

О ФИЗИКЕ И ФИЗИКАХ

книга для дополнительного чтения

к учебнику

«ФИЗИКА»

7 класс



О ФИЗИКЕ И ФИЗИКАХ

КНИГА ДЛЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЧТЕНИЯ

7 класс

Омск
Амфора
2019

УДК 372.016:53
ББК 22.3я721
О912

О912 О физике и физиках: книга для дополнительного чтения к учебнику «Физика». 7 класс / сост. С.М. Андриюшечкин. – Омск, 2019. – 67 с.

Пособие «О физике и физиках: книга для дополнительного чтения» является одним из элементов дидактического комплекса проблемного обучения «Физика –7-9» (автор: Андриюшечкин С.М.)

ISBN 978-5-6044095-0-3

УДК 372.016:53
ББК 22.3я721

© Андриюшечкин С.М., составление, 2019

ПРЕДИСЛОВИЕ

В подзаголовке пособия указано – «книга для дополнительного чтения». И это не случайно. Статьи, собранные в книге, дополняют содержание учебника «Физика» для 7 класса (автор С. М. Андрюшечкин). В них более подробно рассказывается о физических явлениях и величинах, рассматриваемых в учебнике, об открытии физических законов и применении их на практике, об ученых, совершивших эти открытия. Рассказывается в книге и о том, что осталось за страницами учебника.

Статьи книги следует читать по мере того, как соответствующая тема будет изучена в школе, но, наверное, любознательный читатель может и «забегать вперед». Единственное, о чём следует помнить, что это чтение должно быть вдумчивым, «с карандашом в руках».

Книга составлена по материалам научно-популярной литературы, перечень использованной составителем литературы указан после каждой статьи. В тексты были внесены изменения и сокращения, делающие их более доступными читателям – ученикам седьмого класса.

СТАНОВЛЕНИЕ ФИЗИКИ

Физику принято подразделять на экспериментальную и теоретическую. Задачей экспериментальной физики является обнаружение на опыте связей между физическими явлениями. Экспериментальная физика также занята поиском возможностей практического использования результатов опыта, например, в технике. Теоретическая физика часто идёт от эксперимента, ее первая задача – объяснить опытные данные. Вторая задача – предложить новые эксперименты, которые либо подтвердят справедливость разработанной теории, либо опровергнут её. В этом случае теоретикам необходимо будет заняться разработкой новой теории. Вместе экспериментальная и теоретическая физика составляют единое целое современной науки. В наше время применяют также компьютерное моделирование. Когда реальный эксперимент небезопасен и может нанести ущерб окружающей среде или когда создание экспериментальной установки требует огромных финансовых затрат, то проводят, используя сверхмощные компьютеры, так называемые вычислительные эксперименты.

Как же возникла наука? Уже в древние эпохи, на заре цивилизации люди накопили значительное количество сведений о природных явлениях. Но для того, чтобы этот наблюдательный материал стал основой науки, должен был произойти переворот в мышлении людей. Они должны были осознать, что знания представляют ценность не только потому, что позволяют выжить – сама жизнь дана человеку, чтобы познавать окружающий мир. Одним из очагов возникновения научного мышления стала Древняя Греция (Эллада). При численности населения

Эллады сравнимой с численностью населения крупного современного города, эллины оставили неизгладимый след в истории человечества, дав миру сотни знаменитых философов, писателей, скульпторов и архитекторов.

Историки науки считают, что первый физический эксперимент был осуществлен в научной школе Пифагора (VI в. до нашей эры). Его схема понятна из рисунка 1, где изображены четыре струны одинаковой толщины, но разной длины, которые при одном и том же натяжении издадут различные звуки. Пифагор нашёл, что звучание таких струн соответствует основному тону, октаве¹, квинте² и кварте³ в

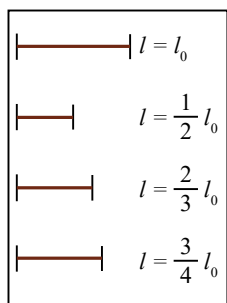


Рис. 1

¹ Частота октавы выше основного тона в 2 раза.

² Частота квинты выше основного тона в 1,5 раза.

³ Частота кварты составляет $4/3$ частоты основного тона.

звучании лиры – одного из древних музыкальных инструментов (рис. 2). Ученики Пифагора также выяснили, как звучат металлические диски при ударе молотом. Для проведения такого экспериментального исследования они изготовили четыре медных диска одного диаметра, но различной толщины. Было установлено соотношение между массой дисков и музыкальными тонами.

Обратимся теперь к одному из самых ярких теоретических воззрений древнегреческих философов – основоположников физической науки. Речь идёт о возникновении атомистических взглядов. Так философ Демокрит (V в. до нашей эры) представлял тела состоящими из бесчисленных мельчайших неделимых частиц. Эти частицы получили название атомов, что в переводе с греческого и означает «неделимые». Конечно, атомистика древнегреческих ученых была далека от того, что понимают под этим словом в современной физике. Тем не менее, именно с той поры ведет свой отсчёт эра атомистики в науке, которая, непрерывно развиваясь до сегодняшнего дня, является теоретической основой физики.



Рис. 2. Лира – древнегреческий струнный щипковый инструмент. Символ творчества и вдохновения



1. Каковы основные задачи экспериментальной и теоретической физики?



2. Кто ввёл слово «физика» как название науки о природе в научный обиход?

Литература

1. Фистуль В. Как зарождалась физика // Квант. – 2001. – № 3. – С. 3–5.
2. Энциклопедический словарь юного физика / сост. В. А. Чуянов. – М. : Педагогика, 1984. – С. 264–267, 310, 311.
3. Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 1. Биография физики. Путешествие в глубь материи. Механическая картина мира / гл. ред. В. А. Володин. – М. : Аванта +, 2001. – С. 12–22.

РАБОТА НАД ОШИБКАМИ

Выполняя лабораторную работу или решая задачу по физике, мы имеем дело с различными численными значениями физических величин.

Измеренные в опыте или полученные в результате расчётов, определённые из графика или найденные в справочной таблице численные значения физических величин всегда имеют *приближённое* значение. Правила же вычисления приближённых величин отличаются от правил точных вычислений! Это означает, что измерив, например, физические величины, а затем, используя нужные формулы и с помощью калькулятора проведя точные расчёты с «шестью цифрами после запятой», вы ещё не определили правильного значения искомой физической величины.

Проиллюстрируем это утверждение решением следующей задачи: *Стороны a и b прямоугольного листа картона равны соответственно 51,5 см и 44,5 см. Чему равен полупериметр p листа и его площадь S ?*

Математическое решение задачи очевидно:

$$p = 51,5 \text{ см} + 44,5 \text{ см} = 96 \text{ см},$$
$$S = 51,5 \text{ см} \cdot 44,5 \text{ см} = 2291,75 \text{ см}^2.$$

Насколько точен этот ответ? Абсолютно точен, если длины сторон листа картона заданы точно.

А если длины сторон не заданы, а *измерены*, например, рулеткой с ценой деления 1 см и при этом абсолютная погрешность измерения составляет 0,5 см? С какой точностью в этом случае можно определить полупериметр и площадь? Ответы на подобные вопросы даёт специальный раздел математики – *теория приближённых вычислений*.

Покажем на примере рассматриваемой задачи некоторые методы этой теории.

Абсолютную погрешность (абсолютную величину ошибки измерения) величины X обозначим, как это принято, Δx (Δ – буква греческого алфавита, читается: дельта). Тогда

$$\Delta a = 0,5 \text{ см},$$
$$\Delta b = 0,5 \text{ мм}.$$

Результаты измерений запишем в виде:

$$a = (51,5 \pm 0,5) \text{ см},$$
$$b = (44,5 \pm 0,5) \text{ см}.$$

Такая форма записи «сигнализирует», что нижняя граница значения, например, стороны a составляет 51 см, а верхняя граница значения стороны a – 52 см. Определим полупериметр земельного участка.

$$p = (a \pm \Delta a) + (b \pm \Delta b).$$

$$p = (a + b) \pm (\Delta a + \Delta b).$$

Абсолютная погрешность Δp полупериметра равна

$$\Delta p = \Delta a + \Delta b.$$

Тогда полупериметр равен

$$p = (96 \pm 1) \text{ см.}$$

Рассмотренный пример показывает, что **при сложении и вычитании чисел их абсолютные погрешности складываются.**

При умножении или делении чисел удобнее иметь дело с относительной погрешностью ε (ε – буква греческого алфавита, читается эпсилон). Относительная погрешность ε_x величины X вычисляется как отношение абсолютной погрешности Δx к приближенному (измеренному) значению величины X :

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{X}.$$

Относительная погрешность показывает какую часть (долю) абсолютная погрешность Δx составляет от численного значения величины X . Обычно относительную погрешность выражают в процентах:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{X} 100\%.$$

В данной задаче

$$\varepsilon_a = \frac{0,5 \text{ см}}{51,5 \text{ м}} \approx 0,0097,$$

$$\varepsilon_b = \frac{0,5 \text{ см}}{44,5 \text{ м}} \approx 0,0112.$$

При умножении и делении чисел полученное произведение или частное имеет относительную погрешность равную сумме относительных погрешностей чисел. Докажем это утверждение для случая операции умножения. Пусть некоторая величина S является произведением двух величин a и b . Тогда

$$S = (a \pm \Delta a) \cdot (b \pm \Delta b).$$

$$S = a \cdot b \pm \Delta a \cdot b \pm \Delta b \cdot a \pm \Delta a \cdot \Delta b.$$

Абсолютная погрешность ΔS произведения равна

$$\Delta S = \Delta a \cdot b + \Delta b \cdot a + \Delta a \cdot \Delta b. \quad (1)$$

Абсолютные погрешности Δa и Δb во много раз меньше значения величин a и b . Значит последнее слагаемое в выражении (1)

$$\Delta a \cdot \Delta b$$

во много раз меньше первых двух слагаемых

$$\Delta a \cdot b$$

и

$$\Delta b \cdot a.$$

Следовательно, слагаемое

$$\Delta a \cdot \Delta b$$

можно не учитывать (пренебречь).

Тогда

$$\Delta S = \Delta a \cdot b + \Delta b \cdot a.$$

Вычислим теперь относительную погрешность.

$$\varepsilon_S = \frac{\Delta S}{S_{\text{изм}}},$$

$$\varepsilon_S = \frac{\Delta a \cdot b + \Delta b \cdot a}{a \cdot b},$$

$$\varepsilon_S = \frac{\Delta a \cdot b}{a \cdot b} + \frac{\Delta b \cdot a}{a \cdot b},$$

$$\varepsilon_S = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b},$$

$$\varepsilon_S = \varepsilon_a + \varepsilon_b.$$

Что и требовалось доказать.

Вернёмся к нашей задаче. Площадь земельного участка вычисляется как произведение длин сторон, поэтому относительная погрешность ε_S площади равна сумме относительных погрешностей ε_a и ε_b сторон:

$$\varepsilon_S = \varepsilon_a + \varepsilon_b.$$

Произведем вычисление:

$$\varepsilon_S = 0,0097 + 0,0112 = 0,0209.$$

Вычислим теперь и абсолютную погрешность площади ΔS .

$$\varepsilon_S = \frac{\Delta S}{S_{\text{изм}}},$$

отсюда

$$\Delta S = \varepsilon_S \cdot S_{\text{изм}},$$

$$\Delta S = 0,0209 \cdot 2291,75 = 47,897575 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Полученное значение абсолютной погрешности обязательно округляют до одной значащей цифры:

$$\Delta S = 50 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Итак, площадь S прямоугольного листа картона равна

$$S = (2290 \pm 50) \text{ см}^2,$$

то есть в действительности может иметь любое значение в пределах от 2240 см² до 2340 см².

Напомним, что, произведя вычисления, мы первоначально получили значение площади равное

$$S = 2291,75 \text{ см}^2.$$

Если бы не теория приближённых вычислений то, наверное, мы пребывали бы в иллюзии, что площадь листа картона определена нами с точностью до сотой части квадратного сантиметра, тогда как фактически проведённые измерения длин сторон позволяют определить площадь с точностью лишь до десятков квадратных сантиметров!



1. При измерении массы груза m был получен следующий результат:

$$m = (142 \pm 2) \text{ г.}$$

Чему равна абсолютная и относительная погрешности измерения массы?



2. Измерения длины стержня с помощью линейки и с помощью штангенциркуля дали следующие результаты:

$$l_1 = (22 \pm 1) \text{ мм}$$

и

$$l_2 = (21,8 \pm 0,1) \text{ мм.}$$

Какой из этих результатов точнее и во сколько раз?

Литература

1. Демидович Н. Б. Вычисления, ошибки, контроль // Квант. – 1973. – № 2. – С. 11–16.

2. Кембровский Г. С. Приближенные вычисления и методы обработки результатов измерений в физике: Метод. пособие. – Минск. : Университетское, 1990. – 189 с.

ИЗ ИСТОРИИ МЕТРА¹

Уже в глубокой древности у человека возникла потребность измерять расстояния. Измерить же физическую величину, как вы знаете, это значит сравнить её значение со значением величины, принятой за единицу (меру) величины. Для первобытного охотника такой естественной мерой длины было расстояние, на которое он мог послать стрелу из лука или бросить копье, для скотовода-кочевника – длина дневного перехода стада. В Вавилоне – одном из центров Древнего мира – использовалась единица измерения *стадий*, равная расстоянию, которое человек проходит спокойным шагом за промежуток времени от появления первого луча солнца при восходе его до того момента, когда весь солнечный диск окажется над горизонтом (от 185 до 195 м).

Размеры окружающих предметов обычно сравнивали с ростом человека, размахом его рук, шириной шага, размерами ступни, ладони, пальца, толщиной человеческого волоса. Таким образом, размеры неизвестного предмета определяли через величины, хорошо известные каждому (рис. 3). Так, *пядь* определяли как расстояние между вытянутыми указательным и большим пальцами руки. Слово «пядь» произошло от слова «пять» и обозначает кисть руки. (Вспомните выражение «не уступим ни пяди родной земли»).

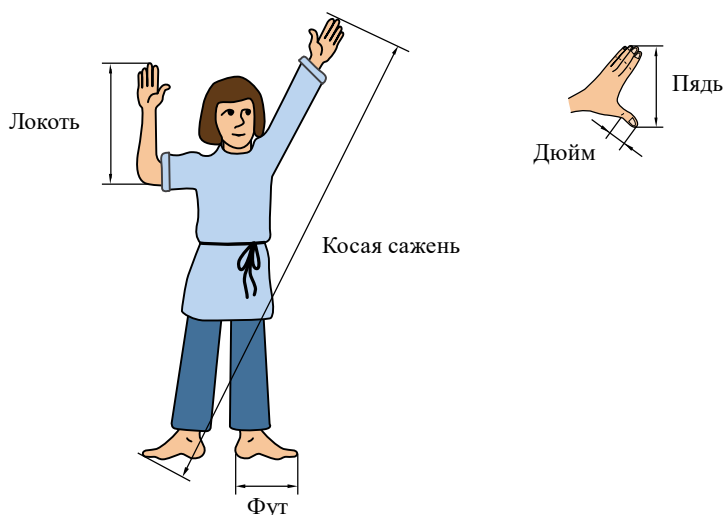


Рис. 3

¹ Слово «метр» произошло от греческого слова *metron* – мера.

Длину руки от локтя до конца среднего пальца называли *локтем*. Купцы, привозившие ткани из азиатских стран, продавали их на *аршин*. Слово «аршин» происходит от персидского слова «арш», что также означает локоть. В XVIII веке аршин был узаконен в России как государственная мера длины.

Сажени на Руси употребляли разные: маховая сажень – расстояние между концами пальцев раскинутых рук, косая сажень – «с ног на руки, от земли до руки», расстояние от ступни левой ноги до конца пальцев вытянутой правой руки. Слово «сажень» происходит от глагола «сягать», то есть доставать до чего-либо. До сих пор сохранилось выражение «косая сажень в плечах». Крупной мерой длины в России служила *верста*. Она была равна 500 саженим. Моряки для измерения больших расстояний пользовались *милей*. «Милле» – поллатыни тысяча. Тысяча двойных шагов – шаг левой, шаг правой – составляли расстояние, равное миле.

На протяжении многих веков каждая страна имела свои меры, которые устанавливал правитель данной страны. Это, в частности, отразилось в названии линейки, на английском языке называемой «рулер», что означает «правитель» (отсюда же – рулетка). Так, например, английский король Генрих I (1068–1135) установил *ярд* как расстояние от кончика носа до конца большого пальца вытянутой руки. Позднее был изготовлен прут из бронзы, равный ярду, и на него нанесли деления, расположенные на равном расстоянии друг от друга. В средние века в Европе за единицу измерения длины была принята мера, образцом которой служила длина «цепочки» из шестнадцати человек, стоящих таким образом, что пятка предыдущего касалась концов пальцев следующего. Одна шестнадцатая длины такой «цепочки» составляла *фут*, что по-английски означает «ступня». Ещё одна единица длины – *дюйм* – длина последнего сустава большого пальца.

Даже внутри одной страны меры, носящие одно название, на поверку оказывались значительно отличающимися друг от друга. (Вспомните пословицу «мерить на свой аршин»). Деление крупных мер на более мелкие было совершенно произвольным и приходилось тратить много времени на их заучивание. Например, верста – 500 сажень, сажень – 3 аршина, аршин – 16 вершков, или: ярд – 3 фута, фут – 12 дюймов. Всё это мешало развитию науки и техники, усложняло торговлю между разными государствами.

В конце XVIII века группа французских ученых предложила *метрическую систему мер* «на все времена и для всех народов». Система была построена на двух основных единицах – единице длины и единице массы. Дольные и кратные единицы получали путём деления или умножения основной единицы на число, кратное десяти. Таким образом, метрическая система мер – система десятичная: в каждой крупной единице содержится десять следующих по величине меньших единиц. Название всех производных единиц от основной образуются при помощи латинских и греческих приставок. В таблице 1 приведены наиболее часто встречающиеся приставки, а в таблице 2 – соотношения старых мер длины с метрическими мерами.

