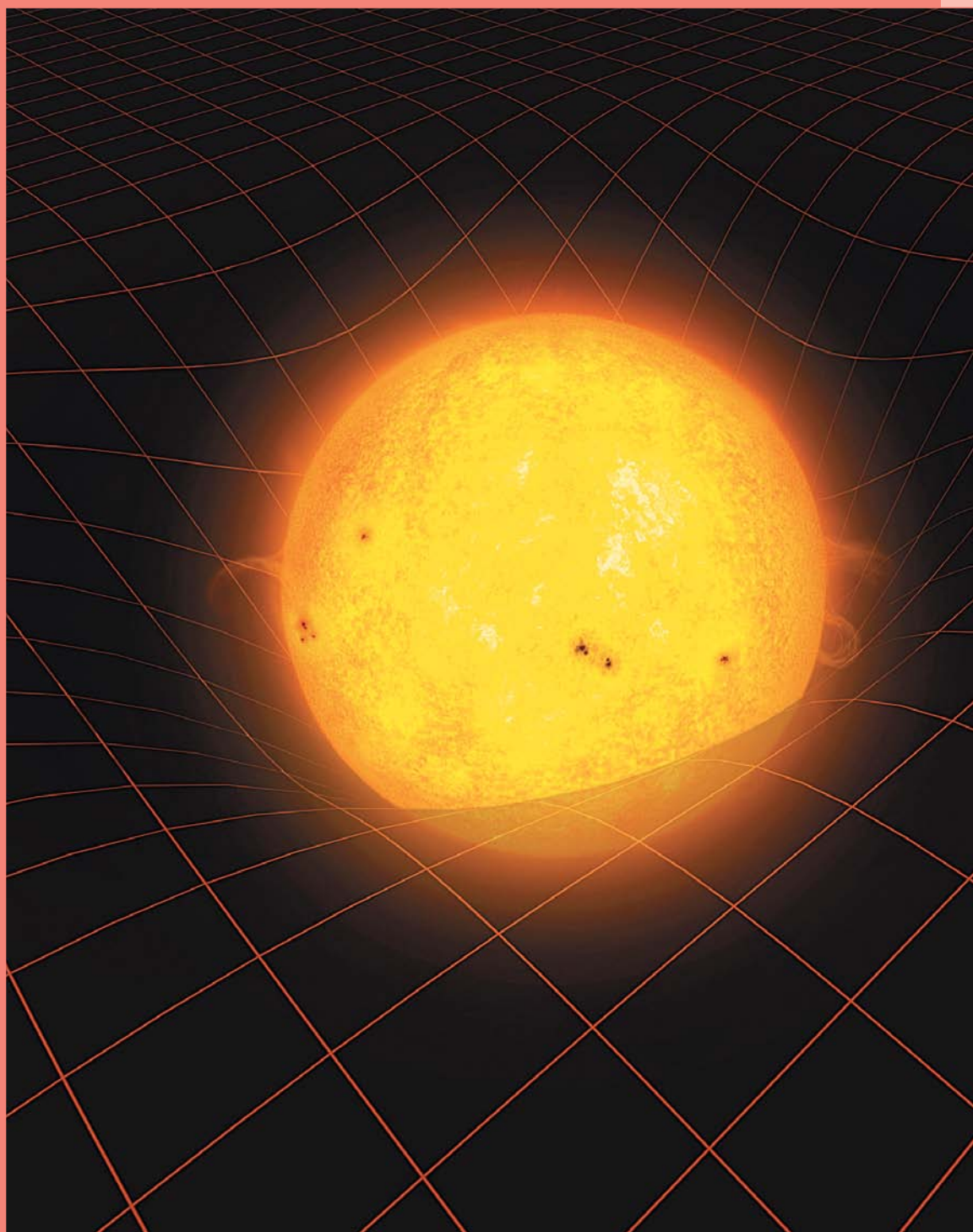
Первый пульсар в 1967 г. открыла 24-летняя студентка Джослин Белл (ныне кавалерственная дама Джослин Белл Бернелл). Но Нобелевскую премию за это открытие в 1974 г. получил ее руководитель Энтони Хьюиш, а не она. Проведенные в 1974 г. наблюдения пульсара в бинарной системе (в которой пульсар вращается вокруг нейтронной звезды с орбитальным периодом 8 часов) дали первые доказательства существования гравитационных волн, что подтвердило еще одну часть общей теории относительности Эйнштейна.



Джослин Белл Бернелл

Поскольку пульсар вращается, на Земле его радиоактивное излучение можно воспринимать только импульсами





ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННОЙ КОНТИНУУМ

На протяжении тысяч лет люди смотрели на небо и удивлялись его странной географии. Они просто смотрели и пытались понять, как звезды и планеты, Солнце и Луна связаны с Землей. Движение Солнца и Луны были небесными часами человечества. По ним люди отсчитывали часы, дни, месяцы и годы. Но пространство и время всегда воспринимались как нечто отдельное. А с начала XX в. наши отношения с пространством и временем начали меняться. После Эйнштейна они неразрывно связаны вместе в пространственно-временной континуум, и изучение пространства стало сосредоточиваться не только на настоящем, но и на прошлом и возможном будущем нашей Вселенной.

Звезда искажает пространственно-временной континуум, создавая гравитационный эффект



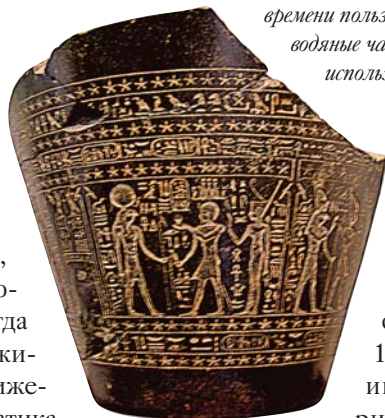
Краткая история времени

Хотя понять смену дней легко, весь год становится понятен лишь после записей и подсчетов. Древнейшие свидетельства того, что люди вели счет времени, относятся к периоду около 20 000 лет назад. Когда люди научились отслеживать и предсказывать движения небесных тел, математика и первые астрономические знания соединились воедино.

Для отсчета дня люди пользовались гномоном – указателем солнечных часов, отбрасывающим тень, которая показывала продвижение Солнца по небосклону. На протяжении тысячелетий солнечные часы оставались лучшим указателем течения времени. Затем, в XVII в., Галилей сравнил колебания качающейся лампы с собственным пульсом и открыл регулярность движения маятника. На раскачивание маятнику всегда требуется одинаковое время: по мере того, как дуга уменьшается, движение маятника замедляется, чтобы интервал остался прежним.

Галилей придумал часы с маятником, но так их и не сделал. Первые такие часы построил Кристиан Гюйгенс в 1656 г. Позже Роберт Гук использовал

В Древней Греции для измерения времени пользовались клепсидрой; водяные часы человечество использовало тысячи лет



естественные колебания пружины для управления механизмом часов. Измерение времени механическим способом было нормой до 1927 г., когда канадский инженер Уоррен Мэрисон, работавший в лабораториях Bell Telephone

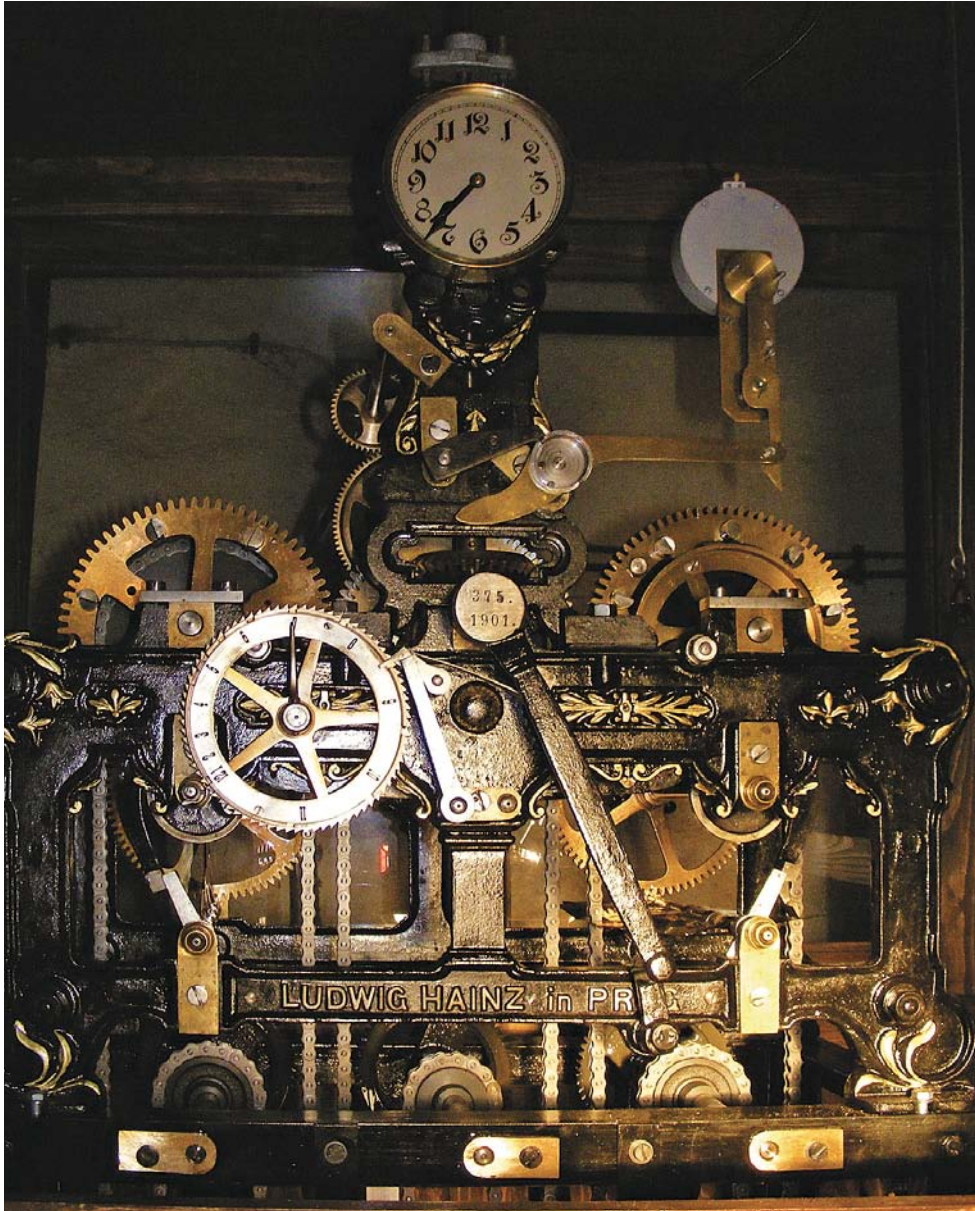
в Нью-Джерси, обнаружил, что можно точно измерять время по вибрации кристалла кварца в электрической цепи.

