



ФИЗИКА

для каждого

образованного

человека

УДК 53
ББК 22.3
С71

Спектор, Анна Артуровна.

С71 Физика для каждого образованного человека /
А. А. Спектор. — Москва : Издательство АСТ, 2019. —
208 с.: илл. — (Всё для каждого образованного чело-
века).

ISBN 978-5-17-118144-4

Физика — это основа основ всех наук, законы, по которым существует весь наш мир и его составляющие. Названная в глубокой древности Аристотелем «наукой о движении», на протяжении столетий она смогла открыть многие законы мироздания, и исследования ученых продолжаются до сих пор. Законы гравитации и параллельные вселенные, темная материя и теория струн, лазеры и ультразвук, эффект Доплера и законы Ньютона — весь спектр достижений ученых подробно и доступно представлен на страницах данного издания.

УДК 53
ББК 22.3

© Оформление, иллюстрации
ООО «Интеджер», 2019

© ООО «Издательство АСТ», 2019

© В оформлении использованы материалы,
предоставленные Фотобанком Shutterstock,
Inc., Shutterstock.com

© В оформлении использованы материалы,
предоставленные Фотобанком Dreamstime,
Inc., Dreamstime.com

ISBN 978-5-17-118144-4

КОГДА ВОЗНИКЛА НАУКА ФИЗИКА

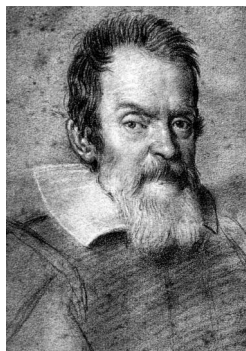
Физика исследует материальный мир, изучает фундаментальные, то есть самые общие, свойства и законы движения его объектов. Ее предмет — это пространство и время, вещество и поле, движение и силы, скорость и масса, строение атома и свойства элементарных частиц. По законам физики движутся планеты вокруг Солнца и летают космические корабли, дует ветер и идет дождь, извергаются вулканы и происходят землетрясения, а мы ходим по земле. Физика лежит в основе всего естествознания. Но вопрос, когда возникла эта наука, не так прост.

Само это слово происходит от древнегреческого φύσις — «природа». Аристотель (384—322 до н. э.) дал название «Физика» своему трактату, где исследовал движение и его причины, материю и ее формы. Он же создал логику и утверждал, что всякое знание «должно быть приобретено из опыта». Выводы Аристотеля касательно движения оказались неверными и позже были опровергнуты. Архимед (287—212 до н. э.) открыл свой знаменитый закон и многого достиг в области механики. Выдающийся инженер Герон Александрийский (вторая половина I в. н. э.) сделал несколько выдающихся изобретений и открытий. Однако долгие века физика, как и другие области естествознания, оста-

валась частью натурфилософии, в которой знания о природных явлениях сочетались с различными умозрительными рассуждениями и ошибочными выводами. Так, учение Аристотеля о движении было принято за аксиому и не оспаривалось долгие века. Поэтому считается, что физика как наука появилась чуть более четырех веков назад, в начале XVII в., когда начала воплощаться величайшая идея научного метода и создаваться новая научная картина мира. Этот период называется научной революцией. И основоположником ее признан Галилео Галилей. Это он заявил, что математика необходима для изучения природы, и предложил два принципа механики: принцип



Аристотель, впервые назвавший физикой изучение природы движения.



Галилео Галилей (1564—1642) стоит у основ современной экспериментальной физики. Во многом благодаря ему наука перешла от умозрительных рассуждений к непосредственному наблюдению природы и опытам над ней. Однако ученый постоянно обращался и к мысленному эксперименту.

СОЛНЦЕ В ЦЕНТРЕ МИРА

Первой ласточкой научной революции была книга Николая Коперника «Об обращении небесных сфер», опубликованная в 1543 г. и утверждавшая гелиоцентрическую систему мира. Поэтому многие относят начало научной революции к этому году, хотя современная физика все же появилась позже — уже при Галилее.

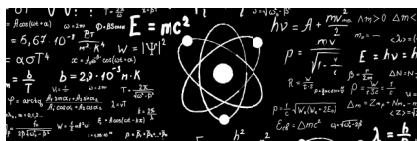


Николай Коперник (1473—1543) создал гелиоцентрическую систему мира, которую позднее защитил Галилей.

относительности и принцип постоянства ускорения силы тяжести. Галилей, опровергнув утверждение Аристотеля о перводвигателе, необходимом для всякого движения, доказал, что при отсутствии внешних сил тело будет либо покоиться, либо равномерно двигаться. Этот закон позднее был сформулирован как первый закон Ньютона. На работах Галилея, а также Кеплера основана механика Ньютона. Именно отсюда началась классическая физика, которая ныне не опровергнута, а только расширена.

ЯЗЫК, НА КОТОРОМ НАПИСАНА КНИГА ВСЕЛЕННОЙ

Галилей утверждал, что книга Вселенной открыта для нас, но понять ее можно, только постигнув ее язык и научившись толковать символы, которые она использует. Написана эта книга на языке математики, а символами ее являются геометрические фигуры, без которых человек «был бы обречен блуждать в потемках по лабиринту». Эта великая идея лежит в основе современного естествознания, и особенно физики, которая проникнута математикой больше, чем какая-либо другая наука.



ВОПРОС, ЗАДАННЫЙ ПРИРОДЕ

Научный метод — совокупность способов получения новых знаний и решения задач. Его путь идет от фактов и гипотез к теории. Факты получают с помощью наблюдений и опытов, гипотезы тоже подвергаются экспериментальной проверке. Галилей утверждал, что опыт — это не простое наблюдение, а осмысленный вопрос, который задается природе. Причем эксперимент может быть и мысленным, если его результаты несомненны. Однако опыт сам по себе не ведет к обретению достоверного знания. Ответ, который мы получили от природы, следует подвергнуть анализу, и в результате исходная модель может быть пересмотрена. Таким образом, познание включает и синтез, и анализ. Этот метод стал основой современной физики, как и всей науки.



Экспериментальная физика неразрывно связана с физической теорией и достижениями техники.