Таблица 1

Приставки СИ для образования десятичных кратных и дольных единиц

Приставка к названию	Как относится единица к основной	Сокращённое написание приставки
Пико	0,000 000 000 001 (10^{-12})	п
Нано	0,000 000 001 (10^{-9})	н
Микро	0,000 001 (10^{-6})	мк
Милли	0,001 (10^{-3})	м
Санتي	0,01 (10^{-2})	с
Деци	0,1 (10^{-1})	д
Дека	10 (10^1)	да
Гекто	100 (10^2)	г
Кило	1000 (10^3)	к
Мега	1 000 000 (10^6)	М
Гига	1 000 000 000 (10^9)	Г
Тера	1 000 000 0000 000 (10^{12})	Т

Таблица 2

Соотношения старых русских и некоторых зарубежных мер длины с метрическими мерами

1 морская миля = 1852 м
1 верста = 500 сажням = 1066,8 м
1 кабельтов = 0,1 морской мили = 185 м
1 сажень = 3 аршинам = 7 футам = 213,4 см
1 ярд = 3 футам = 36 дюймам = 91,44 см
1 аршин = 16 вершкам = 28 дюймам = 71,12 см
1 фут = 12 дюймам = 30,48 см
1 вершок = 4,44 см
1 дюйм = 25,4 мм

За единицу длины (метр) в метрической системе была принята длина специально изготовленного образца – эталона, который хранится в Международном бюро мер и весов в г. Севре близ Парижа. Эталон изготовлен из сплава двух металлов – платины (90%) и иридия (10%). Этот сплав обладает большой прочностью, и длина эталона очень мало изменяется при изменении температуры. (Там же в специальном помещении, огражденном от сотрясений и изменений температуры, хранится и эталон килограмма.)

При изготовлении эталона метра было принято решение, что его длина будет равна десятиmillionной части четверти земного меридиана, проходящего через Париж (рис. 4). Градусная мера одной четвертой части меридиана равна, очевидно, 90° . Если знать длину дуги меридиана, приходящуюся на 1° , то легко вычислить и общую длину всей девяностоградусной дуги. Для этого было ре-

шено измерить длину отрезка меридиана протяженностью более тысячи километров, между приморским городом Северной Франции Дюнкертом и Барселоной, испанским городом на берегу Средиземного моря (градусная мера дуги Дюнкерт – Барселона известна – около $9,5^\circ$).

Точные измерения таких больших расстояний весьма трудны; измерить их непосредственно нельзя и приходится применять *метод триангуляции*. Триангуляция состоит в том, что где-нибудь на равном месте измеряется с большой точностью отрезок длиной несколько километров, так называемый базис. От этого базиса на местности последовательно намечается ряд треугольников, стороны которых находятся вычислением (рис. 5).

Одна из сторон последнего треугольника триангуляционной сети, уже определённая вычислением, измеряется. Разница между вычисленной длиной и длиной, полученной в результате измерения, показывает точность всей работы. За вершины треугольников берутся предметы, видимые издали: колокольни, башни, высокие деревья и тому подобное. Учёные направляют на эти предметы угломерные инструменты и измеряют углы треугольников, необходимые для вычисления сторон.

На протяжении тысячи километров от Дюнкерка до Барселоны надо было «построить» десятки треугольников и для определения их сторон произвести множество сложнейших вычислений. Эта работа выполнялась французскими учёными в течение шести лет. 10 декабря 1799 года Национальное собрание Франции узаконило метрическую систему. В 1872 году в Париже состоялось заседание Международной конференции мер, в которой приняли участие представители тридцати стран. Конференция признала метрическую систему международной, для стран-участниц конференции были изготовлены копии эталона метра и килограмма. В 1960 году 11-й Генеральной конференцией по мерам и весам была принята Международная система единиц физических величин (от французского *Systeme international, SI*). В ней семь основных единиц, среди них – единица длины (метр), единица времени (секунда), единица длины (метр), единица массы (килограмм).

Развитие техники физических измерений привело к необходимости ввести новое определение метра, не связанное с эталоном. С 1983 года за метр принимается длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени $1/299\,792\,458$ секунды. Такое определение, связанное с отказом от «рукотворного» эталона, дало возможность намного увеличить точность измерений.

Особым образом, не через продолжительность суточного вращения Земли, определена в современной физике и секунда. Основная единица измерения



Рис. 4

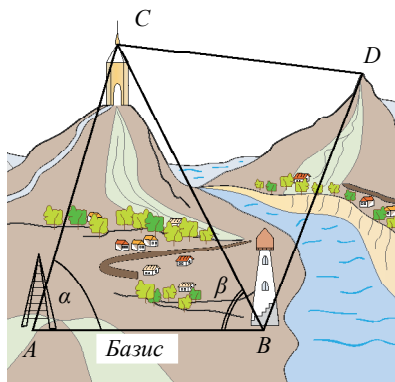


Рис. 5

времени – секунда – равна 9 192 631 770 периодам излучения, испускаемого атомами химического элемента цезия.

Самое продолжительное время основной единицей СИ, определённой на основе эталона, изготовленного человеком, оставался килограмм. Однако 20 мая 2019 года платино-иридиевый слиток, хранящийся в Международном бюро мер и весов в г. Севре близ Парижа, официально потерял статус эталона килограмма. Теперь и значение единицы массы – килограмма – рассчитывается на основе значения определённых физических величин, допускающих измерение в лаборатории.



1. Герой одного известного мультфильма измерял длину удава в «попугаях». Допустимо ли использование такой единицы измерения для измерения длины?



2. Выясните, что такое метрология.

Литература

1. Кабардин О. Ф. и др. Факультативный курс физики. 8 кл. Пособие для учащихся. М.: Просвещение, 1973. – С. 5–11. Из истории метра.
2. Лишевский В. П. Измерение длины // Квант. – 1970. – № 5. – С. 10–6.
3. Волков А. Как появилась метрическая система мер // Квант. – 1991. – № 8. – С. 33–34.
4. Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 1. Биография физики. Путешествие в глубь материи. Механическая картина мира / Гл. ред. В. А. Володин. – М. : Аванта +, 2001. – С. 272–275.

РОБЕРТ ГУК – УЧЁНЫЙ-ЭНЦИКЛОПЕДИСТ

В истории науки есть периоды, когда происходит крутая ломка представлений о природе и методах её исследования. Такие периоды принято называть научными революциями. Одна из них относится к XVII столетию, в течение которого были заложены основы многих разделов классической физики. Основное в физической революции XVII века заключается в том, что учёные обратились к эксперименту как средству познания законов природы.

Одним из выдающихся деятелей науки той эпохи был Галилео Галилей (1564–1642). Его простые, остроумные и очень убедительные опыты вдохновили многих учёных на исследования в разных областях физики. Семнадцатое столетие чрезвычайно расширило круг изучаемых физических законов и явлений. При этом многие ученые того времени успешно работали сразу в нескольких областях физики. К таким учёным-универсалам относился и английский естествоиспытатель Роберт Гук (1635–1703), который по широте научных интересов и разнообразию полученных им результатов занимает одно из самых заметных мест среди учёных XVII века.

Еще в раннем детстве у него проявилась страсть к изобретательству, конструированию и моделированию различных устройств и механизмов. В 1653 году Гук становится студентом знаменитого Оксфордского университета, и молодому человеку надо было искать средства для оплаты учебы. Он поступает на работу в качестве ассистента к молодому аристократу, имя которого вошло во все учебники физики, Роберту Бойлю.

Бойль, человек столь же знатный, сколь и богатый, не желая участвовать в сложной политической борьбе, раздиравшей Англию в середине XVII века, удалился в Оксфорд. В то время, когда Гук стал его ассистентом, Бойль планировал проведение опытов с помощью воздушного насоса. Гуку было поручено усовершенствовать насос, и новый ассистент блестяще справился с заданием (рис. 6). Используя этот насос, Бойль выполнил серию экспериментов, которые привели к установлению одного из основных газовых законов.

В 1660 году было основано Лондонское Королевское общество (Академия наук Англии) и через два года Гук становится демонстратором Королевского

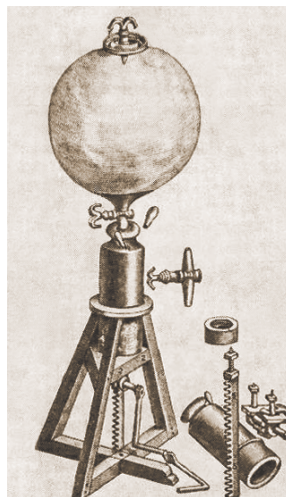


Рис. 6. Внешний вид насоса Бойля и Гука

общества. В его обязанности входила подготовка экспериментов, которые демонстрировались на еженедельных заседаниях Королевского общества. Середина XVII века – это время, когда экспериментальные исследования только входят в практику учёных. Поэтому Гуку приходилось очень много работать: ведь он должен был не только ставить опыты, придуманные им самим, но и повторять эксперименты, сообщения о которых дошли до Англии, проводить астрономические наблюдения и так далее. И Гук с честью справлялся с этими обязанностями в течение нескольких десятилетий. Помимо этого Гук выступал перед членами Королевского общества с лекциями по различным вопросам науки.

Кажется, что дел, которыми занимался Гук, хватило бы на нескольких людей. Но он находит всё новые применения своему таланту. В 1666 году произошло трагическое событие: в результате страшного пожара была уничтожена значительная часть английской столицы (он вошел в историю как Большой Лондонский Пожар – с большой буквы). Сразу после трагедии в королевское общество обратились с просьбой представить проекты перестройки Лондона. Гук в течение нескольких недель подготовил оригинальный проект. По его плану улицы нового Лондона должны были пересекаться строго под прямыми углами. Хотя этот план не был принят (идея ученого была воплощена в жизнь лишь значительно позже, при застройке Нью-Йорка), проект Гука оценён по достоинству, и он был привлечён к работе по перестройке Лондона в качестве смотрителя. Получили известность и работы Гука как архитектора.

Вот так, в непрерывной, неустанной деятельности проходили дни Роберта Гука. Однако среди множеств его занятий основное место, безусловно, принадлежит научным исследованиям. Какими же открытиями и исследованиями обогатил Гук науку?

Одна из проблем физики, вклад Гука в решение которой весьма значителен, это теория тяготения. В первые годы деятельности Лондонского Королевского общества он проводил опыты, в которых пытался выяснить, меняется ли сила притяжения, действующая на тело со стороны Земли, при изменении расстояния от центра Земли. Ожидаемых результатов Гук не получил, но не потерял интереса к этой проблеме. В 1674 году Гук опубликовал работу, где, в частности, указал на существование универсальной силы тяготения.

Среди астрономических проблем, которые затрагивает Гук, представляет интерес вопрос о происхождении лунных кратеров. Для ответа на него ученый ставил модельные опыты: он наблюдал за образованием неровностей, похожих на кратеры, на поверхности кипящего алебаstra и на поверхности размягнутой глины, в которую падают небольшие ядрышки.

Важной особенностью творчества Гука являлось стремление выявлять взаимосвязь между изучаемыми им проблемами.

Ярким примером разнообразия занимавших его вопросов является «Микрография» – самое известное произведение Гука, изданное в 1665 году. В этой книге Гук описывает множество наблюдений, произведенных с помощью усовершенствованного им микроскопа (рис. 7). Усовершенствование микроскопа позволило Гуку провести уникальные по систематичности и разнообразию наблюдения. Например, исследование глаза мухи позволило объяснить, почему поле зрения этого насекомого очень велико. «Ряды глаз расположены таким образом, что нет ни одного направления, видимого от головы, на которое не были бы направлены несколько полусфер, так что справедливо говорят, что

муха имеет глаза во всех направлениях...». Среди других биологических наблюдений в первую очередь надо отметить клеточное строение растений. Сам термин «клетка», прочно вошедший в язык науки, был введён Гуком.

Особое значение для развития физики имела та часть книги, в которой Гук обсуждал вопрос о природе света. Заинтересовавшись явлением цветов тонких плёнок и выполнив целый ряд оригинальных наблюдений, он сформулировал верную точку зрения на природу света.

В истории физики имя Гука наиболее прочно связано с формулировкой закона упругости («закона Гука»). Исследованием упругих свойств веществ Гук заинтересовался ещё в юности, когда принимал участие в опытах Бойля. Затем он столкнулся со сходными проблемами, занявшись конструированием хронометра со спиральной пружиной. Итогом работ Гука в этой области стала его книга «О восстановительной способности, или об упругости», изданная в 1678 году.

В своей книге Гук описал множество опытов с упругими телами. На рисунке 8, заимствованном из указанной книги, показаны схемы опытов Гука по исследованию различных видов деформаций. С одной стороны, Гук подходил к этим исследованиям как практик, изучая, например, деформации часовых пружин или изгиб деревянных балок, использовавшихся в строительстве. С другой стороны, как учёный-естествоиспытатель, проводящий точные количественные эксперименты и делающий глубокие обобщения. Приведём слова самого Гука: «...закон природы для всякого упругого тела состоит в том, что его сила или способность восстанавливать своё естественное состояние всегда пропорциональны той

же мере, на которую оно выведено из этого своего естественного состояния ... И наблюдать это можно... во всех каких бы то ни было упругих телах ... Исходя из этого принципа легко можно вычислить силу луков... Легко будет находить и необходимое сопротивление пружины для часов ... Пользуясь тем же законом, легко было бы устроить философские весы, чтобы определять вес любого тела без применения гирь».

Рассказывая о творчестве Гука, мы неизбежно были вынуждены ограничиться лишь наиболее значительными из полученных им результатов. Так, ничего не было сказано о его работах по географии и картографии, хотя и они были весьма существенными. Тем не менее, даже этот краткий обзор позволяет без всякого преувеличения назвать Гука учёным-энциклопедистом, для которого наука являлась главным в жизни.

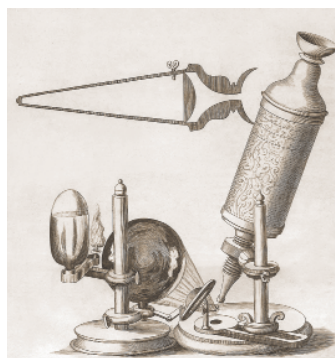


Рис. 7

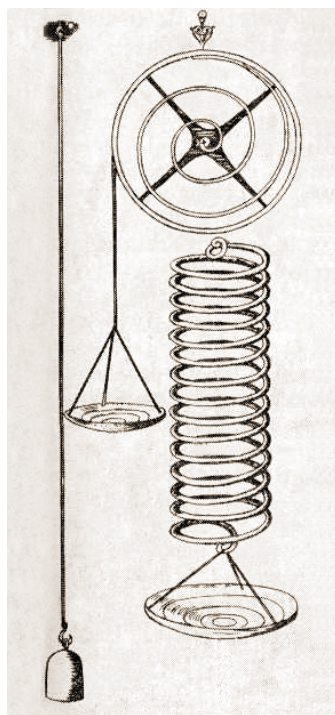


Рис. 8

Однако история не всегда справедлива к выдающимся людям: многие работы Гука были очень скоро забыты. Не сохранился и портрет учёного, сыгравшего выдающуюся роль в научной революции XVII века. Только в наше время творчество Роберта Гука получило должную оценку.



«Пользуясь тем же законом, легко было бы устроить философские весы, чтобы определять вес любого тела без применения гирь». Как в настоящее время называется прибор «философские весы», предложенный Р. Гуком?

Литература

1. Боголюбов А. Н. Роберт Гук (1635–1703). – М.: Наука, 1984. – 239 с.
2. Филонович С. Р. Роберт Гук // Квант. – 1985. – № 7. – С. 16–22.

ВЕЛИКАЯ КНИГА НЬЮТОНА

Главное произведение Исаака Ньютона (1643–1727) – «*Philosophia naturalis principia mathematica*» – «Математические начала натуральной философии». На современный язык название этой книги может быть переведено как «Математические начала физики». Эта книга – одна из наиболее значительных книг в мировой сокровищнице человеческого знания. Так, например, выдающийся математик, астроном и механик Жозеф Луи Лагранж (1736–1813) называл «Математические начала» «величайшим произведением человеческого ума». В этой книге Ньютон выполнил сложнейший труд по обобщению и систематизации открытий своих предшественников, дополнив их множеством своих результатов.

Перечислим основные факты, которыми располагал Ньютон:

– В начале XVII века астроном и математик Иоганн Кеплер (1571–1630) сформулировал законы движения планет, поставив тем самым задачу их научного объяснения;

– Примерно в это же время Галилео Галилей (1564–1642) проводил исследования движения тел по наклонной плоскости и при свободном падении;

– Важные результаты были получены Христиан Гюйгенсом (1629–1695) при изучении колебаний маятников, а также при исследовании проблемы удара.

Таким образом, Ньютон был во многом прав, когда писал: «Если я видел дальше других, то потому, что стоял на плечах гигантов».

Историкам науки очень редко удаётся установить, когда именно и при каких обстоятельствах у учёного возникает замысел конкретной статьи или книги. «Математические начала» составляют счастливое исключение. О создании этой книги известно очень многое и даже можно указать событие, послужившее отправной точкой в работе Ньютона над ней.

Время: август 1684 года. Место: Кембридж, Англия. Действующие лица: Исаак Ньютон – член Лондонского Королевского общества (Академия наук Англии), профессор математики и член Тринити-колледжа Кембриджского университета, и Эдмунд Галлей – астроном и математик, один из секретарей Лондонского Королевского общества.

