И.Д. ДЖАВАДОВ

ПОНЯТНАЯ ФИЗИКА



УДК 53
ББК 22.3
Д 40

Оригинал-макет Н. Юхнова
Обложка Н. Юхнова

Джавадов И.
Д40 Понятная физика: учебное пособие / И. Джавадов. Издание 2-е, дополненное. – М.: Издательство «Перо», 2021. – 157 с.

ISBN 978-5-00189-344-8

В книге, которую Вы держите, о физике рассказано по-новому. Новый подход, который можно назвать энергетическим, избегает проблем обычного преподавания физики. В классическом преподавании физики видны две проблемы. Во-первых, сложилась вековая традиция преподавать физику не как систему современных знаний о различных видах энергии, а как историю отдельных наблюдений и открытий, не всегда связанных между собой. Вторая проблема вытекает из первой – избыточность терминов. Взять хотя бы электричество. Электричество изучали Ампер, Фарадей, Ом и другие выдающиеся учёные. Вместе с их открытиями в физику вошли такие понятия как электродвижущая сила, разность потенциалов, напряжение и другие авторские термины. Разумеется, мы должны чтить вклад гениев в науку. Но с точки зрения современной физики речь идёт об одной и той же величине, измеряемой в вольтах. Для измерения указанных величин не нужны три разных прибора, достаточно одного вольтметра.

Почему современные авторы до сих пор делают вид, что школьник XXI века не смотрит телевизор, не знает компьютер? Раздел «Электричество» традиционно начинают с рассказа о древних греках, которые полировали янтарь тряпочкой и получали при этом электрические искры. Да, сто лет назад это было новостью для рабочего, принятого без экзаменов на рабфак. Но это неинтересно современному школьнику, который играет на электрогитаре и сам собирает усилитель.

Предлагаемый курс физики основан на понятии энергии, так как главной задачей физики является поиск новых видов энергии. Все согласны, что энергия не вектор. Значит, при выводе уравнений можно обойтись без векторной алгебры. Это делает физику более понятной, так как обычная алгебра намного проще векторной.

www.napisanoperom.ru

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения правообладателя.

ISBN 978-5-00189-344-8 © И. Джавадов, 2021

Введение, или о проблемах преподавания физики

В методике преподавания физики очевидны две проблемы. Во-первых, сложилась вековая традиция преподавать физику не как систему современных знаний о различных формах энергии, а как историю отдельных наблюдений и открытий, не всегда связанных между собой. Вторая проблема вытекает из первой – избыточность терминов. Взять хотя бы электричество. Электрические явления изучали Ампер, Фарадей, Ом, Максвелл и другие выдающиеся учёные. Вместе с их открытиями в физику вошли такие понятия как электродвижущая сила, разность потенциалов, напряжение, ток смещения и другие авторские термины. Разумеется, мы должны чтить вклад гениев в науку. Но с точки зрения современной физики речь идёт об одной и той же величине, измеряемой в вольтах. Для измерения указанных величин не нужны четыре разных прибора, достаточно одного вольтметра.

Отсутствие системного подхода и путаница в терминах приводит к непониманию физики. Возьмём, к примеру, известную фразу: «сила противодействия равна силе действия, но уравновесить ее не может». Возникают как минимум два вопроса: что такое сила противодействия и почему не может, если равна? Вразумительного ответа нет нигде, учащемуся остается слепо верить и запоминать. В результате кое-кто, храня веру в реальность силы инерции, до седых волос тратит силы и время, пытаясь собрать работающий инерцоид.

Почему преподаватель должен терять время, пересказывая заблуждения древних греков? Кто знает цену урока лучше учителя? Но авторы учебников до сих пор делают вид, что школьник XXI века не смотрит телевизор, не знает компьютер. Раздел «Электричество» традиционно начинается

с рассказа о древних греках, которые полировали янтарь тряпочкой и получали при этом электрические искры. Да, сто лет назад это было новостью для рабочего, принятого без экзаменов на рабфак. Но это неинтересно современному школьнику, который играет на электрогитаре и сам собирает усилитель. А ему рассказывают сначала о физике Аристотеля, затем о Галилее, который опроверг Аристотеля, о Ньютоне, основателе механики, затем об Эйнштейне, который перевернул механику Ньютона. Ученику всё равно, он запоминает подряд всё, что слышит: современные знания, устаревшую натурфилософию, наивные взгляды древних греков. Вред от этого очевиден. Нам говорят, изучать ошибки прошлого надо, чтобы не повторять их в будущем. Конечно надо, но лучше факультативно и в конце курса. Сначала учащийся должен получить современные знания в системном виде. И только потом ему можно рассказывать о древних греках, которые верили, что тяжелые тела падают быстрее легких.