ГАЛИЛЕЙ И ПИЗАНСКАЯ БАШНЯ

Аристотель утверждал, что скорость падения зависит от веса тела. Галилей же, проведя ряд экспериментов, сделал вывод, что это не так. Он доказал, что скорость падающего тела нарастает пропорционально времени, а путь — пропорционально квадрату времени. Ученик Галилея Винченцо Вивiani написал биографию своего учителя, где рассказал, что Галилей для проверки своей теории сбросил с Пизанской башни два шара разной массы. Он обнаружил, что шары упали с одинаковым ускорением. Правда, сегодня многие ученые считают, что эксперимент Галилея был мысленным.

Независимо от того, был ли эксперимент Галилея по бросанию предметов с Пизанской башни реальным или мысленным, утверждение Аристотеля он опроверг.



ИЗМЕРЕНИЕ И ЭТАЛОНЫ, ИЛИ НЕ НАДО МЕРИТЬ НА СВОЙ АРШИН

Галилео Галилей говорил: «Тот, кто хочет решать вопросы естественных наук без помощи математики, ставит неразрешимую задачу. Следует измерять то, что измеримо, и делать измеримым то, что таковым не является». Дмитрий Иванович Менделеев также писал, что «наука начинается там, где начинают измерять. Точная наука немыслима без меры». Поэтому роль измерения чрезвычайно велика и в физике, и в технике, и, конечно, в обыденной жизни.

Существовало и существует множество единиц измерения физических величин. Они были различными в разных государствах и даже в одной стране, а преобразования между ними — сложными. Недаром возникла пословица: «Всяк на свой аршин меряет». Постепенно созрела идея упорядочивания единиц измерения. Во время Великой французской революции во Франции начали разрабатывать новую систему мер — метрическую, основанную на десятичной системе исчисления. Для этого были введены новые меры длины, массы и объема — соответственно метр, грамм (потом килограмм), литр. Метрическая система совершеннее традиционных, потому что использует упорядоченный набор единиц измерения. Чтобы преобразовать, например, метры в сантиметры, достаточно умножить число на 100, то есть переставить запятую в десятичной дроби. Перевести же ярды в футы или дюймы гораздо сложнее.

Национальным собранием Франции в 1795 г. метр был определен как одна десятиллионная одной четверти длины земного меридиана от Северного полюса до экватора. При этом измерялась длина Парижского меридиана, проходившего через Парижскую обсерваторию. Был также определен грамм как масса кубического сантиметра воды при температуре плавления льда. Таким образом, килограмм — это масса кубического дециметра воды. В 1799 г. эталоны метра и килограмма были изготовлены из платины и переданы в парижский архив, потому и названы архивными метром и килограммом.

Метрическая система была окончательно утверждена во Франции в 1837 г., а в 1875 г. 17 стран, в том числе и Россия, подписали Метрическую конвенцию, целью которой стала координация метрологических эталонов

для мирового научного сообщества. Для этого были созданы Международное бюро мер и весов и Генеральная конференция по мерам и весам, которая созывается раз в четыре года. К тому времени оказалось, что металлические эталоны метра можно сравнивать друг с другом с меньшей погрешностью,

100 РАЗНЫХ ФУНТОВ

Фунт — единица измерения массы, которая была принята во многих странах Европы. В Средние века каждый феодал мог устанавливать свою систему мер у себя на землях, и даже в XVIII в. в Европе имелось более 100 различных фунтов. Различия сохранялись и позже. Например, английский фунт равен 0,45359237 кг, французский — 0,489505 кг, русский — 0,40951241 кг. Метрическая система мер и Международная система единиц смогли внести в измерения упорядоченность. Сегодня существует также метрический фунт, который равен 0,5 кг.



Парижская обсерватория. Меридиан, проходящий через нее, наряду с меридианом Ферро использовался как нулевой до 1884 г. Сегодня же Западное и Восточное полушария разделяет Гринвичский меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию в Лондоне.

Эталоны мер существовали задолго до появления метрической системы. Так, в Великом Новгороде начиная с 1136 г. в церкви Ивана на Опоках хранились такие контрольные эталоны, как гривенка рублевая для взвешивания драгоценных металлов, локоть иванский для измерения длины сукна, медовый пуд для измерения массы. Медовым пуд назывался потому, что эта церковь принадлежала купеческой общине (гильдии), торговавшей воском и медом. Все купцы Новгорода должны были ежегодно сверять с эталонами свои гири и мерила.



Эталоны мер и весов в Новгородской республике контролировал архиепископ. Его избирало вече.

чем сопоставляя каждый из них с меридианом. Металлические эталоны килограмма также сравниваются между собой с большей точностью, чем с кубическим дециметром воды. К 1889 г. были изготовлены новые эталоны из платиново-иридиевого сплава, которые с тех пор хранятся в Международном бюро мер и весов в Севре. Но Международная система единиц (СИ) продолжала и продолжает подвергаться ревизии. Сегодня она основывается на следующем принципе: основные единицы должны основываться не на артефактах, созданных человеком, а на свойствах атомов или фундаментальных физических постоянных. Поэтому находящийся в Севре эталон метра имеет сегодня лишь историческое значение. Еще с 1961 г. метр определяется как длина пути, проходимого светом в вакууме за $1/299\,792\,458$ с. Эталон

килограмма действует до сих пор, но его хотя бы привязать к одной из физических констант — постоянной Планка.

ТОЧНОСТЬ, БЕЗ КОТОРОЙ НЕ БЫЛО БЫ ОТКРЫТИЙ

Средства измерения — это и измерительные приборы, и меры, и измерительные преобразователи. Измерительные приборы необходимо калибровать по эталону, чтобы они давали минимальную погрешность. Чем точнее средство измерения, тем больше открытий можно сделать с его помощью. Например, увеличив точность измерения плотности воды, в 1932 г. оказалось возможным открыть дейтерий — тяжелый изотоп водорода.

СИСТЕМА СИ

Сегодня практически во всем мире, кроме США, Либерии и Мьянмы, действует Международная система единиц (СИ — Le Système International d'Unités, SI). Она основана на международной системе физических величин, в которой одни величины являются независимыми, а другие — их функциями. Основных физических величин и соответствующих им единиц семь: длина (единица — метр), масса (килограмм), время (секунда), электрический ток (ампер), термодинамическая температура (кельвин), сила света (кандела), количество вещества (моль).

Единицы физических величин.