В 1684 году, к моменту посещения его Галлеем, Ньютон занимал видное положение в научном сообществе Англии. Он – признанный авторитет в вопросах оптики и математики. Однако он жил и работал изолированно от других ученых, изредка обмениваясь с ними письмами. Молодой Галлей (ему было в то время 28 лет) приехал к Ньютону за советом. Его волновала задача, которую не могли решить многие искусные математики: по какой траектории будет

двигаться планета, если со стороны Солнца на нее постоянно будет действовать сила, обратно пропорциональная квадрату расстояния? И вот Галлей в Кембридже. На его прямой вопрос Ньютон дал столь же прямой ответ: он уже

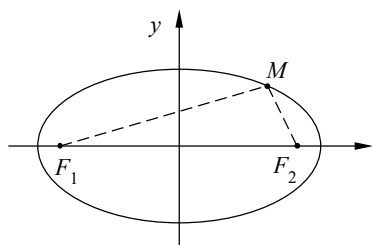


Рис. 9. Эллипс

доказал, что траекторией движения планеты будет эллипс. Эллипс – плоская овальная кривая (рис. 9). Эллипс обладает тем свойством, что сумма расстояний ($F_1M + MF_2$) до любой точки M эллипса от двух точек F_1 и F_2 (называемых фокусами эллипса) постоянна и равна длине большой оси эллипса. Галлей пожелал ознакомиться с расчётами Ньютона и через некоторое время получил небольшой трактат¹ на девяти страницах «О движении тел по орбите». В нём было изложено решение задачи,

волновавшей Галлея, и приводились доказательства других законов Кеплера.

Галлей понял, что перед ним гениальная работа. Он вновь поспешил в Кембридж, чтобы убедить Ньютона опубликовать результаты, содержащиеся в этой работе. Дипломатический дар, которым, по словам современников, обладал Галлей, сделал своё дело: Ньютон согласился подготовить работу к печати. С декабря 1684 года Ньютон сосредоточился на работе над развёрнутым вариантом трактата, в результате чего трактат вырос в объёме почти в 100 раз, превратившись в его знаменитые «Математические начала натуральной философии». Подготовка первого издания «Начала» длилась почти два с половиной года. Большую помощь в подготовке книги к печати оказал всё тот же Галлей. Он позаботился о том, чтобы улучшить оформление книги и издал её на собственные средства, поскольку Королевское общество испытывало в то время финансовые затруднения. Наконец в середине 1687 года книга Ньютона «Математические начала натуральной философии» увидела свет.

Познакомимся вкратце с её содержанием.

«Начала» открывались предисловием автора, в котором он пояснил стоявшую перед ним цель: применение математики к физике. Далее шли «Определения величин и понятий», на которых строится последующее изложение. Затем формулируются «Аксиомы или законы движения». На этом заканчивается вводная часть «Начал» и начинается изложение основного материала. Он разделен на три части (книги).

В книге первой «О движении тел» приводятся решения множества задач, связанных в основном с небесной механикой.

Вторая книга называется так же, как и первая – «О движении тел» – и в ней рассматриваются задачи, связанные с движением тел в жидкостях и газах, а также движение самих жидкостей в различных условиях. Может возникнуть вопрос: зачем Ньютону понадобилось так подробно обсуждать задачи, не имеющие столь фундаментального значения, как проблемы небесной механики, составляющие основу первой книги? Вероятно, Ньютон хотел продемонстрировать эффективность построенной им механики для решения ещё одного класса задач. Наконец, есть и ещё одно обстоятельство, которое, возможно, по-

¹ Трактат – научное сочинение, в котором рассматривается отдельный вопрос или проблема.

влияло на выбор задач для второй книги «Начал». Дело в том, что Ньютон был не только гениальным теоретиком, но и блестящим экспериментатором, для которого опыт является главным критерием истинности научной теории. Поэтому там, где это было возможно, Ньютон на опыте стремился получить подтверждения своих теоретических выкладок. Применительно к задачам второй книги «Начал» открывался широкий простор для опытной проверки, чем Ньютон и воспользовался. Он провел и описал много интересных механических экспериментов, дополняющих теоретическое обсуждение задач.

Вершиной «Математических начал» является третья книга, озаглавленная «О системе мира». Здесь Ньютон продемонстрировал всю мощь построенной им механики, анализируя многие, в том числе и весьма сложные астрономические явления с помощью сформулированных им законов движения и закона всемирного тяготения. В этом разделе «Начал» Ньютон обсуждает особенности движения планет и Луны, строит теорию приливов и теорию комет. Он смело объединяет «земную» и «небесную» механику, демонстрируя тем самым познавательные возможности науки.

Следует отметить, что и в построении, и в содержании этой части «Начал» особенно отчетливо проявилась неприязнь Ньютона к выдвиганию гипотез (его выражение «*Hypothesis non fingo*» – «Гипотез не измышляю» – стало почти афоризмом). С этой чертой творчества учёного связано отсутствие каких-либо объяснений механизма передачи тяготения на расстояние. Однако сам Ньютон прекрасно понимал незавершённость своей теории тяготения.

В заключительной части «Математических начал» подробно анализируются астрономические закономерности, известные в конце XVII века. Здесь Ньютону удалось свести множество разрозненных наблюдений и фактов в единую систему, что явилось наилучшим доказательством построенной им механики.

Более трёх столетий отделяют нас от того времени, когда жил и творил Ньютон. В его научном наследии, огромном и многообразном, «Математические начала натуральной философии» по праву занимают почётное место. В этой книге впервые была построена система анализа физических явлений, основанная не на качественных рассуждениях, а на их математическом описании. Важнейшей чертой «Начал» является последовательное использование данных опыта для построения теории. «Начала» дали пример беспрецедентно широкого охвата явлений – от перемещения тел на Земле до движения планет, их спутников и комет.

Английский поэт Александр Поуп (1688–1744) написал о Ньютоне строки, ставшие хрестоматийными:

*«Природы строй, её закон в извечной тьме таился,
И молвил Бог: “Явись, Ньютон!” – и всюду свет разлился».*

Последующее развитие физики уточнило и расширило границы ньютоновской механики, но не отвергло её основного содержания. Выдержав испытание временем, она и поныне служит основой современной картины мира и всего сегодняшнего естествознания, вызывая восхищение гением Ньютона.



Какие ещё научные достижения Ньютона вам известны?

Литература

1. Филонович С.Р. Великая книга Ньютона // Квант. – 1987. – № 11. – С. 14–18.
2. Филонович С.Р. Великая книга Ньютона // Квант. – 1987. – № 12. – С. 13–16.
3. Энциклопедия для детей. Том 16. Физика. Ч. 1. Биография физики. Путешествие в глубь материи. Механическая картина мира / Гл. ред. В. А. Володин. – М. : Аванта +, 2001. – С. 121–131, 133– 140.

НЬЮТОН – СОЦИАЛЬНЫЙ РЕФОРМАТОР

Историки науки утверждают, что если бы выдающееся произведение Ньютона «Математические начала натуральной философии» не было бы написано, то человеческая цивилизация развивалась бы иначе, иным был бы ход истории человечества. Однако современники ценили Ньютона не только за его научные достижения.

В 1688–1689 годах в Англии в ходе государственного переворота король Яков II Стюарт был низложен (смещён), а на престоле воцарились его дочь Мария II Стюарт и её супруг Вильгельм III Оранский. Этот переворот за мирный и бескровный характер стали называть «Славной революцией». Она закрепила привилегии купечества и банкиров, заинтересованных в экономическом росте страны. Для такого роста была жизненно необходима денежная реформа.

В 1699 году Ньютон был назначен директором Монетного двора. Познания ученого в металлургии понадобились, чтобы провести перечеканку серебряных монет. В то время при чеканке края монеты не имели боковой огранки и оказывались довольно бесформенными. Это позволяло обрезать края монет, воруя тем самым драгоценный металл. Такая операция называлась порчей монеты, и за это всегда карали очень строго. Но через какое-то время большая часть монет всё равно оказывалась порченной, товары переставали менять на такие деньги. Государству приходилось перечеканивать монеты, изымая старые и используя металл, из которого они были сделаны, как сырьё.

Подобные денежные реформы разоряли население. Дело в том, что вместо старых порченных денег люди получали новые, но обмен производился по весу. И вместо, допустим, десяти облегчённых старых монет владелец денег получал только шесть или семь новых полновесных монет. В результате объём наличности в стране уменьшался, а долги и проценты оставались теми же. Экономическая жизнь замирала.

Перспектива именно такой реформы стояла перед Англией в тот момент, когда Ньютон стал директором Монетного двора. Первое, чего ему удалось добиться, пользуясь своим положением и авторитетом, это проведение обмена денег не по весу, а по номиналу (то есть монета к монете). В результате ранее платежеспособные хозяева не потеряли своего состояния. Второе достижение Ньютона заключалось в том, что под его руководством производительность Монетного двора выросла в восемь раз без всяких технических новшеств. Учёный просто верно организовал производственный процесс, который до него был поставлен из рук вон плохо (кражи серебра, перепродажа инструмента фальшивомонетчикам). Чтобы этого не происходило, Ньютон ввёл жёсткую

систему контроля и наказаний. При Монетном дворе были созданы своя тюрьма и система сыска. Задолго до Скотленд-Ярда¹ в Англии появились тайные агенты, отслеживающие тех, чья деятельность подрывала финансовую систему страны, прежде всего фальшивомонетчиков.

Однако самым сложным явился вопрос финансирования реформы. Ведь при обмене по номиналу нужно было чем-то возместить все серебро, которое было срезано с монет. Недостаток средств, по предложению Ньютона, покрыли внешними займами – взяли деньги в долг у соседних государств. Довольно высокие проценты затем выплачивали за счет новых займов.

К середине XVIII века государственный долг Англии значительно вырос, однако финансовой катастрофы он не вызвал. К тому времени (и в этом тоже есть определённая заслуга Ньютона как депутата парламента) были приняты законы, по которым правительство раздавало кредиты своим гражданам. Причём эти кредиты были настолько выгодны, что открыть собственное дело, получив их, мог практически любой житель Англии. Это привело, разумеется, к жёсткой конкурентной борьбе, в результате которой многие новоиспечённые предприниматели разорялись. И всё-таки такая экономическая политика себя оправдала: промышленность и сельское хозяйство развивались, совокупный национальный доход страны увеличивался. Довольно скоро налоговые отчисления в казну сравнялись с французскими, несмотря на то, что численность населения в Англии почти в 2,5 раза была меньше.

В отличие от многих других политиков, чья деятельность приводила к социальным революциям с непредсказуемыми и необратимыми последствиями, Ньютон пошёл по иному пути. Подобный путь в дальнейшем назвали «социальной инженерией» – путь решительных и даже жёстких реформ с предсказуемыми и положительными последствиями. Успех Ньютона и в физике, и в экономике имеет общую основу: тонкое понимание внутренних «механизмов» явлений, связей причин и следствий.

Литература

1. Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 1. Биография физики. Путешествие в глубь материи. Механическая картина мира / Гл. ред. В. А. Володин. – М. : Аванта+, 2001. – С. 131–133.
2. Вавилов С. И. Исаак Ньютон: 1643–1727. – 4-е изд., доп. – С. : Наука, 1989. – С. 175–180.
3. Карцев В. П. Ньютон. – М. : Мол. гвардия, 1987. С. 259–302.

¹ Скотленд-Ярд – Скотланд-Ярд (официально англ. New Scotland Yard) – штаб-квартира полиции Большого Лондона. Название часто используется для обозначения полиции Лондона.

УДАЧНАЯ ОХОТА... С РАССТОЯНИЯ ЧЕТЫРЁХ С ЛИШНИМ МИЛЛИАРДОВ КИЛОМЕТРОВ

Одним из замечательных научных достижений И. Ньютона является открытие им закона всемирного тяготения. Все тела притягиваются друг к другу с силой, которая зависит от масс взаимодействующих тел и расстояния между ними. Сила притяжения любых двух тел, формулировал Ньютон, прямо пропорциональна произведению масс этих тел и обратно пропорциональна расстоянию между ними, возведённому в квадрат. Расстояние необходимо измерять между центрами тел, в частности, если в процессе притяжения участвует Земля, то отсчёт надо вести от центра Земли, отстоящего от земной поверхности в среднем на глубину 6370 км.

Ньютон очень взыскательно относился к результатам своей научной работы. Исследованиями проблемы тяготения он начал заниматься в 1665–1667 годах, когда ему ещё не было и двадцати пяти лет, но опубликовал закон всемирного тяготения лишь двадцать лет спустя. Закон позволил объяснить характер движения Луны вокруг Земли, возникновение приливов на Земле, вызванных тяготением Луны. Опираясь на закон всемирного тяготения, Ньютон смог вывести законы движения планет Солнечной системы. (Эти законы были сформулированы немецким астрономом Кеплером на основе наблюдения за движением планет, но до Ньютона не имели своего объяснения).

Несмотря на такие мощные аргументы в пользу закона всемирного тяготения, у него были противники. Критики закона часто указывали на возможность ограниченности его применения. Пусть, говорили они, закон справедлив для Земли, других известных тогда планет Солнечной системы – Меркурия, Венеры, Марса, Юпитера, Сатурна. Но как знать, выполняется ли этот закон и для ещё больших расстояний?

Поздно вечером 13 марта 1781 года Вильям Гершель, один из самых известных исследователей в истории астрономии и оптики, увидел в телескопе своей собственной конструкции на одном из участков неба маленький светящийся кружочек. Ночью 15 марта Гершель убедился, что наблюдаемый им кружочек перемещается на фоне неподвижных звёзд. Так была открыта новая, находящаяся за Сатурном планета Солнечной системы, получившая название Уран. Астрономы вычислили орбиту Урана, который в 19 раз дальше от Солнца, чем Земля, и делает один оборот вокруг Солнца за 84 года. Новой планете – Урану – предстояло стать пробным камнем в проверке истинности закона всемирного тяготения.

Астрономы продолжали накапливать наблюдения и десятилетие за десятилетием на основе законов механики и закона всемирного тяготения выполняли точные предвычисления теоретической орбиты Урана. Однако наблюдения ясно говорили о том, что планета «своевольничает»: настоящий Уран перемещается по небу чуть-чуть не так, как должен был бы он двигаться в строгом соответствии с законом всемирного тяготения. Наблюдаемые отклонения могли означать либо то, что закон всемирного тяготения не справедлив на больших расстояниях от Солнца, либо на движение Урана влияет ещё одна неизвестная планета. Исходя из этого предположения, астрономы решили, опираясь на закон всемирного тяготения, вычислить положение неизвестной планеты в пространстве. Это был огромный вычислительный труд: отыскать гипотетическую планету с помощью бумаги и чернил по крохотным отклонениям в движении Урана. Независимо друг от друга такую задачу (потратив годы труда) решили два учёных – англичанин Джон Кауч Адамс и француз Урбен Жан Жозеф Леверье. Астроном Берлинской обсерватории Иоганн Готфрид Галле, получив письмо от Леверье с просьбой поискать планету в указанном месте, в первую же ночь наблюдений 23 сентября 1846 года обнаружил неизвестную планету. Так, «на кончике пера», была открыта восьмая планета Солнечной системы, названная Нептуном. Нептун находится от Солнца на расстоянии 4,5 миллиардов километров и совершает один оборот вокруг Солнца за 165 лет. Открытие Нептуна явилось выдающимся достижением науки XIX века, триумфом небесной механики Ньютона, торжеством открытого им закона всемирного тяготения.



Оцените, какова скорость вращения планеты Нептун вокруг Солнца. Подсказка. Траектория планеты Нептун (эллипс – овал) незначительно (всего на 0,8 %) отличается от окружности радиусом 4,5 млрд км.

Литература

1. Гурштейн А. А. Извечные тайны неба – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. – С. 413–417.
2. Колтун М. Мир физики: Научно-художественная литература /Оформление Б. Чупрыгина. – 2-е изд. – М: Дет. лит., 1984. – С. 62–65.

КУДА НАПРАВЛЕНА СИЛА ТРЕНИЯ?

Если утверждать, что сила трения направлена против движения, то это утверждение правильно. Например, на соскальзывающие с горы санки действует сила трения $\vec{F}_{тр}$, направленная в сторону, противоположную скорости санок (рис. 10).

Но очень часто сила трения преподносит неожиданные сюрпризы. Вот несколько примеров.

Человек идет по ровному месту, скорость человека направлена вправо. Куда направлена сила трения? Правильный ответ – тоже вправо, то есть в сторону движения человека, а не в противоположную сторону (рис. 11). Разберём подробнее этот случай. Когда человек, делая шаг, отталкивается ногой от земли, подошва ботинка «стремится» двигаться назад, в сторону, противоположную движению человека. А сила трения, действующая со стороны земли на подошву, направлена против движения подошвы, то есть вправо, как и показано на рисунке 11.

Если трение достаточно велико и проскальзывания подошвы нет, то во время толчка нога перемещаться не будет. В этом случае сила трения – это сила трения покоя. Если же человек толкается достаточно сильно или трение мало, начинается проскальзывание: подошва движется назад, туловище остаётся на месте, равновесие нарушается, человек падает. (Вот почему возникают трудности при ходьбе по гладкому льду!).

Однако процесс ходьбы состоит не только из одних толчков. Толчок – это первый этап, кроме него есть и другое характерное движение – «отставшая» нога выносится вперед и становится на землю. В этом случае сила трения направлена уже против движения человека.

Таким образом, при ходьбе направление силы трения все время меняется.

То же самое бывает и при беге на лыжах: когда лыжник отталкивается палками и лыжами (рис. 12, а), направление силы трения одно, а при дальнейшем движении (рис. 12, б) – другое. Очевидно, для бега на лыжах выгодно, чтобы при свободном скольжении сила трения была минимальна.

Это достигается различными способами.