Настоящий курс физики составлен в виде системы, основанной на базисном понятии. Базис выбран по принципу: чем труднее определить понятие, тем ближе оно к базисному. Что совсем невозможно определить, то и является базисом. Другие понятия выводят из базиса. Кроме того, для определения величины взят один термин, а не два-три, как это бывает. Заметим, в традиционных курсах физики за базис взята сила, как причина движения. Так как сила считается вектором, стандартный курс физики начинают с векторной алгебры. Иначе «векторную» механику не понять.

Скажем сразу, что главной задачей физики является поиск новых форм энергии, а не изучение многомерных пространств. Поэтому в качестве базиса мы выбрали понятие энергии. Известно, что понятие энергии определить невозможно, хотя все согласны, что энергия не вектор. Значит, можно обойтись без векторной алгебры, которая сложнее обычной. Курс становится более легким, так как обычную алгебру преподают раньше физики.

ЧАСТЬ I

Раздел I. Механика

Глава 1. Движение частиц

§ 1. Частицы и поля

Практически любой курс механики начинается с фразы, что физика изучает окружающий мир: мол, физис, это природа по-древнегречески. Думается, это не совсем так. Окружающий нас мир изучают также географы, геологи, биологи и даже химики. Очевидно, должно быть нечто особенное, что изучает именно физика. Мы еще будем об этом говорить, но прежде должны разобраться, что такое окружающий нас мир.

С точки зрения современной физики наш мир состоит из частиц и полей. Частицы твердые, при соударении они разлетаются в стороны. Частицы не могут проходить одна сквозь другую. Предмет, состоящий из множества частиц, называют телом. Физическое тело имеет видимый объем и может вращаться вокруг своей оси. Частица выглядит как точка, поэтому ее вращение незаметно. Два тела не могут занимать одно и то же место. Например, если в лузу бильярда загоняют подряд два шара, первый падает на дно корзины, а второй остаётся сверху, так как нижний уровень уже занят.

Важнейшим свойством тела является масса. Обозначают массу буквой m. Масса тела зависит от вида

частиц, из которых оно состоит. Например, свинцовая пуля массивнее деревянной пробки, хотя их размеры могут быть одинаковы. Массу измеряют в килограммах (кг). Когда проектируют новый самолет, то принимают, что масса пассажира в среднем равна 100 кг.

Поле это то, при помощи чего тела взаимодействуют друг с другом на расстоянии. Если тела взаимодействуют, то изменяется их скорость и положение в пространстве. Изменение положения тела называется пройденный путь или просто путь (s).

Напомним, что путь измеряют в метрах (м). Тысяча метров равна 1 километру (км). Время обозначается буквой t. Время измеряется в секундах (с). Скорость (v) это путь, деленный на время в пути: $v = s/t$ (1.1). Изменение скорости тела - это разность между скоростью в конце взаимодействия (v_2) и скоростью в начале (v_1): $v_2 - v_1$. Изменение скорости, деленное на время взаимодействия, называется ускорением (a): $a = (v_2 - v_1)/t = (s_2/t - s_1/t)/t$. Поскольку $s_2 - s_1 = s$, в итоге получаем: $a = s/t^2$ (1.2)

Поле существует вокруг тела, которое является его источником. При помощи полей тела могут притягиваться или отталкиваться. Направление действия поля зависит от вида частиц, из которого состоят тела. Принято отталкиванию приписывать знак плюс, а притяжению – минус. Если надуть воздушный шарик и потереть о волосы, он притянется к ладони. Если шарик подбросить, он притянется к потолку и прилипнет на некоторое время. Это пример электрического поля. Его источником являются мельчайшие частицы – электроны. Шарик зарядился электричеством в результате нашей работы. Другой пример: стальная кнопка притягивается к магниту. Магнитом можно гонять по столу кнопку, не касаясь её. Если взять другой магнит, то при определённом положении магниты будут отталкиваться друг от друга. Для краткости поле

вокруг постоянного магнита называют магнитным. Если быть точным, это поле следует называть электромагнитным, так его источником являются электроны внутри магнита. Электромагнитное взаимодействие возникает при движении заряженных частиц.

