

Дж. Б. Мэрион

Физика и физический мир

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 53
ББК 22.3
Д40

Д40 **Дж. Б. Мэрион**
Физика и физический мир / Дж. Б. Мэрион – М.: Книга по Требованию, 2013. – 626 с.

ISBN 978-5-458-41650-4

Книга представляет собой вводный обзор всей современной физики, начиная от устоявшихся классических разделов ее до последних достижений в области физики элементарных частиц и астрофизики. Автор поставил цель подвести читателя к фундаментальным идеям физики и раскрыть некоторые из современных концепций, получивших развитие в середине XX столетия. С этой задачей он справился блестяще. Книга написана достаточно строго, с большим педагогическим мастерством. В ней показаны красота, романтика и величие научного поиска. Автор не пользуется высшей математикой, изложение сопровождается многочисленными примерами и наглядными рисунками. Книга будет с удовольствием прочитана самыми широкими кругами читателей: инженерами и научными работниками, преподавателями высшей и средней школы, студентами и школьниками старших классов.

ISBN 978-5-458-41650-4

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

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 первозданном 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.

Предисловие к русскому изданию

Научно-популярная книга и учебник — что, казалось бы, может быть более несовместимым! И в самом деле, увлекательно, но подчас поверхностно написанные популярные книги рассказывают о многом, но вряд ли могут серьезно научить чему-либо. С другой стороны, фундаментальные и доброкачественные, но сухо написанные учебники скорее способны отбить охоту изучать предмет, нежели возбудить у читателя энтузиазм. Все же за последние 10—15 лет появился ряд книг, авторы которых пытаются, и не без успеха, создать учебники физики, в которых предмет излагается бы не только основательно, но и интересно. Два обстоятельства сразу же обращают на себя внимание. Обычно за решение такой задачи берутся люди, активно работающие в науке, учёные, снискавшие широкую известность благодаря результатам своих научных исследований. И второе: материал в таких учебниках преподносится крайне современно, с учетом последних достижений и актуальных задач науки. Между тем, для многих учебников «старого» стиля как раз характерно то, что, листая их страницы, читатель вряд ли угадает дату выхода книги в свет. Определенный консерватизм в методах преподавания приводит к тому, что современная молодежь нередко обучается почти так же и почти тому же, что и 20—30 лет назад. А ведь объем информации, содержание науки неимоверно расширились, так что ее изучение даже на первоначальном уровне требует достижения большего, нежели было традиционным для предыдущего поколения.

В самом бурном развитии науки уже заключен стимул к овладению ее основами в современном изложении. Насколько это на-сущно необходимо — образно сказано в предисловии автора книги. Более конкретные мотивы, требующие модернизации обучения, особенно четко проступают, если мы обратимся к новым тенденциям в обучении в высшей школе. Здесь даже при подготовке инженерных кадров все большее внимание

уделяется фундаментальным наукам и, кроме того, традиционное академическое обучение по книгам уступает место обучению в процессе творческого труда в лаборатории, в серьезной научной работе. Поэтому учебники, в которых физика преподносится на самом современном уровне, крайне нужны огромной армии преподавателей средних учебных заведений, так как безусловно помогут им включить в процесс обучения научные достижения последних лет и сделать их доступными тем, кто впервые приступает к изучению физики. Что касается учащихся, то подобные книги в первую очередь порождают размышления, будоражат мысль, вызывают к жизни творческое начало в изучении предмета.

