

В.А. Чуянов

Энциклопедический словарь юного физика

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 82-053.2
ББК 74.27
В11

В11 **В.А. Чуянов**
Энциклопедический словарь юного физика / В.А. Чуянов – М.: Книга по Требованию, 2024. – 354 с.

ISBN 978-5-458-39333-1

Словарь дает ответы на многие вопросы из области физической науки, рассказывает о ее развитии и современных проблемах, о роли физики в научно-техническом прогрессе человечества. Книга содержит сведения о жизни и деятельности ученых, внесших значительный вклад в развитие науки. Одна из задач словаря - помочь учащимся в выборе профессии. В словаре даются практические советы юным физикам. Для школьников среднего и старшего возраста.

ISBN 978-5-458-39333-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

К НАШИМ ЧИТАТЕЛЯМ

Эта книга адресована всем, кто интересуется физикой. В наше время знание основ физики необходимо каждому, чтобы иметь правильное представление об окружающем мире — от свойств элементарных частиц до эволюции Вселенной.

Словарь будет полезен вам при изучении физики в школе и при чтении научно-популярных книг или статей. Тем же, кто решил избрать физику своей профессией, словарь поможет укрепиться в этом решении, сделать первые шаги на пути к овладению профессией.

Что может быть важнее выбора профессии? Найти любимое дело — значит не только приносить пользу обществу, но и постоянно испытывать чувство внутреннего удовлетворения.

Одна из главных задач этой книги — помочь молодому человеку, который заинтересовался физикой, лучше понять, что представляет собой эта наука и подходит ли она ему по его склонностям и способностям.

Но и тем, кто изберет другую профессию, знание физики принесет пользу. Вы узнаете из словаря, как даже абстрактные на первый взгляд физические исследования рождали новые области техники, давали толчок развитию промышленности и привели к тому, что принято называть научно-технической революцией. Успехи ядерной физики, теории твердого тела, электродинамики, статистической физики, квантовой механики определили облик техники конца XX в., такие ее направления, как лазерная техника, ядерная энергетика, электроника. Разве можно представить себе в наше время какие-нибудь области науки и техники без электронных вычислительных машин? Автоматический отбор научных наблюдений, автоматизация производства и управления и даже лингвистический анализ литературных произведений делаются с помощью ЭВМ.

Многим из вас после окончания школы доведется работать в одной из этих областей, и кем бы вы ни стали — квалифицированными рабочими, лаборантами, техниками, инженерами, врачами, космонавтами, биологами, археологами, — знание физики поможет вам лучше овладеть своей профессией.

Но вернемся к физике. Физические явления исследуются двумя способами: теоретически и экспериментально. В первом случае (*теоретическая физика*) выводят новые соотношения, пользуясь математическим аппаратом и основываясь на известных ранее законах физики. Здесь главные инструменты — бумага и карандаш. Во втором случае (*экспериментальная физика*) получают новые связи между явлениями с помощью физических измерений. Здесь инструменты гораздо разнообразнее — многочисленные измерительные приборы, ускорители, пузырьковые камеры и т. д.

Естественно, что эти два подхода требуют различного склада ума и разных способностей, которые редко совмещаются в одном человеке. Кроме того, можно заниматься физикой как наукой или физикой, которая подготавливает почву для практических применений. Так, электромагнитные волны сначала были обнаружены английским ученым Дж. Максвеллом теоретически, как следствие полученных им уравнений электродинамики. Затем они были открыты на опыте немецким физиком Г. Герцем. После этого русский ученый А. С. Попов и итальянский инженер Г. Маркони показали возможность использования этого физического явления в практических целях, выступив как представители прикладной физики. Эти работы были продолжены многими другими теоретиками и экспериментаторами. Ими были развиты физические принципы современных передатчиков и приемников. И, наконец, реальное завершение радиосвязи получила, перейдя из области прикладной физики в область техники.

Какую из многочисленных областей физики предпочесть? Все они тесно связаны между собой. Нельзя быть хорошим экспериментатором или теоретиком в области, скажем, физики высоких энергий, не зная физики низких температур или физики твердого тела. Новые методы и соотношения, появившиеся в одной области, часто дают толчок в понимании другого, на первый взгляд далекого раздела физики. Так, теоретические методы, развитые в квантовой теории поля, произвели революцию в теории фазовых переходов, и наоборот, например, явление спонтанного нарушения симметрии, хорошо известное в классической физике, было заново «открыто» в теории элементарных частиц и совершенно изменило даже самый подход к этой теории. И, разумеется, прежде чем окончательно выбрать какое-либо направление, нужно достаточно хорошо изучить все области физики.