ЗАВТРА, ЗАВТРА, ЗАВТРА

Часы отмеряют время линейно, что очень удобно для жизни человека, но не совсем соответствует истине. Мысль о том, что время может не быть линейным, высказывали Будда и Пифагор еще в 500 г. до н. э. Они считали, что время может быть цикличным, и человек после смерти может возродиться. Платон считал, что время было создано в начале всего сущего. Но для Аристотеля время существовало лишь в движении. Известный парадокс философа Зенона (ок. 490 – 430 г. до н. э.) показывает, что ни времени, ни движения не существует. Если разделить время на мельчайшие части, расстояние, преодолеваемое выпущенной стрелой за эту часть, станет совсем малым. В мгновение же «сейчас» стрела вообще не будет двигаться. Но в этом случае она не может ни существовать, ни двигаться, так как время состоит из бесконечного количества «сейчас», в каждое из которых не происходит никакого движения.

«Горит душа моя понять эту запутаннейшую загадку... Признаюсь тебе, Господи, я до сих пор не знаю, что такое время».

Святой Августин



*Часовой механизм впервые дал
возможность точно определять
время*

«...Абсолютное, истинное, математическое время... по самой своей природе течет равномерно безотносительно к чему-либо внешнему».

Исаак Ньютон



Святой Августин

Христианский философ святой Августин (354–430) пришел к выводу о том, что времени не существовало, пока не появился наблюдающий разум, поскольку лишь воспоминание о прошлом и ожидание будущих событий дает времени некое существование вне настоящего момента.

Французский математик Николай Орем (1323–1382) задавался вопросом, является ли небесное время – время, измеряемое движением небесных тел, – соразмерным: есть ли единица, какой движение небесных тел можно измерять целыми числами. Он предположил, что разумный творец наверняка устроил все именно таким образом, но воздержался от утверждения, что отсутствие общеримской меры означает отсутствие Бога.

СОЕДИНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ

По нашему личному опыту, время течет вперед. Время движется от прошлого в настоящее и к будущему. Невозможно ни вернуться назад, ни прыгнуть вперед, ни застыть на месте. Время движется с постоянной скоростью в одном направлении. Неудивительно, что целое тысячелетие мы полагали природу времени именно такой. Но, возможно, она не такова...

Все относительно

Любое движение относительно положения или движения наблюдателя. Вы можете идти через комнату, и человек, стоящий в этой комнате, оценит вашу скорость в пять километров в час. И вы, и наблюдатель находитесь на вращающемся земном шаре, несущемся в космосе со скоростью около 30 километров в секунду. Но замечаете вы лишь собственное движение в комнате. Наблюдатель на далекой планете (с хорошим телескопом) заметит вращение и движение земного шара. (Галилей это понимал, хотя говорил о человеке на корабле, за которым наблюдает другой с берега, а вовсе не инопланетянин с телескопом). Следовательно, скорость движения объекта зависит от точки отсчета. Движение можно оценить лишь относительно других объектов или наблюдателей. Точкой отсчета может быть та же комната, тот же корабль, та же планета или та же галактика.

Эйнштейн нашел исключение из этого основного правила: свет всегда движется с одинаковой скоростью – независимо от скорости, с какой движется наблюдатель. Он утверждал, что, как бы быстро вы ни двигались, луч света всегда будет уноситься от вас с постоянной скоростью 299 792 458 м/сек.

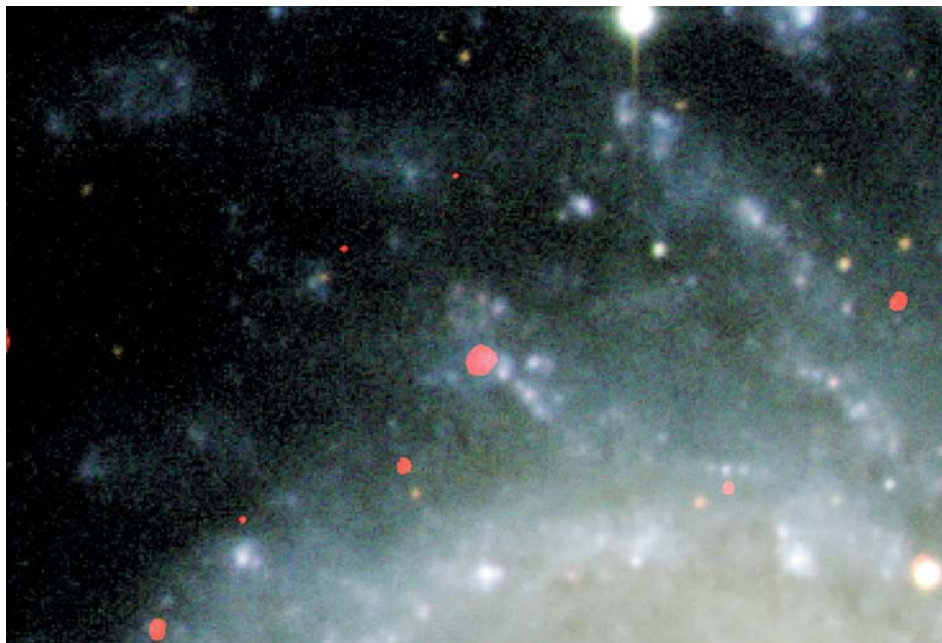


ДОВЕДЕМ ГРАВИТАЦИЮ ДО КРАЙНОСТИ: ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

Черные дыры – это «сингулярности» в пространстве-времени. Это области, где гравитация настолько сильна, что ее не может преодолеть даже свет, и все, что оказывается рядом, просто всасывается в них. Черные дыры могут образовываться во время коллапса звезд, когда они становятся очень малыми, в некоторых случаях не больше атомного ядра, и чудовищно плотными. Скорость, необходимая для того, чтобы вырваться из черной дыры, больше скорости света. Размеры черной дыры оцениваются по «горизонту события» – границе, за которую ничто не может вырваться. Хотя астронавт, попавший в черную дыру, может не заметить ничего необычного, внешний наблюдатель увидит, что время для этого человека затормози-

лось. На грани горизонта события астронавт замрет во времени.

Концепция черных дыр (хотя называлась она не так) впервые была сформулирована двумя людьми независимо друг от друга. В 1795 г. об этом говорил Пьер-Симон Лаплас, а до него, в 1784 г., английский философ Джон Мичелл (1724–1793). Мичелл назвал это явление звездой настолько плотной и обладающей таким яростным гравитационным притяжением, что свет не может вырваться из «темной звезды». Идею незадолго до смерти возродил немецкий физик Карл Шварцшильд (1873–1916). Он вычислил гравитационные поля звезд и сколлапсировавших звезд. Термин «черная дыра» в 1967 г. предложил американский физик-теоретик Джон Арчибальд Уилер (1911–2008), когда космологи нашли первые доказательства их существования.



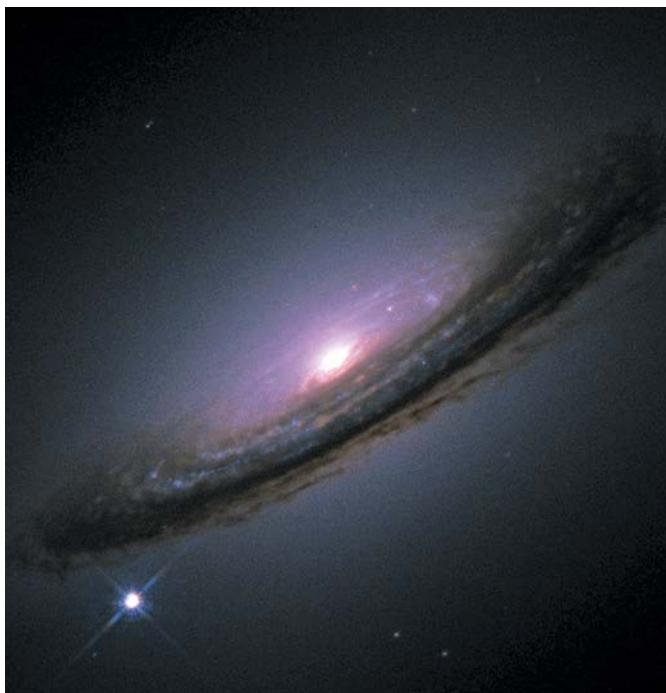


Снимок сверхновой, сделанный телескопом «Хаббл»: яркая точка в нижнем левом углу

Если скорость света постоянна, то все остальное постоянным быть не может – и одним из этого остального является время. В действительности, при приближении к скорости света время замедляется, а расстояние сжимается. Эйнштейн оказался прав в этом отношении, что стало понятно в 1971 г. Атомные часы после путешествия на скоростном самолете показали время чуть меньшее, чем такие же часы, стоявшие

на земле. Впрочем, путешествие на скоростном самолете – не лучший способ продлить свою жизнь: чтобы сэкономить секунду, придется сделать 180 миллиардов оборотов вокруг Земли.

Общая теория относительности Эйнштейна, опубликованная в 1915 г., идет дальше. Она объединяет пространство-время и материю и с помощью гравитации объясняет влияние одного на другое. Материя искривляет пространство-время, как мяч, брошенный в натянутую ткань, оставляет на ней вмятину. Движение других объектов и света под влиянием этого искривления мы называем гравитацией. Маленький мяч естественным образом покатится к вмятине, оставленной большим мячом. Так и малое тело в пространстве будет естественным образом тяготеть к более крупному в условиях ограничения искривления пространства-времени. Это



искривление было предсказано задолго до Эйнштейна немецким математиком Бернгардом Риманом (1826–1866) – его идеи были опубликованы уже после смерти ученого, в 1867–1868 гг. Но Эйнштейн пошел намного дальше Римана – он составил уравнения, объясняющие и предсказывающие искривление.

Очень далеко и давным-давно

Есть и другой, менее теоретический и сложный способ связать наш интерес к пространству со временем и скоростью света. Когда мы смотрим на звезды, то видим их такими, какими они были в прошлом, потому что их свет доходит до нас за определенное время. Даже свет солнца доходит до Земли через восемь минут. Если бы солнце погасло две минуты назад, то мы продолжали бы видеть еще сияние, не догадываясь, что от катастрофы нас отделяет шесть минут.



Свет от ближайшей звезды Проксима Центавра идет к нам четыре года и три месяца. Одна из самых ярких звезд впервые была замечена в 1988 г., и она была сверхновой. Поскольку сверхновая звезда – это погибшая, взорвавшаяся звезда, ее больше не существует. Она находилась в пяти миллиардах световых лет от Земли, и свет, замеченный в 1988 г., говорит о том, что звезда погибла пять миллиардов лет назад, до образования нашей солнечной системы. Сверхновая, замеченная Кеплером и Галилеем в 1604 г., находится в 20 тысячах световых лет от нас – то есть звезда прекратила существование примерно в то время, когда по покрытой льдами Европе бродили мамонты.

