

Р. ФЕЙНМАН

*ХАРАКТЕР
ФИЗИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ*



*ИЗДАТЕЛЬСТВО АСТ
МОСКВА*

УДК 53
ББК 22.3
Ф36

Серия «Эксклюзивная классика»

Richard Feynman

THE CHARACTER OF PHYSICAL LAW

Перевод с английского Э. Наппельбаума, В. Гольшева

Серийное оформление А. Фереца, Е. Фереца

Печатается с разрешения наследников автора
и литературных агентств Melanie Jackson Agency,
LLC и Andrew Nurnberg.

Фейнман, Ричард.

Ф36 Характер физических законов / Ричард Фейнман : [пер. с англ. Э. Наппельбаума, В. Гольшева]. — Москва : Издательство АСТ, 2021. — 256 с. — (Эксклюзивная классика).

ISBN 978-5-17-100293-0

В основу этой книги, больше 50 лет состоящей в списке международных бестселлеров, легли знаменитые лекции Ричарда Фейнмана, прочитанные им в 1964 году в Корнеллском университете. В этих лекциях прославленный физик рассказывает о фундаментальных законах природы и величайших достижениях мировой физики, не утративших своей актуальности и по сей день, — рассказывает простым доступным языком, понятным даже самому обычному читателю. Чего только стоит его знаменитая аналогия с мокрым человеком, который пытается вытереться мокрым полотенцем, на примере которой он объясняет закон сохранения энергии!..

УДК 53
ББК 22.3

© Richard Feynman, 1965
© Перевод. Э. Наппельбаум, 2014
© Перевод. В. Гольшев, 2014
© Издание на русском языке
AST Publishers, 2021

ISBN 978-5-17-100293-0

Вступительное слово ректора Корнеллского университета Д. Корсона

Леди и джентльмены, я имею честь представить вам нынешнего лектора Мессенджеровских чтений профессора Ричарда Фейнмана из Калифорнийского технологического института.

Профессор Фейнман — выдающийся физик-теоретик, многое сделавший для того, чтобы навести порядок в той путанице, которой отмечено захватывающее развитие физики в послевоенный период.

Р. Фейнман выполнил свою дипломную работу в Массачусетском технологическом институте, а затем занимался в аспирантуре Принстонского университета. Он участвовал в работах, проводившихся по так называемому Манхэттенскому проекту, сначала в Принстоне, а позже в Лос-Аламосе. В 1944 г. он получил звание ассистента профессора в Корнеллском университете, но занял эту должность только по окончании войны. Мне было интересно узнать, что говорили о нем, когда присуждалось это звание, поэтому я просмотрел протоколы попечительского совета... и не обнаружил там никаких записей об этом событии. Там имеется, однако, около двадцати записей о пре-

доставлении отпусков, увеличении жалования и повышении в должности. Одна запись особенно меня заинтересовала. 31 июля 1945 г. председатель физического отделения написал декану факультета искусств, что «доктор Фейнман — выдающийся педагог и исследователь, равные которому вырастают не часто». Председатель считал, что годового жалования в три тысячи долларов маловато для выдающегося работника факультета, и рекомендовал увеличить жалование профессору Фейнману на девятьсот долларов. Декан, с несвойственной его положению щедростью и совершенно не учитывая финансовых возможностей университета, вычеркнул девятьсот долларов и вписал круглое число — тысячу. Отсюда вы можете заключить, что уже тогда мы высоко ценили профессора Фейнмана! Фейнман вступил в должность в конце 1945 г. и очень плодотворно работал на факультете в течение пяти лет. Он покинул Корнеллский университет в 1950 г. и перешел в Калифорнийский технологический институт, где и работает по сей день.

Прежде чем дать ему слово, я хочу сказать вам о нем еще кое-что. Недавно он прочел курс общей физики в Калифорнийском технологическом институте и в результате приобрел еще большую известность — теперь его лекции, отличающиеся свежим подходом к предмету, опубликованы в трех томах*. В первом томе есть фотография

* В русском переводе они изданы в 1965—1967 гг. в девяти выпусках под названием «Фейнмановские лекции по физике». — *Примеч. ред.*

Фейнмана, весело играющего на бонго*. Мои друзья из Калифорнийского технологического института рассказывают, что в Лос-Анджелесе он заменяет ударника в эстрадном оркестре, однако сам Фейнман это отрицает. Другая его специальность — сейфы. Рассказывают, что однажды он, подобрав шифр замка, открыл сейф в секретном учреждении, забрал секретные документы и оставил записку: «Угадай кто?» Я мог бы рассказать вам, как он учил испанский язык перед тем, как ехать с лекциями в Бразилию, но не стану.