Кроме того, время от времени по разным причинам приходится переходить из одной области в другую. Особенно это относится к физикам-теоретикам, которые не связаны в своей работе с громоздкой аппаратурой.

Большинству физиков-теоретиков приходится работать в различных областях: атомная физика, космические лучи, теория металлов, атомное ядро, квантовая теория поля, астрофизика — все разделы физики интересны. Сейчас наиболее принципиальные проблемы решаются в теории элементарных частиц и в квантовой теории поля. Но и в других областях физики есть много интересных нерешенных задач. И, конечно, их очень много в прикладной физике.

Эта книга поможет вам не только ближе познакомиться с различными разделами физики, но, главное, почувствовать их взаимосвязь.

Очень важно при чтении подкреплять свои мысли или догадки вычислениями. Для этого нужно знать, хотя бы приближенно, все важные физические константы, все главные соотношения.

Нужно научиться делать оценки величин и соотношений. Вот примеры: 1. Оцените расстояние до Луны. (Это легко сделать, зная ускорение силы тяжести и период обращения Луны.) 2. Какую максимальную скорость может приобрести парашютист в затяжном прыжке? С какой скоростью падают капли дождя? (Здесь нужно знать вязкость и плотность воздуха и мысленно заменить парашютиста шаром с радиусом, например, 1 м. Проверьте, какой режим в этом случае выполняется — вязкий или турбулентный.) 3. Сравните теплоотдачу свечи, электрической плитки и человека. 4. С какой средней скоростью движутся электроны в проводнике при плотности тока, скажем, ампер/см²? 5. Какая энергия падает на Землю в виде космических лучей?

Как только вы хотя бы немного научитесь таким оценкам, вы сможете быстро проверять разумность той или иной идеи.

Для того чтобы заниматься наукой, надо не только много знать и уметь, но и воспитать в себе определенные качества характера. Вот несколько советов.

Старайтесь читать научно-популярные статьи и книги активно, пытайтесь решать поставленные в них задачи до того, как прочтете их решение.

Не старайтесь с самого начала все понимать до конца. Понимание приходит постепенно, в результате упорного труда, по мере привыкания к новым понятиям. Настоящее глубокое понимание обязательно приводит к новым результатам, но приходит оно только после того, как хорошенько поработаешь в данной области.

Если придет в голову идея, надо не только стараться ее подтвердить, но в еще большей степени стараться ее опровергнуть. Только так можно научиться добросовестно и объективно думать.

Главной движущей силой должен быть интерес к делу, а не стремление к эффектным результатам. Я знаю немало примеров, когда талантливые люди теряли способность добросовестно работать из-за стремления во что бы то ни стало сделать мировое открытие.

Задача научного работника — упорное и добросовестное исследование интересующего его явления, когда каждый малый шаг приносит радость. Открытие приходит только как побочный продукт такого исследования.

От идеи, даже самой хорошей, до достоверной научной истины — тяжелый и трудный путь, идущий через сомнения и догадки, через провалы и взлеты, подобно восхождению на непокоренную вершину, с которой открываются новые горизонты.

Физике посвящены тысячи томов научной и научно-популярной литературы. Все это в одну книгу вместить нельзя. Авторы словаря постарались отобрать самое существенное и ответить на основные вопросы, которые могут возникнуть у любознательных читателей. Вы не найдете здесь некоторых понятий и терминов, которые хорошо известны вам из школьного курса. Главное внимание уделено физике XX в.

В словаре около двухсот статей, расположенных в алфавитном порядке. Атом и ядро, акустика, механика, оптика, плазма, твердое тело, теория относительности, термодинамика, элементарные частицы — об этих и других разделах физической науки рассказывается в этой книге.

Вы встретите здесь имена многих выдающихся ученых нашей страны и других стран мира. Им посвящено около сорока статей, помещенных рядом со статьями о тех областях науки, которыми они занимались.

В книге описаны интересные физические опыты; их можно проделать самостоятельно в школьной лаборатории или даже дома.

Чтобы найти нужную статью, пользуйтесь алфавитным указателем в конце книги. Там же находится список рекомендуемой литературы.

Если слово в статье набрано *курсивом*, значит, в словаре есть отдельная статья с таким же названием.

Авторы, работавшие над Энциклопедическим словарем юного физика, надеются, что он станет настольной книгой для всех, кто интересуется физикой.

Академик
А. Б. МИГДАЛ





А

АВОГАДРО ЗАКОН И ЧИСЛО

Итальянский физик и химик Амедео Авогадро (1776—1856) родился в Турине. Он получил юридическое образование. Но интерес и склонность к естественным наукам побудили его заняться самостоятельным изучением физики и математики. В 1806 г. он начинает преподавать физику в университетском лицее в Турине, а в 1820 г. становится профессором математической физики в Туринском университете.