Поля отличаются от частиц тем, что легко проходят друг сквозь друга. Например, когда солист поет в сопровождении оркестра, мы можем слышать и солиста и все инструменты оркестра. Это пример звуковых полей, которые заполняют воздушное пространство вместе, не влияя друг на друга. Для звукового поля необходимо иметь проводящее вещество: воздух, жидкость или твердый материал. Такое проводящее вещество называют средой. Воздушная среда за окном на улицу заполнена звуками от людей и машин. Мы можем прислушиваться к любому звуку, не обращая внимания на --остальные. Киты и дельфины переговариваются, используя водную среду для звукового общения. Сосед решил повесить полку и сверлит дыру в стенке. Твердая стена хорошо проводит звук. Если сверлящий звук надоел, можно постучать кулаком и напомнить соседу, что он не один в доме.

Важнейшим примером является поле притяжения, которое ещё называют гравитацией. Источником гравитации является любое тело, имеющее массу. Благодаря гравитации два тела всегда притягиваются друг к другу. Если два океанских лайнера поставить рядом у причала, то через некоторое время они сойдутся бортами. Это произойдет из-за их взаимного гравитационного притяжения. Земля благодаря огромной массе имеет мощное поле гравитации и притягивает к себе все тела. Когда у тела есть опора, оно давит на опору и деформирует ее. Тогда притяжение к Земле воспринимается как вес. Чем больше масса тела, тем больше его вес. Вес можно измерить на электронных весах. В них встроен тензодатчик. Это прибор, который деформируется

под весом груза и посылает показания на цифровое табло. Вес обозначается буквой P, измеряется в ньютонах (Н). Например, гиря массой 16 кг весит почти 160 Н.

Если у тела исчезает опора, оно начинает падать на Землю, как парашютист, выпрыгнувший из самолета. Когда тело свободно падает, оно ничего не весит. Вес исчезает, потому что тело не сопротивляется притяжению Земли. Нет сопротивления – нет деформации, нет ощущения веса. Состояние без веса называют невесомостью.

Мы уже говорили об электромагнитном поле, которое проявляет одновременно и электрические и магнитные свойства. Примером электромагнитного поля являются радиоволны. Пространство вокруг нас буквально пронизано радиоволнами от различных источников, в том числе находящихся в глубоком космосе. Включив подходящий радиоприемник, мы можем принимать радиоволны и слушать радиопередачи.

Для гравитационных и электромагнитных полей среда особо не нужна. Эти поля могут проникать и сквозь космический вакуум, где вещества практически нет. Или для таких полей средой является сам вакуум или эти поля сами себе среда. Открыты и другие поля, при помощи которых взаимодействуют частицы внутри ядер атомов. Эти поля можно назвать ядерными. Ядерные поля бывают слабые и сильные. В настоящее время физики работают над теорией, которая смогла бы объединить все типы полей. Задача эта трудная, но выполнимая.

§ 2. Энергия

Энергия для нас является базовым понятием. Это значит, что мы можем не терять время, чтобы определить, что такое энергия. Скажем только, что энергия это то, чем обладает каждое тело. Энергия передается от одного

тела к другому при их взаимодействии. Если у одного тела энергия убывает, у другого она увеличивается. Энергию можно отбирать у тела по частям. Энергию можно добавлять телу по частям. Если тело изолировано от внешних воздействий, оно сохраняет свою энергию. Этот принцип называют законом сохранения энергии. Закон сохранения энергии выполняется **всегда**.

Энергия нам нужна, чтобы перемещать грузы, которые имеют вес. Из опыта мы знаем, что такое вес тела. В спортзале мгновенно приходит понимание, что двухпудовая гиря весит гораздо больше, чем пудовая. Один пуд равен примерно 160 Н. Энергию измеряют в джоулях (Дж). Один джоуль это энергия, которую необходимо затратить, чтобы поднять груз весом 1 Н на высоту 1 м. Если спортсмен поднимает с пола гирю весом 160 Н на высоту 2 м, он тратит энергию, равную 320 Дж. Как видим, для человека 1 джоуль величина небольшая. Другое дело, для частицы размером с пылинку. Для нее это солидный запас энергии. Например, если в космосе метеор массой 1 миллиграмм (мг) имеет энергию 1 Дж, это значит, что он летит со скоростью почти 1500 м/с. Это приличная скорость, больше скорости пули.