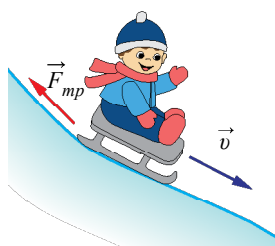


Рис. 10



Рис. 11

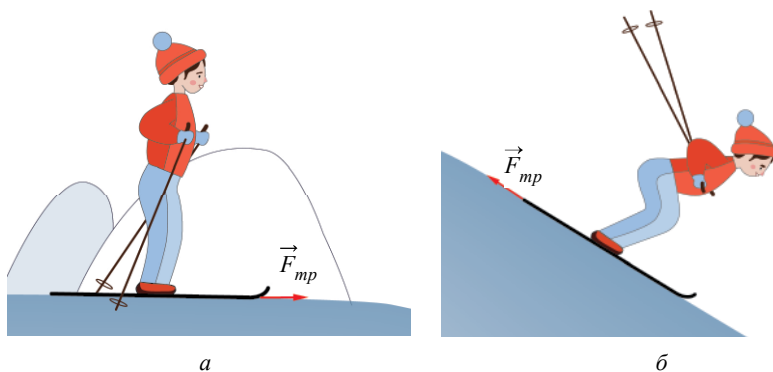


Рис. 12

Например, средневековые лыжи значительно отличались от современных: раньше была главная лыжа, достигающая иногда до трёх метров в длину, которая использовалась вместе с меньшей, более короткой лыжей, обычно обшитой шкурами. Меньшую лыжу обшивали шкурами так, чтобы шерсть обеспечивала сцепление лыж со снегом. Лыжник, отталкиваясь при помощи малой лыжи, скользил, как современный скейтбордист, на длинной.

В дальнейшем стали популярны лыжи одинаковой длины, в руках у лыжников появились две лыжные палки. При проведении лыжных гонок во время спортивных соревнований стали всё большее внимание уделять смазке лыж, которая должна обеспечивать одновременно и хороший толчок, и свободное скольжение лыжников.

Во второй половине двадцатого века спортсменами-лыжниками была изобретена новая техника движения на лыжах. При классической технике движения лыжи должны находиться параллельно направлению движения, а лыжник передвигается «шагами», подобными обычным шагам, однако при каждом шаге происходит лёгкое отталкивание и скольжение. Новая техника движения (коньковый ход) больше похожа на катание на коньках или роликах. Чтобы передвигаться, лыжник должен отталкиваться краями лыж, а затем скользить.



1. Куда направлена сила трения, действующая на колеса движущегося автомобиля?



2. Современные автомобили, как правило, оборудуются ABS (англ. Anti-lock braking system – антиблокировочная система). Для чего она необходима? Какие особенности силы трения учитываются при работе этой системы?

Литература

1. Дозоров А. Куда направлена сила трения? // Квант. – 1978. – № 5. – С. 36–37.
2. Силин А. А. Трение и мы. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – С. 30–36.

ПОЧЕМУ ЗВУЧИТ СКРИПКА?

Задумывались ли вы когда-нибудь, для чего скрипачу нужен смычок? Чем отличается звук скрипки от звука, например, балалайки? Прежде всего, своей продолжительностью. Скрипка действительно поёт, чего никак не скажешь о балалайке: она «бренчит» – издаёт резкие, быстро затухающие звуки.

Если играть на скрипке без смычка, дёргая струны пальцами, получится звук, как у балалайки: оттягивая струну пальцем, мы приведём её в колебание, которое быстро затухает. Когда же скрипач проводит смычком, смычок скользит по струне. Струна колеблется при этом всё время, не затухая. Каким же образом трение смычка о струну поддерживает её колебания, не давая им затухнуть? Чтобы найти ответ на этот вопрос, необходимо более подробно познакомиться с законами трения.

Первые исследования трения, о которых известно историкам науки, были проведены выдающимся итальянским живописцем, скульптором, архитектором, учёным, инженером Леонардо да Винчи (1452–1519). Имея в виду свои научные изыскания, Леонардо писал: «Моя цель состоит в том, чтобы представить сначала эксперимент, а затем доказать посредством рассуждения, почему данный эксперимент должен привести к этому результату, и не к какому-либо другому. ... И этот опыт пусть будет произведён много раз, так чтобы какой-нибудь случай не помешал этому доказательству или не исказил его». В этих немногих и чётких словах ясно виден научный метод познания природы, используемый Леонардо да Винчи. Проводя опыты, он измерял силу трения, действующую на деревянные бруски, скользящие по доске. Причем, ставя бруски на разные грани, выяснял – зависит ли сила трения от площади опоры. Но работы Леонардо да Винчи не были опубликованы. Они стали известны уже после того, как классические законы трения были в XVII–XVIII веках вновь открыты французскими учёными Гийомом Амонтоном (1663–1705) и Шарлем Огюстеном Кулоном (1736–1806).

Вот эти законы:

- 1. Сила трения прямо пропорциональна силе нормального давления тела на поверхность, по которой движется тело.*
- 2. Сила трения не зависит от площади контакта.*
- 3. Сила трения зависит от свойств трущихся поверхностей.*

Последующие триста лет исследований трения подтвердили правильность этих законов, сформулированных Амонтоном и Кулоном. Но вот ещё одно из их утверждений: сила трения не зависит от скорости движения тела – оказалось неверным!

Вопрос о зависимости силы трения от скорости имеет очень важное практическое значение. И хотя эксперименты здесь трудны, но они окупаются использованием полученных сведений, например, в теории резания металлов, в расчетах движения пуля и снарядов в стволе, в анализе колебаний скрипичных струн.

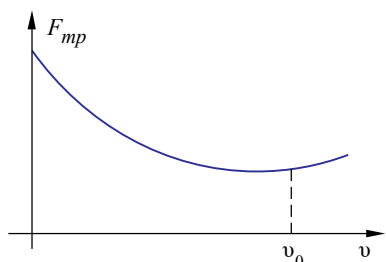


Рис. 13

Характер зависимости силы трения скольжения от скорости для разных тел различен; нередко при увеличении скорости скольжения вначале происходит уменьшение силы трения скольжения, а затем она начинает возрастать. График зависимости модуля силы сухого трения от скорости в этом случае показан на рисунке 13. (В скрипке сила трения между смычком и струной как раз и имеет такой характер). Вертикальный участок при

$v = 0$ соответствует силе трения покоя. Если относительная скорость струны и смычка v соответствует падающему участку $0 < v < v_0$, то увеличение относительной скорости v соответствует уменьшению скорости и наоборот. Именно благодаря этой особенности не затухает колебание скрипичной струны.

Когда скрипач начинает вести смычком по струне, струна под действием силы трения покоя увлекается до тех пор, пока упругая сила натяжения струны, стремящаяся вернуть её в первоначальное положение, не превысит силы трения покоя. Тогда струна срывается и приходит в колебание. При этом струна всё время скользит вдоль смычка, двигаясь то в одну сторону со смычком, то навстречу смычку.

Но с какой скоростью струна скользит по смычку при попутном и встречном движении? Легко видеть, что эта скорость разная: когда струна и смычок идут в одну сторону, скорость скольжения мала (вспомните, как медленно отстаёт едущий по дороге попутный автомобиль, если смотреть на него из окна быстро идущего поезда). Когда же струна движется навстречу смычку, скорость скольжения гораздо больше. Итак, скорости скольжения струны о смычок при её движении туда и обратно не одинаковы.

Если бы сила трения скольжения не зависела от скорости, эта разница в скоростях ничего не изменила бы. Но вы уже знаете, что сила трения скольжения зависит от скорости. При медленном движении струны и смычка в одну сторону большая сила трения «разгоняет» струну. При быстром движении струны и смычка навстречу друг другу меньшая сила трения «тормозит» струну. В итоге за каждое колебание струны сила трения подталкивает её. Колебания не затухают, и скрипка поёт, пока скрипач тянет смычок. То, что мы рассказывали так долго, происходит, конечно, очень быстро — за одну секунду струна успевает совершить колебания сотни и даже тысячи раз.

Возбуждение звуковых колебаний при движении одного тела по поверхности другого происходит очень часто. Сухое трение в дверной петле может вызвать скрип двери. Скрипят половицы, обувь. Явления, происходящие при этом, во многом аналогичны возбуждению колебаний скрипичной струны. Вначале проскальзывания нет, и возникает упругая деформация. Затем происходит срыв, и возбуждаются колебания тела.

При изменении характера зависимости силы трения от скорости скрип исчезает. Известно, например, что для этого достаточно смазать трущиеся поверх-

ности. Сила жидкого трения с увеличением скорости увеличивается и условий, необходимых для возбуждения колебаний, нет. Наоборот, когда хотят возбудить колебания, поверхности обрабатывают специальным образом, чтобы сделать уменьшение сил трения при увеличении скорости более резким. Смычок скрипки, например, для этого натирают канифолью.

Знание законов сил трения помогает решать важные практические задачи. При обработке металла на токарном станке иногда возникает вибрация резца. Эти колебания вызываются силами сухого трения между резцом и металлической стружкой, скользящей по его поверхности при обточке металла (рис. 14). Зависимость силы трения от скорости стружки (скорости обработки) для ряда высококачественных сталей оказывается «падающей». Этим, как вы знаете, можно объяснить колебания резца. Для борьбы с вибрацией используется, например, специальная заточка резца, при которой нет скольжения стружки. Тем самым устраняется причина возникновения колебаний.

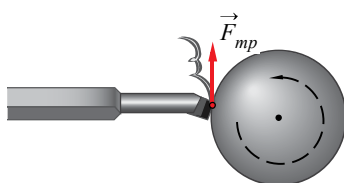


Рис. 14



Почему порой скрипят тормоза автомобиля при его резком торможении?

Литература

1. Лисовский Л. П., Соломонович А. Е. Силы трения. – 2-е исправленное изд. – М.: Гос. Изд-во культурно-просветит. литературы, 1949. – С. 23–26.
2. Слободецкий И. Ш. Сухое трение // Квант. – 197. – № 1. – С. 37–42.
3. Асламазов Л. Г. Почему звучит скрипка // Квант. – 1975. – № 10. – С. 9–13.

О « ЖУРАВЛЕ» В НЕБЕ И КАСТРЮЛЕ В РУКЕ

В этой статье будут рассмотрены несколько примеров применения известных вам простых механизмов – рычага, наклонной плоскости и её разновидности – винта.

Вначале разберемся, как работает устройство, такое древнее, что было известно египтянам ещё во времена фараонов. Речь идет о колодезном «журавле». Конструкция оказалась столь удачной, что дожила до наших дней и до сих пор трудится «не покладая своего рычага» в некоторых деревнях (рис. 15).

Почему такой колодец на Руси называли журавлём? Он и в правду похож на громадную птицу с длинной шеей и коротким хвостом, которая стоит на одной ноге, опустив клюв к земле. «Шея» и «хвост» этой птицы – два плеча рычага, закрепленного на столбе – «ноге». К короткому «хвосту» подвешен груз-противовес. На конце «шеи» – длинный шест – «клюв» с ведром.

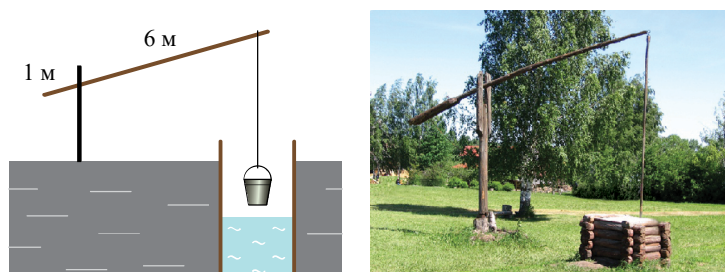


Рис. 15

Пусть для определённости длины плеч этого рычага относятся как 6:1, а масса груза-противовеса 60 кг. С какой силой нужно тянуть шест вниз, чтобы опустить ведро в воду? Сила должна быть равна 100 Н. Когда же ведро наполнится водой (объём обычного ведра 10 литров, поэтому масса ведра будет равна 10 кг), то система окажется в состоянии безразличного равновесия. И даже маленький ребёнок сможет достать воду из колодца. Надо лишь, перебирая руками, отталкивать шест вверх.

Ещё один пример весьма древнего использования рычага – грозное метательное оружие. Это катапульта, в устройстве которой использованы свойства рычага и инертности тел. Вы можете сделать её модель из... кастрюли, деревянной ложки и резинки (рис. 16). Резинку привязывают одним концом к ручке кастрюли, а другим – к середине ложки. Ручку ложки упирают в угол между дном и стенкой кастрюле. Теперь положим кастрюлю на стол так, чтобы она

опиралась на него свободной ручкой и краем дна. Катапульта готова. Заложите в ложку снаряд (например, небольшую картофелину), оттяните её вниз и отпустите. Ложка, притягиваемая резинкой, отскочит вверх и ударится о край кастрюли, а снаряд полетит, описывая в воздухе дугу¹. У этой конструкции есть два очевидных достоинства. Во-первых, для того, чтобы натянуть резинку, не требуется больших усилий: ведь мы тянем за более длинное плечо рычага. Во-вторых, расстояние, которое проходит «заряженный» конец ложки, вдвое больше длины растянутой резинки. Поэтому и скорость его вдвое выше, чем та, с которой движется середина ложки – точка крепления резинки. Таким образом, катапульту не так уж сложно приготовить к выстрелу, а стреляет она довольно далеко.

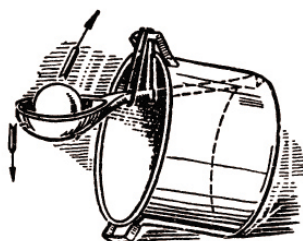


Рис. 16

Катапульти различного типа были когда-то крупнейшим достижением военной техники (рис. 17). Об их применении достоверно известно со времен Александра Македонского (356–323 гг. до нашей эры). Использовались они и в армии Древнего Рима. Вот как описывает действие катапульти – онагра один из древнеримских авторов: «Когда дело доходит до боя..., кладут круглый камень, и четыре человека по обеим сторонам машины быстро закручивают канаты и отгибают назад стержень, приводя его почти в горизонтальное положение.

Стоящий наверху машины командир орудия выбивает тогда сильным ударом молота ключ, который удерживает все связи машины. Освобождённый стержень отклоняется вперёд и, встретив перекладину, выбрасывает камень».



Римская баллиста для метания камней массой 26 кг. (Пропорции взяты с реальной баллисты, построенной в наше время для одной из телевизионных передач)



Метательное оружие-онагр (современная реконструкция. Ковш является фантазией конструкторов нашего времени)

Рис. 17

¹ Надеемся, что вы не забудете о мерах предосторожности, чтобы ваш выстрел не привёл к «разрушениям».

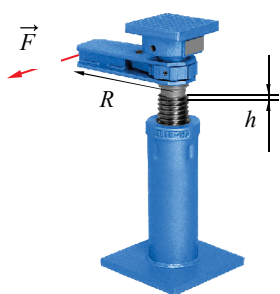


Рис. 18

Издавна известна и такая разновидность наклонной плоскости, как винт. Винт – наклонная плоскость, обёрнутая вокруг стержня. В качестве примера винтового устройства на рисунке 18 показан домкрат. На рисунке видно, что для подъема груза на высоту h (шаг винта) конец рукоятки, к которому приложена сила, должен пройти путь, равный длине окружности. Как известно из математики, длина окружности вычисляется по формуле $2\pi R$, где π равно 3,14 (число пи), а R – радиус окружности (расстояние от оси винта до конца рукоятки). Вспомним «золотое правило»

механики: во сколько раз проигрываем в расстоянии – во столько раз выигрываем в силе. Ясно, что выигрыш в силе в этом случае равен отношению $2\pi R/h$.

Таким образом, сила F , приложенная к рукоятке домкрата, в $2\pi R/h$ раз меньше силы, действующей на поднимаемый домкратом груз.



Весло лодки тоже является простым механизмом – рычагом (рис. 19). На выигрыш в силе или в расстоянии рассчитан такой рычаг?

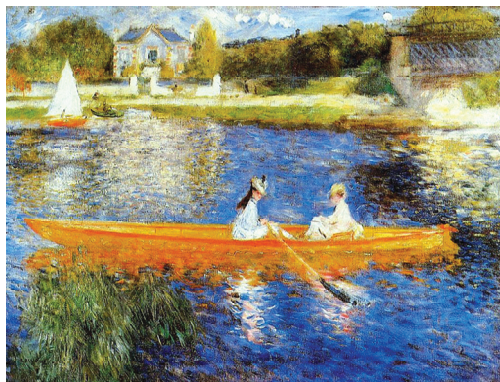


Рис. 19. Огюст Ренуар. «Ялик»

Литература

1. Дворянинов С., Коржуев А. Вездесущий рычаг // Квант. – 1992. – № 3. – С. 30–34.
2. О простых механизмах. – Квант. – 1985. – № 4. – С. 17–19.

ИЗ ИСТОРИИ ВЕСОВ

Весы были изобретены ещё в глубокой древности. Первые найденные археологами образцы относятся к пятому тысячелетию до нашей эры, применялись они в Месопотамии (территория современного Ирака).

У древних египтян весам нашлось место даже в мифологии. Так на папирусе (около 1250 до нашей эры) изображен бог Анубис – покровитель умерших, судья богов (рис. 20). Хорошо видно, как Анубис – бог с головой шакала – взвешивает сердце каждого умершего на особых весах.



Рис. 20

Римлянам приписывают изобретение принципиально иной системы измерения массы тел – такой, при которой передвигается гиря, а точка опоры и положение привеса остаются неизменными (рис. 21).

В древней Руси товары взвешивали на равноплечных весах. В грамоте Новгородского князя Всеволода от 1134 года строго приписывается: «Торговья все весы ... иже на торгу промеж людьми блюсти без пакости, не умаливати, не умноживати». Пользовались наши предки и неравноплечными весами римской конструкции, которые поначалу назывались «пуд».

Уже в XIV веке на Руси употребляется и слово «безмен», происхождение которого загадочно. Безмен – это ручные весы с неравным рычагом



Рис. 21

и противовесом, позволяющие производить взвешивание, без использования гирь (рис. 22). Для взвешивания груз крепился на крючке, и поддерживающая петля передвигалась по стержню с нанесённой на него шкалой до момента, когда вся система не приходила к равновесию (стержень останавливался в горизонтальном положении). Тогда по делению шкалы, ближайшему к месту касания петли подвеса, определяли массу груза.