Научные работы Авогадро посвящены различным областям физики и химии. В 1811 г. ученый высказал гипотезу, согласно которой молекулы простых газов состоят из одного или нескольких атомов. На ее основе он сформулировал один из основных законов идеальных газов, получивший название *закона Авогадро*. Этот закон гласит: «В равных объемах любых газов при одинаковых условиях содержится одинаковое число молекул». (Под одинаковыми условиями имеются в виду температура и давление.) Закон Авогадро послужил одной из основ, на которой в дальнейшем стало развиваться атомно-молекулярное учение.

Из этого закона следует, что плотности газов, измеренные при одинаковых внешних условиях, относятся как их молярные массы. Если принять произвольно молярную массу какого-либо газа за единицу (обычно $1/12$ массы моля углерода), то можно, зная плотности газов, вычислять их относительные молярные массы.

Впоследствии один из основоположников физической химии — нидерландский ученый Я. Вант-Гофф распространил законы идеальных газов на разбавленные растворы, исходя из следующей аналогии: «Растворенное вещество распространяется по всему объему растворителя, подобно тому как газ распространяется по пустому пространству, занимая весь объем».

Вант-Гофф показал, что, подобно тому как газ оказывает давление на стенки сосуда, где он находится, растворенное вещество вызывает специфическое давление, которое ученый назвал осмотическим. Осмотическое давление равно давлению газа, которое наблюдалось бы, если бы мы удалили растворитель, а растворенное вещество заполнило бы тот же объем в виде газа. Таким образом, измеряя

осмотическое давление данного вещества в каком-либо растворителе, можно узнать плотность этого вещества в газообразном состоянии и вычислить при помощи закона Авогадро его молекулярную массу. Так удалось определить молекулярные массы веществ, которые трудно или невозможно получить в газообразном состоянии, например сахара.

Молекулярным называют количество данного вещества, содержащее столько же молекул, сколько содержится атомов в 0,012 кг углерода. Тогда закон Авогадро можно сформулировать еще и так: «Моль любого вещества содержит одно и то же число молекул». Это число получило название *числа Авогадро*. Оно равно $6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹. Число Авогадро определяют различными методами, некоторые из них основаны на изучении *броуновского движения*. Вторая формулировка закона Авогадро справедлива не только для газов, но и для жидкостей и твердых тел.

Знание числа Авогадро дает представление о масштабах микромира, о размерах молекул. Возьмем 1 см³ воды; его масса 1 г, что составляет $1/18$ моля воды; следовательно, 1 см³ воды содержит $\frac{6,02}{18} \cdot 10^{23} = 3,34 \cdot 10^{22}$ молекул воды.

Стало быть, на долю одной молекулы приходится объем $\frac{1}{3,34 \cdot 10^{22}} = 3 \cdot 10^{-23} \text{ см}^3 = 3 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$. Считая, что в жидкости молекулы плотно прилегают друг к другу, найдем, что линейный размер молекулы, т. е. величина порядка корня кубического из ее объема, составляет около $3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, или 0,3 нм.

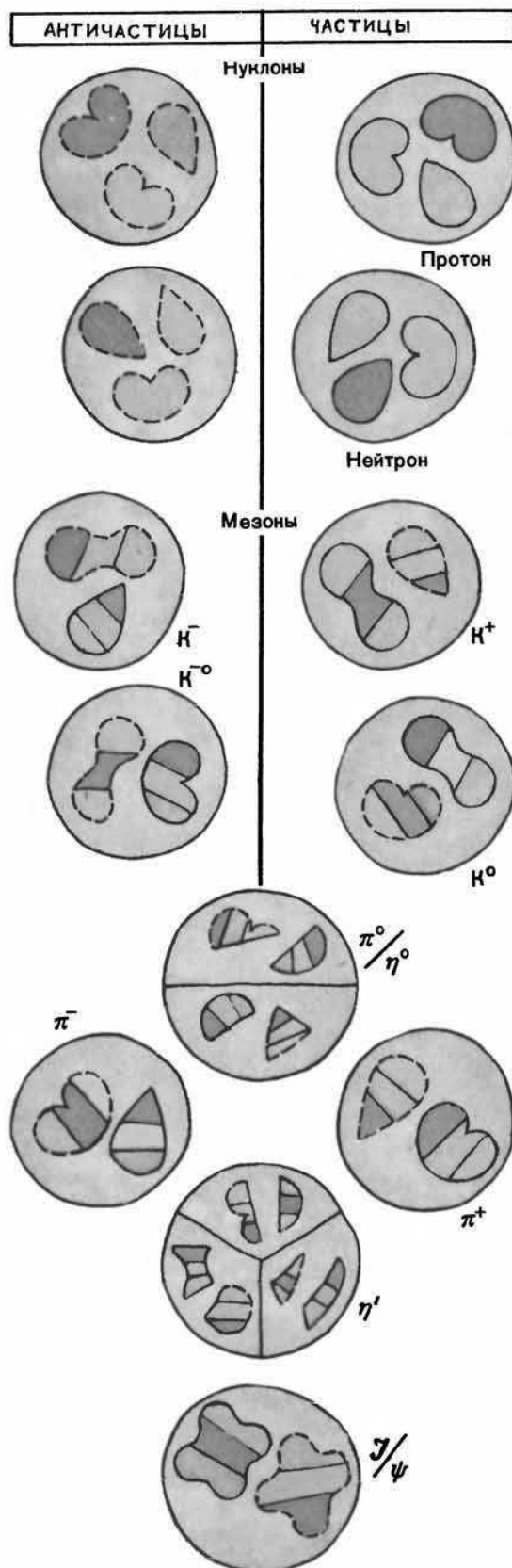
Линейные размеры других атомов и молекул также величины порядка десятых долей нанометра. Наименьшие частицы, доступные наблюдению в оптическом микроскопе, имеют размеры в несколько десятых микрометра, т. е. они содержат около 10 млрд. атомов. Однако с помощью электронного микроскопа и некоторых других приборов (например, ионного проектора) можно наблюдать отдельные атомы.