Назад к началу

Конечно, когда никто не знал, что представляют собой звезды и планеты, было трудно сказать, как они существуют. За редким исключением большинство культур оставляло этот вопрос на откуп религии. Архиепископ Джеймс Ашшер (1581–1656) вычислил дату сотворения мира (от которой можно было отсчитывать возраст Вселенной) – 22 октября 4004 г. до н. э. Он опирался на генеалогию, описанную в Библии. Другие общества предлагали собственные даты творения. Майя считали, что Вселенная возникла 11 августа 3114 г. до н. э. В иудаизме это 22 сентября или 29 марта 3760 г. до н. э. Индуизм двинулся в другом направлении, назвав самую экстравагантную дату сотворения мира – 158,7 триллионов лет назад. Были также идеи о том, что Вселенная была всегда. Аристотель, к примеру, полагал, что Вселенная конечна, но вечна.

Из хаоса

В V в. до н. э. Анаксагор полагал, что Вселенная началась с груды недифференцированной, инертной материи. В какой-то момент после бесконечности, когда ничего не происходило, Разум (аналогия естественных законов Вселенной) начал воздействовать на эту материю и придал ей вращательное движение. В результате более плотная материя сгруппировалась, а менее плотная рассеялась вокруг сформировавшихся тел или прикрепилась к ним. Такая теория мало чем отличается от модели развития Вселенной, разработанной современными астрономами, где солнечные системы сформировались как допланетарные диски из огромного облака пыли, а затем под воздействием тяготения и центробежной силы разбились на планеты. Анаксагор опирался только на логику и на богатое воображение.

Философы Демокрит и Левкипп (V в. до н. э.) считали, что космос образовался, когда вращательное движение заставило атомы соединиться в материю. Поскольку Вселенная бесконечна во времени и пространстве и содержит бесконечное количество атомов, могут существовать все возможные миры и конфигурации атомов, следовательно, в существовании нашего мира и человечества нет ничего особенного – лишь неизбежность. Все находится в постоянном движении, поэтому

«...Все устроил Разум, а также то вращение, которое теперь совершают звезды, Солнце и Луна, а также отделившиеся воздух и эфир. Само это вращение вызывает отделение. И отделяется от тонкого плотное, от холодного теплое, от темного светлое и от влажного сухое».

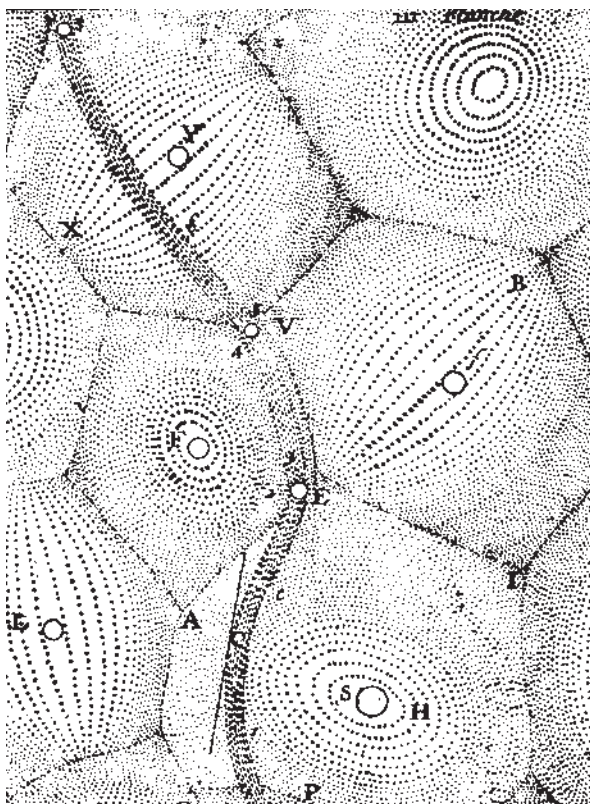
Анаксагор, фрагмент В12

Декарт делил пространство на регионы, содержащие частицы, вращающиеся вокруг центра, 1644 г.

космос возникнет и со временем разрушится.

Его неделимые атомы будут использованы в новом космосе. Даже в небольшие промежутки времени атомы погибшей звездной системы распадаются и возрождаются в других небесных телах..

Рене Декарт описывал Вселенную-«вихрь»: пространство в ней не пустое, но заполненное материей, которая закручивается в вихри или водовороты, вызывая то, что позже получило название гравитационных эффектов. В 1687 г. Ньютон описал статичную, бесконечную, постоянную Вселенную, в которой материя распределена равномерно (в широком масштабе). Его Вселенная была гравитационно сбалансирована, но нестабильна. Эта научная модель просуществовала до XX в. Даже Эйнштейн принимал ее лишь до тех пор, пока собственными открытиями не доказал обратного.



СОВРЕМЕННАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Одна из особенностей уравнений общей теории относительности Эйнштейна заключается в том, что они не могут работать в статичной Вселенной без «выдумки». Поскольку Эйнштейн был твердо убежден в том, что Вселенная статична,

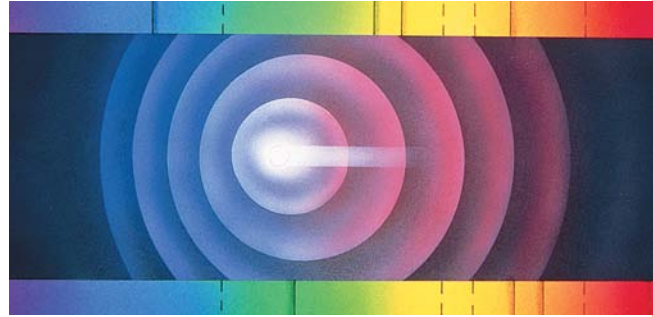
он ввел в свои уравнения «космологическую константу», чтобы они работали. Но другие ученые истолковали его уравнения иначе. Теорию расширяющейся Вселенной впервые предложил русский космолог и математик Александр Фридман (1888–1926). Используя уравнения относительности Эйнштейна, Фридман описал математическую

Греческие философы-стоики III в. до н. э. полагали, что Вселенная подобна острову, окруженному бесконечной пустотой, и находится в постоянном движении. Вселенная стоиков пульсирует, меняет размеры и периодические переживает беспорядки и возмущения. Все ее части взаимосвязаны, поэтому происходящее в одном месте влияет на то, что происходит во всех других местах – эта идея странным образом отразилась в квантовой запутанности.



КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ

Если спектроскопически проанализировать свет звезды, то станет заметно, что спектр «сжимается» в синей части, если движется к наблюдателю (синее смещение), или «тянется» к красной части, если движется от наблюдателя (красное смещение). Это явление получило название эффекта Доплера. Сходный эффект наблюдается и для звуковых волн; сирена полицейской машины звучит выше, если машина движется к слушателю, поскольку звуковые волны сжимаются. Если машина удаляется, ее звук становится ниже, поскольку звуковые волны растягиваются. Однако красное смещение, наблюдаемое Хабблом, не является результатом эффекта Доплера, вызванного движением звезд галактик (хотя это могло бы вызвать красное смещение). На самом деле это результат растягивания расстояния между нашей галактикой и далекими галактиками, и это свидетельство расширения Вселенной. Длина волны света, проходящего по растягивающемуся пространству, также растягивается и расширяется. Свет с большей длиной волны находится в красной части



Световые волны перемещаются в сторону красного или синего края спектра в зависимости от того, движется ли источник в сторону наблюдателя или от него

спектра – отсюда и красное смещение. Вот почему существование красного смещения является доказательством расширения Вселенной. Красное смещение далеких галактик было впервые оценено американским астрономом Весто Сливфером (1875–1966) и описано в 1917 г. Но открыл универсальный характер красного смещения именно Хаббл. Он установил, что самые далекие галактики отдаляются быстрее всего. Он сформулировал этот принцип как «Связь между расстоянием и радиальной скоростью среди внегалактических туманностей».

модель расширяющейся Вселенной в статье, которая была опубликована в 1922 г. Он умер от тифа в следующем году, в возрасте всего 37 лет. Болезнь поразила его, когда он отдыхал в Крыму, и его работы остались незамеченными.

Эйнштейн оказался одним из немногих, кто читал статью Фридмана, но он отверг эту идею. Тем не менее, ему пришлось отказаться от своей более ранней модели и исключить космологическую константу, когда стало ясно, что Фридман был прав.

Американский астроном Эдвин Хаббл (1889–1953) в 1929 г. доказал, что далекие галактики отдаляются от нашей части космоса во всех направлениях. Хаббл спектроскопически исследовал эти галактики и заметил, что их спектр смещен в красную сторону – так называемое «красное смещение» (см. врезку). Эти открытия стали доказательством того, что Вселенная действительно расширяется. Эйнштейн в целом принял модель Фридмана, но полагал, что Вселенная расширилась после Большого



взрыва, а затем сжалась, поскольку сила тяготения снова втягивает всю материю.

Это приводит к Большому сжатию и сингулярности, которая взрывается очередным Большим взрывом. Цикл повторяется вечно, но, поскольку время едино с пространством, пространство и время не имеют ни начала, ни конца (или имеют бесконечные начала и концы в зависимости от вашей точки зрения).

От космического яйца к Большому взрыву

Современный взгляд на Вселенную начался с теорий бельгийского священника и физика Жоржа Леметра (1894–1966). Леметр высказал мнение о том, что Вселенная началась с бесконечно малой и бесконечно плотной точки – сегодня ее называют сингулярностью, но Леметр назвал ее первобытным атомом или «космическим яйцом».

ГЕОРГИЙ ГАМОВ (1904–1968)

Георгий Гамов родился в Одессе, в Российской империи. Гамов был чрезвычайно успешным и гибким физиком, сделавшим немало важных открытий и выдвинувшим множество интересных гипотез. Его родители были учителями, но мать умерла, когда Георгию было всего девять лет. Во время Первой мировой войны в его школу попал снаряд, и учеба закончилась. Георгий был настоящим самоучкой. Он работал с величайшими европейскими физиками своего времени, включая Резерфорда и Бора. Он дважды пытался бежать из Советского Союза: в первый раз он на лодке проплыл 250 километров по Черному морю в Турцию, а второй раз пытался из Мурманска добраться до Норвегии. И оба раза ему мешала плохая погода. Бежать ему вместе с женой удалось в 1933 г., когда он участвовал в физической конференции в Бельгии. В 1934 г. он поселился в США.



Гамов работал в области квантовой механики и астрономии. Он разработал «жидкую каплю» – модель атома, в которой ядро является каплей несжимаемой ядерной жидкости.