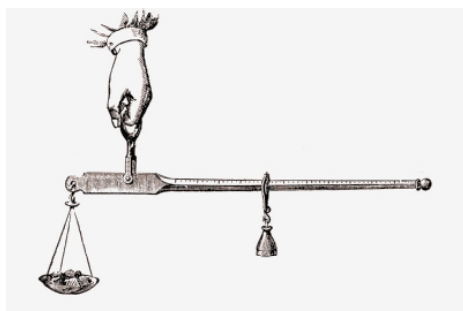


Рис. 22

Безмен прочно вошёл в народную жизнь. Он был хоть и менее точен, зато и менее прихотлив, чем весы-коромысла. Про него слагали загадки: «Кто сам худ, а голова с пуд?» И поговорки: «Деньги на безмен, а товар на промен».

В 1660 году французским математиком Жилем де Робервалем была изобретена новая схема весов – в виде параллелограмма (рис. 23). Это позволяло поместить коромысло под чашечками весов, а не над ними (рис. 24).

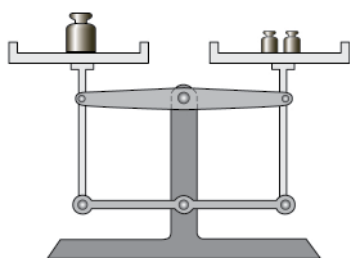


Рис. 23



Рис. 24

Массовое производство таких весов началось два столетия спустя – в середине XIX века. Главное достоинство весов Роберваля заключается в том, что весы не меняют показаний в зависимости от положения измеряемого груза на чашке весов. Если измеряемый груз будет расположен не в центре чашки, а с краю – показания прибора останутся прежними.

В наше время на смену механическим весам пришли электронные весы. Погрешность измерения даже для простых моделей электронных весов составляет менее 1 г (рис. 25). Более сложные, так называемые аналитические весы, применяемые в лабораториях, позволяют измерять массу твердых, сыпучих и жидких веществ с погрешностью 0,1 мг и прибор может быть подключен к компьютеру для автоматической регистрации результатов измерения (рис. 26).



Рис. 25



Рис. 26



Отгадайте загадку: «Что за судья без языка?»

Литература

1. Книга для чтения по физике – М. : Учпедгиз, 1958–1961. – 2 т. Ч. 1: Механика / [Сост.: С. К. Андриевский, Н. А. Пушкарев и М. И. Розенберг]. – 1958. – С. 25–32.
2. URL: <http://www.istorya.ru/articles/vesy.php> (дата обращения: 01.09.2017).

ПОДВИГ АРХИМЕДА

Архимед (287–212 до нашей эры) – выдающийся учёный древности. Хотя слава Архимеда никогда не прекращалась, о жизни учёного сохранилось очень мало сведений.

По мнению историков науки, творческий путь Архимеда был таков.

Он начал свою деятельность как инженер, создатель военных машин и строитель оборонных сооружений Сиракуз. В этот период он пишет ряд практических работ по строительному делу (до нас дошли лишь отрывки из этих работ), причём основными теоретическими достижениями учёного в этот период были понятия центра тяжести и формулировка закона рычага.

Тяга к углублению теоретических знаний приводит Архимеда в Александрию, тогдашний научный центр, где он встречается с лучшими математиками того времени и пробует свои силы в геометрии. Вернувшись в Сиракузы, Архимед в течение 5–10 лет делает свои выдающиеся геометрические открытия. Наиболее важным своим достижением в геометрии он считал работу «О шаре и цилиндре». В этом сочинении Архимед доказал, что объём шара, вписанного в цилиндр, в полтора раза меньше объёма этого цилиндра.

В следующий период своей деятельности учёный был занят решением задач математической физики – основы гидростатики, условия устойчивости плавающих тел. В этот период им написано сочинение «О плавающих телах». В этих работах Архимед как учёный далеко опередил свое время. Его идея математического описания явлений природы нашли своих продолжателей лишь через 1800 лет!

В этот же период Архимед занимается и оптикой¹. Содержание последнего периода научной деятельности Архимеда составляют вычислительно-астрономические работы.

Всё это время Архимед, видимо, не оставлял инженерной деятельности, применяя на практике выводы своих теоретических исследований.

Родиной Архимеда являются Сиракузы – один из крупнейших городов третьего-первого веков до нашей эры на Восточном Средиземноморье (рис. 27).

Вот как описывает Сиракузы римский оратор и писатель Цицерон (106–43 до нашей эры): «Сиракузы – самый большой из греческих городов и самый прекрасный в мире; оно на самом деле так. Их высокое местоположение не только содействует их безопасности, но имеет последствием и то, что город со всех сторон, и с суши, и с моря, представляет очень красивое зрелище. Его га-

¹ Оптика – раздел физики, в котором изучаются световые явления.

вани находятся внутри городской черты и отчасти окружены зданиями... Город так велик, что его делят на четыре огромных города».

Огромное пространство, занимаемое городом, было обнесено стенами с большим количеством башен. Стены образовывали треугольник со сторонами длиной около шести километров. Особая внутренняя стена отделяла от остального города приморские районы, а на холме, в дальнем от моря углу треугольника стен, возвышалась ещё одна внутренняя крепость. Такими были Сиракузы.



Рис. 27

В 270 году до нашей эры к власти в городе пришёл царь Гиерон (около 305–215 до нашей эры). Гиерон выдвинулся из простых солдат и, судя по всему, это был человек выдающихся способностей. В те времена Сиракузы переживали сложный период своей истории, так как два могучих соперника – Рим и Карфаген – претендовали на власть над Сиракузами.

В 264 году до нашей эры Гиерон в битве с римлянами потерпел крупное поражение, дело дошло до осады Сиракуз, но ему ценой выплаты Риму большой контрибуции¹ удалось выйти из войны. После этого для Сиракуз наступил мирный период истории, который длился около 50 лет. Но Гиерон, готовый к любым неожиданностям, уделял большое внимание укреплению города и далеко не последнюю роль в этих работах играл Архимед.

В 214 году до нашей эры, уже после смерти царя Гиерона, римские войска осадили Сиракузы. Архимеду в то время уже было за семьдесят, но его инженерный гений в этих драматических обстоятельствах проявился в полной мере. Одержанная им победа над римлянами стала величайшим триумфом, который когда-либо выпадал на долю ученого.

Сохранилось описание осады, которое дал в своей «Всеобщей истории» греческий историк Полибий (201–120 до нашей эры). Полибий повествует: «Начальники расположились... недалеко от города и решили, что сухопутное войско пойдет на приступ со стороны Гексапил², а флот – против Ахрадины³,... где стена тянется вдоль моря... Римляне надеялись... не дать неприятелю

¹ Контрибуция – платежи, налагаемые на побежденное государство в пользу государства-победителя.

² Гексапилы – башня в северной стене Сиракуз.

³ Ахрадина – приморский район Сиракуз.

подготовиться. Но при этом они не приняли в расчет искусство Архимеда, не учли, что иногда один даровитый человек способен сделать больше, чем множество рук...

Архимед заготовил внутри города...такие средства обороны, что...заранее было все готово к отражению врага.

Итак, Аппий¹ сделал попытку приблизиться к той части стены, которая с востока упирается в Гексапилы, а Марцелл² с шестьюдесятью пятипалубными судами направился против Ахрадины... Римляне сняли с восьми пятипалубных судов весла – у одних с правой стороны, у других с левой, – связали суда попарно бортами, лишёнными вёсел, и, действуя вёслами только с наружных сторон, стали подводить к городской стене так называемые самбуки (штурмовые трапы, укреплённые на кораблях)...

Однако Архимед соорудил машины, которые могли выбрасывать снаряды на любое желаемое расстояние. Враги были ещё далеко от города, когда Архимед из своих больших дальнобойных метательных машин стал поражать их корабли таким множеством тяжёлых снарядов и стрел, что они никак не могли уберечься от них... Когда Архимед замечал, что снаряды попадают слишком далеко...он пускал в ход меньшие машины, соответственно нужному ему расстоянию...

Лишь только римляне начинали выставлять против города самбуки, осаждённые тотчас же пускали в ход свои машины, находившиеся внутри стен и остававшиеся до этих пор незаметными для врага. Когда надо было пустить их в дело, они поднимались над бастионами и высовывали свои клювы далеко вперёд от укреплений города... Кроме того, по приказу Архимеда опускалась железная лапа... Этой лапой машинист, управлявший клювом машины, точно рулём корабля, захватывал нос корабля и затем опускал вниз другой конец машины, находившейся внутри городских стен. Он поднимал таким образом в воздух нос корабля и ставил корабль отвесно на корму... Непосредственным результатом этого было то, что корабли либо падали на бок, либо совершенно опрокидывались; ещё чаще...корабли совершенно наполнялись водой и погружались к ужасу тех, которые на них находились.

Марцелл оказался в очень тяжёлом положении. Все его планы терпели крушение. Потери римлян были огромны, о осаждённые глумились над всеми их усилиями...

Аппий с войском очутился в столь же трудном положении и потому совсем отказался от приступа. И действительно, находясь ещё далеко от города, римляне сильно терпели от метательных машин Архимеда, ибо сиракузяне имели наготове множество превосходных и метких метательных орудий. Оно и понятно, так как Гиерон дал на них деньги, а Архимед изобрёл и мастерски исполнил...

Аппий с товарищами возвратился на стоянку и устроил совещание...на котором единогласно решили испытать все мысленные средства, но отказаться от надежды взять Сиракузы приступом...

Такова чудесная сила одного человека, одного дарования, умело приспособленного к какому-либо специальному делу. Вот и теперь, располагая столь

¹ Аппий – римский полководец, участник осады Сиракуз.

² Марцелл – римский политик и полководец, участник осады Сиракуз.

значительными силами сухопутными и морскими, римляне надеялись с первого же приступа взять город и сделали бы это, если кто-нибудь изъяс из среды сиракузян одного этого старичка. Но он был, и римляне не решились даже идти на приступ». Полибия явно восхищает и удивляет глубокая, мы бы сказали, математическая продуманность обороны. Совместные действия метательных машин различной дальности не могли быть достигнуты без соответствующих расчётов и предварительной пристрелки местности.

Из рассказа Полибия явствует, что машинами для обороны города Архимед занимался задолго до того, как они пригодились. Эти машины поразили воображение современников.

В отрывках сочинения Полибия мы находим следующие характеристики машин Архимеда.

1. Машины были передвижными. Полибий пишет, что они скрывались за стенами и, только когда было нужно, выдвигались за пределы укреплений. Кроме того, их, вероятно, надо было передвигать вдоль стены к тому месту, где в этот момент совершалось нападение.

2. Машина имела стрелу, поворачивавшуюся вокруг вертикальной оси: «Осаждённые... поворачивали их вправо или влево... Машинист управлял машиной, словно рулём корабля...»

3. Стрела поворачивалась также вокруг горизонтальной оси: «Этой лапой машинист... захватывал нос корабля и затем опускал вниз другой конец машины, находившейся внутри городских стен».

4. Очень вероятно, что на конце главной стрелы помещалась вспомогательная, как у современных портовых кранов (на это указывает термин «клюв», применённый к описанию конца машины).

На рисунке 28 приведён возможный вид оборонительной машины Архимеда.

Зная о свойствах центра тяжести, Архимед мог совместить ось поворота «клюва» с его центром тяжести и то же самое сделать с главной стрелой, уравновесив её «клювом». В таком случае механизм будет находиться в состоянии безразличного равновесия, какие бы положения ни занимала стрела. Это свойство очень важно для легкости управления машиной. Без такого уравновешивания управление стрелой, масса которой составляла несколько тонн, оказалось бы невозможным. А ведь Полибий пишет, что машиной управлял один машинист! Так что в этой машине должны были найти применение теория центра тяжести и глубокое знание законов рычага. На рисунке 29 показана возможная схема действия оборонительной машины.

После отражения атак римлян Сиракузы почувствовали себя в безопасности. Осада города продолжалась более двух лет.

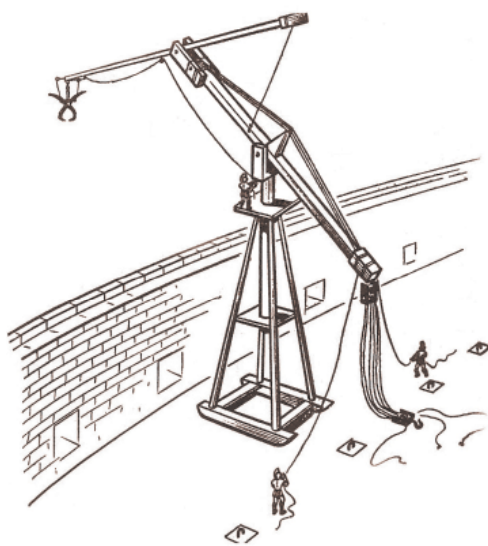


Рис. 28

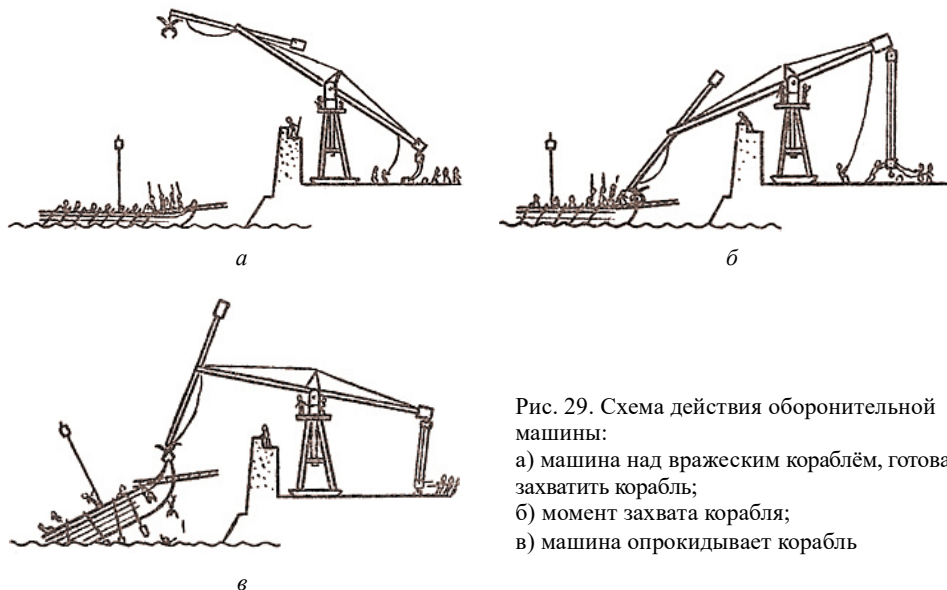


Рис. 29. Схема действия оборонительной машины:
 а) машина над вражеским кораблём, готовая захватить корабль;
 б) момент захвата корабля;
 в) машина опрокидывает корабль



Рис. 30. Гибель Архимеда (мозаика)

озверевших солдат Архимед спокойно размышлял, рассматривая начерченные на песке фигуры, и какой-то грабитель заколол его мечом, даже не подозревая, кто это» (рис. 30).

Литература

1. Житомирский С.В. Архимед: Пособие для учащихся. – М. : Просвещение, 1981. – 112 с.
2. Кудрявцев П.С. Курс истории физики: Учеб. пособие для студентов пед. ин-тов по физ. спец. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Просвещение, 1982. – С. 30–35.
3. Каган В.Ф. Архимед. Краткий очерк о жизни и творчестве. – М.; Л. : Гостехиздат, 1949. – 52 с.

ПЕРПЕТУУМ МОБИЛЕ

В истории науки насчитывается несколько «вечных» проблем, которые занимали умы ученых в самые разные эпохи, однако так и не получили положительного решения. В механике к числу таких исторических проблем, прошедших через многие века и страны относится вечный двигатель – перпетуум мобиле. Что же такое перпетуум мобиле? Физик скажет, что перпетуум мобиле представляет собой двигатель, который будучи однажды приведён в движение, сам по себе удерживается в этом состоянии сколь угодно долго и способен совершать полезную работу.

Рассмотрим, где, когда и при каких условиях возникла эта проблема. Несмотря на то, что уровень развития античной механики был достаточно высок – стоит хотя бы упомянуть о строительстве оросительных каналов, акведуков, храмов и амфитеатров – в работах учёных того времени нет упоминаний о вечных двигателях. Античное общество почти не было заинтересовано в доведении новых открытий и изобретений до практического использования. Очевидно, большую роль играла здесь дешевизна рабочей силы, поскольку труд рабов в рабовладельческом обществе того времени оказывался более выгодным, чем создание новых устройств. В силу этого в античный период значительного развития достигали лишь некоторые формы машин.

Наиболее ранние сведения о вечных двигателях историки находят в индийских рукописях, датируемых 1150 годом. Принцип действия этого первого механического перпетуум мобиле, как видно из рисунка 31, был основан на различии моментов сил тяжести, создаваемых жидкостью, перемещавшейся в сосудах, помещённых на окружности колеса.

В Европе первые чертежи вечных двигателей появляются одновременно с введением в обиход арабских (по своему происхождению индийских) цифр, то есть в начале XIII века. Главную роль в том, что средневековая феодальная Европа, как раз вступившая в начальную фазу своего интенсивного развития, свела знакомство с перпетуум мобиле, играли, по-видимому, всё более расширявшиеся торговые связи с восточными странами.

Первым европейцем, автором идеи «самодвижущейся машины», то есть вечного двигателя, считается средневековый французский архитектор Вийяр

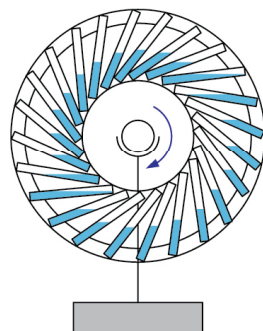


Рис. 31.
Индийский или арабский
перпетуум мобиле
с небольшими косо
закрепленными сосудами,
наполненными ртутью

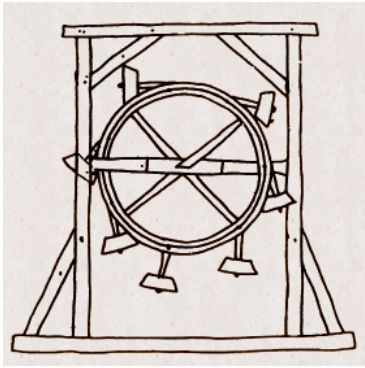


Рис. 32.