АДРОНЫ

Адроны — общее название для частиц, участвующих в сильных взаимодействиях. Название происходит от греческого слова, означающего «сильный, крупный». Все адроны делятся на две большие группы — мезоны и барионы.

Барионы (от греческого слова, означающего «тяжелый») — это адроны с полуцелым спином (см. *Спин*). Самые известные барионы — протон и нейтрон. К барионам при-

Наиболее известные адроны.



надлежит также ряд частиц с квантовым числом, названным когда-то *странным*. Единицей странности обладают барион лямбда (Λ^0) и семейство барионов сигма (Σ^- , Σ^+ и Σ^0). Индексы $+$, $-$, 0 указывают на знак электрического заряда или нейтральность частицы. Двумя единицами странности обладают барионы кси (Ξ^- и Ξ^0). Барион Ω^- имеет странность, равную трем. Массы перечисленных барионов примерно в полтора раза больше массы *протона*, а их характерное время жизни составляет около 10^{-10} с. Напомним, что протон практически стабилен, а *нейтрон* живет более 15 мин. Казалось бы, более тяжелые барионы очень недолговечны, но по масштабам микромира это не так. Такая частица, даже двигаясь относительно медленно, со скоростью, скажем, равной 10% от световой, успевает пройти путь в несколько миллиметров и оставить свой след в детекторе элементарных частиц (см. *Детекторы ядерных излучений*). Одним из свойств барионов, отличающих их от других видов частиц, можно считать наличие у них сохраняющегося *барионного* заряда. Эта величина введена для описания опытного факта постоянства во всех известных процессах разности между числом барионов и антибарионов (см. *Четность*, *Лептоны*, *Протон*).

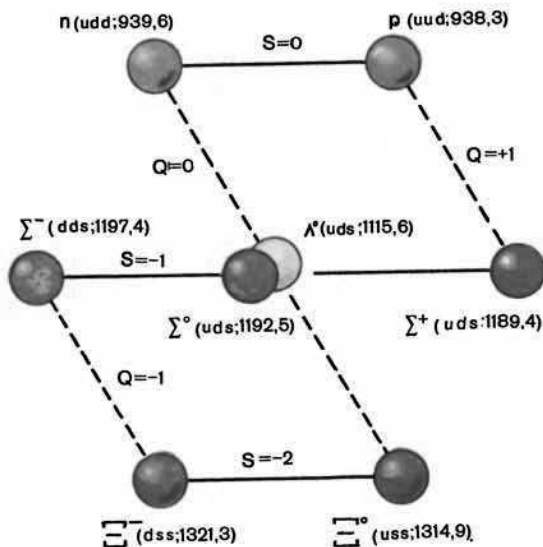
Мезоны — адроны с целым спином. Название произошло от греческого слова, означающего «средний», поскольку массы первых открытых мезонов имели промежуточные значения между массами *протона* и *электрона*. Барионный заряд мезонов равен нулю. Легчайшие из мезонов — пионы, или пи-мезоны π^- , π^+ и π^0 . Их массы примерно в 6—7 раз меньше массы протона. Более массивны странные мезоны — каоны K^+ , K^- и K^0 : их массы почти в два раза меньше массы протона. Характерное время жизни этих мезонов — 10^{-8} с.