В любом теле скрыта внутренняя энергия E^o, величина которой равна произведению массы тела на квадрат скорости света: $E^o=mc^2$ (2.1). В нашем мире это огромная величина. Она в 10 раз больше, чем выделяется при взрыве термоядерного заряда с такой же массой. Внутреннюю энергию частицы можно выделить, если её массу полностью превратить в поле, например, в электромагнитное. Скажем сразу, что сделать это не так просто. Благодаря этому мы живем в довольно устойчивом мире.

Мы будем рассматривать энергию движения тел. Эта энергия зависит от массы. Еще она зависит от вида поля. Если мы немного поняли, что такое энергия, то

мы можем сказать, что поле - это то, при помощи чего энергия передается от одного тела к другому. Именно поле переносит энергию. Благодаря виду поля энергия обретает конкретную форму: акустическую, гравитационную, электромагнитную или ядерную. Основная задача физики состоит в том, чтобы изучать различные формы энергии и придумать, как извлечь из этого пользу. Многое в этой сфере уже делается. Например, для движения экологически чистого электромобиля используют электроэнергию из аккумулятора, который зарядили на электростанции энергией, произведенной на гидростанции, где используют энергию движения потока воды, падающего под притяжением Земли.

Энергию движения тел условно называют механической. Это делают для того, чтобы не думать о типе поля, заставляющего тело ускоряться или изменять положение в пространстве. Соответственно, механическая энергия может зависеть от скорости тела или от его местонахождения в пространстве. Энергию, которая зависит только от местонахождения тела, называют потенциальной (E_p). Энергию, которая зависит только от скорости тела, называют кинетической (E_k). Если скорость тела равна нулю, его кинетическая энергия тоже равна нулю. Если тело находится в изоляции, например, метеор в межзвездном пространстве, его потенциальная энергия практически равна нулю.

Рассмотрим пример: аэростат поднимается на высоту 1 км и зависает. Скорости нет, значит, кинетическая энергия равна нулю. Но если с аэростата сбросить груз, например, использованный баллон из-под газа, то при падении на землю баллон может произвести разрушения, например, сломать куст. Легко понять, что баллон упал, потому что на него действовало притяжение Земли. Значит, баллон имел запас гравитационной энергии, которая зависит от высоты. По определению, эта энергия

является потенциальной. Откуда она взялась? За счет подъема аэростата. Вспомним, что количество энергии, равное 1 Дж, передается телу весом 1 Н, если его поднять на высоту 1 м. Очевидно, если тело с весом P поднять на высоту h, то ему будет передано количество энергии $E_p = P\,h$ (2.2).

Другой пример: когда автомобиль движется по ровной дороге, его высоту над землей можно считать равной нулю. Значит, его потенциальная энергия равна нулю. Это справедливо, так как автомобилю некуда падать. Зато автомобиль имеет скорость. Значит, автомобиль имеет кинетическую энергию. Попробуем найти для нее формулу. Принято считать, что кинетическая энергия всегда положительна. Это справедливо, так как тело может иметь кинетическую энергию и в отсутствие поля, которое указывает на знак взаимодействия. С другой стороны, сама скорость может быть отрицательна, если тело перемещается против поля. Значит, кинетическая энергия зависит не просто от скорости, а от квадрата скорости, так как квадрат любой величины всегда больше нуля. Также она зависит от массы тела: чем больше масса, тем больше энергия. Но если мы напишем просто $E_k = mv^2$ (как для внутренней энергии E^0), то это будет завышенный результат, как если бы энергия была передана мгновенно. Но так не бывает. Известно, что автомобиль набирает скорость постепенно, за некоторое время. Пока нас не интересует это время, но мы знаем, что в начальный момент энергия была равна нулю, а в конце: mv^2. Значит, средняя энергия будет равна среднему арифметическому от значений энергии в начале и конце: $E_k = (0 + mv^2)/2 = mv^2/2$ (2.3).