Секунда



Метр



Кельвин



Килограмм



Ампер



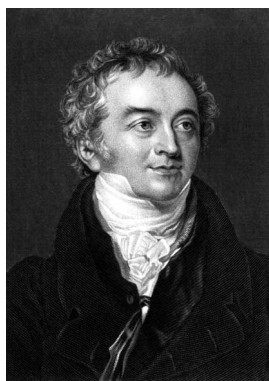
Кандела



Моль



Годфрид Вильгельм Лейбниц (1646—1716) ввел понятие «живая сила». Сегодня, после важного уточнения, внесенного Кориолисом в формулу Лейбница, так называют кинетическую энергию.



Томас Юнг (1773—1829), английский ученый, который впервые ввел понятие механической энергии в современном понимании. Гравюра Генри Адларда с картины Томаса Лоуренса.

ЭНЕРГИЯ — ОСНОВА ВСЕЛЕННОЙ

Одно из фундаментальных понятий физики — это энергия, мера движения и взаимодействия всех видов материи. Идея энергии включена во множество физических законов и теорий. А как природное явление энергия является основой существования самой Вселенной. Один из главных законов физики — это закон сохранения энергии, который, в свою очередь, является одним из фундаментальных законов сохранения.

Впервые термин «энергия» использовал Аристотель, он понимал под энергией еще не заверщенное движение. Лейбниц в XVII в. предложил понятие «живая сила». Он определил ее как произведение массы на квадрат скорости. Теперь под ней понимают удвоенную кинетическую энергию. Лейбниц верил, что живая сила сохраняется.

ОДИН ЗАКОН — РАЗНЫЕ ФОРМУЛИРОВКИ

В различных областях физики закон сохранения энергии формулируется по-разному. Например, в термодинамике он звучит так: «Изменение внутренней энергии термодинамической системы при переходе ее из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил над системой и количества теплоты, переданного системе». При этом оно не зависит от способа, посредством которого осуществляется этот переход. Этот закон называется также первым началом термодинамики. Однако в любой формулировке этот закон отражает главное — однородность времени. Это означает, что физические законы в одних и тех же условиях, но в разное время наблюдения проявляются одинаково.

НЕКОТОРЫЕ ВИДЫ ЭНЕРГИИ

Ядерная энергия (атомная энергия) — это энергия, содержащаяся в атомных ядрах и выделяемая при ядерных реакциях.

Гравитационная энергия — потенциальная энергия системы тел (частиц), обусловленная их взаимным тяготением.

Электромагнитная энергия — энергия, характеризующая взаимодействие электрических зарядов, магнитных полей и фотонов.

Химическая энергия — вид потенциальной энергии, которая запасена в химических связях.

ЭНЕРГИЯ ВОЗМОЖНОСТИ



В качестве примера взаимодействия частей одного тела можно привести пружину. Сжата она или же растянута, в ней возникает сила упругости. В результате пружина возвращается в исходное состояние. Но до возвращения она обладает потенциальной энергией, или возможностью совершить движение. Пружина имеет одну, и взаимодействуют между собой ее части, которые перемещаются относительно друг друга.

В современном смысле термин «энергия» впервые использовал Томас Юнг в 1807 г. Дело в том, что, как ни странно, долгое время живая сила считалась абстракцией, математическим термином, не важным для практики. И это несмотря на то, что существовало множество механизмов, работавших с ее использованием. Однако распространение паровых двигателей потребовало разработки новых понятий и формул для описания работы этих механизмов. И инженеры, и физики, и математики высказывались в том смысле, что способность совершать определенные действия, то есть работа, связана с живой силой системы. Связь между работой и живой силой раскрыл Гаспар-Гюстав Кориолис в 1829 г. Он предложил считать живой силой величину, равную половине произведения массы на квадрат скорости. Он говорил, что «если ранее наименование «живая сила» давалось произведению массы на квадрат скорости, то это было потому, что не уделялось внимания работе».

Сам термин «кинетическая энергия» ввел Уильям Томпсон, будущий лорд Кельвин, именем которого потом называли абсолют-

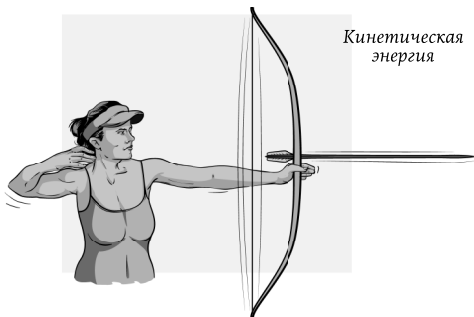
ную шкалу температур. Произошло это не позднее 1851 г. А понятие потенциальной энергии ввел Уильям Ренкин в 1853 г.

Итак, энергия — это физическая величина, определяющая способность тела (или системы тел) совершить работу. Иными словами, чем большая энергия имеется у тела, тем большую работу оно способно совершить. В механике принято различать два вида энергии — кинетическую и потенциальную. Кинетическая энергия обусловлена движением тел и обозначается формулой $E = mv^2/2$, где m — масса, v — скорость. Потенциальная энергия обусловлена взаимодействием тел, их взаимным расположением и выражается формулой $E = mgh$, где m — масса, g — ускорение силы тяжести, h — высота над поверхностью Земли. Проще говоря, потенциальная энергия — это возможность совершить работу, кинетическая же — энергия, которой обладают тела вследствие совершения работы (своего движения). Чтобы найти энергию тела, нужно определить работу, которая необходима для перевода тела в данное состояние из такого, в котором энергия равна нулю.

Потенциальная энергия



Кинетическая энергия



При натягивании лука стрела обладает потенциальной энергией, у летящей стрелы энергия переходит в кинетическую.

Приведем простой пример. Когда мы подбрасываем мяч, мы придаем ему энергию. При полете вверх его кинетическая энергия (энергия движения) расходуется и уменьшается. Потенциальная же энергия увеличивается и достигает максимума в самой верхней точке. Используя эту потенциальную энергию, мяч падает вниз. При этом потенциальная энергия уменьшается, а кинетическая по мере приближения к земле растет.

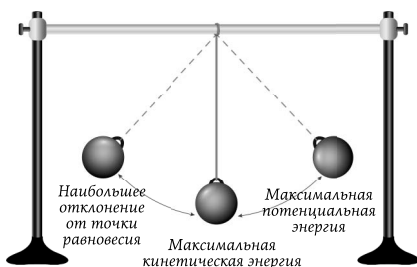
Таким образом, потенциальная и кинетическая энергии переходят одна в другую, но их сумма, которая называется полной механической энергией системы, остается неизменной. Это и есть закон сохранения энергии, принятый в классической механике.