Гамов описал внутреннее строение красных гигантов, разработал распад альфа-частиц и объяснил, почему 99 % Вселенной состоит из водорода и гелия: таковы были реакции, происходившие во время Большого взрыва. Он предсказал существование космического микроволнового реликтового излучения, предположив, что последствия Большого взрыва ощущаются и спустя миллиарды лет. По его оценке, температура этого излучения должна составлять около пяти градусов выше абсолютного нуля. Когда в 1965 г. это излучение открыли Пензиас и Уилсон (см. врезку на стр. 193), то его температура составила 2,7 градусов выше абсолютного нуля.



НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ – СЛУЧАЙНО

В 1978 г. Арно Пензиас и Роберт Уилсон получили Нобелевскую премию по физике за открытие космического микроволнового реликтового излучения. Интересно, что они вовсе не искали это излучение и, обнаружив его, даже не поняли, что это такое. Пензиас и Уилсон настраивали чувствительную микроволновую антенну в лабораториях Bell Telephone в Холмделе, Нью-Джерси. Антенна должна была использоваться в радиоастрономии. Неожиданно они обнаружили излучение, которое мешало их работе, но избавиться от которого не удавалось. Излучение было постоянным и равным образом исходило со всех сторон. Оказалось, что Пензиас и Уилсон зафиксировали космическое микроволновое реликтовое излучение. Неподалеку от них, в Принстоне, Роберт Дик, Джим Пиблз и Дэвид Уилкинсон построили установку, специально рассчитанную на это излучение. Они сразу поняли, что обнаружили Пензиас и Уилсон. Узнав об их открытии, Дик повернулся к коллегам и воскликнул: «Парни, нас обставили!»

Невообразимой мощи событие, которое мы сегодня называем Большим взрывом, взорвало эту сингулярность, трансформировало всю материю Вселенной и разметало ее по космосу.

Леметр представил свою идею расширяющейся Вселенной на Сольвейской физической конференции, которая состоялась в Бельгии в 1927 г. Там он впервые рассказал о том, что позже получило название закона Хаббла: скорость далеких объектов, удаляющихся от Земли, пропорциональна их расстоянию до Земли. Эту идею Леметр обсуждал с Эйнштейном, но Эйнштейн вновь отверг подобную теорию. Он сказал Леметру: «Ваша математика справедлива, но ваша физика отвратительна!» Но открытие Хаббла подтвердило физику Леметра, продемонстрировав, что красное смещение света далеких галактик про-

порционально их расстоянию до Земли.

Несмотря на успех, теория «космического яйца» Леметра многими отвергалась – даже Эддингтоном, который выдвинул собственную модель расширяющейся Вселенной. Название «Большой взрыв» возникло из саркастического замечания британского астронома Фреда Хойла (1915–2001), сделанного им в 1949 г. Хойл был сторонником модели «стационарного состояния» Вселенной – даже после того, как была подтверждена правота Леметра. Хотя описанная Хойлом в 1948 г. Вселенная расширялась, она постоянно получала новый материал для поддержания стабильности общей плотности. Главный аргумент

против теории Большого взрыва заключался в том, что после изначального события должна была остаться тепловая энергия, которую можно обнаружить. Физик Георгий Гамов (см. врезку на стр. 192) утверждал, что в процессе расширения Вселенной эта тепловая энергия будет остывать и смещаться в микроволновую часть спектра. Подтверждение этой теории было обнаружено в 1965 г., когда радиоастрономы Арно Пензиас и Роберт Уилсон (см. врезку) случайно обнаружили космическое микроволновое реликтовое излучение. После этого даже самые убежденные противники теории Леметра перешли в лагерь Большого взрыва.

СКОЛЬКО ЗВЕЗД?

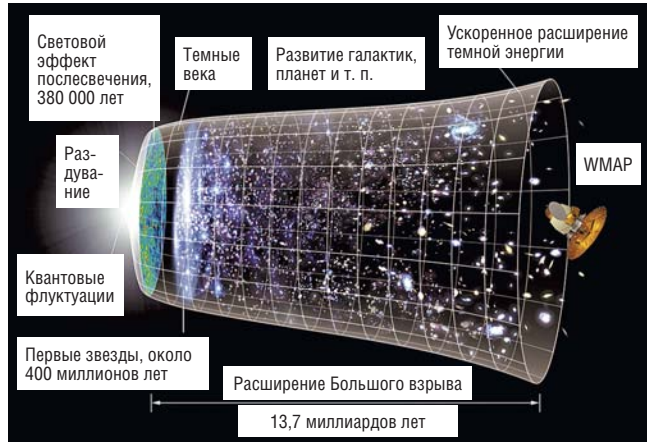
В первых звездных каталогах перечислялись только те звезды, которые можно было увидеть невооруженным глазом.

Как развивалась Вселенная после Большого взрыва

Технология развивалась. Сначала появились окулярные телескопы, затем радиотелескопы. Количество замеченных человеком звезд резко возросло – сначала линейно, затем экспоненциально. Звездный каталог Дрейпера (см. стр. 170) насчитывал 359 083 звезды. Однако количество звезд во Вселенной значительно больше любого каталога, и количество это, как и сама Вселенная, постоянно растет. До конца 2010 г. считалось, что во Вселенной от 10^{22} до 10^{24} звезд. А затем команда исследователей под руководством Питера ван Доккума, работавшая в обсерватории Кека на Гавайских островах, установила, что звезд может быть в три раза больше. Ученые увидели множество ранее незамеченных красных карликов (в некоторых галактиках их оказалось в двадцать раз больше, чем считалось ранее).

Доступная для наблюдения Вселенная

Сегодня у нас есть разные способы оценки возраста Вселенной. Мы можем измерять количество радиоактивных изо-



топов, таких как уран-238, и продуктов их распада (нуклеокосмохронология); можем измерять скорость расширения Вселенной и обратным счетом определить, когда этот процесс начался; можем изучать шаровые скопления и вычислять их возраст по типу звезд, из которых они состоят. Самая точная оценка возраста Вселенной – 13,7 миллиардов лет. Эта цифра основывается на данных, полученных с помощью запущенного НАСА зонда микроволновой анизотропии Уилкинсона (WMAP). Этот космический аппарат измеряет космическое микроволновое реликтовое излучение.

Взрыв сверхновой в оптических (слева), ультрафиолетовых (в центре) и рентгеновских (справа) волнах





Поскольку самый далекий известный нам квазар находится примерно в 28 миллиардах световых лет от Земли (см. стр. 180), то возраст Вселенной в 13,7 миллиардов лет кажется невозможным. Аномалия связана с расширением континуума пространства-времени. Сегодняшний свет квазара возник примерно 12,7 миллиардов световых лет назад,

когда он находился ближе к Земле. Но, поскольку расстояние между ними увеличилось, сегодня квазар находится намного дальше. Хотя ни свет, ни тело не могут перемещаться в космосе со скоростью больше скорости света, пространственно-временной континуум может расширяться с любой скоростью. Считается, что доступная для наблюдения Вселенная (то, что мы теоретически можем увидеть, имея необходимую технику) располагается в радиусе около 93 миллиардов световых лет. Но это не ограничивает размеров всей Вселенной. За этой границей может находиться настолько далекая материя, что ее свет пока не достиг нас.

СКОЛЬКО ВСЕЛЕННЫХ?

Хотя слово «Вселенная» означает, что она единственная, некоторые ученые утверждают, что в действительности существует «мультивселенная», в которой наша является лишь одной из многих. Физики-теоретики Хью Эверетт III и Брюс Девитт (1923–2004) в 60–70-е гг. выдвинули модель множественных миров. Физик российско-американского происхождения Андрей Линде (р. 1948) в 1983 г. описал модель, в которой наша Вселенная представляет собой один из множества «пузырей», возникших

БОЛЬШИЕ ВЗРЫВЫ

До 2010 г. не было доказательств того, что Большой взрыв мог быть одним событием из целого цикла расширения и сжатия Вселенной. Затем сэр Роджер Пенроуз (р. 1931) и Ваган Гурзадян (р. 1955) обнаружили на карте микроволнового реликтового излучения Вселенной четкие концентрические круги, которые говорят о том, что некоторые регионы излучения имеют более низкую температуру, чем остальные. По мнению ученых, это говорит о прежнем, более древнем Большом взрыве, сохранившемся в реликтовом излучении как некое ископаемое.

в «мультивселенной» в результате вечного раздувания.

ХУДШЕЕ УЖЕ ПОЗАДИ

Наше Солнце уже прожило примерно половину своей жизни. Можно рассчитывать, что оно просуществует еще несколько миллиардов лет, а затем его постигнет судьба всего во Вселенной: оно превратится в красного гиганта, а затем схлопнется в белого карлика и окончательно остынет.

Хотя мы с вами, конечно же, этого не увидим, конец Вселенной – если такое случится – все же беспокоит некоторых космологов. Будет ли она расширяться вечно, пока не превратится в тонкую пленку рассеянной материи, неспособной соединиться в полезные планетарные системы? Или произойдет новое Большое сжатие, за которым последует новый Большой взрыв? Если это так, то такой цикл может быть вечным (хотя подобное слово не имеет смысла для системы, в которой время вместе с пространством сживается в ничто и воссоздается с самого начала). Начало и конец Вселенной – это настоящие границы науки, сферы, которые мы исследуем с помощью логики и математики – но даже здесь есть экспериментальные методы, которые помогут развить наши теории на основании физики будущего.

