

Глава 4

СОХРАНЕНИЕ ЭНЕРГИИ

§ 1. Что такое энергия?

С этой главы, покончив с общим описанием природы вещей, мы начнем подробное изучение различных физических вопросов. Чтобы показать характер идей и тип рассуждений, которые могут применяться в теоретической физике, мы разберем один из основных законов физики — сохранение энергии.

Существует факт, или, если угодно, закон, управляющий всеми явлениями природы, всем, что было известно до сих пор. Исключений из этого закона не существует; насколько мы знаем, он абсолютно точен. Название его — *сохранение энергии*. Он утверждает, что существует определенная величина, называемая энергией, которая не меняется ни при каких превращениях, происходящих в природе. Само это утверждение весьма и весьма отвлеченно; это по существу математический принцип, утверждающий, что существует некоторая численная величина, которая не изменяется ни при каких обстоятельствах. Это отнюдь не описание механизма явления или чего-то конкретного, просто-напросто отмечается то странное обстоятельство, что можно подсчитать какое-то число и затем спокойно следить, как природа будет выкидывать любые свои трюки, а потом опять подсчитать это число — и оно останется прежним. (Ну, все равно, как слон на черном шахматном поле: как бы ни разворачивались события на доске, какие бы ходы ни делались, слон все равно окажется на черном поле. Наш закон как раз такого типа.) И поскольку утверждение это отвлеченно, то мы выявим его смысл на некоторой аналогии.

§ 1. Что такое энергия?

§ 2. Потенциальная энергия тяготения

§ 3. Кинетическая энергия

§ 4. Прочие формы энергии

Познакомимся с мальчиком, таким Монтигомо Ястребиный Коготь; у него есть большие кубики, которые даже он не может ни сломать, ни разделить на части. Все они одинаковы. Пускай их у него 28 штук. Мама оставляет его утром дома наедине с этими кубиками. Каждый вечер она подсчитывает, сколько у него кубиков, — она немного любопытна! — и открывает поразительную закономерность: что бы ее сынишка ни вытворил с кубиками, их все равно оказывается 28! Так это тянется довольно долго, и вдруг в один прекрасный день она насчитывает только 27 штук. После недолгих поисков кубик обнаруживают под ковром: ей приходится все обыскать, чтобы убедиться в неизменности числа кубиков. В другой раз кубиков оказывается 26. Снова тщательное исследование показывает, что окно отворено; взглянув вниз, она видит два кубика в траве. В третий раз подсчет дает 30 кубиков! Это приводит маму в полное замешательство, но потом она вспоминает, что в гости приходил соседский Кожаный Чулок, видимо, он захватил с собой свои кубики и позабыл их здесь. Она убирает лишние кубики, затворяет плотно окно, не пускает больше гостей в дом, и тогда все опять идет как следует, пока однажды подсчет не дает 25 кубиков... Правда, в комнате имеется ящик для игрушек, маме хочется и в него заглянуть, но мальчик кричит: «Не открывай мой ящик!» и начинает рёв; мама к ящику не допускается. Как же быть? Но мама любопытна и хитра, она придумывает выход! Она знает, что кубик весит 500 г; она взвешивает ящик, когда все 28 кубиков на полу, он весит 1 кг. Когда в следующий раз она проверяет количество кубиков, она опять взвешивает ящик, вычитает 1 кг и делит на 500 г. Она открывает, что

$$\left(\begin{array}{c} \text{Число имеющихся} \\ \text{кубиков} \end{array} \right) + \frac{\text{Вес ящика} - 1 \text{ кг}}{500 \text{ г}} = \text{Постоянная величина.} \quad (4.1)$$

Но опять возникают отклонения и от этой формулы. Снова в результате кропотливых изысканий выясняется, что при этом уровень воды в стиральной машине почему-то изменился. Дитя, оказывается, швыряет кубики в воду, а мать не может их увидеть — вода мыльная; но она может узнать, сколько в воде кубиков, добавив в формулу новый член. Первоначальный уровень воды 40 см, а каждый кубик подымает воду на $\frac{1}{3}$ см, так что новая формула такова:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Число имеющихся} \\ \text{кубиков} \end{array} \right) + \frac{\text{Вес ящика} - 1 \text{ кг}}{500 \text{ г}} + \frac{\text{Уровень воды} - 40 \text{ см}}{\frac{1}{3} \text{ см}} = \text{Постоянная величина.} \quad (4.2)$$

Мир представлений мамы постепенно расширяется, она находит весь ряд членов, позволяющих рассчитывать, сколько

кубиков находится там, куда она заглянуть не может. В итоге она открывает сложную формулу для количества, которое *должно быть рассчитано* и которое всегда остается тем же самым, что бы ее дитя ни натворило.

В чем же аналогия между этим примером и сохранением энергии? Самое существенное, от чего надлежит отвлечься в этой картинке, — это что *кубиков не существует*. Отбросьте в выражениях (4.1) и (4.2) первые члены и вы обнаружите, что считаете более или менее отвлеченные количества. Аналогия же в следующем. Во-первых, при расчете энергии временами часть ее уходит из системы, временами же какая-то энергия появляется. Чтобы проверить сохранение энергии, мы должны быть уверены, что не забыли учесть ее убыль или прибыль. Во-вторых, энергия имеет множество *разных форм* и для каждой из них есть своя формула: энергия тяготения, кинетическая энергия, тепловая энергия, упругая энергия, электроэнергия, химическая энергия, энергия излучения, ядерная энергия, энергия массы. Когда мы объединим формулы для вклада каждой из них, то их сумма не будет меняться, если не считать убыли энергии и ее притока.

Важно понимать, что физике сегодняшнего дня неизвестно, *что такое* энергия. Мы не считаем, что энергия передается в виде маленьких пилюль. Ничего подобного. Просто имеются формулы для расчета определенных численных величин, сложив которые, мы получаем число 28 — всегда одно и то же число. Это нечто отвлеченное, ничего не говорящее нам ни о механизме, ни о *причинах* появления в формуле различных членов.

§ 2. Потенциальная энергия тяготения

Сохранение энергии можно понять, только если имеются формулы для всех ее видов. Я сейчас рассмотрю формулу для энергии тяготения близ земной поверхности; я хочу вывести ее, но не так, как она впервые исторически была получена, а при помощи специально придуманной для этой лекции нити рассуждений. Я хочу вам показать тот достопримечательный факт, что нескольких наблюдений и строгого размышления достаточно, чтобы узнать о природе очень и очень многое. Вы увидите, в чем состоит работа физика-теоретика. Вывод подсказан блестящими рассуждениями Карно о к. п. д. тепловых машин*.

Рассмотрим грузоподъемные машины, способные поднимать один груз, опуская при этом другой. Предположим еще, что

* Нас здесь интересует не столько итоговая формула (4.3) (она вам, должно быть, знакома), сколько возможность получить ее теоретическим путем.