Чем больше скорость тела в данный момент и его масса, тем большей кинетической энергией оно обладает.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИКЕ

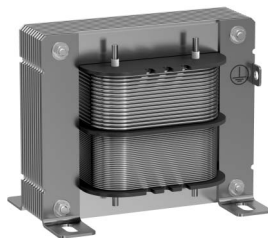
Классический пример справедливости закона сохранения энергии — это действие пружинного или математического маятника, чье затухание пренебрежимо мало. Когда пружинный маятник имеет груз, в крайних его положениях потенциальная энергия деформированной пружины достигает максимума. Затем она переходит в кинетическую энергию груза и достигает максимального значения, когда груз проходит положение равновесия.



Полная механическая энергия замкнутой системы тел, между которыми действуют только консервативные силы, работа которых не зависит от формы траектории, остается постоянной.

КПД

Энергетические характеристики движения вводятся на основе понятий работы и мощности. Работой, совершаемой постоянной силой F , называется физическая величина, равная произведению модулей силы и перемещения, умноженному на косинус угла между векторами силы F и перемещения S . Мощность — это работа силы, совершаемая в единицу времени. Очень важен КПД (коэффициент полезного действия), который равен отношению полезной работы к затраченной либо же полезной мощности к затраченной. В принципе, КПД характеризует, насколько эффективно работает машина или механизм в отношении преобразования либо передачи энергии. Поскольку энергия постоянно уходит на трение, нагревание окружающих тел и другое, КПД всегда меньше единицы. Его выражают в долях затрачиваемой энергии. Так, КПД тепловых электростанций достигает примерно 35—40%, двигателей внутреннего сгорания с наддувом и предварительным охлаждением — 40—50%, динамомашин и генераторов большой мощности — 95%.



КПД трансформаторов может достигать 98%.

КАК ПРЕОБРАЗУЕТСЯ ЭНЕРГИЯ

И в природе, и в технике постоянно осуществляется переход из одного вида энергии в другой. Энергия солнечного света в результате фотосинтеза превращается в химическую энергию органических веществ, запасаемых растением. Та же солнечная энергия, согревая Землю и всех живущих на ней, переходит во внутреннюю энергию тел, находящихся на поверхности земли. На гидроэлектростанциях механическая энергия водного потока преобразуется в электрическую, а в тепловых электростанциях химическая энергия топлива становится механической энергией вращения вала электрогенератора, а затем электрической энергией. Это говорит о том, что энергия, несмотря на столь различные источники и определения, обладает единым свойством — способностью совершать работу и неразрывно связана с важнейшим свойством нашего мира — движением.

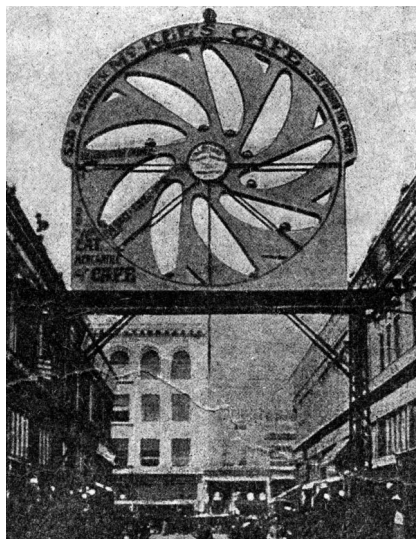
ЛОШАДИ ПОД КАПОТОМ

Долгие тысячелетия источником механической энергии служила мускульная сила людей и животных, главным образом лошадей. Поэтому изобретатель универсальной паровой машины Джеймс Уатт решил показать, что его устройство способно заменить много лошадей. Он вычислил, на что способна одна лошадь, и ввел единицу мощности — лошадиную силу. В современных единицах измерения одна лошадиная сила требуется, чтобы поднять груз в 75 кг на высоту 1 м за 1 с. Лошадиные силы очень долго использовались в технике, пока их не заменили метрическими единицами — ваттами, названными в честь изобретателя.



ПОЧЕМУ НЕВОЗМОЖЕН ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Изобретатели в течение многих веков не раз пытались осуществить идею вечного двигателя. Вечный двигатель первого рода — это машина, которая должна постоянно совершать работу без поступления энергии из дополнительных источников. Но закон сохранения энергии в применении к машинам и механизмам говорит о том, что энергия не может ни возникать, ни исчезать, а может быть только преобразована в другие виды энергии или работу. А поскольку работа превращается в энергию, и наоборот, для машин и механизмов закон сохранения энергии может быть записан следующим образом: Работа на входе = Работа на выходе + Потери на трение. Ведь в реальных (а не идеальных) машинах часть энергии теряется из-за трения и потерь тепла. Поэтому вечный двигатель невозможен.



Вечный двигатель первого рода — это воображаемое устройство, которое вырабатывает полезную работу в большем количестве, чем количество сообщенной этому устройству энергии. Согласно закону сохранения энергии, точнее первому началу термодинамики, подобное невозможно.

ВЕЗДЕСУЩИЕ КОЛЕБАНИЯ

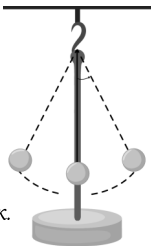
Теория колебаний создавалась многими учеными. Что неудивительно — эти процессы присущи всем явлениям природы и постоянно используются на практике. Это и движение маятника, и колебания частиц, составляющих жидкости и газы, и колебания электромагнитных волн — все процессы, при которых движения части системы или ее состояния регулярно повторяются во времени. Ученые различают колебания и волны: при колебаниях передается вещество, при волнах — энергия. Максимальное значение, которое принимает колебательная система, называется амплитудой колебаний.