Почти все адроны имеют античастицы. Так, барион сигма—минус Σ^- имеет античастицу антисигма—плюс $\bar{\Sigma}^+$, которая отлична от Σ^+ . То же самое можно сказать и о других барионах. С мезонами дело обстоит несколько иначе: отрицательный пион — античастица положительного пиона, а нейтральный пион античастицей сам себе. В то же время нейтральный каон K^0 имеет античастицу \bar{K}^0 . Эти факты получают объяснение в кварковой модели адронов (см. *Кварки*).

Мир адронов огромен — он включает более 350 частиц. Большинство их очень нестабильны: они распадаются на более легкие адроны за время порядка 10^{-23} с. Это — характерное время сильных взаимодействий; за столь короткий интервал даже свет успевает пройти расстояние, равное всего лишь радиусу протона (10^{-13} см). Ясно, что столь короткоживущие частицы не могут оставить следов в детек-

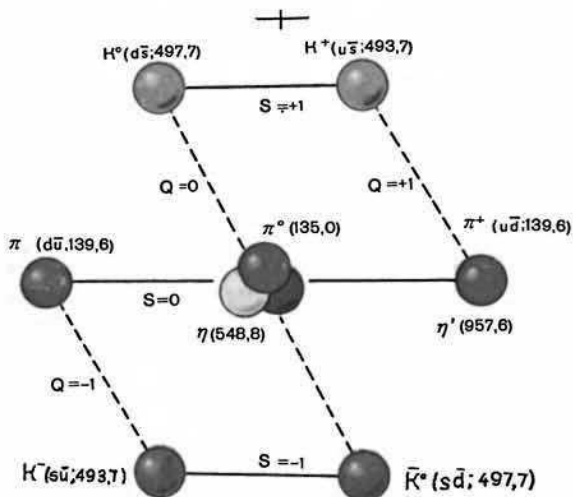
Восьмерка барионов со спином $1/2$. Одинаковый цвет указывает на близость свойств соответствующих частиц. Сплошными линиями соединены барионы с одинаковыми значениями

странности S , пунктиром — с одинаковыми значениями электрического заряда Q . В скобках приведен кварковый состав барионов и их масса в $\text{МэВ}/c^2$.



Девятка мезонов со спином 0. Мезоны с нулевыми значениями странности и электрического заряда (η^0 , η и η') состоят из

кварк-антикварковых пар $u\bar{u}$, $d\bar{d}$ и $s\bar{s}$, смешанных в разных пропорциях.



торах. Обычно их рождение обнаруживают по косвенным признакам. Например, изучают реакцию аннигиляции электронов и позитронов с последующим рождением адронов. Изменяя энергию столкновения электронов и позитронов, обнаруживают, что при каком-то значении энергии выход адронов вдруг резко увеличивается. Данный факт можно объяснить тем, что в промежуточном состоянии родилась частица, масса которой равна соответствующей энергии (с точностью до множителя c^2). Эта частица мгновенно распадется на другие адроны, и единственным следом ее появления останется пик на графике зависимости вероятности рождения адронов от энергии столкновения.

Такие короткоживущие частицы называют резонансами. Большинство барионов и мезонов — резонансы. Они не оставляют «автографов» в камерах и на фотографиях, и все же физикам удается изучать их свойства: определять массу, время жизни, спин, четность, способы распада и т. п.

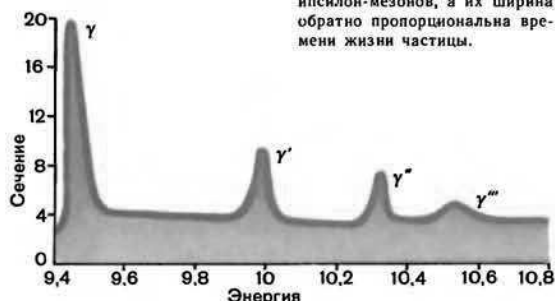
По современным представлениям адроны не являются истинно элементарными частицами. Они имеют конечные размеры и сложную структуру. Барионы состоят из трех кварков. Соответственно антибарион состоит из трех антикварков и всегда отличен от бариона. Мезоны построены из кварка и антикварка. Ясно, что мезоны, в состав которых входят пары из кварков и антикварков одного сорта, не будут иметь античастиц. Кварки удерживаются внутри адронов глюонным полем (см. *Сильные взаимодействия*). В принципе теория допускает существование других адронов, построенных из большего числа кварков или, наоборот, из одного глюонного поля. В последнее время появились некоторые экспериментальные данные о возможном существовании таких гипотетических частиц.