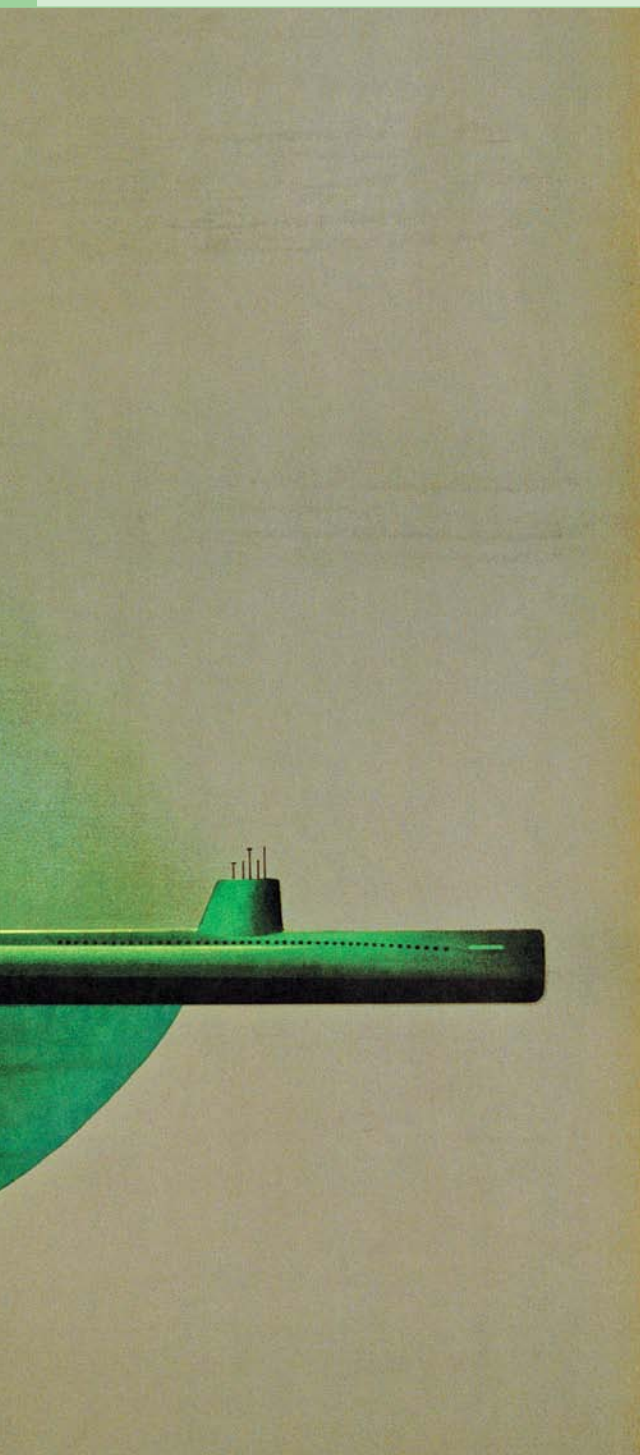
ERIK NITSCHKE



ФИЗИКА будущего

Когда в 1874 г. Макс Планк сказал, что хочет заниматься физикой, учитель посоветовал ему выбрать другую науку, так как в физике открывать больше нечего. К счастью, Планк к этому совету не прислушался. И сегодня, спустя 150 лет, в физике есть что открывать. Мы не можем примирить гравитацию и квантовую механику. Мы не можем определить большую часть массы Вселенной. Есть частицы, которых мы не можем обнаружить, но подозреваем, что они существуют и их нужно найти. Мы не можем объяснить, что такое энергия. И мы не знаем, какая судьба ждет нашу Вселенную. Мы не знаем даже, уникальна ли она или является одной из множества подобных. И эти вопросы предстоит решать физикам будущего, которые пока еще сидят за школьными партами и в университетских аудиториях.

*Практические применения физики
смогут поставить естественные законы
Вселенной на службу новой технологии*



Все порвать и начать снова

В XX в. физика кардинально отвергла многое из того, что было сделано раньше, соединила пространство и время в пространственно-временной континуум, заменила определенность неопределенностью, превратила частицы и волны в корпускулярно-волновой дуализм и ввела в оборот другие идеи, которые, несмотря на их причудливость, невозможно отрицать. На самом деле новые теории не столько опровергали сделанное ранее, сколько развивали прежние идеи, превращая их в нечто большее. Но и это нечто большее до сих пор не охватывает всего и неизбежно будет включено в набор теорий и моделей, которые охватят и все уже открытое, и то, что пока еще не нашло объяснения.

И ЭТО ВСЕ?

Этот факт можно считать провалом физики, но одна из главных нерешенных проблем заключается в том, как объяснить 96 % плотности массы-энергии Вселенной. Вселенная, которую мы можем видеть, потому что она отражает или излучает свет, это лишь крохотная часть того, что в ней находится. Это всего лишь около четырех ее процентов. Термин «темная материя» был придуман для названия той материи, о которой мы знаем,

но которую не можем увидеть. Идею темной материи впервые высказал астроном болгарско-швейцарского происхождения Фриц Цвикки (1898–1974) еще в 1933 г.

Цвикки применил вычисления теорий относительности Эйнштейна к гравитационным взаимодействиям в скоплении галактик Кома и обнаружил, что скопление должно содержать в сотни раз больше массы, чем предполагалось по его светимости. Ученый предположил, что баланс обеспечивается темной материей.

Что же это за таинственная субстанция? Самая распространенная современная теория делит темную материю на барионную и небарионную. Барионная материя – это обычная материя, состоящая из протонов, нейтронов и тому подобного. Все видимые объекты Вселенной должны излучать или поглощать свет. Это может показаться вполне оче-

Кольцо темной материи, образовавшееся после столкновения двух галактик, было сфотографировано с помощью телескопа «Хаббл» в 2004 г.



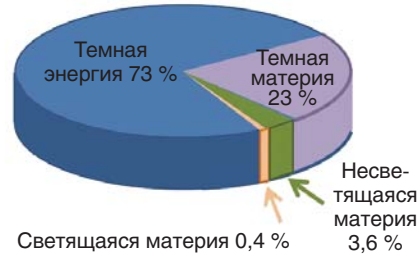


видным, и все же это очень важно. Если планета движется там, где ее не освещает ни одна звезда, или если звезда сгорает, то их больше не видно. Темная барионная материя, скорее всего, состоит из невидимой материи – газовые облака, сгоревшие звезды, неосвещенные планеты. Они называются «массивными компактными объектами гало» (МАСНО). Присутствие таких объектов можно определить по оказываемому ими гравитационному воздействию. Впервые в Млечном пути они были обнаружены в 2000 г.

Но одних МАСНО недостаточно, чтобы объяснить всю темную материю. Считается, что подавляющая часть темной материи состоит из слабо взаимодействующих массивных частиц (WIMP). Эти частицы трудно обнаружить по определению, поскольку они не взаимодействуют с другой материей посредством электромагнитных сил. Часть темной материи можно обнаружить с помощью нейтрино (см. стр. 135), но остается множество неоткрытых и чисто теоретических частиц, таких как аксионы, и еще больше экзотических частиц, о которых не догадываются даже теоретики.

ИСКУССТВЕННЫЕ МЕТЕОРИТЫ

Фриц Цвикки применил новаторский и нетрадиционный подход к астрономии. Многие его идеи (в том числе и идею темной материи) современники не приняли всерьез. В октябре 1957 г. Цвикки выпустил металлическую дробь из головного обтекателя ракеты «Аэроб», создав искусственные метеориты, которые были замечены обсерваторией Маунт-Паломар. Одна из дробинок сумела вырваться из гравитационного поля Земли и стала первым искусственным объектом, вышедшим на солнечную орбиту.



ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ

Принять существование темной материи нелегко. Но космологов ждало еще более сильное потрясение, когда в 1999 г. были объявлены результаты «Космологического проекта по сверхновым». Ученые изучали сверхновую типа 1a – взорвавшуюся звезду, светимость и масса которой известны, благодаря ему можно точно определить ее красное смещение (см. стр. 191). Оказалось, что Вселенная расширяется не с постоянной или ослабевающей скоростью, но ускоряется. Это ускорение спустя время было подтверждено другими исследованиями, в том числе и детальным изучением реликтового излучения. Чтобы разобраться с этим явлением, ученые предложили новый термин – темная энергия.

Даже с МАСНО и WIMP во вселенском бюджете массы и энергии наблюдается огромный дефицит. По сегодняшним оценкам около трех четвертей массы-энергии Вселенной (около 74 %) приходится на таинственную темную энергию, а большая часть остатка – на темную материю. Считается, что темная энергия обладает сильным отрицательным давлением и ускоряет расширение Вселенной. По-видимому, она гомогенна, обладает невысокой плотностью, но присутствует повсюду, то есть в том пространстве, которое ранее считалось пустым.

«Вселенная состоит преимущественно из темной материи и темной энергии, а мы не представляем, что это такое».

Сол Перлмуттер,
«Космологический проект
по сверхновым», 1999 г.

Название темной энергии могла дать космологическая константа, использованная Эйнштейном в уравнениях общей теории относительности для объяснения того, почему Вселенная не приходит к коллапсу под действием силы тяготения. Впоследствии Эйнштейн отказался от этой идеи, но теперь о ней снова вспомнили, чтобы объяснить новые факты.

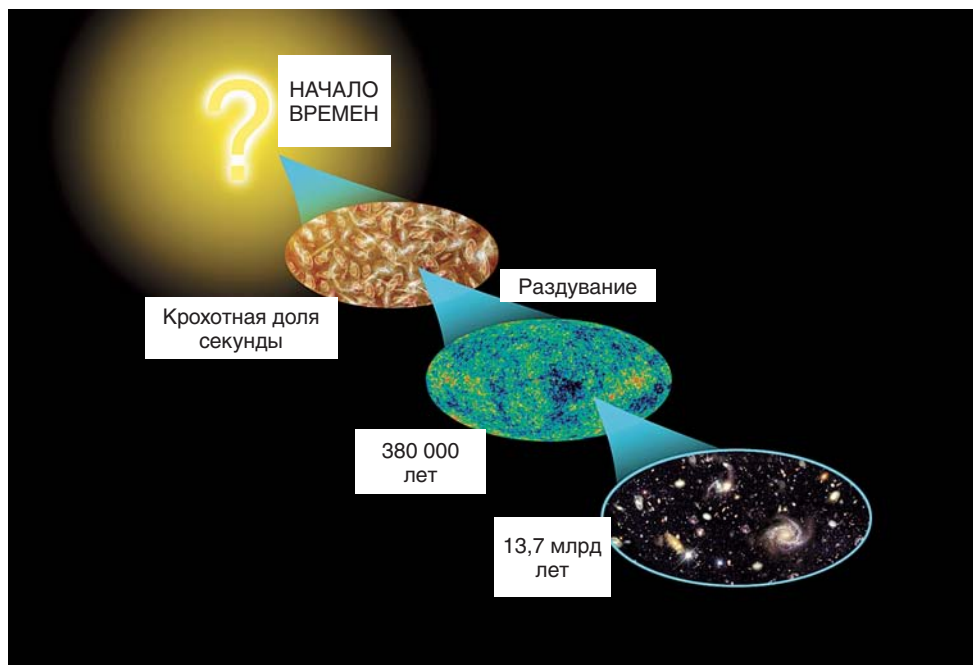
Одна теория заключается в том, что космологическая константа действует

Как выглядела Вселенная после Большого взрыва

как антигравитация, не позволяя гравитации схлопнуть Вселенную. Сила космологической константы чуть больше силы тяготения, но неизвестно, всегда ли она была одинаковой, всегда ли останется одинаковой и, вообще, является ли она константой. Не все космологи принимают идею космологической константы и предлагают другие, еще более эзотерические идеи – например, «теорию струн» (см. стр. 202). Но никаких убедительных доказательств в пользу той или иной теории пока не получено.

Что же дальше?

Стандартная модель материи такова: атомы состоят из сложных частиц, таких как нейтроны и протоны, а они состоят из элементарных частиц, таких как кварки (см. стр. 133). Множество других частиц предсказано теоретиками, но пока что их существование не обнаружено – или они более не существуют.