Если в данном примере автомобиль имел массу 2000 кг и скорость 20 м/с, то его кинетическая энергия равна: $E_k = 2000\times20\times20/2 = 1000\times400 = 400\,000$ (Дж). Это

приличный запас энергии. Именно поэтому автомобиль не просто средство передвижения, а источник повышенной опасности.

Рассмотрим ещё один пример: беспилотный самолет с массой m летит со скоростью v на высоте h над Землей. Значит, он имеет кинетическую энергию $mv^2/2$ и потенциальную энергию mgh. Сумма кинетической и потенциальной энергий называется полной механической энергией (E) тела: $E = E_k + E_p$ (2.4).

§ 3. Сила и вес

На первый взгляд все знают, что такое сила. Так, в популярном американском учебнике «Физика» авторы Эллиот и Уилкокс на вопрос «что такое сила» отвечают: «Сила это толчок или тяга» (стр. 50). Согласиться с этим невозможно. В технике есть термин «сила тяги» (например, трактора). Если подставим толкование силы из иностранного учебника в наш технический термин, получим выражение «тяга тяги». Это звучит абсурдно.

В традиционных учебниках также встречаются выражения типа сила инерции, центробежная сила, сила противодействия и т.п. Там же можно прочитать, что сила это напор, натиск, в общем, смотри выше. Возьмём, к примеру, выражение «сила инерции», которое встречается всюду. Его надо понимать так, что существует «инерция», у которой есть «сила». Инерцией называют свойство изолированного от внешних полей тела сохранять свою скорость. Это отвечает закону сохранения энергии. Но что такое «сила инерции» для изолированного тела? Может, «тяга инерции»? Откуда «тяга», если тело ничто не тянет? Может, «напор инерции»? Но изолированное тело ни на что не напирает. Как измерять силу инерции изолированного тела? Ответа нет нигде.

Думается, нам не стоит тратить время, пытаясь объяснить необъяснимое. Мы должны сказать следующее: коль скоро физики вот уже триста лет не могут придумать определение силы, значит, сила это не **физическая** величина, а **математическая**. Иначе говоря, сила - это **количественная** характеристика движения. Тогда достаточно определить силу математически и принять её как математический объект. Разберем это на примере из гравитации.

Известно, что вес P - это проявление силы притяжения (F). Можно написать F = P без переходного коэффициента, так как силу тоже измеряют в ньютонах. Вспомним, гиря весом P на высоте h имеет энергию E_p=Ph (3.1). Тогда: F = P = E_p/h (3.2). Если h = 1 м, то из (3.2) следует, что F = E_p. То есть, сила численно равна энергии, переданной телу при его подъёме на 1 м. Это подтверждает мысль, что сила определяет энергию, передаваемую от тела к телу при их взаимодействии. Если энергию передавать быстро, увеличивается скорость передачи энергии. Можно сказать, что сила – это величина, характеризующая темп передачи энергии от тела к телу. Мы говорим «темп», так как потенциальная энергия зависит от местоположения тела, которое определяется в метрах. Кинетическая энергия передаётся путем изменения скорости, которая зависит от времени. В этом случае можно сказать, что **сила – это величина, характеризующая скорость передачи энергии.**

Из космических исследований известно, что на Луне вес тела в шесть раз меньше, чем на Земле. Это значит, что сила притяжения Луны в шесть раз меньше, чем у Земли. Введем для поля тяготения коэффициент гравитации g следующим образом: P = gm (3.3). Уравнение (3.3) показывает, что с увеличением гравитации вес тела растёт. Из геофизических измерений известно, что у поверхности Земли величина $g_з$ равна в среднем около 10 м/с^2. Значит, для Луны коэффициент гравитации $g_л$ равен примерно 1.6 м/с^2. Из (3.3) следует, что g = P/m (3.4). С учётом (3.4) можно

написать, что сила гравитации F = gm (3.5). Тогда потенциальную энергию тела в поле гравитации g можно выразить как E_p = Ph = Fh = mgh (3.6).