Именно такова книга профессора Мэрилендского университета Дж. Мэриона. Разумеется, она не решает всех проблем. Большинство современных учебников физики, пожалуй, лучше всего справляются с обучением практическим навыкам применения физических законов. Иными словами, они учат тому, как решаются различные физические задачи. В этом направлении в последние годы достигнут заметный успех. Даже научно-популярные журналы активно включились в составление хитроумных задач по физике и обучение методам их решения. Дело, что и говорить, важное и не простое. Но при этом нельзя забывать, что достижение своеобразного Эльдорадо на различных олимпиадах и состязаниях доступно лишь тому кругу молодежи, у которого уже сформировался глубокий и устойчивый интерес к изучению физики. Что касается книги Дж. Мэриона, то ее авторставил себе целью увлечь по возможности широкий круг молодежи красотой и заманчивостью физических идей, т. е. в конечном счете расширить круг людей, для которых изучение физики из обязанности превратилось бы в увлечение. И в этом отношении книга, безусловно, будет служить прекрасным дополнением к существующим учебникам.

Издание в русском переводе книги Дж. Мэриона активно поддерживал безвременно скончавшийся акад. Л. А. Арцимович. Следует отметить, что на протяжении последних лет советские читатели получили целый ряд превосходных зарубежных учебников, например Р. Фейнмана, Дж. Орира, Э. Роджерса, Л. Купера, существенно повлиявших на формирование нового подхода к изучению физики. Эти проблемы всегда были в поле зрения акад. Л. А. Арцимовича, много содействуя

вовавшего развитию методики преподавания физики в нашей стране.

Перевод книги выполнили В. Д. Новиков (гл. 4, 5, 10), В. И. Рыдник (гл. 6—9, 11, 12) и ныне покойная М. Н. Флерова (гл. 1—3, 13—18). Имя М. Н. Флеровой хорошо известно всем, кто изучал физику по переведенным ею книгам; эти переводы несут на себе печать большого профессионального мастерства и разносторонней человеческой культуры.

E. M. Лейкин

Предисловие автора

Современный мир пронизан наукой. Повсюду мы сталкиваемся с многочисленными свидетельствами научных и технических достижений, на которых зиждется современное общество. Наука стала и будет оставаться реальной силой в мире. Поэтому каждый, кто хочет понять мир, в котором он живет, или попытаться изменить его, не может обойтись без науки и научных основ современной техники.

Действительность 70-х годов подтверждает, что в поисках ответов на кардинальные вопросы нашего времени необходимо непрерывно обращаться к науке. Некоторые из этих вопросов выходят за рамки физики, по крайней мере в узком ее понимании, и относятся к компетенции сопредельных наук — астрофизики, наук о Земле и о жизни. Изучающий физику должен быть знаком с достижениями этих наук и вместе с тем представлять себе, где пролегают границы между науками.

Я надеюсь, что в этом пособии мне удалось изложить предмет на современном уровне знаний. Цель книги — ознакомить читателя с основными физическими идеями и с некоторыми научными концепциями, возникшими в середине нашего столетия. Я делал акцент на современных аспектах физики — на представлениях о строении вещества и его основных «кирпичах» (микромир), а также на современных представлениях астрофизики и космологии (макромир). Эти представления, а также связь физики микромира с процессами в живом организме являются собой многообещающую суть науки сегодняшнего дня. Решение этого круга вопросов предопределит развитие науки и техники будущего. Сейчас образованному человеку недостаточно знать только законы Ньютона

и иметь простейшие сведения о тяготении и электричестве. Он должен быть знаком и с новыми концепциями, возникшими в науке.

Конечно, в одной книге, к тому же без высшей математики, удалось изложить лишь малую долю поистине огромного множества важных физических идей. Вшедший в книгу материал был подвергнут строгому отбору: многие разделы классической физики, которые, как мне казалось, не связаны непосредственно с физикой сегодняшнего дня, пришлось лишь кратко описать или вовсе опустить. Их место заняли факты и концепции современной физики, астрофизики и космологии. Другой особенностью книги — на мой взгляд естественной и полезной — является постепенное усложнение изложения, призванное обеспечить понимание более сложных идей, рассматриваемых в книге.

