

О ФИЗИКЕ И ФИЗИКАХ

КНИГА ДЛЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЧТЕНИЯ

8 класс

Омск
Амфора
2019

УДК 372.016:53
ББК 22.3я721
О912

О912 О физике и физиках: книга для дополнительного чтения к учебнику «Физика». 8 класс / сост. С.М. Андрюшечкин. – Омск, 2019. – 98 с.

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

ISBN

УДК 372.016:53
ББК 22.3я721

© Андрюшечкин 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 8 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 чем 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 восьмого класса.

ЛОМОНОСОВ – УЧЁНЫЙ-ЭНЦИКЛОПЕДИСТ

Михаил Васильевич Ломоносов – первый русский академик в области естествознания. Уникальна жизнь Ломоносова, уникальна широта его научного творчества. Сын крестьянина-рыбака с окраин Русского Севера, «архангельский мужик» благодаря природному таланту, трудолюбию и упорству достигает высших научных степеней в тогдашней сословной России, работает среди верхних слоёв придворных чиновников и дворянской знати.

Кратко упомянем основные вехи его жизненного пути. Жажда знаний ведёт девятнадцатилетнего юношу с рыбным обозом из Холмогор Архангелогородской губернии в Москву, и в январе 1731 года он зачислен учеником в Славяно-греко-латинскую академию в Москве. Через четыре года в числе двенадцати лучших учеников направлен для продолжения обучения при Академии наук в Санкт-Петербурге и менее чем через год вместе с двумя студентами командирован постигать науки в университетах Германии. Изучает химию, механику, гидравлику, физику, много читает художественной литературы и подбирает книги для своей первой библиотеки. Помимо латыни – языка науки того времени и немецкого языка, которые он знал в совершенстве, осваивает французский и итальянский языки.

По возвращении на родину в 1741 году и до завершения своего жизненного пути Михаил Васильевич Ломоносов четверть века ведёт разнообразную деятельность в Академии наук в Санкт-Петербурге на благо развития науки и образования России. Вот как он сам об этом писал: «положил твёрдое и непоколебимое намерение, чтобы за благополучие наук в России, ежели обстоятельства потребуют, не пожалеть всего моего временного благополучия».

Первый русский профессор химии первым из академиков приступает к чтению публичных лекций по физике на русском языке. Создаёт первую в России научно-исследовательскую и учебную химическую лабораторию, читает первый в истории науки курс лекций по физической химии. Нобелевский лауреат по физике, знаменитый российский физик XX века Пётр Леонидович Капица, отмечал, что во главу изучения природы Ломоносов ставил опыт, это его характерная черта как учёного. «Он тщательно разработал термометрию, он точно калибровал свои ртутные термометры. Пользуясь ими, он, например, определил коэффициент расширения газов при нагревании с удивительной для своего времени точностью. Сравнивая его данные с современными, – пишет П. Л. Капица – мы находим, что он сделал ошибку меньше 3 %, что было в десять раз точнее принятого тогда значения. Это показывает исключительно высокую технику Ломоносова как экспериментатора».

Основывает первую в России фабрику по производству цветного стекла, в том числе и для мозаичных работ. Разрабатывает конструкции оптических приборов, ведёт астрономические наблюдения и в ходе их обнаруживает атмосферу на Венере. Изучает электрические явления, в том числе и связанные с атмосферным электричеством, пишет работы по метеорологии и геологии. Вводит в русский язык столь привычные нам теперь научные термины: атмосфера, микроскоп, минус, полюс, формула, горизонт, диаметр, радиус, пропорция, барометр, манометр, оптика, вязкость, кристаллизация.

В работе «Размышления о причине теплоты и холода» М.В. Ломоносов разрабатывает теорию теплоты, совершенно созвучную современным научным представлениям: «Ведь нельзя отрицать существование движения там, где его не видно: кто, в самом деле, будет отрицать, что, когда через лес проносится сильный ветер, то листья и сучки дерев колышятся, хотя при рассматривании издали и не видно движения. Точно так же, как здесь вследствие расстояния, так и в тёплых телах вследствие малости частиц движущейся материи движение ускользает от взора; в обоих случаях угол зрения так остр, что нельзя видеть ни самих частиц, расположенных под этим углом, ни движения их ... очевидно, что *теплота состоит во внутреннем движении материи*»¹. Исходя из разработанной им кинетической² теории тепловых процессов, Ломоносов обосновал существование абсолютного нуля температуры – наименьшей возможной в природе температуры, при которой по его представлениям прекращается движение частиц вещества.

