

ФЕЙНМАНОВСКИЕ ЛЕКЦИИ ПО ФИЗИКЕ

СОВРЕМЕННАЯ НАУКА О ПРИРОДЕ



*ИЗДАТЕЛЬСТВО АСТ
МОСКВА*

УДК 53(73)

ББК 22.3г

Ф36

Серия «Эксклюзивная классика»

THE FEYNMAN LECTURES ON PHYSICS:
THE NEW MILLENNIUM EDITION
(1-7)

Перевод с английского

А. Ефремова, Г. Копылова, О. Хрусталева

Под редакцией *Я. Смородинского*

Серийное оформление *А. Фереца, Е. Ферец*

Компьютерный дизайн *Е. Ферец*

Печатается с разрешения Basic Books, an imprint of Perseus Books, LLC, a subsidiary of Hachette Book Group, Inc. (USA) при содействии Агентства Александра Корженевского (Россия)

Ф36 Фейнмановские лекции по физике. Современная наука о природе / [пер. с англ. А. Ефремова, Г. Копылова, О. Хрусталева]. — Москва : Издательство АСТ, 2025. — 256 с. — (Эксклюзивная классика).

ISBN 978-5-17-113087-9

В свое время преподаватели Калифорнийского технологического университета задумались о том, как можно было бы перестроить курс физики, чтобы сделать его более занимательным и современным. Изложение материала в старых учебниках было настолько скучным, что отбивало охоту к учению даже у самых усердных студентов. Ричард Фейнман с энтузиазмом подхватил эту идею и разработал новый, авторский курс лекций по общей физике. Читая эти лекции, он, по его собственным словам, ориентировался на самых сообразительных и одаренных, однако постарался учесть интересы и того студента, которого весь этот фейерверк мыслей может встревожить и отпугнуть, и выстроил материал таким образом, чтобы даже у этого студента осталось в голове основное ядро и понимание того, что он может получить в перспективе, продолжив изучение физики на более серьезном уровне.

В настоящее издание включена вступительная часть лекций, посвященная общим законам природы.

УДК 53(73)

ББК 22.3г

© California Institute of Technology, Michael A. Gottlieb, and Rudolf Pfeiffer, 1963, 2006, 2013

© Перевод. А. Ефремов, 2018

© Перевод. Г. Копылов, наследники, 2019

© Перевод. О. Хрусталева, наследники, 2019

© Предисловие. Я. Смородинский, наследники, 2019

© Издание на русском языке AST Publishers, 2025

От редакции Neoclassic

«Фейнмановские лекции по физике» — одна из интеллектуальных вершин XX века. Это не просто учебник, а точнее — не только учебник. Ведомый гениальным ученым читатель постигает философию естественных наук, саму суть научного метода и научной картины мира.

Данное издание «Лекций» в основном повторяет «мировское» издание 1976–77 гг. В VII-ой том добавлена глава, посвященная эйнштейновской теории тяготения (общей теории относительности), которая отсутствовала в первых изданиях.

Для серии «Эксклюзивная классика» мы взяли первые семь глав лекций, представляющие собой краткий очерк современной науки о природе и доступные даже неподготовленному читателю.

В добрый путь!

Предисловие

к первому русскоязычному изданию

Это лекции по общей физике, которые читал физик-теоретик. Они совсем не похожи ни на один известный курс. Это может показаться странным: основные принципы классической физики, да и не только классической, но и квантовой, давно установлены, курс общей физики читается во всем мире в тысячах учебных заведений уже много лет и ему пора превратиться в стандартную последовательность известных фактов и теорий, подобно, например, элементарной геометрии в школе. Однако даже математики считают, что их науке надо учить по-другому. А уж о физике и говорить нечего: она столь интенсивно развивается, что даже лучшие педагоги все время сталкиваются с большими трудностями, когда им надо рассказывать студентам о современной науке. Они жалуются, что им приходится ломать то, что принято называть старыми, или привычными, представлениями.

Но откуда берутся привычные представления? Обычно они попадают в молодые головы в школе от таких же педагогов, которые потом будут говорить о недоступности идей современной науки. Поэтому прежде чем подойти к сути дела, приходится тратить много времени на то, чтобы убедить слушателей в ложности того, что было ранее внушено им как очевидная и непреложная истина. Было бы дико сначала рассказывать школьникам «для простоты», что Земля плоская, а потом, как открытие, сообщать о ее шарообразности. А так ли далек от этого абсурдного примера тот путь, по которому будущие специалисты входят в современный мир идей теории относительности и квантов? Осложняет дело также то обстоятельство, что большей частью лектор и слушатели — люди разных поколений, и лектору очень трудно уйти от соблазна вести слушателей той знакомой и надежной дорогой, по которой он сам в свое время дошел до желанных высот. Однако старая дорога не вечно остается лучшей. Физика развивается очень быстро, и, чтобы не отставать от нее, надо менять пути ее изучения. Все согласны с тем, что физика — одна из самых интересных наук. В то же время многие учебники физики никак не назовешь интересными. В таких учебниках изложено все, что следует по программе. Там обычно объясняется, какую пользу приносит физика и как важно ее изучать,