Рисунок одного из самых старых проектов перпетуум мобиле в Европе (около 1235 г.) из альбома Вийяра д'Оннекура

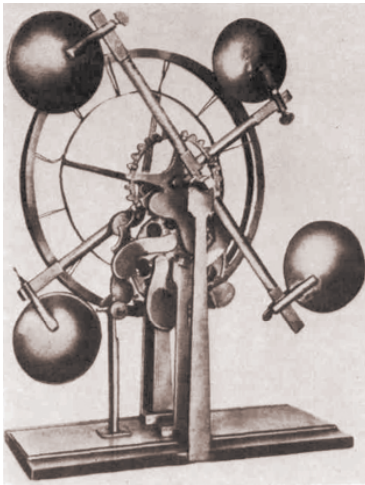


Рис. 33.

Реконструкция перпетуум мобиле из альбома эскизов Леонардо да Винчи. Система откидных рычагов с помощью зубчатой передачи связана с крестовиной, несущей четыре металлических камеры, наполненные ртутью

д'Оннекур – известный строитель соборов и создатель целого ряда интересных машин и механизмов. Его основные технические идеи дошли до наших дней в виде единственного альбома эскизов, содержащего чертежи тридцати трех устройств. На одном из рисунков этого альбома воспроизведена и предложенная им схема перпетуум мобиле (рис. 32).

Как известно из истории, наиболее благоприятная почва для возрождения античной науки оказалась в Италии – земле бесчисленных памятников былой славы некогда могучей Римской империи. Среди тех, кто часть своих многосторонних интересов уделял проблеме вечного движения был Леонардо да Винчи (1452–1519) – выдающийся художник, скульптор, архитектор, ученый и гениальный инженер, человек, которого по праву называли Архимедом средневековья. На рисунке 33 представлена реконструкция одного из его проектов. Леонардо да Винчи как тонкий наблюдатель физических явлений и как механик, обладавший огромной эрудицией при выборе правильных методов решения технических проблем, неминуемо пришел к выводу о невозможности создания вечного двигателя. Взгляд ученого на проблему перпетуум мобиле лучше всего характеризует следующее высказывание: «О, исследователи вечного двигателя, сколько суетных планов создали вы при подобных исканиях. Станьте лучше алхимиками!»

В последующие столетия десятки изобретателей – от известных физиков и механиков до самоучек-ремесленников – разрабатывали сотни проектов вечного двигателя. Но их усилия оказались напрасными – ни один из проектов вечного двигателя не привел к положительному результату. Вот как описывал, например, результаты своих трудов в 1660 году немецкий

механик Бехер: «Десять лет я занимался этим безумием, потеряв кучу времени, денег и погубив свое доброе имя и славную репутацию – все это лишь для того, чтобы сегодня с полной убежденностью сказать: вечное движение неосуществимо».

Во многовековой истории перпетуум мобиле «успех» выпадал только на долю мошенников. Один из самых известных обманов такого рода связан с именем Карла Элиаса Бесслера. Сын крестьянина, родившийся в 1680 году на границе Германии и Чехии, Бесслер с детства отличался блестящими способностями и поразительной любознательностью. Стремясь любым способом

добиться жизненного успеха, Бесслер понимал, что прежде всего нужно найти подходящий объект для мистификации и обзавестись звучным именем.

Так в начале XVIII века в научном мире Европы появился новый «учёный и специалист, выдающийся механик и изобретатель вечных двигателей» Иоганн Элиас Орфиреус. В 1716 году ландграф (глава княжества) Гессен-Кассельский Карл предлагает Орфиреусу построить перпетуум мобиле в княжеском замке.

12 ноября 1717 года вечный двигатель был торжественно запущен в специально выделенной для этого комнате замка. Затем комнату заперли и запечатали личной печатью ландграфа. Через две недели ландграф вошёл в бдительно охраняемое помещение и обнаружил, что колесо вечного двигателя вращается с прежней скоростью. После этого машину остановили, изобретатель тщательно осмотрел её и опять привёл в движение.

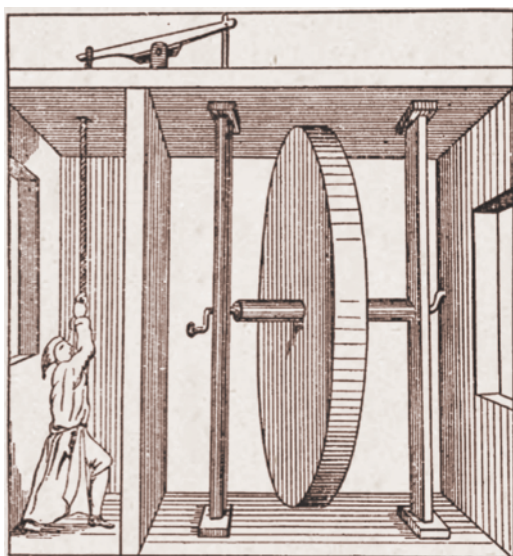


Рис. 34.

Старинный рисунок, который заимствован из книги, направленной против Орфиреуса и его вечного двигателя

Когда через 40 дней, 4 января 1718 года, печать на дверях комнаты снова сломали, колесо всё ещё продолжало вращаться. В третий раз комнату запечатали на целых два месяца. Однако даже по истечении этого срока комиссию ожидала та же картина, что и раньше: колесо вращалось с «неослабевающей быстротой».

Интерес к двигателю Орфиреуса был так велик, что даже Пётр Первый вёл длительные переговоры с изобретателем о покупке его машины. В 1725 году он готовился к путешествию в Германию, чтобы лично осмотреть удивительный механизм (помешала замыслам внезапная смерть русского императора).

Что же было подлинным источником непрерывного движения перпетуум мобиле Орфиреуса? Оказалось, что таинственным источником энергии, который поддерживал вращение колеса в течение недель и месяцев, были служанка и брат изобретателя (рис. 34). При этом за каждый час вращения колеса изобретатель платил своим помощникам. Однако брату такое утомительное занятие

просто наскучило, и он сбежал, а служанка, несмотря на письменные клятвы о молчании, выболтала, как обстояло дело. Вся эта история получила широкую огласку и тем самым эпопея с «удивительным изобретением доктора Орфиреуса» бесславно завершилась.

Во второй половине XVIII века большинство ученых пришло к убеждению о нереальности идеи перпетуум мобиле. В 1775 году Королевская Академия наук в Париже приняла решение не включать в будущем в программу своих научных слушаний проекты, касающиеся вечного двигателя.

«Построение перпетуум мобиле абсолютно невозможно», – было решительно заявлено Академией. Но и такая жёсткая позиция учёных не пресекла попыток создания вечных двигателей. Через десятки лет один из научных журналов писал о работе Имперского бюро патентов в Берлине: «Кажется, что вся эта погоня за неведомыми призраками, за этими блуждающими болотными огнями никогда не кончится. Только за прошедший год Имперское бюро патентов получило не менее 320 проектов перпетуум мобиле. Конечно, все они были отвергнуты – ведь представление о непрерывно работающей машине, приводимой в движение внутренними силами, уже давным-давно признано учёными ошибочным».

Что же стало непреодолимым препятствием в создании вечного двигателя? Такой преградой является один из важнейших законов природы, открытый учеными, закон сохранения энергии. Согласно данному закону энергия в произвольной замкнутой системе при любых процессах, происходящих в системе, остается величиной постоянной и лишь переходит из одной формы в другую.

Пусть некоторый двигатель обладает определённой энергией – потенциальной энергией поднятой гири или сжатой пружины, кинетической энергией вращающегося колеса или энергией топлива. В соответствии с законом сохранения энергии, в процессе своего действия двигатель не может передать другим телам энергии больше, чем он обладает первоначально. Следовательно, двигателем не может быть совершенно неограниченное количество работы – вечный двигатель невозможен!

Закон сохранения энергии был сформулирован благодаря трудам, в первую очередь, таких учёных, как немецкий врач и естествоиспытатель Юлиус Роберт Майер (1814–1878), английский физик Джеймс Прескотт Джоуль (1818–1889), немецкий физик и философ Герман Людвиг Фердинанд Гельмгольц (1821–1894).

С момента открытия закона сохранения энергии прошли столетия. Сегодня в его справедливости, естественно, нет никаких сомнений. По существу, его доказала вся техническая практика человека, несчетное число раз подтвердившая невозможность вечного двигателя. Самая совершенная тепловая машина, двигатель внутреннего сгорания или турбина способны совершать работу только тогда, когда к ним подводится энергия от внешнего источника.

Литература

1. Книга для чтения по физике – М. : Учпедгиз, 1958–1961. – 2 т. Ч. 1: Механика / [Сост.: С. К. Андриевский, Н. А. Пушкарёв и М. И. Розенберг]. – 1958. – С. 108–114.
2. Михал С. Вечный двигатель вчера и сегодня: Пер. с чешск. / Предисловие А. Т. Григорьяна. – М.: Мир, 1984. – 256 с.

ЗАПОЛНЯЕМ «АНКЕТУ» МОЛЕКУЛЫ

Привычное нам слово «молекула» появилось в книге французского философа Пьера Гассенди, изданной в 1647 году. По Гассенди молекула («массочка», от латинского «молес» – масса) – это несколько атомов, объединенных в одну группу. По разному объединенные атомы, то есть разные молекулы – это «кирпичики», из которых природа строит разнообразные тела. Через сто лет М.В. Ломоносов (1711–1765), развивая учение о строении вещества, писал, что молекулы могут быть однородными (из одинаковых атомов) и разнородными (из разных атомов), что молекулы взаимодействуют друг с другом и находятся в постоянном хаотическом движении.

В науке, пожалуй, мало найдется таких областей знания, которые имели бы столь длительную и столь плодотворную историю развития, как знания о молекулах. Идея о существовании «первокирпичика» вещества-атома зародилась более двух с половиной тысяч лет назад. Но, как утверждает восточная пословица, «сколько ни говори «халва», «халва», во рту сладко не станет». Если атомы реальность – у них должны быть масса и размеры. А задача физики – измерить их. Но как? До начала двадцатого века никто из физиков не знал ответа на вопрос – насколько малы атомы, каковы массы атомов, сколько атомов в том или ином теле. Нельзя сказать, чтобы не делались попытки все это как-то узнать. Но эти попытки не приводили к убедительным результатам. Физики, однако, не теряли надежду доказать реальность атомов и молекул, взвесить их, сосчитать их число, определить их размеры. Эта труднейшая задача была решена французским физиком Жаном Перреном (1870–1942) в серии опытов, проведенных им в 1908–1913 годах.

Прежде чем познакомить вас со способом определения массы молекул, использованным Перреном, обсудим свойства атмосферы Земли.

Известно, что атмосфера Земли состоит из различных газов – азота, кислорода, углекислого газа, водорода и других. Высота атмосферы велика: установлено, что она простирается на тысячи километров от поверхности Земли, но основная масса газа сосредоточена внизу. В нижнем слое атмосферы, высота которого всего 16 км, сосредоточено 90% её массы.

Почему «оседают» молекулы? Причина в том, что на них действует сила тяжести, направленная к Земле. Но почему же тогда воздух не «падает» на Землю и не образует тонкий слой на её поверхности? Этому препятствует непрерывное беспорядочное движение молекул воздуха. Благодаря этому движению молекулы разлетелись бы по всему мировому пространству, не будь силы тяжести, которая тянет их вниз.

Значит, высота атмосферы, ее средняя плотность, распределение молекул по высоте зависят от масс молекул газа, входящих в состав атмосферы – ведь чем больше масса молекулы, тем больше действующая на неё сила тяжести. Например, если бы атмосфера состояла только из молекул самого лёгкого газа водорода, то на высоте 80 км её плотность была бы в два раза меньше, чем у поверхности Земли. А если бы атмосфера состояла только из молекул кислорода, которые тяжелее молекул водорода в 16 раз, то такое же уменьшение плотности атмосферы произошло бы уже на высоте 5 км.

Но какое отношение, спросите вы, имеет наш рассказ об атмосфере к определению масс молекул? Дело в том, что Перрен создал как бы миниатюрное подобие земной атмосферы, в котором роль молекул играли частицы, хотя и чрезвычайно малые, но все же такие, что их можно было увидеть в микроскоп и определить размеры и массы этих частиц.

Для опытов Перрен использовал смолу гуммигут (её получают из сока, вытекающего из надрезов коры деревьев семейства гуммигутовых, растущих в Восточной Индии). Учёный брал кусочки смолы и растирал их в воде. После этого он наблюдал жидкость под микроскопом. Оказалось, что гуммигут на самом деле не растворился в воде, а распался на множество шаровидных мелких зернышек, которые распределились по всему объёму воды. (Такую смесь называют эмульсией. Например, сливки в молоке, пока они не отстоятся, образуют эмульсию.) Зернышки гуммигута различны по размерам. А Перрену необходимо было иметь жидкость, в которой были бы совершенно одинаковые по размеру частицы гуммигута. Для этого он воспользовался центрифугой, которая делала 2500 оборотов в минуту. При вращении центрифуги наиболее тяжелые частицы оказывались дальше от оси вращения, и таким образом удалось получить порции эмульсии с разным диаметром зерен гуммигута в 0,5, 0,46, 0,37, 0,21 и 0,14 микрона (микрон – это тысячная доля миллиметра). Это была очень кропотливая и тяжелая работа: Перрену приходилось работать целый месяц для того, чтобы из одного килограмма гуммигута получить несколько сотых долей грамма круглых зёрен нужной величины.

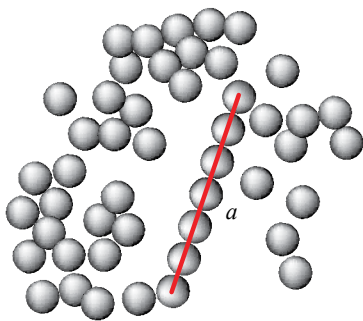


Рис. 35

Размеры шариков гуммигута определяли разными способами. Один из них – его называют способом рядов – можно понять из приведенной фотографии (рис. 35). На ней видны осевшие на поверхность сосуда шарики гуммигута. В некоторых местах они расположились по прямой линии, образовали ряд (например, отрезок *a*). Измерив длину ряда, сосчитав число шариков в нем и зная, с каким увеличением сделана фотография, определяли средний диаметр шарика. Такие измерения дают более точные результаты, чем измерения одной частицы.

Жан Перрен поместил каплю эмульсии с определенным диаметром зернышек гуммигута в плоскую ванночку (кювету) с глубиной 0,1 мм. Кювета была затем покрыта тонким стеклышком, края которого были залиты парафином: таким образом капля оказалась герметически заперта, так что никакое испарение уже невозможно.

Шарики гуммигута стали оседать на дно сосуда и оседали долго – несколько месяцев, пока не наступило равновесие. Все ли они расположились около самого дна? Нет, получилась картина, напоминающая атмосферу Земли: у самого дна число шариков гуммигута было наибольшим, а затем оно постепенно убывало с высотой (рис. 36). Причина такого распределения шариков гуммигута в слоях эмульсии та же, что и для молекул воздуха в атмосфере! Разница лишь в том, что молекулы сами совершают беспорядочное тепловое движение, а зёрнышки гуммигута со всех сторон непрерывно толкают молекулы воды. (Такое движение микроскопических частиц, происходящее потому, что они испытывают толчки со стороны невидимых молекул окружающей их жидкости (или газа), называют броуновским движением.)

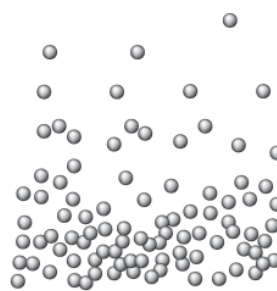


Рис. 36.
Распределение зёрнышек по высоте в гуммигутовой эмульсии

Так Перрен создал искусственную атмосферу толщиной в 0,1 мм! Слой гуммигутовой эмульсии в 0,1 мм (100 микрон) – это, в сущности, такая же атмосфера, но только состоящая не из молекул азота или кислорода, а из зёрнышек гуммигута, которые уже достаточно велики, чтобы их можно было видеть в микроскоп. Вследствие большей массы этих зёрнышек (по сравнению с молекулами газа) уменьшение плотности с высотой происходит быстрее, чем в обыкновенной атмосфере.

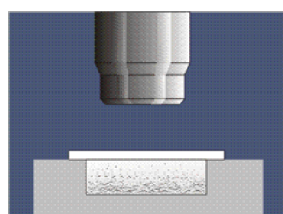


Рис. 37

Чтобы подсчитать число зёрнышек в разных слоях, поступили следующим образом. Кювету с эмульсией поместили под микроскоп (рис. 37). Сначала микроскоп сфокусировали так, чтобы резко был виден самый нижний слой (толщиной примерно 0,001 мм) и пересчитали число зёрнышек в нем. Затем микроскоп сфокусировали на следующий слой и так далее. Считать число шариков-зёрнышек гуммигута было нелегко: они все время двигались, перемещались, число их было велико (десятки тысяч штук). Например, в одном из опытов Перрен пересчитал 13000 зёрнышек в четырёх слоях.

В опытах Перрена было твёрдо установлено, что шарики гуммигута в эмульсии распределяются под действием силы тяжести точно по такому же закону, как и молекулы в атмосфере Земли. Следовательно, мы можем с полным правом сравнить распределение шариков гуммигута в эмульсии с распределением молекул в атмосфере и таким образом определить массу молекул газа, содержащихся в воздухе. «Эмульсия, – говорит Перрен, – это атмосфера в миниатюре, тяготеющая к Земле. В масштабе такой атмосферы высота Альп представилась бы несколькими микронами, а отдельные холмы стали бы равны молекулам». Для нас всего важнее, что молекулы этой миниатюрной «атмосферы» могут быть взвешены, а это позволяет вычислить и массу молекул обыкновенного газа.