Колебания, которые протекают из-за внешнего периодического воздействия, называются вынужденными. Это и колышущаяся под ветром листва, и движение наших рук и ног при физических упражнениях. Свободными, или собственными, колебаниями называются такие, которые происходят под воздействием внутренних сил уже после того, как система выведена из равновесия. В реальных условиях свободные колебания всегда затухающие. Это, например, колебания груза, прикрепленного к пружине или нити. Колебания, при которых у системы имеется запас потенциальной энергии, расходу-

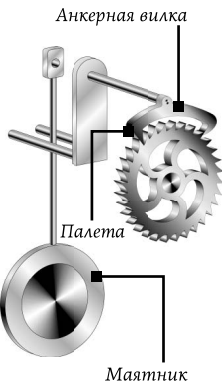
ющийся на их совершение, называются автоколебаниями. Такие автоколебания происходят в механических часах. В кварцевых часах колебательная система основана на кристалле кварца, что дает намного большую точность хода, чем в механических. Если частота вынуждающей силы оказывается равна или кратна частоте собственных колебаний системы, то амплитуда колебаний резко возрастает — и возникает резонанс. Это явление впервые описал в 1602 г. Галилей при исследовании маятников и музыкальных струн. С помощью резонанса можно выделить и усилить самые

МАЯТНИК

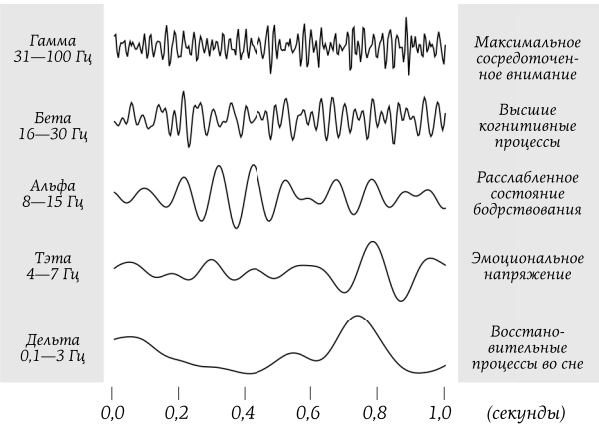
Маятник — это система, которая подвешена в поле тяжести и совершает механические колебания под действием сил тяжести, упругости и трения. Однако силами трения можно во многих случаях пренебречь, а от сил упругости или тяжести абстрагироваться.



Маятник.



Часовой механизм с маятником.



Электрические колебания мозга человека.

слабые периодические колебания, что и обуславливает его широкое применение в различного рода резонаторах. Но, с другой стороны, резонанс способен привести к необратимым разрушениям в самых разных системах. Поэтому его изучение так важно.



Чтобы предотвратить механический резонанс в подвеске вагонной тележки, в ней устанавливают две параллельные пружины с разной жесткостью.

РЕЗОНАНС ДЛЯ РАЗВЛЕЧЕНИЯ

Самая наглядная и известная механическая резонансная система — качели. Раскачивая качели согласно их резонансной частоте, можно увеличить размах движения. В противном случае движения начнут затухать.



ТАЙНЫ ГИТАРНЫХ СТРУН

Струны музыкальных инструментов — скрипки, гитары, фортепьяно — обладают основной резонансной частотой, которая напрямую зависит от силы натяжения струны, ее длины и массы. Усиливая натяжение струны, уменьшая ее толщину и длину, можно увеличить ее резонансную частоту. Если придать струне колебание кратким воздействием — ударом молоточка или щипком пальцев, то она начнет колебание на всех частотах, которые присутствуют в приданном ей импульсе. Но частоты, которые не совпадают с резонансными, очень быстро затухнут, и услышим мы лишь гармонические колебания, то есть музыкальные ноты.



Струны издают гармонические колебания — такие, которые происходят по закону синуса или косинуса, так называемому гармоническому закону.

ПОЧЕМУ НЕЛЬЗЯ ХОДИТЬ ПО МОСТУ В НОГУ

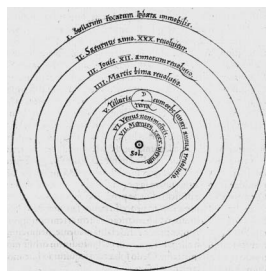
В середине XIX в. близ французского города Анжур произошла трагедия. По мосту проходил отряд солдат. Вдруг мост стал раскачиваться и обвалился. Двести двадцать шесть человек погибли на месте. Виной всему оказался резонанс. Солдаты шли в ногу, и частота их шага совпала с собственной частотой колебания моста. Они раскачали мост, как дети раскачивают качели. Размах колебаний моста оказался выше допустимых пределов прочности, и мост развалился. С этих пор солдатам всякий раз приказывают «сбить ногу» при входе на мост.



Известно несколько достоверных сообщений о разрушении мостов в результате резонанса.

СОЛНЦЕ И ПЛАНЕТЫ: ВЕЧНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Идеям о том, как устроен мир, многие тысячи лет. Уже в Древней Греции существовали геоцентрические системы, которые помещали в центр мира Землю, и гелиоцентрические системы, где в центре мира было Солнце. В Средневековье господствовал геоцентризм, но в 1543 г. Коперник создал гелиоцентрическую систему. Иоганн Кеплер открыл законы движения планет, доказав правоту Коперника, в то же время уточнив и исправив некоторые его положения. Позднее Ньютон доказал правильность этих законов, дополнив их и открыв закон всемирного тяготения.



*Изображение
гелиоцентрической
системы в книге
Коперника.*

Полтора тысячелетия в Европе господствовала геоцентрическая система в варианте Клавдия Птолемея. Чтобы объяснить движение планет, он ввел сложную систему эпициклов. Он считал, что вокруг Земли движется некоторая воображаемая точка, описывая окружность, — деферент. Вокруг этой точки вращается планета, описывая свою окружность — эпицикл. Причем эпициклов приходилось вводить несколько, иначе невозможно было объяснить различные явления природы. Об этой системе король Кастилии Альфонсо X Мудрый, живший в XIII в., заметил, что он предложил бы Богу придумать что-нибудь попроще.

Такой теорией оказалась система Коперника. Коперник поставил в центр мира светило, точнее центр земной орбиты. Планеты, в том числе и Земля, вращались вокруг него по окружностям. За ними находилась сфера неподвижных звезд. Коперник не отказался от эпициклов, но сумел вычислить периоды обращений планет, расстояния от них до

СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА

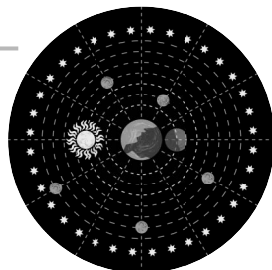
Система отсчета — это совокупность системы координат и системы отсчета времени, связанных с телом отсчета, относительно которого совершается движение. Геоцентрическая и гелиоцентрическая картины мира (точнее, Солнечной системы) отличаются системой отсчета. Геоцентрическая система рассматривается в системе отсчета, связанной с Землей, а гелиоцентрическая — в системе отсчета, связанной с Солнцем. Последняя гораздо проще и удобнее объясняет окружающий мир.