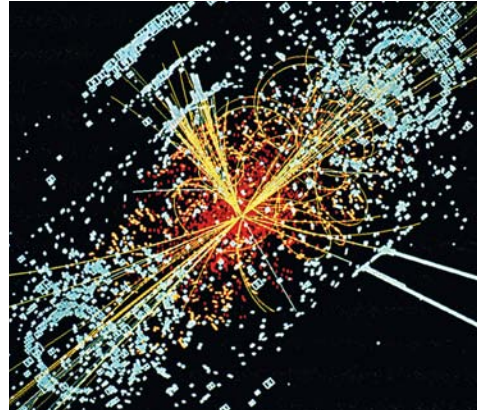
Моделирование создания и распада бозона Хиггса; в процессе возникает два потока адронов и два электрона

Исследование этих частиц не с помощью математического моделирования, а экспериментальным путем – процесс сложный и дорогой. Он требует сложнейшего оборудования – иначе невозможно уловить частицы, имеющие очень короткий жизненный цикл.

Постулированный бозон Хиггса (или «частица Бога») – это единственная элементарная частица, предсказанная в стандартной модели материи, которая еще не была обнаружена. Считается, что она придает материи массу. Впервые в 1964 г. ее описал английский физик-теоретик Питер Хиггс (р. 1929).

Чтобы понять бозон Хиггса, нужно рассмотреть частицы, которые обеспечивают действие четырех фундаментальных сил: электромагнетизм обеспечивается виртуально не имеющими массы фотонами; глюоны связывают кварки сильным ядерным взаимодействием; бозоны W и Z переносят слабое ядерное взаимодействие и являются очень тяжелыми (относительно) – их масса в 100 раз больше массы фотона. Проблема физиков заключается в том, чтобы оценить различия в массе этих частиц силы. Решением ее является модель, в которой некоторые частицы эффективно преодолевают воздействие.

Поле Хиггса – это нечто вроде силового поля, через которое материи приходится двигаться в пространстве. При прохождении через это поле некоторые квантовые частицы замедляются сильнее других. Замедление частицы эффективно придает ей массу. Фотоны не замедляются полем и имеют очень малую массу. Но бозоны W и Z замедля-



ются полем существенно, поэтому они обладают значительной массой. Поле Хиггса поддерживается бозоном Хиггса. Если бозон Хиггса может существовать, то стандартная модель будет полной.

Как же искать подобную частицу? Физики пытаются поймать хоть одну такую частицу, используя огромные ускорители частиц – например, большой адронный коллайдер в ЦЕРНе, расположенный в туннеле под Женевой, или Теватрон в Фермилаб близ Чикаго. Существование «верхнего» кварка было подтверждено в Фермилаб в 1995 г. В таких ускорителях пучки частиц разгоняются с огромной скоростью в разных направлениях по кругу и сталкиваются. Большой адронный коллайдер – самый большой подобный аппарат. Протяженность его кольцевого туннеля составляет 27 километров. Потоки протонов несутся по нему одиннадцать месяцев в году, один месяц в нем разгоняются ионы свинца.

Скорость пучков протонов в этом аппарате всего на три метра в секунду меньше скорости света. Они выпускаются частями, поэтому столкновения происходят не постоянно, а всегда с разрывом, по меньшей мере, в 25 наносекунд. Разогнанному протону требуется всего 90 миллисекунд, чтобы совершить



Стивен Хокинг в условиях невесомости на борту модифицированного «Боинг-727»

полный оборот по туннелю коллайдера – то есть он совершает 11 тысяч оборотов в секунду. Исследовательская программа на коллайдере началась в 2010 г. Физики рассчитывают на то, что, если стандартная модель справедлива, бозон Хиггса будет возникать каждые несколько часов. Потребуется данные за два-три года, чтобы подтвердить, что это произошло.

ОТДЕЛИТЬ РЕБЕНКА ОТ ВОДЫ?

Эйнштейн изо всех сил старался (безуспешно) создать единую теорию, которая объяснила бы все и соединила бы гравитацию и квантовую механику в общем наборе уравнений. Анаксагор мог бы сказать то же самое. Он хотел найти единое объяснение движения и изменения состояния, которое подходило бы для всех изменений, происходящих в физическом мире. Он настаивал на том, что в этом объяснении не должно присутствовать никаких суеверий или божественных компонентов. Оно должно было быть чисто логическим. В его

модели космический Разум постоянно наблюдал, регулировал и управлял бесконечно происходящими переменами, чтобы поддерживать общий порядок. Он хотел сказать, что существует закон, которого он не смог ни открыть, ни объяснить, но который управляет потоком всего сущего. Такое объяснение трудно считать удовлетворительным, на что указывали преемники Анаксагора. Но оно мало чем отличалось от утверждений Эйнштейна и Хокинга о том, что должна существовать единая теория – нам лишь предстоит ее открыть. В конце жизни Эйнштейн признал, что ему не удалось добиться успеха, и эту задачу предстоит решить другим. Единая теория до сих пор не сформулирована, и разрыв между квантовой теорией и общей теорией относительности, несмотря на экспериментальные доказательства справедливости каждой из них, остается главной загадкой для физиков.

Одним из способов решения этой проблемы стало развитие теории струн. Пока что это не единая стройная теория, ее невозможно проверить экспериментально, она не стала общепринятой. Тем



не менее, это попытка соединить квантовую теорию и общую теорию относительности путем более глубокого описания каждой из них. В теории струн все субатомные частицы считаются частью «струны», либо открытой, либо замкнутой в петлю, и струна эта вибрирует во многих измерениях. Различие между частицами проистекает не из их состава, который одинаков, но из гармоник их вибраций. И эти вибрации происходят не только в трех измерениях пространства и одном времени, с которыми мы знакомы, но в десяти измерениях. Некоторые из них могут замыкаться на себя или длиться очень малое время, поэтому мы их не осознаем. Теория струн очень умозрительна, и даже ее сторонники трактуют ее по-разному.

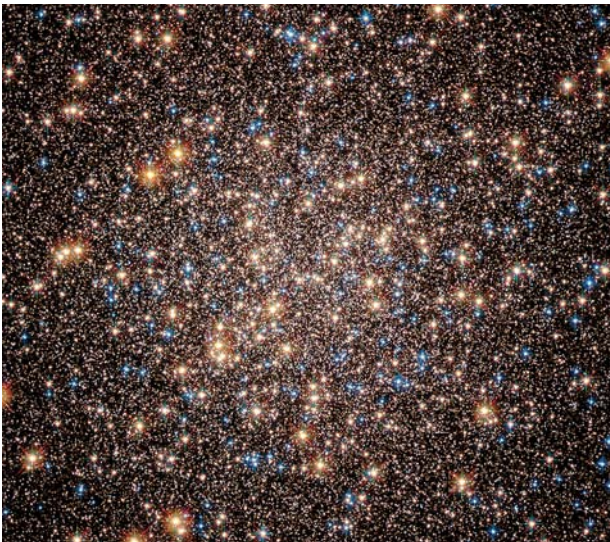
М-теория – это развитие теории струн. Она выводит теоретическую физику на новые рубежи. Одиннадцатое измерение – это лишь самый скромный ее вклад. К вибрации струн здесь добавляются точечные частицы, двухмерные

«М-теория – это единая теория, открыть которую надеялся Эйнштейн... Если эта теория подтвердится наблюдениями, то станет выдающимся умопостроением, к которому люди шли более 3000 лет. Мы откроем великий замысел».

Стивен Хокинг «Великий замысел», 2010 г.

мембраны, трехмерные формы и сущности в большем количестве измерений, чем мы можем представить (p-браны, где p – это число от нуля до девяти). Способ упаковки внутренних пространств определяет те черты, которые мы считаем нерушимыми законами Вселенной – например, заряд электрона или работу гравитации. М-теория допускает, что в разных вселенных существуют разные законы – и их до 10^{500} ! Не существует не только формулировки М-теории, но и согласия в том, к какому типу ее можно отнести – единая теория, ряд связанных теорий или нечто такое, что меняется в соответствии с обстоятельствами?

Никто даже не уверен в том, что именно провозглашает М-теория. Разум (nous) Анаксагора или единую теорию поля Эйнштейна можно сегодня назвать М-теорией, но это не приближает нас к пониманию реального ответа – физике еще есть над чем поработать.



Звездное скопление Мессье 13, которое наблюдал Галлей: «Это маленькое пятнышко, и его можно разглядеть невооруженным глазом, когда небо безоблачно и прозрачно и на нем нет Луны».



Указатель

- абберация, 59
Абу Райхан аль-Бируни, 9
Абхайи, царь Шри-Ланки, 64
Аверроэс (ибн-Рушд), 24, 39, 68, 74
Авиценна (Ибн Сина), 9, 39, 57, 67–69, 74
Авогадро Амедео, 32
Академия деи Линчеи, 11, 12
Академия наук (Париж), 13
Академия опыта, 12
Александр Македонский, 20
Альберт Саксонский, 69
Альберт, принц, 105
аль-Бируни Абу Райхан, 38, 150
аль-Газали, 23, 24
аль-Кинди, 38
аль-Мамун, 148, 149
аль-Мансура, халиф, 148
аль-Рахви, 9
аль-Фаризи Камаль аль-Дин, 38
Альхазен, *см. Ибн аль-Хасан Ибн аль-Хайсам*
аль-Хайсам, 150
аль-Хасиб аль-Марвази Хабаш, 149
аль-Ширази Кутб аль-Дин, 38
Амонтон Пийом, 93
Ампер Андре-Мари, 91, 101
Анаксагор, 16–19, 60, 77, 111, 144, 189
Анаксимандр, 7
Андерсон Карл, 135
Аристарх, 144, 145, 147, 153, 166
Аристотель, 8–11, 13, 20–22, 24–26, 39–41, 44, 57, 65–68, 71, 72, 78, 83, 100, 184, 189
Аркрайт Томас, 80
Аррениус Сванте Август, 99, 102
Архимед, 58, 66
Астон Фрэнсис, 176
астролябия, 151
Балиани Джованни Батиста, 77
барioni, 133, 134
Бевис Джон, 153
Беккерель Александр, 53
Беккерель Анри, 106, 107, 109, 129
Беккерель Антуан, 108
Бекман Исаак, 71
Белл Джослин, 180
Бернелл Джослин Белл, 181
Бернулли Даниэль, 78, 79, 88
Берти Гаспаро, 77
Бессель Фридрих, 172
Бехер Иоганн, 85, 86
бозоны Хиггса, 139
Бойль Роберт, 11, 12, 25, 27, 29, 49, 85, 93
Бойль Рэнело, 27
Больцман Людвиг Эдуард, 33, 90, 109
Большой террор, 30
Бор Нильс, 114, 115, 117, 124, 125
Борн Макс, 124
Браге Тихо, 151, 155–159
Браун Роберт, 32
Браун Томас, 97
Брахмагупта, 148, 150
Брейди Николас, 29
Брентано Франц, 33
Бройль Луи-Виктор де, 118, 119
Бруно Джордано, 160, 162
Брэдвардин Томас, 70
Брэдди Джеймс, 59
Будда, 184
Буридан Жан, 68, 69, 153
Бхаскара, 85
Бэкон Роджер, 10, 38, 40, 41, 57
Бэкон Фрэнсис, 10, 57
Вайсешика школа, 23
Вальтер Боте, 127
Васаба, царь Шри-Ланки, 64
век разума, 26
Вивiani Винченцо, 12
Виктория, королева, 105
Вильзинг Иоганн, 176, 177
Вольта Алессандро, 99
Вольтер (Франсуа-Мари Аруэ), 87
Галилей Галилео, 6, 10, 11, 41, 43, 57, 59, 70–78, 84, 93, 159–166, 184, 186, 189
Галлей Эдмунд, 165, 203
Гальвани Луиджи, 99
гальванометр, 104
Гамильтон Уильям Роуэн, 80, 81
Гамов Георгий, 192, 193
Гассенди Пьер, 25, 74
Гассенди, 47, 156
Гаусса закон, 106
Гебер (Абу Джабир), 9
Гейгер Ганс, 112
Гейзенберг Вернер, 122–124
Гейл Генри, 122
Гей-Люссак Жозеф Луи, 91, 93
Гейтсбери Уильям, 70
Гелл-Манн Мюррей, 134
Генри Джозеф, 101–103
Герике Отто фон, 27, 31, 97
Герон Александрийский, 37, 77
Герц Генрих Рудольф, 33, 104, 107
Герцшпрунг Эйнар, 174, 175
гесперий, 131