Динамическая теория кварков, описывающая их взаимодействия, стала развиваться относительно недавно. Первоначально кварковая модель была предложена для «наведения порядка» в слишком многочисленном семействе адронов. Эта модель включала кварки трех видов, или, как принято говорить, ароматов. С помощью кварков удалось навести порядок в многочисленном семействе адронов, распределив их в группы частиц, называемые мультиплетами. Частицы одного мультиплета имеют близкие массы, но не только это послужило основой их классификации; кроме опытных данных в этом случае использовали специальный математический аппарат теории групп.

В дальнейшем оказалось, что трех кварковых ароматов недостаточно для описания всех адронов. В 1974 г. были открыты так называемые пси-мезоны, состоящие из кварка и антикварка нового вида ($c\bar{c}$). Этот аромат был назван очарованием. Новый очарованный кварк c оказался гораздо тяжелее своих «собратьев»: легчайшая из пси-частиц — мезон J/ψ — имеет массу 3097 МэВ, т. е. в 3 раза тяжелее протона. Время ее жизни около 10^{-20} с. Было открыто целое семейство пси-мезонов с тем же кварковым составом $c\bar{c}$, но находящихся в возбужденных состояниях и вследствие этого имеющих большие массы. Было очевидно, что должны существовать и связанные состояния c -кварка с кварками других ароматов. В такого рода частицах «очарование» c -кварка не будет компенсироваться «антиочарованием» \bar{c} -кварка, как это происходит в пси-мезонах. Поэтому такие частицы получили название очарованных мезонов. Сейчас почти

Четыре ипсилон-мезона. Кривые изображают зависимость сечения (вероятности) процесса аннигиляции ($e^- + e^+ \rightarrow$

адроны) от энергии в системе центра масс сталкивающихся электронов и позитронов. Сечение измеряется в нанобарнах: 1 барн = 10^{-24} см², а энергия — в ГэВ. Положение пиков определяется массами ипсилон-мезонов, а их ширина обратно пропорциональна времени жизни частицы.



все они уже открыты. Упомянем для примера очарованный странный мезон F^+ с кварковым составом $c\bar{s}$, имеющий массу 2021 МэВ. Теория предсказывает также существование около 20 очарованных барионов, некоторые из них уже найдены в опытах, например барион Λ_c^+ с составом $\bar{c}ud$ и массой 2282 МэВ.

Существование очарованного кварка было предсказано теоретиками, поскольку выяснилось, что кварки должны встречаться парами, дублетами. Неожиданно оказалось, что природа не ограничилась двумя кварковыми дублетами. В 1977 г. были открыты ипсилон-мезоны, состоящие из кварка и антикварка пятого вида b . Новый аромат получил название прелестный. Прелестные кварки еще более массивны, чем очарованные. Масса первой из ипсилон-мезонов частицы Y составляет 9456 МэВ. Это самая легкая частица из семейства ипсионов (сейчас известны четыре частицы этого семейства с кварковым составом $b\bar{b}$), но и она в 10 раз (!) тяжелее протона. В самое последнее время стало известно об открытии прелестных мезонов, в которых b -кварк соединен с антикварком другого аромата; например, B^- -мезон имеет состав $b\bar{u}$. Масса прелестных мезонов порядка 5274 МэВ. Ожидается, что b -кварк также образует кварковый дублет с еще более массивным t -кварком, пока еще не обнаруженным экспериментально.

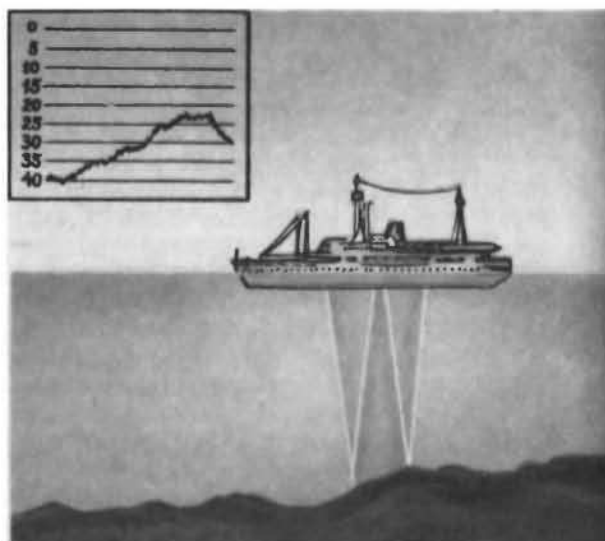
АКУСТИКА

Акустика — раздел физики, изучающий звук и его взаимодействие с веществом. В повседневной жизни это слово употребляется чаще всего в значении звуковой характеристики какого-либо помещения. О хорошей акустике театрального зала говорят, если голоса артистов ясно слышны в любом уголке, если они доходят до слушателей естественными, неискаженными. Достичь этого очень непросто.