Солнца и объяснил так называемые попятные движения.

Математический аппарат, который использовал Коперник, оценили сразу: это был прекрасный инструмент для расчета движений планет, реформы календаря. А система

СПАСЕНИЕ ЯВЛЕНИЙ

Спасение явлений — термин, возникший еще в Древней Греции. Это фиксация наблюдаемых данных. То есть теория должна хотя бы частично воспроизводить наблюдаемые данные, быть эмпирически адекватной. Геоцентрическая система Птолемея эту задачу некоторое время выполняла, и с ее помощью можно было предсказывать сложные движения планет.

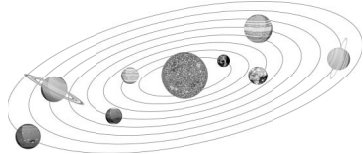


Геоцентрическая система была для своего времени выдающимся достижением человеческой мысли и применялась на практике.

мироздания вызвала споры и возражения, потому что она явно противоречила церковному учению и принятой системе Птолемея. Многие старались найти компромисс между двумя системами. Так, датский астроном Тихо Браге (1546—1601) был сторонником геогелиоцентрической системы мира, согласно которой Земля находится в центре мира, вокруг нее обращаются Солнце и Луна, а известные тогда планеты — Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн — вращаются вокруг Солнца. Но именно многолетние астрономические наблюдения Тихо Браге позволили Иоганну Кеплеру вывести три закона движения планет, которые внесли важнейший вклад в развитие гелиоцентрических идей. Особенно помогли Кеплеру многолетние наблюдения Тихо Браге за планетой Марс. Он пришел к выводу, что планеты движутся не по круговым орбитам, а по эллиптическим, что вносило уточнение в гелиоцентрическую систему. Кеплер не делал точных расчетов, его выводы были чисто эмпирическими, но оказались верными. Теоретическое обо-

ТРИ ЗАКОНА КЕПЛЕРА

1. Каждая планета Солнечной системы обращается по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.
2. Каждая планета движется в плоскости, проходящей через центр Солнца, при этом радиус-вектор (то есть направленный отрезок, соединяющий Солнце и планету) за равные промежутки времени описывает равные площади. Чем ближе планета к солнцу, тем быстрее она вращается, чем дальше она от светила, тем меньше ее скорость.
3. Квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы больших полуосей орбит планет. Этот закон также называют законом гармонии.



И планеты, и Солнце, строго говоря, обращаются вокруг общего центра масс, который находится внутри Солнца.

снование им дал Исаак Ньютон, открывший закон всемирного тяготения и обобщивший законы Кеплера. Они справедливы не только для движения планет, но и для любых тел, в том числе искусственных спутников Земли.



Памятник Тихо Браге и Иоганну Кеплеру в Праге.

НЕБЕСНЫЙ ЗАМОК

Тихо Браге прославился своими высокоточными астрономическими наблюдениями. На датском острове Вен он построил обсерваторию, которую назвал Ураниборг, в честь музы астрономии. Двадцать лет ученый работал в Ураниборге, потом переехал в Прагу, где стал придворным астрологом и математиком при дворе императора Священной Римской империи Рудольфа II. Браге пригласил в Прагу Кеплера, так как ему нужен был математик для обработки данных. После смерти датского астронома в 1601 г. Кеплер получил его инструменты и данные наблюдений.

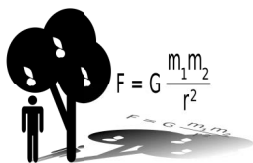


На острове Вен, сейчас принадлежащем Швеции, располагалась обсерватория Ураниборг, которая была разрушена после того, как король изгнал Тихо Браге с острова.

РАЗНАЯ СКОРОСТЬ ЗЕМЛИ

Перигелием называется ближайшая к Солнцу точка орбиты планеты. Афелием называется самая дальняя от него точка. В перигелии скорость Земли больше, чем в афелии, в 1,00339 раза, примерно на 1 км/с.

ВСЕМИРНОЕ ТЯГОТЕНИЕ: ПРИЛИВЫ И РАКЕТЫ



Существует легенда, что мысль о законе всемирного тяготения пришла Ньютону в голову, когда он увидел падающие яблоки.



Исаак Ньютон (1642—1727), великий английский ученый, создавший основы классической механики.

Закон всемирного тяготения Ньютона описывает гравитационное взаимодействие в рамках классической механики. Ньютон открыл этот закон примерно в 1666 г., работал над ним много лет и опубликовал только в 1687 г. Позднее он был обобщен и уточнен в общей теории относительности Эйнштейна.

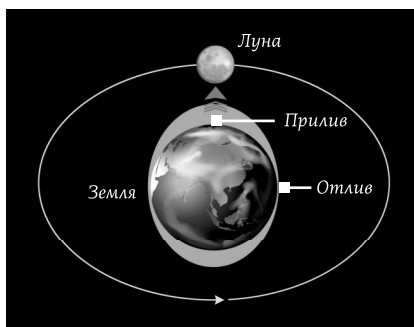
Закон всемирного тяготения говорит, что сила гравитационного притяжения между двумя материальными точками прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. В формулу вводится гравитационная постоянная G , она характеризует гравитационное поле — силовое поле тяготения. Численно она равна модулю силы тяготения, действующей между двумя точечными телами, которые находятся друг от друга на расстоянии 1 м, если масса каждого равна 1 кг. Закон всемирного тяготения фундаментален: он

ОТКУДА ЛУЧШЕ ЗАПУСКАТЬ РАКЕТЫ

Сила притяжения тел к Земле называется силой тяжести. Одно из ее обозначений — $F = mg$, где g — ускорение силы тяжести. Эта величина зависит от массы планеты, ее радиуса, высоты над ее поверхностью, залежей полезных ископаемых и географической широты. Поэтому на полюсах $g = 9,83 \text{ м/с}^2$, а на экваторе — $9,79 \text{ м/с}^2$ (среднее значение — $9,81 \text{ м/с}^2$). И с экватора легче запускать ракеты в космос — топливо экономится на 10% по сравнению со средней полосой. К тому же, на экваторе можно выгоднее использовать энергию вращения Земли.