но из них очень редко можно понять, почему заниматься физикой интересно. А ведь эта сторона вопроса тоже заслуживает внимания. Как же можно сделать скучный предмет и интересным и современным? Об этом прежде всего должны подумать те физики, которые сами работают с увлечением и умеют передать это увлечение другим. Пора экспериментов уже наступила. Цель их — найти наиболее эффективные способы обучения физике, которые позволили бы быстро передать новому поколению весь тот запас знаний, который накоплен наукой за всю ее историю. Поиски новых путей в преподавании также всегда были важной частью науки. Преподавание, следуя развитию науки, должно непрерывно менять свои формы, ломать традиции, искать новые методы. Здесь важную роль играет то обстоятельство, что в науке все время происходит удивительный процесс своеобразного упрощения, который позволяет просто и кратко изложить то, что когда-то потребовало много лет работы.

Чрезвычайно интересная попытка в этом направлении была предпринята в Калифорнийском Технологическом институте (США), который сокращенно называют КАЛТЕХ, где группа профессоров и преподавателей после многочисленных дискуссий разработали новую программу по общей физике, а один из участников этой груп-

пы, крупный американский физик Ричард Фейнман, прочел лекции.

Лекции Фейнмана отличаются тем, что они обращены к слушателю, живущему во второй половине XX века, который уже многое знает или слышал. Поэтому в лекциях не тратится время на объяснение «ученым языком» того, что и так известно. Зато в них увлекательно рассказывается, как человек изучает окружающую его природу, о достигнутых сегодня границах в познании мира, о том, какие проблемы наука решает сегодня и будет решать завтра.

Лекции читались в 1961–1962 и 1962–1963 учебных годах; они записывались на магнитофон, а потом (и это оказалось само по себе трудной задачей) «переводились» на «письменный английский» профессорами М. Сэндсом и Р. Лейтоном. В этом своеобразном «переводе» сохранены многие особенности живой речи лектора, ее живость, шутки, отступления. Однако это очень ценное качество лекций отнюдь не было главным и самодовлеющим. Не менее важным были созданные лектором оригинальные методы подачи материала, в которых отразилась яркая научная индивидуальность автора, его точка зрения на пути обучения студентов физике. Это, разумеется, не случайно. Известно, что и в своих научных работах Фейнман всегда находил новые методы, которые очень быстро становились об-

щепринятыми. Работы Фейнмана по квантовой электродинамике, статистике принесли ему широкое признание, а его метод — так называемые диаграммы Фейнмана — используется сейчас практически во всех областях теоретической физики.

Что бы ни говорили об этих лекциях — восторгались стилем изложения или сокрушались по поводу ломки старых добрых традиций, — одно остается бесспорным: надо начинать педагогические опыты. Наверное, не все согласятся с манерой автора излагать те или иные вопросы, не все согласятся с оценкой целей и перспектив современной физики. Но это послужит стимулом к появлению новых книг, в которых получают отражение другие взгляды. Это и есть эксперимент.

Но вопрос состоит не только в том, что рассказывать. Не менее важен и другой вопрос — в каком порядке это надо делать. Расположение разделов внутри курса общей физики и последовательность изложения — вопрос всегда условный. Все части науки настолько связаны друг с другом, что часто трудно решить, что надо излагать сначала, а что потом.

Однако в большинстве вузовских программ и имеющихся учебников до сих пор сохраняются определенные традиции.

Отказ от привычной последовательности изложения — одна из отличительных особенностей

фейнмановских лекций. В них рассказано не только о конкретных задачах, но и о месте, которое занимает физика в ряду других наук, о путях описания и изучения явлений природы. Вероятно, представители других наук — скажем, математики — не согласятся с тем местом, которое отводит этим наукам Фейнман. Для него, как физика, «своя» наука, конечно, выйдет самой главной. Но это обстоятельство не занимает много места в его изложении. Зато в его рассказе ярко отражаются те причины, которые побуждают физика вести тяжелую работу исследователя, а также те сомнения, которые у него возникают, когда он сталкивается с трудностями, кажущимися сейчас непреодолимыми.

Молодой естествоиспытатель должен не только понять, почему интересно заниматься наукой, но и почувствовать, какой дорогой ценой достаются победы и как порой бывают тяжелы дороги, к ним ведущие.

Надо также иметь в виду, что если сначала автор обходился без математического аппарата или использовал лишь тот, который изложен в лекциях, то от читателя, по мере продвижения его вперед, будет требоваться увеличение его математического багажа. Впрочем, опыт показывает, что математический анализ (по крайней мере, его основы) выучивается сейчас легче, чем физика.