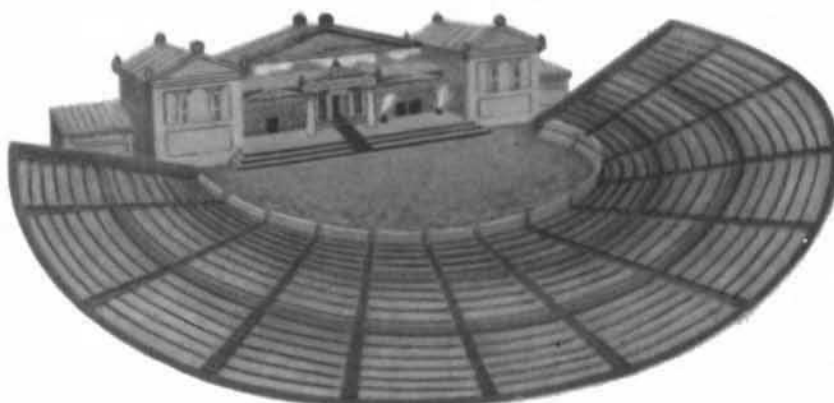
Множественно отражаясь в помещении от стен и предметов, звуковые волны могут создавать многоголосое эхо. Оно как бы блуждает по залу, постепенно затухая. Это явление называют реверберацией. От времени реверберации во многом зависит акустика помещения. Если это время велико, звуки долго не затухают, накладываются один на другой, и в зале возникает сплошная путаница голосов. Ничуть не лучше, когда время реверберации слишком мало. Стены быстро поглощают звуковые волны, и голоса делаются глухими, тембр их сильно искажается. И здесь нужно отыскать своего рода золотую середину. Этим и занимается архитектурная акустика, данные которой используют при проектировании, например, театральных и лекционных залов, зданий железнодорожных и аэровокзалов. Иная задача у строительной акустики. Она изучает распространение звуковых волн на территории городских кварталов, заводских цехов, внутри помещений и ищет способы защиты людей от шума.

Но вернемся к основному определению акустики. Оно чрезвычайно емко и охватывает множество разнообразных областей исследования и практического применения. К примеру, изучение звука и его взаимодействия с веществом привело к созданию устройств для дробления крепких горных пород и своеобразного «просвечивания» бетонной плиты или стального рельса, обеспечило «зрение» подводным судам, оно становится необходимым при конструировании самолетов, открывает новые возможности ускорять химические реакции, быстрее и полнее извлекать нефть из недр земли.

Запись рельефа дна с использованием ультразвука.



Тысячи лет назад строили театры, учитывая требования архитектурной акустики. Схема расположения голосников в большом театре (из книги римского архитектора I в. до н. э. Витрувия).



Звук распространяется в *газах, жидкостях, твердых телах* в виде чередующихся сжатий и растяжений. Вещество на пути прохождения звуковой волны то сжимается, то растягивается, испытывает, как говорят специалисты, воздействие знакопеременных нагрузок. При определенных условиях такая встряска может стать разрушительной даже для крепкой горной породы. Недавно подобным механическим воздействием звука воспользовались нефтяники. Время от времени доступ нефти к устью скважины может забиваться кусочками

глины, песчаника, образующими вместе довольно прочную пробку. Для разрушения ее в скважину спускают мощный источник звука.

В жидкостях под действием интенсивного ультразвука возникают сильные пульсации давления. Этот эффект используют для измельчения взвешенных в жидкости частиц, перемешивания жидкостей, ускорения химических реакций — поскольку в зоне резкого скачка давления молекулы реагентов сближаются друг с другом.

Скорость распространения звуковых волн зависит от свойств окружающей среды: в воде они бегут быстрее, чем в воздухе; в твердых телах — быстрее, чем в воде. А переход их из среды с одной плотностью в среду с другой плотностью сопровождается отражением и преломлением на границе раздела сред. Эти свойства легли в основу создания своеобразных «органов зрения» для невидимого обычному глазу. Так, звуковые волны низкой частоты легко проходят сквозь всю толщу Земли. Измеряя скорость распространения их в различных земных толщах, ученые исследуют внутреннее строение нашей планеты. Известно, что, крикнув в сторону леса или крутой горы и определив



время до прихода эха, можно довольно точно вычислить расстояние до них. Для этого надо умножить половину времени на скорость звука в воздухе. Аналогично действует прибор для подводного видения — гидролокатор, принимающий эхо от ультразвукового сигнала. С помощью гидролокатора измеряют глубину моря, определяют расстояние до препятствий, например до айсбергов при плавании в высоких широтах. Своеобразный ультразвуковой локатор используют и для обнаружения внутренних дефектов металла, бетона. Если внутри образца материала есть инородные включения, пустоты или трещины, ультразвуковые волны отражаются от них, как от препятствия.