ПРИЛИВЫ И КАРАНДАШИ

Между Землей и Луной существует взаимное притяжение. Земля удерживает Луну на своей орбите, а притяжение Луны проявляется в приливах и отливах. Но закон всемирного тяготения верен для всех тел. Два карандаша тоже притягивают друг друга. Однако массы их настолько малы, что при подстановке в формулу всемирного тяготения получится очень маленькая величина. Отклонений от закона всемирного тяготения не обнаружено и на очень малых расстояниях, от 55 мкм до 9,53 мм.



Ньютон, исходя из закона всемирного тяготения, объяснил приливы и отливы притяжением Луны.

ЧЕЛОВЕК, ВЗВЕСИВШИЙ ЗЕМЛЮ

Генри Кавендиш в 1797—1798 гг. экспериментально доказал справедливость закона всемирного тяготения. На нити из посеребренной меди он подвешивал коромысло с двумя свинцовыми шарами и подводил к ним два других шара, более крупных. Гравитационное взаимодействие малых и больших шаров отклоняло коромысло на небольшой угол. Благодаря этому Кавендиш сумел определить плотность Земли, а затем ее массу. Она оказалась $5,97219 \times 10^{24}$ кг. Позднее опыты Кавендиша помогли численно определить значение гравитационной постоянной. Она, по современным данным, составляет $6,67408(31) \times 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$.



Кавендиш справедливо утверждал, что сумел взвесить Землю.

проявляется, когда планеты движутся вокруг Солнца, когда мы ходим по Земле, когда космические аппараты летят по своим орбитам. Поэтому он постоянно применяется и в космонавтике, и в других областях. Идею всеобщей силы тяготения не раз высказывали до Ньютона, однако именно он создал целостную модель, которая включает закон всемирного тяготения, закон движения, или второй закон Ньютона, и математический аппарат (дифференциальное и интегральное исчисления). Исаак Ньютон показал, что движение планет говорит о существовании центральной силы. Благодаря ей небесные тела движутся по эллипсам, параболам или гиперболам. Таким образом, законы Кеплера в уточненном и обобщенном виде выводятся из закона всемирного тяготения.

Однако эта блестящая модель не позволяет объяснить некоторые противоречия, связанные с тяготением. Впоследствии оказалось, что закон всемирного тяготения выполняется при скоростях, гораздо меньших скорости света, и в таких системах, где гравитационный потенциал не очень велик, например

в Солнечной системе. Вообще же теория Ньютона — частный случай или приближение общей теории относительности.

СИЛА ТЯЖЕСТИ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Для измерения силы тяжести создали особые приборы — гравиметры. Они широко используются при поиске полезных ископаемых. К примеру, над залежами мрамора сила тяжести ниже, а над плотными рудными породами, например свинцовыми, выше. Зная это, можно обойтись без дорогостоящего бурения.

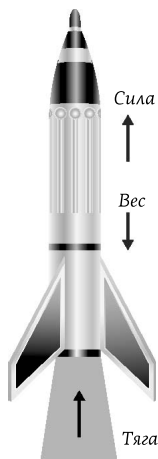


Минералы обладают разной плотностью, что приводит к изменению показаний гравиметра.

ПРЕОДОЛЕНИЕ ТЯГОТЕНИЯ

Преодолевая силу тяготения Земли и других небесных тел, космический корабль развивает определенную скорость. Для выхода на орбиту планеты требуется первая космическая скорость. Для Земли она равна 7,9 км/с. Чтобы покинуть ее орбиту, нужна вторая космическая скорость. Для Земли $V_2 = 11,2$ км/с. Чтобы улететь из Солнечной системы, необходима третья космическая скорость — 16,6 км/с. При неблагоприятных условиях придется разогнаться до 72,8 км/с. Четвертая космическая скорость понадобится, чтобы покинуть пределы Галактики. Она не меньше 217 км/с — скорости движения Солнца вокруг центра Галактики. Точнее сказать невозможно: мы не знаем, как в Галактике распределяется вещество.

ИНЕРЦИЯ: ПЕРВЫЙ ЗАКОН НЬЮТОНА



Первый закон
Ньютона.

Движение тел подчиняется законам динамики, отнесенным к отделу механики. Эти фундаментальные законы природы вывел Ньютон на основе работ своих великих предшественников, создав основы классической механики. Всего их три, причем первый закон сегодня, в современной формулировке, постулирует очень важный принцип — существование инерциальных систем отсчета и называется также законом инерции.

В своей книге «Математические начала натуральной философии» Исаак Ньютон сформулировал первый закон механики в следующем виде: всякое тело продолжает удерживаться в состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно

не понуждается приложенными силами изменить это состояние.

Ньютон имел в виду абсолютно неподвижную систему отсчета, то есть абсолютные пространство и время. Абсолютное про-

странство, по Ньютону, — это чистое и неподвижное вместилище тел, а абсолютное время — чистая длительность и абсолютная равномерность событий. Современная физика эти концепции не признает. И закон инерции выполняется только в определенных условиях, которые необходимо специально оговорить. Поэтому современная формулировка звучит так: существуют такие системы отсчета, называемые инерциальными, относительно которых материальные точки, когда на них не действуют никакие силы (или действуют силы взаимно уравновешенные), находятся в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения.

Понятие инерциальных систем отсчета ввели специально, чтобы определить условия,

ИНЕРЦИЯ И ИНЕРТНОСТЬ

Инерция — это свойство, благодаря которому тело сохраняет скорость своего движения неизменной, когда на него не действуют никакие силы. Но одинаковые по величине силы влияют на различные тела с разными результатами, то есть тела обладают различной инертностью. Инертность — свойство тел сопротивляться изменению их скорости, своего рода лень. Инертность характеризуется массой. Чем больше масса тела, тем больше инертность. Яблоко, лежащее в поезде на столе, после резкой остановки поезда покажется по инерции. Эти термины, такие как масса и сила, необходимо упомянуть уже в связи с первым законом Ньютона, по-настоящему они вводятся при объяснении второго закона Ньютона.

МАССА И ТОРМОЗНОЙ ПУТЬ

Машина не сразу остановится после выключения двигателя или после торможения, так как действует сила инерции. Однако инертность, то есть масса машины, не влияет на тормозной путь. Да, чем тяжелее машина, тем, кажется, труднее снизить скорость. Но у тяжелой машины шины сильнее прижимаются к дороге, лучше с ней сцепляются, тем самым тормозные возможности увеличиваются. Эти эффекты компенсируют друг друга, и в итоге масса не оказывает влияния на длину тормозного пути.