Это пособие — лишь одна из книг, предназначенных для более полного изучения представлений о физическом мире и развития этих представлений. Существует много специальных книг по физике, к которым можно обращаться по мере необходимости при чтении данной книги; это исторические, биографические и. монографические издания, а также руководства и справочники для преподавателей и учащихся с более высоким уровнем и качеством изложения материала.

Я хочу поблагодарить моих коллег, чье участие способствовало успешному завершению книги. Дж. Стефенсон мл., П. Дилаворе, Н. Уолл и Ф. Янг высказали много полезных критических замечаний на разных стадиях подготовки рукописи. Д. Денек — сотрудник издательства, в котором вышла книга, — горячо поддерживал автора с самого начала создания книги.

Дж. Мэрион



1 *Структура физики и её язык*

- 1.1. Что такое физика?**
- 1.2. Почему физика столь важна?**
- 1.3. Физика как экспериментальная наука**
- 1.4. Является ли физика «точной» наукой ?**
- 1.5. Научный метод**
- 1.6. Физические теории**
- 1.7. Модели, теории, законы**
- 1.8. Немного элементарной математики**
- 1.9. Измерения и графики**
- 1.10. Значащие цифры**

Основные выводы

Вопросы

Задачи

Чем занимается физика? На какие вопросы о природе вещей физики смогли дать ответ? На какие вопросы пытаются они ответить *сегодня*? Почему физика так важна? Как она влияет на развитие человечества?

В этой книге мы попытаемся ответить на приведенные выше вопросы. Наша цель — дать элементарное изложение состояния дел в современной физической теории и характера проводящихся в настоящее время физических исследований.

В развитии физики можно, до некоторой степени произвольно, выделить три периода — *классический, новый и современный*. К концу XIX века были подробно изучены такие разделы физики, как механика, термодинамика, электромагнетизм, оптика и гидродинамика. Работа теории этих разделов казалась в основных чертах завершенной, так что в дальнейшем вряд ли можно было ожидать каких-либо новых важных открытий. Совокупность этих разделов физики мы называем *классической физикой*.

В самом конце XIX века и на протяжении первых трех десятилетий XX века в физике был сделан ряд удивительных открытий. Было обнаружено явление *радиоактивности*, которое в дальнейшем было использовано для исследования строения атома. Создание *теории относительности* заставило пересмотреть прежние взгляды на пространство и время. Попытки описать строение атома привели к созданию *квантовой теории*. Этот период, на протяжении которого изменился весь характер физических исследований, мы называем эрой *новой физики*.

В 30-х годах нашего века впервые наблюдалось радиоизлучение звезд, были открыты нейтрон и деление атомных ядер, была обнаружена элементарная частица, не являющаяся составной частью атома. Эти открытия привели к накоплению огромного количества результатов в новых областях физики, которое продолжает происходить и в настоящее время. Подобное развитие физических исследований, следствием которого явились дальнейшие открытия и возникновение новых идей, привело к созданию *современной физики*.

В первых главах книги излагаются сведения, которые образуют фундамент, позволяющий перейти к обсуждению проблем новой и современной физики — как уже разрешенных, так и тех, решение которых мы стремимся найти по сей день.

Эту главу мы начинаем с рассмотрения того, чем занимается физика, почему столь важную роль в ней играет эксперимент, что мы понимаем под физической теорией и как применяем эту теорию к реальному физическому миру. Необходимо помнить также, что физика основана на *количественных* представлениях и, таким образом, естественным языком для нее служит математика. Поэтому прежде чем начать обсуждение проблем физики, нужно сказать несколько слов о математических методах, которые понадобятся читателю для ясного понимания предмета изложения.

1.1. Что такое физика?