Я думаю, что этих сведений вам будет достаточно, и теперь разрешите мне сказать, что я рад вновь приветствовать профессора Фейнмана в стенах Корнеллского университета. Его лекции посвящены характеру физических законов, а тема его первой лекции: «Пример физического закона — закон тяготения».

* Бонго — маленькие барабаны, на которых играют пальцами. — *Примеч. пер.*

Лекция 1

Пример физического закона — закон тяготения

Как ни странно, но когда меня (изредка) приглашают играть на бонго, ведущий не считает нужным объявить, что я занимаюсь еще и теоретической физикой. Я объясняю это тем, что искусство мы уважаем больше, чем науку. Художники Возрождения говорили, что интересовать человека должен прежде всего он сам, однако в мире немало других интересных предметов. Ведь и художники любят закаты, волны в океане, хороводом звезд на небе... Поэтому иногда не мешает поговорить и о таких вещах. Созерцая их, мы испытываем эстетическое наслаждение. Вместе с тем в явлениях природы есть формы и ритмы, не доступные глазу созерцателя, но открытые глазу аналитика. Эти формы и ритмы мы называем физическими законами. В своих лекциях я хочу поговорить об особенностях физического закона вообще — поднявшись, если хотите, на одну ступеньку выше самих законов. Передо мной все время будет картина природы, которая возникает после подробнейшего ее анализа, но говорить я буду лишь о самых общих, самых крупных мазках этой картины.

Конечно, подобная тема слишком общая и поневоле располагает к философствованию — начинаешь говорить так расплывчато, что понять тебя может не всякий. И тогда считается, что ты решаешь глубокие философские вопросы. Я постараюсь говорить конкретнее, ибо считаю, что мысль простая, но выраженная честно, полезнее туманных намеков. Поэтому в первой лекции, не вдаваясь в общие рассуждения, я просто расскажу об одном физическом законе, дабы вы имели хоть один пример того, о чем впоследствии пойдет отвлеченный разговор. К этому примеру я буду обращаться снова и снова: чтобы проиллюстрировать свою мысль или сделать реальностью то, что иначе могло бы превратиться в абстракцию. В качестве такого примера я выбрал явление гравитации — закон всемирного тяготения. Почему именно его — не знаю. Может быть, потому, что этот великий закон был открыт одним из первых и имеет интересную историю. Вы скажете: «Да, но это старая история, а мне хотелось бы услышать что-нибудь о более современной науке». Может быть, более новой, но не более современной. Современная наука лежит в том же самом русле, что и закон всемирного тяготения. Другими словами, вы просто хотите услышать о более поздних открытиях. Меня же совсем не тяготит перспектива рассказывать вам о законе всемирного тяготения, потому что, описывая его историю, пути и методы его открытия, его основные особенности, я остаюсь человеком вполне современным.

Этот закон называли «величайшим обобщением, достигнутым человеческим разумом». Но уже из вступительных слов вы, наверное, поняли, что меня интересует не столько человеческий разум, сколько чудеса природы, которая может подчиняться таким изящным и простым законам, как закон всемирного тяготения. Поэтому мы будем говорить не о том, как мы умны, что открыли этот закон, но о том, как мудра природа, которая соблюдает его.

Закон тяготения заключается в том, что два тела действуют друг на друга с силой, которая обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними и прямо пропорциональна произведению их масс. Математически мы можем выразить этот великий закон формулой

$$F = \frac{mm'}{r^2} \text{ —}$$

некоторая постоянная умножена на произведение двух масс и поделена на квадрат расстояния. Теперь если я напому, что под действием силы тело ускоряет свое движение и изменение скорости за секунду обратно пропорционально массе, т.е. скорость меняется тем медленнее, чем больше масса, то я скажу все, что нужно сказать о законе тяготения. Все остальное — математические следствия этих двух фактов. Но я знаю, что нематематику трудно увидеть все такие следствия, и потому постараюсь коротко рассказать вам об истории открытия, о некоторых его следствиях, о том, как

оно повлияло на историю науки, о тех тайнах, которые освещает этот закон, об уточнениях, сделанных Эйнштейном, и, возможно, о связи этого закона с другими законами физики.