*На тормозной путь
влияют многие
факторы,
но не масса.*



КОГДА СИЛЫ КОМПЕНСИРУЮТСЯ

Движение парашютиста после раскрытия парашюта может служить примером выполнения первого закона Ньютона. Когда он приближается к Земле, сила натяжения строп, обусловленная сопротивлением воздуха, компенсирует действие силы тяжести. Спуск оказывается равномерным. В действительности тут возможны и другие воздействия, например сила ветра.



Идеально равномерный спуск парашюта в реальности невозможен, но иногда дополнительными воздействиями можно пренебречь.

где выполняется первый закон Ньютона. Таким системам свойственно равномерное движение. Все другие системы отсчета (которые вращаются или движутся с ускорением) называют неинерциальными. Но и в них движение можно описывать с помощью тех же уравнений, что и в инерциальных, только с учетом сил инерции.

Инерциальная система отсчета идеальна, в реальности на тело всегда действуют какие-то неуравновешенные внешние силы, даже в глубоком космосе всегда обнаруживаются слабые воздействия небесных тел. Но гелиоцентрическую систему, началом координат в которой является Солнце, можно считать инерциальной. Система отсчета, которая связана с Землей, строго говоря, является неинерциальной, поскольку Земля вращается вокруг своей оси и вокруг Солнца. Но при

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

Система, связанная с Землей, инерциальная только в приближении. Ее неинерциальность проявляется в поведении маятника Фуко. Это массивный шар, который подвешен на длинной нити и совершает около положения равновесия малые колебания. Если бы связанная с Землей система была инерциальной, то плоскость качаний маятника Фуко относительно Земли никогда не изменялась бы. Однако вследствие вращения Земли плоскость качания поворачивается и проекция траектории этого маятника на поверхности Земли напоминает розетку.



Маятник Фуко доказывает, что Земля вращается вокруг своей оси, и, значит, система, связанная с ней, неинерциальна.

решении множества задач этими неинерциальными эффектами можно пренебречь, и поэтому ее можно принять за инерциальную. Также инерциальной в приближении можно считать систему, в которой поезд движется с постоянной скоростью по прямому участку пути. Таким образом, первый закон Ньютона в реальном мире всегда действует с оговорками, самой важной из которых, входящей в определение, является инерциальность систем отсчета.

МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА

Материальная точка, или частица, — это тело, которое обладает массой. Однако его размерами, формой, вращением и внутренней структурой можно пренебречь в условиях конкретной задачи.



СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Когда возникла наука физика	4
Измерение и эталоны, или Не надо мерить на свой аршин.....	6
Энергия — основа Вселенной.....	8
Вездесущие колебания.....	12
Солнце и планеты: вечное движение	14
Всемирное тяготение: приливы и ракеты.....	16
Инерция: первый закон Ньютона.....	18
Ускорение: второй закон Ньютона.....	20
Действие равно противодействию: третий закон Ньютона	22
Трение в движении и покое	26
Количество движения.....	30
Сила, закручивающая вихри.....	34
Рычаг, или Можно ли перевернуть Землю	36
Закон Гука, упругость и пластичность	38
Четыре состояния вещества.....	40
Физика атмосферы: предсказание погоды.....	42
Атмосферное давление	44
Закон Архимеда: выталкивающая сила	46
Ньютоновские и неньютоновские жидкости.....	48
Поверхностное натяжение.....	50
Смачивание и капиллярные явления.....	54
Полет: тысячелетняя мечта	56
Закон Бернулли: от тенниса до авиации.....	58
Турбулентность, или Почему трясет самолет.....	60
Атомная теория: строение материи.....	64
Молекулярно-кинетическая теория.....	66
Реальные и идеальные газы	68
Растворы: физика вместе с химией.....	70
Фундаментальные взаимодействия во Вселенной	72
Электричество: от янтаря до электростанции.....	74
Электропроводность: движение заряженных частиц.....	78
Магнетизм: взаимодействие зарядов.....	80
Магнитное поле Земли.....	82
Электромагнитная индукция	84
Сверхпроводимость: дары низких температур	86
Электролиз: электроды и электролиты.....	88
Электрофорез, или Как ток двигает молекулы.....	90
Кристаллы: формы и свойства.....	92
Энтропия, или Мера беспорядка	96
Измерение температуры, или Разнообразие термометров	100
Теплопередача: от кастрюли до моря	104
Термодинамические циклы: идеальные и реальные.....	106

Природа и скорость света.....	108
Природа цвета: открытие и применение.....	110
Преломление, или Луч, меняющий свой путь.....	114
Отражение света, или Зеркала и миражи.....	118
Поларизация: чудеса поперечных волн.....	120
Интерференция и дифракция: кольца Ньютона и компакт-диски.....	124
Инфракрасное излучение, или Горячий невидимый свет	126
Ультрафиолетовое излучение: его польза и вред.....	128
Люминесценция: холодный свет.....	130
Звук и его скорость в разных средах.....	132
Звуковой барьер: преодоление.....	136
Звуки музыки: наука и искусство.....	138
Ультразвук, или Высокая частота.....	140
Инфразвук, или Неслышимый рокот.....	142
Реверберация, или Распространение звука в помещениях.....	144
Физика землетрясений — успехи сейсмологии	146
Радиоволны на службе человека	150
Физика для астрономии: радиотелескопы.....	154
Радиолокация, или Всевидящие радары.....	156
Специальная теория относительности, или Самая знаменитая формула физики.....	158
Общая теория относительности, или Гравитация во Вселенной.....	161
Эффект Доплера: звук и свет в движении.....	164
Постоянная Планка и начало квантовой физики.....	166
Уравнение Шрёдингера и развитие квантовой механики.....	168
Стандартная модель: все частицы в одной таблице	170
Эффект Вавилова—Черенкова.....	172
Радиоактивность, или Ядра, рождающие частицы.....	174
Рентгеновское излучение, или «Пронизывающий взгляд».....	178
Ядерная реакция распада: оружие и электростанции.....	182
Термоядерная реакция: в поисках универсального топлива	184
Исследование элементарных частиц и Большой адронный коллайдер.....	186
Вынужденное излучение: лазеры и мазеры.....	188
Небесная механика и космология	190
Как устроены звезды.....	194
Главная последовательность, или Жизнь звезды.....	196
Большой взрыв, или Рождение Вселенной.....	198
Галактики — звездные острова.....	200
Темная материя и темная энергия.....	204