Воспользуемся результатами одного из опытов Перрена. Масса M одного шарика гуммигута оказалась равной

$$M = 0,0\ 000\ 000\ 000\ 000\ 078\ \text{г}$$

(то есть семьдесят восемь десятиллионных миллиардной доли грамма!).

Высота h , на которой число таких шариков было в 2 раза меньше, чем у дна, была равна 0,03 мм:

$$h = 0,03 \text{ мм.}$$

Теперь вспомним данные о нашей атмосфере: если бы она состояла только из молекул кислорода, то на высоте

$$H = 5\,000\,000 \text{ мм (5 км)}$$

плотность кислорода была бы в два раза меньше, чем у поверхности Земли.

Как по этим данным рассчитать массу молекулы кислорода?

Обозначим массу молекулы через m_0 , а массу зёрнышка гуммигута через M и запишем такое соотношение:

$$\frac{m_0}{M} = \frac{h}{H}.$$

Тогда

$$m_0 = \frac{Mh}{H},$$

$$m_0 = \frac{0,0\,000\,000\,000\,000\,000\,078 \text{ г} \cdot 0,03 \text{ мм}}{5\,000\,000 \text{ мм}},$$

$$m_0 = 0,00\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,005 \text{ г}$$

(то есть пять стотысячных миллиардной миллиардной доли грамма!).

Так Перрен сделал то, что казалось совершенно невозможным – определил массу молекул и атомов!

В настоящее время массы молекул определяют многими разными способами, и значения масс молекул известны даже ещё более точно.

Познакомившись с одним из методов определения массы молекул, вы убедитесь, что массы эти очень малы. Теперь ответим на вопрос, сколько же молекул содержится в телах? Пусть, например, баллон объёмом 35 л заполнен кислородом (при нормальном атмосферном давлении и температуре 0 °С). При таких условиях плотность кислорода составляет 1,43 кг/м³. Не составляет труда вычислить массу m кислорода в баллоне:

$$m = 50 \text{ г.}$$

Тогда число N молекул кислорода равно

$$N = \frac{50 \text{ г}}{0,00\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,005 \text{ г}},$$

$$N = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$$

(то есть миллион миллиардов миллиардов!).

Чтобы создать хотя бы какое-нибудь представление о величине этого числа, проведите несложный расчёт. Пусть из баллона каждую секунду вылетает наружу 1 млрд молекул кислорода. Сколько времени понадобится на то, чтобы все молекулы покинули баллон?

Думается, что вас не может не удивить полученный при расчёте ответ: 30 миллионов лет!

В заключение нам осталось выяснить – каковы размеры молекул? Размеры молекул были определены во многих опытах. Опишем один из них: он достаточно прост и вы можете попробовать его повторить.

В чистую большую кювету наливают воду и на её поверхность аккуратно помещают маленькую каплю оливкового масла. Капля растекается по поверхности воды и образует круглую плёнку. Постепенно площадь плёнки увеличивается, но затем растекание масла прекращается, и площадь масляного пятна не меняется. Можно предположить, что молекулы масла располагаются в один слой, то есть толщина масляной плёнки равна как раз размеру одной молекулы.

В одном из таких опытов были получены следующие данные: капля масла имела объём $0,0009 \text{ см}^3$, а площадь образовавшейся из неё плёнки была равна 5200 см^2 . Обозначим объём масла через V , а площадь образовавшейся масляной плёнки через s . Тогда толщина d масляной плёнки равна

$$d = \frac{V}{s}.$$

$$d = \frac{0,0009 \text{ см}^3}{5200 \text{ см}^2},$$

$$d = 0,000002 \text{ см}$$

(то есть две десятиллионных доли сантиметра).

Многочисленные опыты показали, что молекулы и атомы разных веществ отличаются по размерам. Но когда хотят оценить диаметр молекулы или атома (если принять, что они имеют форму шариков), то берут величину в сотую часть миллионной доли сантиметра – $0,0000001 \text{ см}$. Чтобы почувствовать, насколько малы размеры атомов и молекул, приведем только один пример. Наименьшие частицы, доступные рассмотрению в оптические микроскопы, имеют размеры в несколько десятых долей микрона (напомним, что микрон – тысячная доля миллиметра) и содержат миллиарды атомов.



Пусть капля масла имеет объём $0,0009 \text{ см}^3$, а толщина масляной пленки $0,000002 \text{ см}$ (смотрите описание опыта выше). Оцените, сколько молекул содержится в капле масла. Во сколько раз это число молекул больше числа людей, живущих на Земле?

Литература

1. Петрова Т. С. Из жизни молекул // Квант. – 1988. – №7. – С. 46–49.
2. Штейнберг А. С. Дальтон взвешивает атомы // Квант. – 1987. – № 11. – С. 34–37.
3. Бронштейн М. П. Как был взвешен атом // Квант. – 1970. – № 2. – С. 26–35.
4. Родина Н. А. Как измерить молекулу? // Квант. – 1974. – № 6. – С. 57–59.
5. Родина Н. А. Можно ли взвесить молекулу? // Квант. – 1974. – № 7. – С. 69–71.

ИЗ ВОСПОМИНАНИЙ О ПРОФЕССОРЕ РЕЗЕРФОРДЕ (П.Л. Капица)

Выдающийся российский физик, лауреат Нобелевской премии, академик Пётр Леонидович Капица в течение тринадцати лет (1921–1934) работал в Англии у Резерфорда. Ниже помещены отрывки из его воспоминаний о своем учителе.

«...Одной из основных черт при его экспериментировании была исключительная наблюдательность, умение обобщать явление, выяснить самое важное, самое нужное...

...Многие говорят, что Резерфорд обладал исключительной интуицией, – он как бы чувствовал, как сделать опыт и что искать. Под интуицией обычно подразумевается какой-то бессознательный процесс, который идет внутри человека, – это то, чего нельзя объяснить, что подсознательно приводит к правильному решению. Я лично думаю, что может быть это отчасти и правда, но во всяком случае это сильно преувеличено. Для обычного человека прямо неизвестно то колоссальное количество работы, которое производит ученый. Он узнает только ту часть, которая ведет к определенным результатам. Наблюдая Резерфорда вблизи, можно было видеть, какое колоссальное количество работы он выполнял. Его энергия и энтузиазм были неисчерпаемы. Он все время работал и все время искал чего-то нового...

...Своеобразный характер мышления Резерфорда легко можно было видеть, беседа с ним на научные темы. Он любил, когда ему рассказывали об опытах, но чтобы он слушал с интересом – а по его выразительному лицу сразу было видно, слушает он с интересом или скучает, – надо было говорить об основных фактах и идеях, не вдаваясь в технические подробности...Основную идею эксперимента он схватывал очень быстро, с полуслова...

...Самое замечательное качество Резерфорда как учителя было его умение направить работу, поддержать начинание ученого и правильно оценить полученные результаты.

Самое большое, что он ценил в учениках – это самостоятельность мышления, инициативу, индивидуальность. При этом надо сказать, что Резерфорд применял все возможное для того, чтобы выявить у человека его индивидуальность.

Я помню, ещё в начале моей работы в Кембридже я как-то сказал Резерфорду: «У нас работает Х., он работает над безнадёжной идеей и напрасно тратит время, приборы и прочее». «Я знаю, – ответил Резерфорд, – что он работает над безнадёжной проблемой, но зато это проблема его собственная, и если ра-

бота у него и не выйдет, то она его научит самостоятельно мыслить и приведёт к другой проблеме, которая уже будет иметь экспериментальное решение». Так оно потом и оказалось.

Он многим готов был пожертвовать, чтобы только воспитать в человеке независимость и оригинальность мышления, и, если они проявились, он окружал его заботой и особо поощрял его работу...

...Резерфорд не выносил недобросовестности в работе и во взаимоотношениях людей. Если какой-нибудь ученик проявлял хотя бы малейшую недобросовестность в чём-нибудь – в том ли, что он неправильно представлял результаты своей работы, в том ли, что он не упоминал источника своих идей и старался выставить производимую им работу за свою, тогда как он на самом деле почерпнул идею её в другом месте, – такой человек терял для Резерфорда всякий интерес...»

Литература

1. Капица П. Л. Из воспоминаний о профессоре Резерфорде // Квант. –1971. – № 8. – С. 17–20.

КАК РАСТУТ КРИСТАЛЛЫ

Долгое время считалось очевидным, что рост кристаллов происходит слой за слоем, образно говоря так же, как каменщик строит кирпичную стенку. При таком механизме роста кристалла осаждение нового атома из раствора или пара на поверхность кристалла

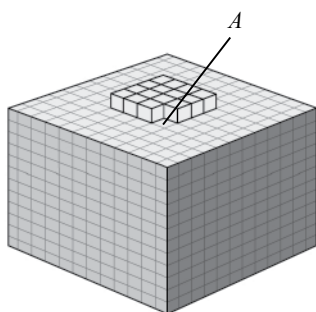


Рис. 38. Модель недостроенной грани кристалла

наиболее вероятно в точке *A* поверхности (рис. 38). В этой точке атом будет удерживаться тремя «соседями», тогда как в любой другой точке поверхности грани он будет удерживаться меньшим числом соседей. Когда закончится застройка одного ряда, начнется застройка следующего и так далее, пока не завершится вся плоскость.

После завершения кристаллического слоя рост кристалла затруднён, так как образование нового слоя – событие менее вероятное. Действительно, в любом месте на завершённой плоскости вновь прибывший новый атом будет связан с небольшим числом атомов кристалла. По этой причине велики шансы нарушения этой слабой межатомной связи тепловым движением, а значит, новый атом не сможет закрепиться на кристаллической плоскости. Если механизм застройки атомных плоскостей именно таков, то скорость роста кристалла должна быть крайне мала. Однако, это противоречит опытам – оказалось, что фактическая скорость роста кристаллов многократно превосходит рассчитанную теоретически.

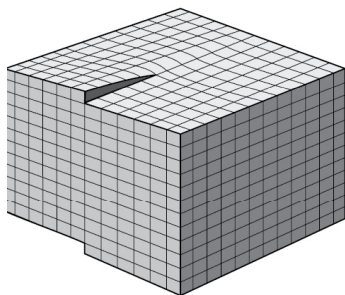


Рис. 39

Объяснение расхождения теории и эксперимента было найдено в середине двадцатого века. Оказалось, что та легкость, с которой начинается застройка новой атомной плоскости, объясняется тем, что реальные кристаллы имеют множество недостатков (дефектов) структуры. Особую роль в процессе роста кристаллов играют дефекты, называемые *винтовыми дислокациями*. В некоторых местах в кристалле может быть нарушено чередование атомных слоев; образно говоря атомные слои не параллельны друг другу, как в

пачке тетрадей, а закручены в единую винтовую лестницу (рис. 39).

На выходе такой «ступеньки» на грань кристалла как бы заготовлена уютная «посадочная площадка» для каждого вновь присоединяющегося атома. И хитрость здесь в том, что атомы, оседая, присоединяются к ступеньке, а ступенька не зарастает, а только смещается по грани кристалла. Постоянное наличие открытой ступеньки винтовой дислокации создает благоприятные условия для роста кристалла. Ведь не нужно начинать строить новую плоскость. Атомы, пристраивающиеся к ступеньке, наращивают ее, и за счет этого она начинает перемещаться по поверхности грани. Но это движение не будет перемещением ступеньки параллельно самой себе, так как один ее конец неподвижен. Кристалл будет расти не параллельными слоями, образно говоря, не как кирпичная кладка стены, а винтовой лестницей, спиралью (рис. 40). Постоянное наращивание атомной ступеньки новыми слоями приводит к тому, что на грани кристалла образуется спиральная «башенка». Со временем нижние ступеньки лестницы «застраиваются» – заполняются атомами, и образуется заверченный атомный слой.

Первоначально к такой теории роста кристаллов многие ученые отнеслись с недоверием. Если бы кристалл рос, закручиваясь по винту вокруг винтовой дислокации-ступеньки, – возражали они, – то на поверхность кристалла должна была бы выходить незаполненная ступенька, а то и спираль. Между тем испокон веку известно, что грани у кристалла всегда гладкие, плоские.

И, тем не менее, оказалось, что теория винтового роста кристаллов верна: на гранях кристаллов действительно имеются спиральные выступы – выходы винтовых дислокаций. Вот ведь как получилось: сотни лет смотрели исследователи на грани кристаллов, внимательно изучали, срисовывали их всегда как ровные, плоские, гладкие и не заметили, что кристалл может расти по спирали и на его грани бывает виден след этой спирали. Не видели – потому что не искали. Да и заметить эти ступеньки роста сложно – высота каждой ступеньки составляет всего лишь с десятков межуатомных расстояний. Но когда их стали целенаправленно искать, то обнаружили достаточно быстро (рис. 41).

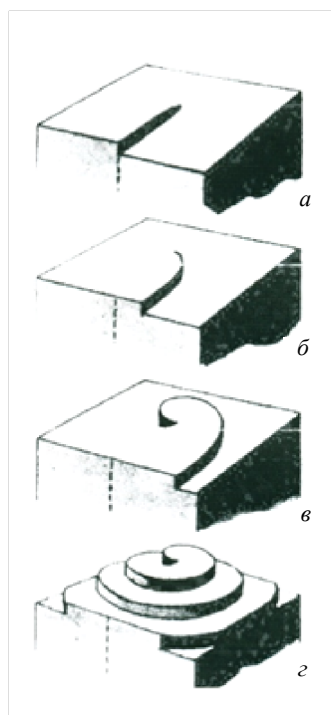


Рис. 40. На рисунке *a* показано возникновение винтовой дислокации, которая приводит к спиралевидному росту кристалла, проиллюстрированных на последующих рисунках *б, в, г*



Рис. 41. Спираль на грани кристалла карбида кремния

Сегодня уже нет сомнений, что именно так и растут кристаллы: кристалл растёт вдоль дислокации, образуя единую винтовую лестницу из атомных плоскостей. В кристаллическом порядке имеются нарушения-дефекты, беспорядок, и именно этот беспорядок помогает кристаллу расти!

Литература

1. Кабардин О. Ф. и др. Факультативный курс физики. 9 кл. Пособие для учащихся. Изд. 2-е, перераб. – М. : Просвещение, 1978. – С. 35–38.
2. Шаскольская М. П. Очерки о свойствах – М. : Наука, 1978. – С. 163–169.
3. Федянин В. К. Рост кристаллов // Квант. –1971. – № 6. – С. 16–22.
4. Андриюшечкин С. М. Физика. 10 кл. : учеб. для общеобразоват. организаций: базовый уровень. – М. : Баласс, 2013. – С. 78–81.

АТОМЫ БЛУЖДАЮТ ПО КРИСТАЛЛУ

В 1896 году, английский металлург Вильям Робертс-Аустен проделал опыт. Он крепко прижал тонкий золотой диск к отшлифованному торцу цилиндра из чистого свинца, убедился, что контакт достаточно плотный, и поместил эту пару на десять дней в печь при температуре 200 °С. Когда обжиг кончился, оказалось, что разъединить металлы уже невозможно. Тогда экспериментатор разрезал составной цилиндр вдоль оси и, посмотрев его под микроскопом, обнаружил, что золото и свинец проникли друг в друга, произошло перемешивание металлов.

Как вы знаете, проникновение одного вещества в другое называется диффузией. Почему же атомы (или молекулы) одного вещества проникают внутрь другого вещества? Почему происходит перемешивание? Ответы на эти вопросы представляются очевидными: перемешивание – результат теплового движения частиц вещества. Тем не менее, экспериментальный факт диффузии металлов чрезвычайно удивителен. Почему? Вспомним, какие движения совершают частицы в различных состояниях вещества. В газах частица до столкновения с другой частицей движется прямолинейно, совершая свободный пробег. После столкновения частица пролетает по новому направлению и с другой скоростью отрезок новой прямой до следующего столкновения. Ясно, что такое движение приводит к перемешиванию, к диффузии. В жидкостях положение частиц, как и в газе, не фиксированы; частица все время смещается и в результате за достаточно продолжительное время уходит далеко от начального положения. Такое движение частиц также приводит к перемешиванию жидкостей.

Совсем не так обстоит дело в кристаллических твердых телах. Для кристалла характерно упорядоченное положение атомов в строго определенных местах. Такой порядок расположения атомов называют кристаллической решеткой, а само место расположения атома – узлом кристаллической решетки (рис. 42). Основной вид тепловых движений, которые совершают атомы в твердых телах, это *малые колебания около положения равновесия*. Подчеркнем, малые. Размах этих колебаний много меньше расстояния между соседними атомами кристалла. Вот почему взаимное проникновение атомов свинца и золота – вещь удивительная. Как же они это делают? Каков механизм перемешивания атомов?

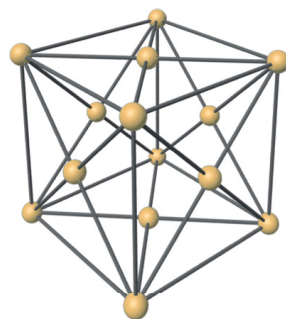


Рис. 42.
Модель кристаллической
решётки золота

Для ответа на этот вопрос необходимо вспомнить, что в реальных кристаллах всегда имеются нарушения кристаллической решетки – дефекты. Для процесса диффузии наиболее существенны такие дефекты, как внедрение атома в междоузлие и отсутствие атома (вакансия) в одном из узлов кристаллической решетки. Таким образом, существуют два основных механизма диффузии в твёрдых телах:

- *междоузельный* (рис. 43, а), при этом атом перемещается по междоузлиям;
- *вакансионный* (рис. 43, б). Это самый распространенный механизм диффузии. Атом перемещается, обмениваясь местами с вакансией.