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ПРИРОДЫ. Несколько сотен лет назад весь объем научных знаний был столь мал, что один человек мог подробно ознакомиться почти со всеми основными научными идеями. Действительно, ученого того времени называли «натурфилософом», подразумевая под этим, что он изучает все аспекты естествознания. Накопление научной информации начиная с эпохи Возрождения происходило так быстро, что представление об ученом, как о человеке,

обладающем универсальными знаниями, давно уже потеряло смысл. В настоящее время ученые делятся на физиков, химиков, биологов, геологов и т. д. Однако мы по-прежнему стремимся связать воедино различные отрасли науки. Когда наше понимание природы станет более полным, мы сможем лучше понять, какая связь существует между физикой и биологией, между химией и геологией, между метеорологией и океанографией.

Физик старается познать самые элементарные системы в природе. Сделанные физика-

ми открытия не только расширяют наши знания об основных физических процессах, но часто играют решающую роль в развитии других наук. Так, например, открытие квантовой теории позволило химикам осмыслить все разнообразие накопленных ими фактов о химическом строении и химических реакциях. Сформулированные физиками законы распространения звуковых волн в твердых телах позволили геологам использовать методы сейсмологии для исследования земных недр. Теория движения газовых потоков оказалась исключительно важной для метеорологов и океанографов. Законы физики управляют всеми физическими процессами. Мы открыли лишь некоторые из этих законов — остальные пока ускользают от нас.

ФИЗИКА НАЧИНАЕТ С ПРОСТЫХ СИСТЕМ. Такие науки, как геология, метеорология или физическая океанография, пытаются описать в общих чертах поведение очень сложных систем. Физика, напротив, сначала исследует наиболее элементарные системы, но очень подробно. Так, например, если геолог может заниматься описанием процесса горообразования из твердых пород, то физик, решая проблемы твердого тела, сначала тщательно исследует процессы, происходящие внутри простейшего атома, например атома водорода. Только после этого он может перейти к изучению более сложной молекулы водорода, а затем к изучению еще более сложных систем, таких, как твердые тела. На каждой стадии подобного исследования физик встречается с новыми фундаментальными проблемами, которые необходимо решить, прежде чем можно будет сделать следующий шаг. Часто решить какую-либо проблему не удается, и тогда ему приходится учитывать, как это неполное знание может отразиться на ответе на поставленный следующий вопрос. Если ему сопутствует удача, то может оказаться, что следующая проблема или две следующие проблемы замкнут круг исследований и, вернувшись к не решенной ранее задаче, позволят на этот раз взглянуть на нее с другой точки зрения и найти решение. Прогресс в физике достигается именно с помощью та-

ких методов; для этого нужно правильно поставить вопрос, обойти нерешенные проблемы, затем вернуться к ним опять и на основе новых данных получить более точные ответы и на старые, и на новые вопросы.

СЛУЧАЙНЫЕ ОТКРЫТИЯ. Иногда открытия в физике обусловлены просто удачей. Существует вероятность, что, исследуя какую-нибудь проблему, можно совершенно случайно сделать важное открытие. Когда Галилей стал изучать планеты с помощью изобретенного им телескопа, он впервые заметил, что вокруг Юпитера вращаются четыре спутника. Беккерель случайно открыл явление радиоактивности, проявив фотографическую пластинку, на которой несколько недель лежал кусок урановой руды (урановой смолки). Конечно, мы не можем надеяться на то, что получим таким образом ответы на все интересующие нас вопросы, но наука стремится к открытиям, и некоторые из них совершаются случайно. Ученый всегда должен быть подготовлен к тому, чтобы оценить и использовать эту случайную удачу.

1.2. Почему физика столь важна?

ФИЗИКА И ТЕХНИКА. Описав в общих чертах, что такое физика, зададим теперь вопрос: «Почему физика столь важна, какую пользу она приносит?» Конечно, физик не создает новых зданий или новых транспортных средств, не лечит болезни и не улучшает удобства наших квартир. Физика расширяет наши знания о Вселенной, о ее составных элементах и их поведении. Архитекторы и инженеры, строящие дома и создающие авиацию, постоянно пользуются законами механики, установленными физиками. Многие из применяемых в современной медицине методов диагностики и терапии были разработаны в физических лабораториях. Холодильная техника, радио, телевидение — это результаты открытий, сделанных физиками. Открытие транзистора, сделанное в лаборатории физики твердого тела, привело к новой эпохе в электронике, а также к увеличению

роли вычислительных машин в научных исследованиях и в повседневной жизни. Если бы не было постоянного притока новых идей из физики, то не было бы и грандиозной современной техники, а уровень технического развития оставался бы застывшим и примитивным. Таким образом, физика теснейшим образом связана с техникой, и именно в этой связи наиболее ярко проявляется та важная роль, которую физика играет в обществе.