§ 4. Превращения энергии

Рассмотрим, как потенциальная энергия переходит в кинетическую при движении тела в поле гравитации. Возьмём уравнение для полной энергии : $E=E_p+E_к$. В примере с аэростатом потенциальная энергия баллона в начале опыта была равна E_p = mgh, а кинетическая равна нулю (v=0). После того, как баллон упал на землю, его потенциальная энергия стала равна нулю, так как h=0. Зато в момент падения кинетическая энергия баллона стала максимальной: $E_к = mv^2/2$. Таким образом, при падении в поле гравитации потенциальная энергия тела превращается в кинетическую энергию в соответствии с законом сохранения энергии. Заметим, что на высоте s=h/2 потенциальная энергия mgs падающего баллона в точности равна половине полной энергии mgh. Значит, на высоте s потенциальная энергия E_{ps} равна кинетической энергии $E_{кs}$. Тогда мы можем написать: $E/2 = E_к$, или $E/2 = mv^2/2$, или $Fs = mv^2$ (4.1). Если на высоте s скорость v приравнять к s/t (средняя скорость на пути от высоты h до высоты s), мы можем записать уравнение (4.1) в виде $Fs = ms^2/t^2$. Сокращая на s, получаем: $F = ms/t^2$ (4.2).

Выражение s/t^2 есть не что иное, как ускорение из (2.1): $a = s/t^2$ (4.3). Подставляя (4.3) в (4.2) получим в итоге уравнение: F = ma (4.4).

Уравнение (4.4), которое позволяет вычислить силу F, нужную для придания ускорения a телу с массой m, называют вторым законом Ньютона.

Содержание

Введение, или о проблемах преподавания физики.....3

ЧАСТЬ I

Раздел I. Механика..... 7

Глава 1. Движение частиц..... 7

§ 1. Частицы и поля 7
§ 2. Энергия 10
§ 3. Сила и вес..... 14
§ 4. Превращения энергии 16
§ 5. О размерностях физических величин..... 17
§ 6. Закон всемирного тяготения..... 18
§ 7. Невесомость 20
§ 8. Импульс силы. 21
§ 9. Об отрицательных величинах в физике. 23
§ 10. Два закона Ньютона 25
§ 11. Другие два закона Ньютона..... 27
§ 12. Работа в физике 29

Глава 2. Движение тел..... 32

§ 13. Вращение тел..... 32
§ 14. Движение по окружности..... 33

§ 15. Проектируем центрифугу 35
§ 16. О безвозвратных потерях энергии 36
§ 17. Трение и упругость 38
§ 18. Энергия пружины 40
§ 19. Волны вокруг нас 41
§ 20. Проектируем волновую электростанцию 43
§ 21. Продольные волны 46
§ 22. Другие виды волн 48
§ 23. О древних греках 50

Раздел II. Электричество 53

Глава 3. Электрическое поле 53

§ 24. Энергия электричества 53
§ 25. Сила тока 56
§ 26. Параметры тока 59
§ 27. Ток в металлах 60
§ 28. Полупроводники 62
§ 29. Запрещённая зона 63
§ 30. Ток в полупроводниках 66
§ 31. Ток в электролитах. 68
§ 32. Законы электролиза 70
§ 33. Диэлектрики 72
§ 34. Теорема Гаусса 74
§ 35. Поле конденсатора 75

ЧАСТЬ II

Глава 4. Электрический магнетизм 79

§ 36. Опыт Эрстеда 79

§ 37. Опыт Фарадея 81

§ 38. Магнетики 83

Глава 5. Переменный ток 85

§ 39. Получение переменного тока 85

§ 40. Уравнение переменного тока 87

§ 41. Сопротивление переменному току. 89

§ 42. Индукция и самоиндукция 91

§ 43. Принципы Максвелла 94

§44. Реактивные сопротивления 95

§ 45. Проектируем трансформатор 98

ЧАСТЬ III

Глава 6. Атомы 103

§ 46. Атом водорода 103

§ 47. Разрешенные орбиты 106

§ 48. Энергия кванта 110

Глава 7. Свет 114

§ 49. Оптические спектры 114

§50. Спектр атома водорода 116

§ 51. Фотоэффект 118

Глава 8. Электронные оболочки 122

§ 52. В атоме водорода 122

§ 53. Атом гелия и другие 125

Глава 9. Волна или частица? 128

§ 54. Опыт Тейлора 128

§ 55. Волна-частица или частица-волна? 131

§ 56. Гипотеза де Бройля. 134

§ 57. Море Дирака 136

Глава 10. Заключительная 142

§ 58. Как проектировали лазер 142

§ 59. Дополнительный. Как возникла наша Вселенная 147

§ 60. Отвечая на вероятные вопросы 151