- Гиерон II царь Сиракуз, 66
 Гилберт Уильям, 100, 145
 Гиппарх, 67, 70, 74, 146
 Гиппократ, 21
 Гитторф Иоганн Вильгельм, 104
 глюоны, 133
 гомиомеры (однородные вещества), 19
 Гравезанд Вильгельм, 85
 Грей Стивен, 98
 Гросстест Ричард, 38, 40
 Гуи Луи Жорж, 32
 Гук Роберт, 12, 13, 44–49, 76, 164, 184
 Гурзадян Ваган, 195
 Гюйгенс Константин, 165
 Гюйгенс Кристиан, 43, 48, 50, 57–59, 84, 165, 172, 184
- Дальтон Джон, 31, 90, 93, 112
 Дамблтон Джон, 70
 Девиит Брюс, 195
 Декарт Рене, 22, 25, 28, 29, 38, 42–45, 48, 49, 57, 60, 71, 72, 190
 Дельсо Ж., 32
 Демокрит, 9, 18, 19, 21, 189
 Джабир ибн-Хайян, 24
 Джайнистская теория атомизма, 23
 Джамбатиста дела Порта, 11
 Джоуль Джеймс Прескотт, 89, 90
 Ди Джон, 160
 Диггес Леонард, 42, 159, 160
 Диггес Томас, 160
 Дик Роберт, 193
 Дирак Поль, 122, 134, 135
 Доксум Питер ван, 194
 Дрейпер Генри, 170, 194
 Дрейпера Генри, 171
 Ду Си, 65
 Дэ Ган, 161
 Дэви Гемфри, 88, 89, 105
 дю Шатле Эмили (Габриэла Эмилия де Тоннелье де Бретеи), 85–87, 94
 Дюфе Шарль, 99
- Елизавета I, 100, 160
- Жолио Фредерик, 126, 127, 131, 132
 Жолио-Кюри Ирен, 126, 127, 131
- Зенон, 184
- Ибн аль-Хассан Ибн аль-Хайсам (Альхазен), 37–40, 44, 57, 150
 ибн Муса аль-Хорезми Мухаммед, 149
 ибн Муса ибн Шакир Джафар Мухаммад, 150
 ибн Ридван Али, 150
 Ибн Саль, 60
 Ибн Хассан Ибн аль-Хайтами, 9
 интерферометр, 56
 Иоанн Павел II, папа римский, 163
- Кавендиш Генри, 98
 Канада (Кашьяпа), 22, 23
 Канка, 148
 каоны, 134
 Кассини Джованни, 57, 166, 172
 квазар, 180
 кванты, 52
 Кеннелли Эдвин, 178
 Кеплер Иоганн, 41, 42, 68, 71, 73, 75, 157–159, 161, 165, 166, 168, 189
 Клаузиус Рудольф, 90–92
 Клейст Эвальд Георг фон, 97
 Климент VI, папа римский, 69
 Комpton Артур, 122
 Коперник Николай, 41, 73, 153, 154, 156, 157, 160, 162–164, 166
 Кориолис Гюстав-Гаспар де, 96
 Королевское общество, 12, 13
 корпускулы, 24, 25, 47, 48, 112, 114
 Коуэн Клайд, 135
 Кэнон Энни Джамп, 170, 171
 Кюри (Склодовская) Мари, 107, 109
 Кюри Пьер, 108, 109
- Лавуазье Антуан, 16, 30, 31, 86, 89, 93
 Лагранж Жозеф-Луи, 31, 80
 Ламберт Иоганн Генрих, 93
- Лаплас Пьер Симон, 76, 93
 Латтес Сезар, 129
 Левенгук Антоний ван, 43
 Левкипп, 18, 19, 189
 Лейбниц Готтфрид, 76, 85, 87
 Лейденская банка, 97
 Леметр Жорж, 192, 193
 Ливитт Генриетта Суон, 171, 173
 Линде Андрей, 195
 линза Нимврода, 43
 логарифмы, 159
 Лодж Оливер, 176
 Лоренц Хендрик, 22
 Лукреций, 47
 Людовик XIV, 166
- Майкельсон Альберт, 54, 55
 Майкельсона-Морли эксперимент, 52
 Максвел Джеймс Клерк, 22, 51, 52, 61, 90, 92, 102, 103, 109, 114, 116, 166
 Максвелла уравнение, 106
 Маликен Роберт, 122
 Маркони, 108, 177
 Марсден Эрнест, 112
 Мах Эрнст, 81
 Маэстлин Михаэль, 157
 мезоны, 128, 133, 134
 Менделеев Дмитрий, 30
 Мерсени Марен, 57
 Милль Джон Стюарт, 42
 Мичелл Джон, 187
 Монк Джордж, 122
 Морзе Сэмюэль, 102
 Мори Антония, 171
 Морли Эдвард, 54
 Мушенбрук Питер ван, 97
 Мэррисон Уоррен, 184
 Мюллер Иоганн (Регимонт), 153
- Нагаока Хантаро, 114, 115
 Наполеон Бонапарт, 13

научные труды:

- «De magnete», Уильям Гилберт, 145
- «Автобиография», Марк Твен, 169
- «Альмагест», Птолемей, 146
- «Аналитическая механика», Жозеф-Луи Лагранж, 80
- «Арьябхатия», 148
- «Беседы и математические доказательства двух новых наук», Галилео Галилей, 73
- «Брахмаспухтасиддханта», Брахмагупта 148
- «Веданга Джьотиша», 148
- «Великое математическое построение» («Альмагест»), Птолемей, 147
- «Вопросы к Аристотелевой «Физике»», Жан Буридан, 69
- «Гидродинамика», Даниель Бернулли, 78, 88
- «Диалог о двух главнейших системах мира», Галилео Галилей, 73, 163
- «Звездная книга Гань и Ши», 146
- «Звездный вестник», Галилео Галилей, 163
- «Зидж аль-Синдх», Мухаммед ибн Муса аль-Хорезми, 149
- «Из бесед в Пинчжоу», Чжу Юй, 100
- «Книга о телах и расстояниях», Хабаш аль-Хасиб аль-Марвази, 149
- «Книга хозяина Долины Дьявола», 100
- «Космологический проект по сверхновым», Сол Перлмуттер, 200
- «Краткие жизнеописания», Джон Обри, 10, 27, 44, 48
- «Математические начала натуральной философии», Исаак Ньютон, 74–76, 87, 119, 166, 167
- «Микрография», Роберт Гук, 13, 46
- «Новые опыты и наблюдения над холодом», Роберт Бойль, 93
- «О вращении небесных сфер» («De Revolutionibus Orbium Coelestium»), 154
- «О перспективе» («De aspectibus»), труд Ибн аль-Хассана Ибн аль-Хайсама, 37
- «Об общем методе в динамике», Уильям Роуэн Гамильтон, 80
- «Ода святой Цецилии», Николай Брейди, 29
- «Оптика», Исаак Ньютон, 28, 46, 76
- «Освобожденный мир», Герберт Уэлс, 132
- «Основы физики», Эмили дю Шатле, 87
- «Поминки по Финнегану», Джеймс Джойс 134
- «Природная магия», Джамбатиста делла Порта, 94
- «Пробирных дел мастер», Галилей, 6
- «Трактат о системе мира», Исаак Ньютон, 75
- «Философские труды», журнал, 13
- «Химик-скептик», Роберт Бойля, 25
- нейтрино, 127, 135–137
- Непер Джон, 159
- Нерист Вальтер, 92
- Норман Шарль, 177
- Ньютон Исаак, 8, 13, 25, 28, 31, 41–50, 59, 63, 68, 71, 74–76, 78, 80, 81, 87, 97, 102, 103, 116, 119, 159, 164–167, 185, 190
- Озиандера Андреаса, 154
- Оккиалини Джузеппе, 129
- Ом Георг, 99
- Орем Николай, 186
- Павел V, папа римский, 162
- Паракрамбаху Великий, царь Шри-Ланки, 64
- параллакс, 156, 171
- Парменид, 16, 22
- партоны, 133
- Паскаль Блез, 78
- Паули Вольфганг, 127
- Паули Вольфганг, 135, 136
- Пауэлл Сесил, 128
- Пензиас Арно, 192, 193
- Пенроуз Роджер, 195
- Перикл, 17
- Перлмуттер Сол, 200
- Перрен Жан, 33, 112
- Пиблз Джим, 193
- Пикеринг Эдвард, 170, 171, 173
- пион (пи-мезон), 128, 134
- Пипс Сэмюэль, 47
- Пифагор, 7, 36, 184
- Планк Макс, 52, 53, 94–96, 116, 118, 177, 178, 197
- Платон, 8, 20, 21, 26, 36
- Плиний Старший, 43
- Подольский Борис, 125
- позитрон, 135
- Порта Джамбатиста делла, 94
- Порфирий, 24
- Поуп Александр, 44
- Прагчетт Терри, 147
- Прево Пьер, 89
- Пруст Жозеф, 31
- Псевдо-Гебер, 24
- Птолемей Клавдий, 37, 146, 147, 153
- Пуассон Симеон-Дени, 91
- пульсар, 181
- Пьер-Симон Лаплас, 187
- Райл Мартин, 179
- Райнес Фредерик, 135
- Райт Эдвард, 145
- Рамзай Уильям, 130
- Ранкин Уильям, 96
- Расселл Генри Норрис, 174, 175
- рационализм, 26
- Ребер Грот, 179
- Региомант, *см. Мюллер Иоганн*
- Резерфорд Эрнест, 108, 114, 130
- Рёмер Оле, 57, 58
- Рен Кристофер, 12, 47, 164
- Рентген Вильгельм Конрад, 104, 107
- Реомюр Рене Антуан Фершо де, 28