Вкратце история его такова. Еще древние, наблюдая за движением планет на небе, догадались, что все они, вместе с Землей, ходят вокруг Солнца. Позднее, когда люди забыли то, о чем знали прежде, это открытие заново сделал Коперник. И тогда возник новый вопрос: как именно планеты ходят вокруг Солнца, каково их движение? Ходят ли они по кругу и Солнце находится в центре или они движутся по какой-нибудь другой кривой? Как быстро они движутся? И так далее. Выяснилось это не так скоро. После Коперника снова настали смутные времена и разгорелись великие споры о том, ходят ли планеты вместе с Землей вокруг Солнца или Земля находится в центре Вселенной. Тогда человек по имени Тихо Браге* придумал, как можно ответить на этот вопрос. Он решил, что нужно очень внимательно следить за тем, где появляются на небе планеты, точно это записывать и тогда уже выбирать между двумя враждебными теориями. Это и было началом современной науки, ключом к правильному пониманию природы — наблюдать за предметом, записывать все подробности и надеяться, что полученные таким способом сведения послужат основой для того или иного теоретического ис-

* Тихо Браге (1546—1601) — датский астроном.

толкования. И вот Тихо Браге, человек богатый, владевший островом поблизости от Копенгагена, оборудовал свой остров большими бронзовыми кругами и специальными наблюдательными пунктами и записывал ночь за ночью положения планет. Лишь ценой такого тяжелого труда достается нам любое открытие.

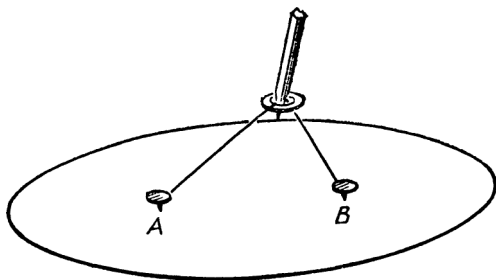


Рис. 1

Когда все эти данные были собраны, они попали в руки Кеплера*, который и пытался решить, как движутся планеты вокруг Солнца. Он искал решение методом проб и ошибок. Однажды ему показалось, что он уже получил ответ: он решил, что планеты движутся по кругу, но Солнце лежит не в центре. Потом Кеплер заметил, что одна из планет, кажется Марс, отклоняется от нужного положения на 8 угловых минут, и понял, что полученный им ответ неверен, так как Тихо Браге не мог допустить такую большую ошибку. Полагаясь

* Иоганн Кеплер (1571—1630) — немецкий астроном и математик, был помощником Браге.

на точность наблюдений, он решил пересмотреть свою теорию и в конце концов обнаружил три факта.

Сначала он установил, что планеты движутся вокруг Солнца по эллипсам и Солнце находится в одном из фокусов. Эллипс — это кривая, о которой знают все художники, потому что она представляет собой растянутый круг. Дети тоже знают о нем: им рассказывали, что если продеть в кольцо бечевку, закрепить ее концы и вставить в кольцо карандаш, то он опишет эллипс (рис. 1).

Две точки *A* и *B* — фокусы. Орбита планеты — эллипс. Солнце находится в одном из фокусов. Возникает другой вопрос: как движется планета по эллипсу? Идет ли она быстрее, когда находится ближе к Солнцу? Замедляет ли движение, удаляясь от него? Кеплер ответил и на этот вопрос (рис. 2).

Он обнаружил, что если взять два положения планеты, отделенных друг от друга определенным промежутком времени, скажем тремя

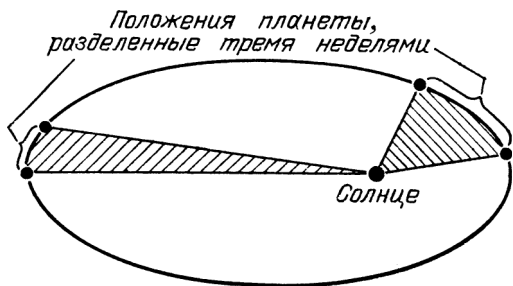


Рис. 2

неделями, потом взять другую часть орбиты и там — тоже два положения планеты, разделенных тремя неделями, и провести линии (ученые называют их радиус-векторами) от Солнца к планете, то площадь, заключенная между орбитой планеты и парой линий, которые отделены друг от друга тремя неделями, всюду одинакова, в любой части орбиты. А чтобы эти площади были одинаковы, планета должна идти быстрее, когда она ближе к Солнцу, и медленнее, когда она далеко от него.

Еще через несколько лет Кеплер сформулировал третье правило, которое касалось не движения одной планеты вокруг Солнца, а связывало движения различных планет друг с другом. Оно гласило, что время полного оборота планеты вокруг Солнца зависит от величины орбиты и пропорционально квадратному корню из куба этой величины. А величиной орбиты считается диаметр, пересекающий самое широкое место эллипса.