Акустика сегодня все шире раскрывает свои богатейшие возможности. Так, ультразвук помогает разогревать до миллионов градусов плазму в экспериментальных термоядерных установках, а недавно ученые открыли чрезвычайно важную для авиации и других областей науки и техники удивительную способность звуковых волн — управлять течением газов и жидкостей, делать это течение вихревым, турбулентным или, напротив, превращать его в спокойное, ламинарное (см. *Турбулентность*).

АЛЬФА-РАСПАД

История открытия и изучения α -распада связана с именем Э. Резерфорда. Он предложил и названия: α -распад, α -частица. Это произошло вскоре после открытия *радиоактивности*, когда Резерфорд только начал заниматься исследованием излучения солей урана. опыты показали, что это излучение неоднородно. Одна его часть поглощалась тонкой алюминиевой фольгой, тогда как другая свободно проходила сквозь нее. Ученый назвал их соответственно α - и β -лучами. Немного позднее была обнаружена еще одна составная часть излучения, обозначенная третьей буквой греческого алфавита: γ -лучи (см. *Бета-распад*, *Гамма-излучение*).

На долгие годы α -частицы стали для Резерфорда незаменимым инструментом исследования *атомных ядер* (см. *Атом*). Ему принадлежит и первенство в выяснении природы α -частиц. Оказалось, что это — атомы гелия, потерявшие два электрона — ядра атома гелия-4.

$$\alpha \equiv {}^4_2\text{He}.$$

Ядро гелия-4, состоящее из двух протонов и двух нейтронов, одно из самых простых и устойчивых. Частицы связаны в нем так прочно, что многим другим ядрам было бы энергетически выгодно распасться на α -частицы и более легкое ядро. Однако этого не происходит. Распадаются лишь тяжелые элементы: уран,

радий, торий и некоторые другие.

Причина устойчивости ядер к α -распаду весьма необычна, и в ее установлении тоже принял участие Резерфорд. Он впервые обратил внимание на то, что α -распад, согласно законам классической физики, не имеет права на существование. Действительно, α -частица испускается тяжелым ядром и имеет при этом кинетическую энергию не более 10 МэВ. Теперь представим себе, рассуждал Резерфорд, что частица с такой энергией захотела бы проникнуть назад, в глубь ядра. Оказывается, это невозможно. Она не сможет приблизиться к ядру и войти в сферу действия ядерных сил, поскольку этому мешают силы электростатического отталкивания.

Для проникновения в ядро энергия частицы должна превышать некоторую критическую величину, так называемый потенциалный барьер. Величину барьера B_α можно оценить:

$$B_\alpha = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{(2e)(eZ)}{R_\alpha},$$

где eZ — заряд ядра, $2e$ — заряд α -частицы, R_α — радиус ядра. Для ядер, близких к урану, B_α составляет 30 МэВ.

Выходит, что природа, разрешив прямой процесс (α -распад), запретила обратный (проникновение частицы в ядро). Но во всех явлениях, с которыми до тех пор сталкивались физики, существование первого процесса всегда обуславливало возможность второго. Именно это и вызвало удивление Резерфорда.

Объяснение было дано *квантовой механикой*. В отличие от классической механики она допускает прохождение частицы сквозь барьер — туннельный переход (см. *Туннельный эффект*). С помощью туннельного перехода α -частица может попасть в тяжелое ядро. Тогда становится ясно, что с помощью такого же перехода осуществляется и α -распад. Квантовая механика восстановила равноправность прямого и обратного процессов и позволила создать теорию α -распада.

Вероятность туннельного перехода очень быстро падает с увеличением высоты и ширины потенциального барьера. Она ничтожно мала для многих ядер, и поэтому они не испытывают α -распада. А для α -активных ядер период полураспада (время распада половины ядер) меняется в очень широких пределах — от $7,13 \cdot 10^8$ лет (уран-235) до $3 \cdot 10^{-7}$ с (полоний-212), в зависимости от проницаемости барьера.

Для естественных радиоактивных изотопов энергия α -частиц лежит в пределах 2—8 МэВ, скорость порядка 10^7 м/с, пробег в воздухе — несколько сантиметров.

На современных ускорителях заряженных частиц — циклотронах, фазотронах — удается разогнать α -частицы до энергий, в сотни раз больших.