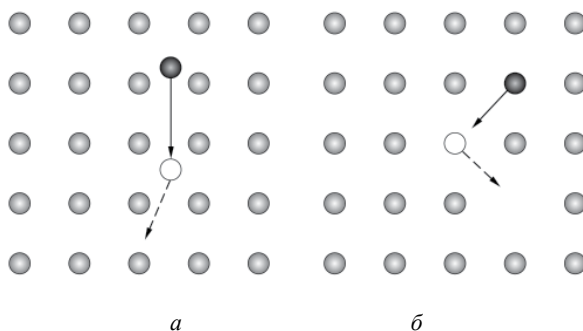


Рис. 43

Так как нарушения правильности кристаллической решетки обусловлены тепловым движением, то количество вакансий должно быть тем больше, чем выше температура. Наличие в кристалле вакансий обеспечивает атомам кристалла необходимую подвижность, возможность перемещаться по всему его объёму. Следовательно, с ростом температуры скорость процесса диффузии возрастает.

Вот мы и ответили на вопрос, как происходит диффузия в твёрдых телах. Чтобы атом в кристалле «шагнул» в соседний узел, нужно, чтобы одновременно произошли два события: в соседнем узле оказалась вакансия, и атом поменялся с ней местами

Понимание механизма процесса диффузии в твёрдых телах позволило установить законы диффузии. Знание этих законов помогает решать практически важные задачи. Например, рассчитывать время, необходимое для осуществления диффузии, или определять толщину слоя, на которую проникают атомы одного металла, диффундируя в другой металл.



1. В чём заключается вакансионный механизм диффузии?



2. Почему скорость процесса диффузии возрастает при повышении температуры?

Литература

1. Бокштейн Б. С. Атомы блуждают по кристаллу / Под ред. Л. Г. Асламазова. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – С. 9–11, 68–70.

ВЕЛИКИЙ КАРЛИК, ИЛИ ЧТО ТАКОЕ НАНОТЕХНОЛОГИЯ

Приставка «нано» происходит от греческого *nanos* – карлик и означает одну миллиардную долю какой-нибудь единицы. Например, один нанометр (1 нм) – миллиардная часть метра. Основой же слова «технология» является греческое *techne* – искусство, мастерство, умение. То есть, говоря о технологии, имеют в виду методы обработки, изготовления, изменения свойств сырья и материалов при производстве продукции.

Первобытный человек мастерил орудия труда и охоты, строил жилища, шил одежду из материалов, уже созданных природой. Шло время, каменный век сменялся бронзовым, потом железным... Постепенно люди научились изготавливать и обрабатывать новые материалы – плавить металл, обжигать керамику, обрабатывать шерсть и растительные волокна, ткать полотно. Изучая свойства веществ, люди стремились их использовать и, при необходимости, изменять: тысячелетия назад – путем грубой обработки, сегодня – на уровне молекул и кристаллов.

Приборы, приёмы и методы работы в масштабе расстояний от 0,1 нм (размер атома) до 100 нм, разработанные на основе современных знаний в области физики, химии, биологии, и составляют содержание нанотехнологии. Под нанотехнологией понимают способность создавать или находить в природе, контролировать и использовать нанообъекты: отдельные атомы, молекулы или их небольшие группы.

Чем же так привлекательны сами по себе нанообъекты и наноструктуры? Можно назвать множество причин: ничтожное количество необходимой для их производства энергии и сырья, практическая безотходность и экологическая безвредность, возможность создавать очень сложные и вместе с тем очень компактные изделия для электроники, космонавтики, медицины.

Нанотехнология уже разработала десятки, если не сотни, методов конструирования наноструктур, нахождения и сортировки их из природных биологических объектов. Одна из самых универсальных и многообещающих технологий – зондовая нанотехнология. Начало этой технологии было положено изобретением в 1981 г. так называемого зондового туннельного микроскопа.

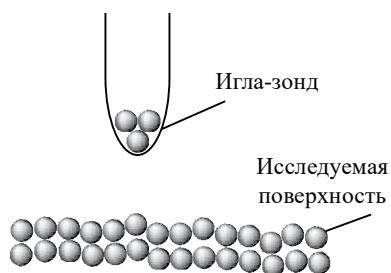


Рис. 44

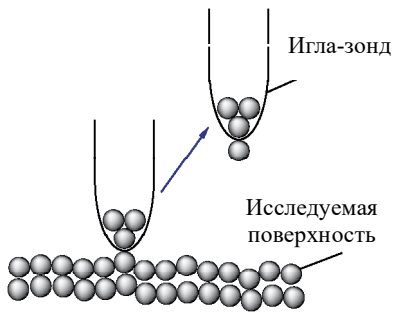


Рис. 45

Основным элементом прибора является атомно острый инструмент – зонд, который с очень высокой точностью может перемещаться вблизи поверхности исследуемого тела (рис. 44). Эта точность в некоторых приборах достигает тысячных долей нанометра. Остриё, подведённое к поверхности на расстоянии порядка размера атома, начинает взаимодействовать с отдельными атомами на поверхности исследуемого образца.

Одно из главных достоинств зондового микроскопа заключается в том, что иглу-зонд можно использовать в качестве «атомного пинцета», то есть как инструмент для захвата и перемещения отдельных атомов и молекул (рис. 45). Для этого зонд подводят к нужному атому и затем «перекатывают» его в заранее заданное место, или переносят, оторвав от поверхности, подав на иглу электрическое напряжение. Результаты вы можете видеть на рисунке 46.

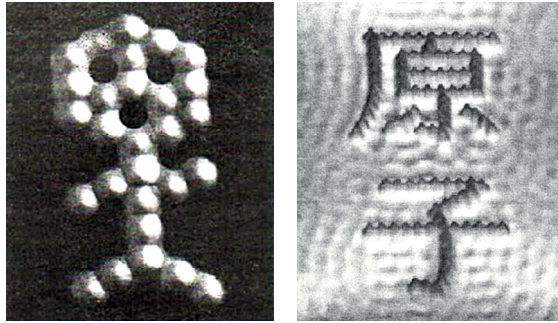


Рис. 46

В 1991 году сотрудники фирмы IBM написали атомами ксенона (инертного газа) название своей фирмы. Букву I составили всего 9 атомов, а букву V и M – 13 атомов каждую (рис. 47).

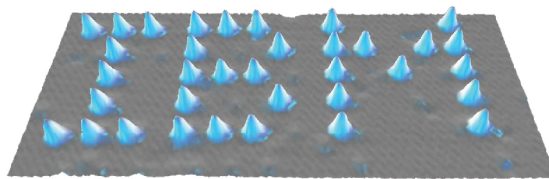


Рис. 47

Подобным способом ученые могут собрать отдельные электронные устройства или даже целую электрическую цепь из небольшого числа атомов.

Еще одна разновидность нанотехнологии, которая развивается сейчас наиболее быстрыми темпами – это нанобиотехнология, что подразумевает полезное использование нанобъектов биологического происхождения. Нанобиотехнологии нацелены на разработку принципиально новых лекарств и способов их

доставки в необходимую точку больного организма, на создание высокоэффективных пород сельскохозяйственных животных и сортов растений. Разрабатываются анализаторы химического состава воздуха и воды, устройства для нейтрализации вредных отходов и охраны окружающей среды.

Итак, наука создала и создает широкие возможности для развития новых нанотехнологий. Какие же последствия будет иметь их дальнейшее развитие? Вот только некоторые из них:

– Экономике развитых стран, освоивших нанотехнологии, сделают крупный шаг вперед. Изменится производство, потребуются рабочие и инженеры новой квалификации. Обновление продукции будет происходить очень быстро, так что всем придётся непрерывно учиться. В ряде стран уже возникла экономика, самым прибыльным ресурсом которой являются знание, а не нефть, газ или лес, запасы которых не бесконечны.

– Если встраивать микрочипы в окружающие нас вещи, то они смогут самостоятельно менять режим своей работы, приспосабливаясь к изменившимся условиям. Иными словами, одежда будет лучше греть или проветриваться, температура и освещение жилища будут подстраиваться под человека, автомобили станут находить оптимальные маршруты перемещения и автоматически избегать аварий и столкновений

– Лекарства, диагностика болезней, лечение будут более эффективными. Это продлит жизнь человека.

– Средства борьбы с терроризмом, военной угрозой станут более надёжными, что обезопасит жизнь человека.

– Станет возможным решение многих задач по освоению космоса самообучающимися и саморазвивающимися микророботами.



1. Что такое нанотехнология? Почему её развитие очень важно для общества?



2. Пофантазируйте и предложите свою область применения нанотехнологии.

Литература

1. Головин Ю. Нанотехнология на службе человека // Квант. – 2005. – № 4. – С. 11–16.

2. Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 2. Электричество и магнетизм. Термодинамика и квантовая механика. Физика ядра и элементарных частиц / Гл. ред. В. А. Володин, метод. редактор А. Элиович. – М. : Аванта+, 2003. – С. 267–270.

3. Энциклопедия для детей. Т. 14. Техника / Гл. ред. М. Д. Аксенова. – М. : Аванта+, 1999. С. 149–152, 157–158.

ПОЧЕМУ У СЫРА КРУГЛЫЕ ДЫРЫ

Одним из древнейших пищевых продуктов, изобретённых человеком, является сыр. Уже минимум за пять тысяч лет до нашей эры первобытные люди начали приручать диких животных (коров, овец, коз) и разводить их с целью получения молока.

Полученное от животных молоко в свежем виде храниться не могло, и его нужно было каким-то образом перерабатывать. Люди заметили, что если молоко пробовать хранить в своеобразном сосуде – желудке убитого молодого жвачного животного, то под действием веществ, содержащихся в стенках желудка, происходит свёртывание молока. Так, во многом случайно, был открыт способ получения сыра.

Сырделие было хорошо развито уже в древнем мире, о чём упоминают античные писатели, а в трудах знаменитого древнегреческого мыслителя Аристотеля изложены сведения о переработке молока и выработке сыра. В наше время сыр – популярный продукт, который производят в большинстве стран мира и известно более пяти тысяч его различных сортов.

Отрежем кусок твёрдого сыра и обратим внимание на почти одинаковые и совершенно круглые дырки в сыре (рис. 48). Как же образуются эти дырки? Оказывается за появление дырок в сыре ответственны особенности теплового движения молекул газообразного вещества и известный вам закон Паскаля : «Давление, производимое внешними силами на жидкость или газ, передаётся одинаково по всем направлениям».



Рис. 48

При приготовлении сыра после процесса свёртывания молока образуется тестообразная масса, которую уплотняют под большим давлением и заполняют ею специальные формы. Образовавшиеся в формах головки сыра вынимают и помещают в теплые камеры для созревания. В этот период сыр «бродит». Внутри спрессованного «теста» образуется углекислый газ, который накапливается в виде пузырьков. Чем больше углекислого газа, тем сильнее раздуваются пузырьки.

Молекулы газа, как вы знаете, совершают беспорядочное непрерывное движение, и газ производит одинаковое давление на все стенки «баллона» – на сплошную мягкую массу будущего сыра. Сырное «тесто» подобно по своим упругим свойствам жидкости, и давление передаётся одинаково по всем направлениям. По этой причине пузырьки раздуваются

строго шарообразной формы. Отступление от этого правила будет означать, что в каком-то месте внутри «теста» имеются уплотнения или, наоборот, пустоты.

Потом сыр затвердевает, и внутри него как бы запечатлевается картина внутреннего «дыхания» бродящего сыра в виде вкраплений пузырьков углекислого газа. Чем твёрже сыр, тем меньше могут раздуться внутренние пузырьки, тем меньше размер образовавшихся дырок.

Некоторые сорта сыра перед созреванием не подвергаются обработке высоким давлением. В них выделение углекислого газа при брожении происходит в уже имеющиеся в «тесте» пустоты, которые, как правило, имеют неправильную форму – это промежутки, оставшиеся между зёрнами полуфабриката после спекания сырного «теста» в печи. Такие сыры в разрезе представляют не правильную картину пузырей, а довольно затейливый узор.

В заключение улыбнёмся, произнося слово сыр по английски – *cheese*, и отметим, что широко распространённое мнение, будто мыши любят сыр, не является верным. Грызуны предпочитают продукты без сильного запаха, а значит, вовсе не мыши «ответственны» за дырки в сыре (рис. 49).

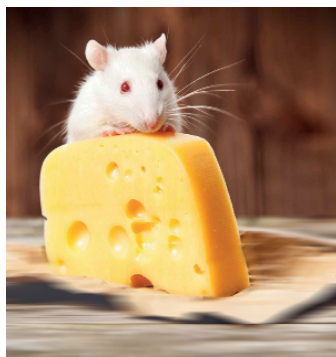


Рис. 49



Какой физический закон вы применяете, накачивая шины велосипеда с помощью ручного насоса?

Литература

1. Шингарева Т. И. Производство сыра: учебное пособие для студентов вузов по специальности «Технология хранения и переработки животного сырья» / Т. И. Шингарева, Р. И. Раманаскас. – Минск : ИВЦ Минфина, 2008. – С. 5–12.
2. Кротов С. Почему у сыра круглые дыры // Квант. – 1998. – № 2. – С. 35–37.

АРХИМЕДОВА СИЛА И КИТЫ

Самое большое из ныне обитающих на Земле животных – это кит (рис. 50). Наиболее крупные представители отряда китообразных – голубые киты – достигают в длину 33 м (сравните это с длиной учебного кабинета), а их масса около 130 т. Для сравнения напомним, что слон имеет массу от 3 до 6 т (как язык некоторых китов!).

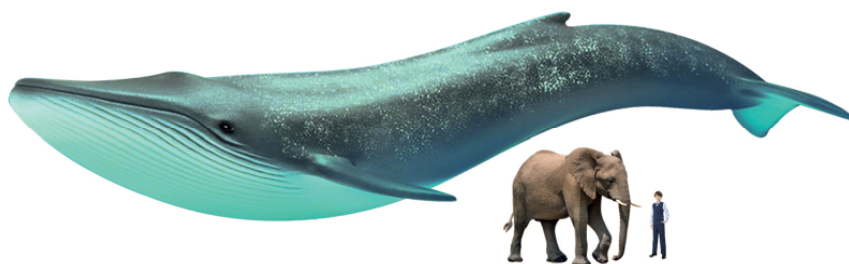


Рис. 50

Конечно, при такой массе тела кит не сможет находиться на суше. Известны случаи, когда киты по неизвестным пока до конца причинам выбрасываются на берег океана. Для них это равносильно самоубийству. Громадная сила тяжести прижимает животное к земле. Скелет кита не приспособлен к тому, чтобы выдерживать эту тяжесть; даже дышать кит не может, так как для вдоха он должен расширить легкие, приподнять мышцы, окружающие грудную клетку.

Но океан – родная стихия кита. В воде, где на тело животного действует выталкивающая сила, организм кита прекрасно справляется с нагрузками. Он может развивать скорость до 30–40 км/ч, нырять на глубину в десятки метров (а кашалоты так и вовсе на километровую глубину).

Вспомним, что давления воды на глубине в метров достаточно велико и составляет 100 кПа (равно атмосферному давлению). Легкие кита под этим давлением сжимаются, от сжатия легких объем тела кита уменьшается, а с ним уменьшается и выталкивающая сила.

По мере того как кит выплывает из глубины ближе к поверхности воды, архимедова сила немного увеличивается (почему?). Вынырнув на поверхность, кит вдыхает воздух, объем его тела увеличивается; значит, увеличивается и выталкивающая сила. Для равновесия необходимо, чтобы сила тяжести, действующая на кита, компенсировалась бы архимедовой силой. Но теперь уже для создания необходимой величины архимедовой силы киту не нужно полностью

погружаться в воду – ведь его объем стал больше. Поэтому кит будет плавать, погрузившись в воду лишь частично (рис. 51).



Рис. 51



1. Известно, что киты заплывают иногда в сильно опресненные лагуны¹ у побережья Чукотского полуострова. Предположим, что в пресную воду заплыл кит, изображенный на фотографии (рис. 51). Что изменилось бы в расположении кита в этом случае, если считать, что все данные, кроме состава воды, не меняются?



2. Объясните явление, наблюдавшееся известным французским исследователем Мирового океана Жаком-Ивом Кусто (1910–1997): «Вода впереди пузырилась словно газированная. Это стая рыбешек то уходила вглубь, то снова поднималась к поверхности и выпускала воздух из плавательных пузырей». Зачем рыбешки выпускают воздух из плавательных пузырей и когда именно они это делают: уходя вглубь или поднимаясь к поверхности?

Литература

1. Родина Н. А. Архимедова сила и киты // Квант. – 1992. – № 8. – С. 50–53.

¹ Лагуна – неглубокий естественный водоём, соединяющийся с морем узким проливом.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Становление физики.	4
Работа над ошибками	6
Из истории метра	10
Роберт Гук – учёный-энциклопедист	15
Великая книга Ньютона	19
Ньютон – социальный реформатор.	23
Удачная охота... с расстояния четырёх с лишним миллиардов километров.	25
Куда направлена сила трения?	27
Почему звучит скрипка?	29
О « журавле» в небе и кастрюле в руке	32
Из истории весов.	35
Подвиг Архимеда	38
Перпетуум мобиле	43
Заполняем «анкету» молекулы	47
Из воспоминаний о профессоре Резерфорде (<i>П. Л. Капица</i>)	52
Как растут кристаллы.	54
Атомы блуждают по кристаллу	57
Великий карлик, или что такое нанотехнология	59
Почему у сыра круглые дыры	62
Архимедова сила и киты	64

О ФИЗИКЕ И ФИЗИКАХ

книга для дополнительного чтения

7 класс

Составитель

Андрюшечкин Сергей Михайлович

Компьютерная вёрстка – О. Я. Евдокимова

Подписано в печать 18.12.2019

Формат 84×108 1/16

Бумага офсетная

Тираж 500 экз. Заказ № 087

Издательство «Амфора»
644042, Омск, пр. К. Маркса, 34а
Тел./факс: (3812)957-177
e-mail: amfora2002@inbox.ru