ФИЗИКА И ПОИСКИ НОВЫХ ЗНАНИЙ. Хотя вклад физики в технику совершенно очевиден, имеется еще одна не менее важная причина столь большого значения физики. Человек живет не только достижениями техники, повышающими его материальный жизненный уровень; для постоянного развития человека огромную роль играют интеллектуальные стимулы. В физике, как и в любой другой области науки, проявляется деятельность человеческого разума, подобно тому, как это имеет место в истории, философии, музыке и т. д.

Человек всегда обладал неистощимой любознательностью. Физика предоставляет ему возможность испытать приключения в неизведанной области. Физика бросает ему вызов в виде новой задачи, позволяет испытать волнение при разработке новой идеи и интеллектуальное удовлетворение, когда поставленная задача наконец решена. Можно представить себе, какое волнение испытал Исаак Ньютон, когда ему впервые пришла в голову идея о существовании всемирного тяготения, или Энрико Ферми, когда он смог впервые зарегистрировать цепную реакцию деления атомных ядер. Какое удовлетворение должен был чувствовать Ганс Бете, который первым из людей понял, почему звезды испускают свет, понял, что эти далекие солнца излучают энергию, возникающую при превращении водорода в гелий.

Путешественники совершают восхождения на горные вершины и прорицаются сквозь джунгли, аквалангисты исследуют глубины морей; началась эпоха исследования космоса. Но не менее захватывающие приключения испытывают и те, кто исследует тайны природы в лабораториях.

1.3. Физика как экспериментальная наука

ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ПРОИСХОДИТ В ЛАБОРАТОРИИ. Ученый стремится узнать «истину» о природе. В физике мы никогда не сможем установить «абсолютной истины», так как физика — наука экспериментальная, а эксперимент никогда не бывает идеальным. Поэтому наши сведения о природе всегда будут несовершенными. Мы можем только указать характерные для данной эпохи объем и точность сведений о природе, полностью сознавая при этом, что и объем, и точность этих сведений возрастут в следующую эпоху. В основе нашего понимания физического мира лежат экспериментальные наблюдения и измерения; на этих наблюдениях и измерениях основываются теории, которые упорядочивают факты и углубляют наши познания.

Физика отнюдь не пассивная наука, она не делается в кресле за письменным столом. Древнегреческие философы спорили о физических основах нашего мира, но они не проверяли своих выводов на опыте. Реальный прогресс наступил лишь спустя столетия, когда человек наконец понял, что ключом к научному познанию являются наблюдения, эксперименты и выводы из них. Греки считали, что более тяжелый предмет падает быстрее более легкого. Простой эксперимент позволил бы проверить это утверждение и показать, что оно ошибочно. Однако лишь Галилей решил эту задачу путем тщательных измерений и хорошо продуманных логических доводов. Конечно, новые идеи в физике появляются и благодаря умозрительным рассуждениям, но окончательный ответ на решающие вопросы может быть получен только в эксперименте.