- Ретик, 154
 Риман Бернгард, 188
 Рише Жан, 166
 Рого Жак, 28
 Розен Натан, 125
 Рудольф II, 157
 Рузвельт Теодор, 132
- Сади Карно Мари Франсуа, 91
 Сади Карно Никола Леонар, 91, 92
 Свайнхед Ричард, 70
 Святой Августин, 184, 186
 Сенека Луций Анней, 44
 Силард Лео, 131, 132
 Скеллет Альберт, 178
 Слифер Весто, 191
 Снелл Виллеброрд, 60
 Содди Фредерик, 128, 130
 Сократ, 17
 Сомасхарма Мунн, 23
 Стокс Джордж Габриель, 54
 Сушрута, 100
 Сэвил Генри, 44
- Теодорих Фрайбургский, 38
 теплород, 88, 89, 91, 109
 Тесла Никола, 177
 Тигран Великий, 168
 Томпсон Бенджамин, граф Румфорд, 89
 Томсон Джозеф Джон (Джей Джей), 33, 112, 113, 119
 Томсон Уильям, лорд Кельвин, 54, 90, 93
 Торричелли Эванджеллиста, 12, 78
 трубка Крукса, 104–106, 112
- Уатт Джеймс, 80
 Уатт Джеймс, 91
 Уилер Джон Арчибалд, 187
 Уилкинсон Дэвид, 193, 194
 Уилсон Роберт, 192, 193
 Урбан VIII, папа римский, 163
 Уэллс Герберт, 132
- Фабриций Иоганн, 162
 Фалес Милетский, 7, 8, 16
 Фалес, 100
 Фарадей Майкл, 51, 52, 90, 101, 102, 105
 Фейнман Ричард, 84, 133, 137, 138
 Фердинанд III, 27
 Ферма Пьер де, 60
 Ферми Энрико, 130–132, 135
 Физо Ипполит, 59, 60
 Филипп II, 20
 Филопон Иоанн (Иоанн Грамматик, Иоанн Александрийский), 67, 68, 70, 74
 философский камень, 26
 Фламариона Камилль, 169
 Фламстид Джон, 164, 165
 Флеминг Вильямина, 170, 171
 флогистон, 30, 85, 89
 Фома Аквинский, 68
 фотоны, 52, 53
 Франклин Бенджамин, 97–99
 Френель Огюстен-Жан, 50, 56
 Фридман Александр, 191
 Фудзивара Садаиэ, 152
 Фуко Леон, 59, 60
- Хаббл Эдвин, 174, 191
 Харгривз Джеймс, 79
 Хартсекер Николас, 29
 Хатшепсут, царица, 142
 Хевисайд Оливер, 178
 Хей Джеймс, 179
 Хендерсон Томас, 172
 Хигге Питер, 139, 201
 Хойл Фред, 193
 Хойт Фрэнк, 122
 Хокинг Стивен, 12, 33, 202
 Хокни Артур Дэвид, 61
 Хоррокс Джереми, 167
 Хунд Фридрих, 122
 Хью Эверетт III, 125
 Хьюиш Энтони, 179, 181
 Хэрриот Томас, 162
- Цвикки Фриц, 198, 199
- Чедвик Джеймс, 127, 128, 130, 135
 Чези Федерико, 11
 Чжан Хэ, император Китая, 65
- Шварцшильд Карл, 187
 Шейнер Юлиус, 176, 177
 Шелли Харлоу, 173
 Шмидт Мартен, 180
 Шрёдингер Эрвин, 120–126
 Шталь Георг Эрнст, 86
- Эверетт III Хью, 195
 Эддингтон Артур, 60, 61, 121, 175–177, 193
 Эдисон Томас, 176, 177
 Эйлер Леонард, 80
 Эйнштейн Альберт, 13, 22, 33, 52, 53, 60, 81, 103, 116, 117, 119, 121, 124–126, 132, 175, 176, 181, 183, 186, 188, 190, 191, 193, 198, 200, 202, 203
- Эк Иоганн, 11
 Экардт Хорст, 122
 Экспер Феликс Мария, 33
 эликсир жизни, 26
 Эмпедокл, 20, 21, 36, 47, 57, 85, 111
 эмпиризм, 26
 энтропия, 92
 Эпикур, 19
 Эрстед Ганс Христиан, 101, 102
 эфир (квинтэссенция), 21, 22, 43, 47, 48, 51, 52, 54–56, 189
- Юй Чжу, 100
 Юкава Хидэки, 128, 129
 Юнг Томас, 37, 51, 83
 Янский Карл, 178



Иллюстрации предоставлены

- Shutterstock: 6, 7, 17 (x2 внизу), 18, 21 (x2 вверху), 41 (l), 55 (вверху), 57, 59, 68, 84 (внизу), 85, 116 (внизу), 117 (вверху), 134, 142 (вверху), 149 (внизу), 151 (все), 155, 171
- Photos.com: 11, 17 (вверху), 20, 26
- Corbis: 14, 34, 56 (внизу), 61, 82, 109, 110, 119, 127, 146 (внизу), 192, 196
- Bridgeman: 21 (внизу), 30, 44, 62, 162 (внизу), 168 (внизу)
- Science Photo Library: 29, 31, 37 (вверху), 53 (вверху), 54, 76 (вверху), 88, 92, 96 (внизу), 101, 122 (внизу), 125 (вверху), 126 (вверху), 126 (внизу), 135, 145, 162 (mid), 173 (внизу); 174 (вверху), 174 (внизу), 179, 180, 181 (внизу), 182, 187, 190, 191
- British Museum: 43 (внизу)
- Mary Evans: 147
- Topfoto: 66 (l), 79, 81, 149 (вверху), 161
- Getty: 72
- Clipart: 67, 90
- The Nuremberg Chronicle*: 8; Rita Greer: 12; Arnaud Clerget: 13 (вверху); *A Pictorial History* by Joseph G Gall (1996): 13 (внизу); Rebecca Glover: 23, 47, 170 (вверху); Monfredo de Monte Imperiali, 14th C: 24; Johann Kerseboom: 27; Smithsonian Institution (The Dibner Library Portrait Collection): 33; Girolamo di Matteo de Tauris for Sixtus IV: 36; Nino Pisano: 37 (внизу); Noé Lesocq 38 (вверху); bank note Iraq: 38; Gngangarra: 39 (вверху); Stefan Kühn: 39 (внизу)
- 129; Bibliotheca Apostolica Vaticana: 40; René Descartes: 42 (r); Isaac Newton: 45 (внизу), 47 (вверху), 74, 165; Hooke: 48; Wenceslas Hollar: 49; Christiaan Huygens: 50 (вверху); Caspar Netscher: 50 (внизу); James Clerk Maxwell 52 (внизу); Alain Le Rille: 55 (внизу); Falconian; 56 (вверху); Giulio Parigi: 58; Ibn Sahl's manuscript: 60; Antoine-Yves Gouget: 64; Tamar Hayardeni: 66 (r); Bill Stoneham: 70; Justus Sustermans: 73; Sir Godfrey Kneller: 76 (внизу); Danielis Bernoulli: 78; Nicolas de Largillière: 87; *Harper's New Monthly Magazine*, no.231, Aug 1869: 89; V Bailly (1813): 91; Peter Gervai: 93; ESA/NASA: 94, 178 (вверху), 188; Scott Robinson: 96 (вверху); Otto von Guericke: 97 (вверху); L. Margat-L'Huilier, *Leçons de Physique* (1904): 97 (внизу); *Natural Philosophy for Common and High Schools* (1881), p.159 by Le Roy C Cooley: 98; Ryan Somma: 100; National Archaeological Museum of Spain: 100 (внизу); Nevit Dilmen: 103 (внизу); *Experimental Researches in Electricity* (vol.2, plate 4): 103 (вверху); Arthur William Poyser (1892) *Magnetism and Electricity*: 104; Harriet Moore: 105; George Grantham Bain Collection (Library of Congress): 108, 175 (вверху); NASA/JPL: 115 (вверху), 166; Paul Ehrenfest: 117 (внизу); inductiveload: 118; US Airforce: 120; Gerhard Hund: 122 (вверху); Berlin Robertson: 125 (внизу); Smithsonian Institute: 130; Gary Sheehan (Atomic Energy Commission: 131 (внизу); Julian Herzog: 139; ESO/Stéphane Guisard; Simon Wakefield: 142 (внизу); Brian J Ford, *Images of Science* (1993): 144 (внизу); J van Loon (c.1611–1686): 146 (вверху); NASA: 150, 202; Dresden Codex: 152; Andreas Cellarius: 154; *Die Gartenlaube*: 158; Whipple Museum of the History of Science: 159 (справа); Thomas Murray: 164; Antonio Cerezo, Pablo Alexandre, Jesús Merchán, David Marsán: 167; The Yerkes Observatory: 168 (в центре); *Popular Science Monthly*, Vol. 11: 169; Smithsonian Institute Archives: 170 (внизу); Michael Peryman: 172; NASA/HST: 173 (вверху); Hannes Grobe: 175 (внизу); Napoleon Sarony: 177; Yebe: 178 (внизу); Astronomical Institute, Academy of Sciences of the Czech Republic: 181 (вверху); Museo Barracco: 184; Sandro Botticelli: 186; NASA/WMAP Science Team: 194 (вверху), 200; NASA/Swift/Immler: 194 (внизу); NASA/ESA, MJ Lee and H Ford (Johns Hopkins University): 198; Lucas Taylor: 201; ESA/Hubble and NASA: 203
- Wikiuser: Didier B 71; Tamorlan 77 (внизу); gama 86 (вверху); Fastfission: 114; orangedog: 116 (вверху); ShakataGaNai: 136
- Неизвестный автор: 25, 41, 42 (l), 51 (l), 52 (вверху), 99, 115, 153, 156 (справа)

Энн Руни

ИСТОРИЯ ФИЗИКИ

От натурфилософии

к загадкам темной материи

Редактор *Е. Р. Секачева*

Корректоры *Е. Д. Щепалова, Е. Ю. Жукова*

Компьютерная верстка *В. В. Забковой*

ООО «Кучково поле»

119071, г. Москва, ул. Орджоникидзе, 10, оф. 420

Тел.: (495) 256 04 56, e-mail: info@kpole.ru

www.kpole.ru

Подписано в печать 08.11.16. Формат 165 x 235 мм.

Усл. печ. л. 16,9. Тираж 2000 экз.

ISBN 978-5-9950-0739-5