Лекции Фейнмана вышли в США в трех больших томах. Первый содержит в основном лекции по механике и теории теплоты, второй — электродинамику и физику сплошных сред, а третий — квантовую механику. Чтобы книга была доступна большему числу читателей и чтобы ею было удобнее пользоваться, русское издание будет выходить небольшими выпусками. Первые четыре из них соответствуют первому тому американского издания.

Кому будет полезна эта книга? Прежде всего — преподавателям, которые ее прочтут целиком: она заставит их задуматься об изменении сложившихся взглядов на то, как начинать обучать физике. Далее, ее прочтут студенты. Они найдут в ней много нового в дополнение к тому, что они узнают на лекциях. Конечно, ее попытаются читать и школьники. Большинству из них будет трудно одолеть все, но и то, что они смогут прочесть и понять, поможет им войти в современную науку, путь в которую всегда бывает трудным, но никогда не бывает скучным. Тому, кто не верит, что может пройти его, не стоит браться за изучение этой книги! И наконец, ее могут читать все остальные. Читать просто так, для удовольствия. Это тоже очень полезно. Фейнман в своем предисловии оценивает результаты своего опыта не очень высоко: слишком малая

доля студентов, прослушавших его курс, усвоили все лекции. Но так и должно быть.

Первый опыт редко приносит полный успех. Новые идеи всегда находят вначале лишь немного сторонников и лишь постепенно становятся привычными.

Я. Смородинский
Январь 1965

Предисловие **Ричарда Фейнмана**

Это — лекции по физике, которые я читал в прошлом и позапрошлом годах в Калифорнийском Технологическом институте для студентов первого и второго курсов. Но это не дословная их запись. Их пригладили — местами очень сильно, а порой не очень. К тому же это лишь часть полного курса обучения. Дважды в неделю 180 слушателей собирались в большой аудитории и, прослушав лекцию, группами по 15–20 человек проводили еще семинары под руководством ассистентов. Вдобавок раз в неделю проводились и лабораторные работы.

Чего мы хотели добиться, читая эти лекции? Мы хотели утвердить интерес к физике у молодых ее энтузиастов, у вчерашних выпускников средней школы. Перед поступлением в институт они много слышали о том, как интересна и как увлекательна современная физика — теория относительности, квантовая механика и т.д. Но если бы этот курс читался так, как он читался

раньше, весь их энтузиазм за два года мало-помалу улетучился бы — чересчур уж редко при обычном обучении встречаются действительно величественные, новые, современные идеи. Студентов заставили бы изучать наклонную плоскость, электростатику и прочее в этом роде, и все их порывы были бы сведены на нет. И весь вопрос был в том, сможем ли мы так построить курс, чтобы у самых способных, самых горячих студентов сохранился и укрепился их энтузиазм.

Не считите эти лекции каким-то обзорным курсом. Нет, курс этот весьма серьезен. Читая его, я ориентировался на самых сообразительных, я хотел по возможности, чтобы даже самые сильные слушатели не были в состоянии до конца усвоить все, что есть в этих лекциях. Для этого подкидывал им мысли о возможных применениях основных идей и понятий вне основной линии наступления. Для этой цели я старался поточнее формулировать все утверждения, указывать, где только можно, какие уравнения и идеи укладываются в физическую картину мира и как при дальнейшем углублении они могут измениться. Я понимал также, что таким студентам очень важно указать, что́ из изучаемого они (если, конечно, у них достанет соображения) могут сами вывести из уже известного, а что́, наоборот, для них совершенно ново. Формулируя новые идеи, я пытался либо вывести их, если они мог-

ли быть выведены, либо объяснить, что это действительно новая идея, что на уже изученные понятия ее опереть никак нельзя и что поэтому нельзя ее считать доказуемой, а можно лишь включить со стороны.

Приступая к лекциям, я предполагал, что студенты все же кое-что вынесли из средней школы — разные там геометрические оптики, простенькие понятия из химии и тому подобное. Я не видел также смысла в том, чтобы устанавливать какой-то определенный порядок в лекциях, чтоб нельзя было упоминать о вещах, о которых подробно будет говориться только позже. Наоборот, я часто вкратце говорю о том, что студент по-настоящему изучит намного позднее, когда он будет лучше подготовлен. Например, понятие об индуктансе или об энергетических уровнях дается на первых порах очень приблизительное и только спустя много времени развивается как следует.

Рассчитывая курс на самого активного слушателя, я все же учел интересы и такого парня, которого все эти фейерверки мыслей и многосторонние приложения могут только встревожить и отпугнуть, от кого вообще нельзя ожидать, что он усвоит бóльшую часть материала. Я хотел, чтобы для него в лекциях оказалось по крайней мере основное ядро, или костяк, того, что он *может* получить. Я надеюсь, что он не очень будет нерв-