Так Кеплер открыл три закона, которые можно свести в один, если сказать, что *орбита планеты представляет собой эллипс; за равные промежутки времени радиус-вектор планеты описывает равные площади и время (период) обращения планеты вокруг Солнца пропорционально величине орбиты в степени три вторых, т.е. квадратному корню из куба величины орбиты*. Эти три закона Кеплера полностью описывают движение планет вокруг Солнца.

Спросим себя: что заставляет планеты двигаться вокруг Солнца? Во времена Кеплера не-

которые люди отвечали, что позади планет сидят ангелы, машут крыльями и толкают планеты по орбитам. Позднее вы увидите, что этот ответ не так уж далек от истины. С той только разницей, что «ангелы» сидят в другом месте и толкают планету к Солнцу.

Тем временем Галилей исследовал законы движения самых обычных предметов, которые были у него под рукой. Изучая эти законы, производя различные опыты, чтобы выяснить, как скатываются шарики по наклонной плоскости, как качаются маятники и т.д., Галилей открыл великий принцип, который называется принципом инерции и состоит вот в чем: если на предмет ничто не действует и он движется с определенной скоростью по прямой линии, то он будет двигаться с той же самой скоростью и по той же самой прямой линии вечно. Как ни странно это звучит для тех, кто пытался заставить шарик вечно катиться по полу, но если бы эта идеализация была верна и на шарик ничто не действовало (например, трение о пол), то шарик все время катился бы с постоянной скоростью.

Затем наступила очередь Ньютона, который раздумывал над таким вопросом: а если шарик не катится по прямой линии, что *тогда*? И он ответил так: для того чтобы хоть как-нибудь изменить скорость, нужна сила. Например, если вы подталкиваете шарик в том направлении, в каком он катится, то он покатится быстрее. Если вы заметили, что он свернул в сторону, значит,

сила действовала сбоку. Силу можно измерить произведением двух величин. Насколько меняется скорость за небольшой промежуток времени? Эта величина называется ускорением. Если ее умножить на коэффициент, называемый массой предмета, то произведение и будет силой. Силу можно измерить. Например, если мы привяжем к веревке камень и станем крутить его над головой, то почувствуем, что за веревку надо тянуть. Правда, когда камень летает по кругу, величина скорости не изменяется — зато изменяется ее направление. Значит, нужна сила, которая все время тянула бы камень к центру, и сила эта пропорциональна массе. Если мы возьмем два разных предмета и станем раскручивать сначала один, а потом другой с той же самой скоростью, то во втором случае потребуется сила, во столько раз большая, во сколько масса второго предмета больше массы первого. Таким образом, определив силу, необходимую для того, чтобы изменить скорость тела, мы можем вычислить его массу. Поэтому, решил Ньютон, планете, вращающейся вокруг Солнца, *не нужна сила, чтобы двигаться вперед*; если бы никакой силы не было, планета летела бы по касательной. Но на самом деле пла-

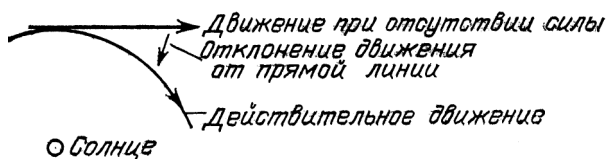


Рис. 3

нета летит не по прямой. Она все время оказывается не в том месте, куда попала бы, если бы летела свободно, а ближе к Солнцу (рис. 3). Другими словами, ее скорость, ее движение отклоняются в сторону Солнца. Поэтому ангелы должны так махать крыльями, чтобы все время подталкивать планету к Солнцу.

Но свободное движение не имеет никакой видимой причины. Почему предметы способны вечно лететь по прямой линии, мы не знаем. Происхождение закона инерции до сих пор остается загадкой. В отличие от ангелов свободное движение существует, и, чтобы искривить его, нужна сила. Стало ясно, что источник этой силы находится где-то около Солнца. И Ньютону удалось доказать, что второй закон Кеплера — закон равенства площадей — прямо вытекает из той простой идеи, что все изменения в скорости направлены к Солнцу. Даже в случае эллиптической орбиты. В следующей лекции я попытаюсь подробно объяснить вам, как это можно сделать.

Этот закон укрепил Ньютона в мысли, что сила, действующая на планеты, направлена к Солнцу и что, зная, как период обращения разных планет зависит от расстояния до Солнца, можно будет определить, как ослабляется сила с расстоянием. Он нашел, что сила обратно пропорциональна квадрату расстояния.

До сих пор Ньютон не сказал ничего нового — он лишь повторил другими словами то, что сказал до него Кеплер. Один закон Кеплера равнозна-