ФИЗИКА ИМЕЕТ ДЕЛО С ВОСПРОИЗВОДИМЫМИ СИТУАЦИЯМИ. В каком отношении физика отличается, скажем, от истории? В обоих случаях мы пытаемся анализировать события и ситуации, рассматривая их причины и следствия. Однако определенная последовательность исторических событий происходит только один раз. Используя известные факты, мы находим цепочку,

1. Структура физики и ее язык

которая приводит к важному событию, и можем иногда установить причины тех или иных действий. Но не имеет смысла пытаться восстанавливать историю так, как если бы данное событие не происходило. Можно предаваться праздным размышлениям о том, что если бы флот Фрэнсиса Дрейка не нанес поражения испанцам в 1588 г., то эта книга могла быть написана не на английском, а на испанском языке. Однако это чистая фантазия: история не пошла таким путем и бесплодно размышлять, что ее ход мог бы быть иным.

В физике, напротив, если определенные обстоятельства приводят к некоторому результату, то мы вполне можем задать вопрос: «Что случилось бы, если бы *A* отсутствовало?» Чтобы ответить на такой вопрос, мы просто снова включим нашу установку в отсутствие *A* и еще раз проведем эксперимент. В идеальном случае физика имеет дело с точными условиями, которые можно менять и воспроизводить, изучая влияние этих условий на исследуемый объект. Наши результаты могут быть установлены однозначно на основе логических выводов из экспериментальных фактов.

ФИЗИКА И ЧИСЛА. Цель физики — обеспечить систематическое и точное описание всех физических явлений с тем, чтобы это описание можно было в конечном счете свести к соотношениям между числами. Результаты всех экспериментов можно выразить с помощью чисел. Так, например, измерив некоторую физическую величину, мы можем найти, что она равна 2,17 единицы. Однако этого недостаточно. Необходимо указать, насколько надежен этот результат. Обычно результат приводят в следующем виде: например $2,17 \pm 0,06$ единицы. Это означает, что экспериментатор измерял исследуемую величину много раз и получил среднее значение, равное 2,17. Кроме того, он тщательно проверил свое оборудование, проградуировав приборы по соответствующим эталонам, а также проверил воспроизводимость результатов; на основании всего этого он приписал полученному результату *вероятную ошибку* $\pm 0,06$. В данном случае приписывание такой «вероятной ошибки»

означает, что если будут произведены дополнительные измерения (тем же экспериментатором или другими), то с одинаковой вероятностью результат будет заключен либо в интервале от $2,17 + 0,06 = 2,23$ до $2,17 - 0,06 = 2,11$, либо окажется вне этого интервала. Если другой экспериментатор (обладающий более совершенным оборудованием) вновь измерит эту величину и получит значение $2,1746 \pm 0,0004$, то такой результат будет совместим с предыдущим, так как он не выходит за пределы вероятной ошибки первого измерения.

Улучшив результат с $2,17 \pm 0,06$ до $2,1746 \pm 0,0004$, мы уточнили наши сведения о данном явлении. Увеличение точности играет важную роль в развитии физики, но это не единственный способ, с помощью которого мы можем расширять наши знания. В идеальном случае мы всегда пытаемся так провести эксперимент, чтобы получить ответ «да» или «нет». Иными словами, мы стремимся осуществить экспериментальную проверку некоторой теории таким образом, что если наблюдается определенное событие, то данная теория правильна; если же наблюдается другое событие, то теория неправильна. Вероятная ошибка в таком эксперименте определяется степенью достоверности того, что полученный ответ «да» или «нет» правилен. Иногда эксперимент такого типа чрезвычайно сложен, но в некоторых случаях достаточно даже самого грубого эксперимента. (Галилей провел такой эксперимент для проверки теории Аристотеля, бросая предметы неодинаковой массы с Пизанской башни.) Но имеем ли мы дело с точным измерением или лишь с грубой оценкой, в любом случае решающим является то, что в конечном счете мы обязаны полагаться на эксперимент.

1.4. Является ли физика «точной» наукой?

ЧТО ТАКОЕ НАИВЫСШАЯ ТОЧНОСТЬ? До какой степени мы можем улучшать точность измерения? Что требуется, чтобы определить *точное* значение какой-либо величины? Предположим, что мы будем улуч-