Великий математик, академик Петербургской Академии наук Леонард Эйлер, чья научная деятельность в течение долгого времени проходила в России, оценивая научные труды Ломоносова, писал: «Все сии сочинения не токмо хороши, но и превосходны, ибо он изъясняет физические и химические материи, самые нужные и трудные, кои совсем неизвестны и невозможны были к истолкованию самым остроумным учёным людям, с таким основательством, что я совсем уверен о точности его доказательств. При сём случае я должен отдать справедливость господину Ломоносову, что он одарован самым счастливым остроумием для объяснения явлений физических и химических. Желать надобно, чтобы все протчие Академии были в состоянии показать такие изобретения, которые показал господин Ломоносов».

Несмотря на то, что Ломоносов сосредоточил свои работы на наиболее важных проблемах химии и физики того времени, его передовая научная деятельность прошла во многом незамеченной как в России, так и за рубежом, не оставив в развитии естествознания того глубокого следа, которого она достойна. По мнению академика П.Л. Капицы, это обусловлено рядом причин. Во-первых, Ломоносов работал вне пределов признанных научных центров того времени, без личных научных контактов с крупными иностранными учёными. (Ломоносов после завершения учёбы в Германии и возвращения в Петербург ни разу в дальнейшем не выезжал за пределы России). Во-вторых, он был учёным-одиночкой – в нашей стране в то время отсутствовала научная среда, которая могла бы по достоинству оценить его научные достижения, продолжить начатые им научные изыскания.

¹ Перевод с латыни проф. Б.Н. Меншуткина.

² Кинетический – относящийся к движению, связанный с движением.

Ни чиновники, ни вельможи, расположение и покровительство которых Ломоносов снискал благодаря яркости своих личных качеств, не могли, без-условно, понять значение его научной работы в области химии и физики. По этой причине современники, а затем и потомки, воспринимали Ломоносова в первую очередь как поэта и писателя, реформатора русского языка и историка, общественного деятеля и администратора (в разные годы Ломоносов – руководи-тель Исторического собрания, Географического департамента, Академиче-ского университета и Академической гимназии).

Александр Сергеевич Пушкин, говоря о таланте учёного-естествоиспыта-теля, его энциклопедическом кругозоре, посвятил первому русскому акаде-мику такие эмоциональные строки: «Соединяя необыкновенную силу воли с необыкновенной силою понятия, Ломоносов обнял все отрасли просвещения. Жажда науки была сильнейшею страстию сей души, исполненной страстей. Историк, ритор, механик, химик, минералог, художник и стихотворец, он всё испытал и всё проник». Пушкин видел гений Ломоносова именно как учёно-го, как деятеля науки: «Ломоносов был великий человек. Между Петром I и Екатериною II он один является самобытным сподвижником просвещения. Он создал первый университет. Он, лучше сказать, сам был первым нашим уни-верситетом».

При непосредственном участии Михаила Васильевича Ломоносова был учреждён в 1755 году Московский университет, который в настоящее время носит его имя. Начинаясь Московский университет с четырёх профессоров. Через сто лет в нём работало 250 преподавателей, через двести лет – свыше 2000, сейчас только докторов и кандидатов наук в Университете около 10 000. В 1755 году в Университете было 100 студентов. Через сто лет их около 1000, через двести лет – 16 000, сейчас – около 40 000. В год основания в универ-ситете было 3 факультета. Через сто лет их было 4, через двести лет – 12,

сейчас – более 40, а также научно-ис-следовательские институты и центры, Научная библиотека на 9 000 000 то-мов, несколько музеев, Медицинский научно-образовательный центр, Бота-нический сад. Университет занимает более 1000 зданий общей площадью более 1 000 000 квадратных метров. Глядя на динамичное развитие Мо-сковского университета – одного из признанных лидеров российского об-разования, можно с уверенностью ут-верждать, что Университет – лучший памятник Ломоносову (рис. 1).

По праву, к самому М.В. Ломоносо-ву можно отнести строки из выполнен-ного им перевода стихотворения знаме-нитого древнеримского поэта Горация:

Я знак бессмертия себе воздвигнул
Превыше пирамид и крепче меди.



Рис. 1. Памятник М.В. Ломоносову у Главного корпуса МГУ



М.В. Ломоносов писал: «Так как тела могут двигаться двояким движением – *общим*, при котором все тело непрерывно меняет свое место при покоящихся друг относительно друга частях, и *внутренним*, которое есть перемена места нечувствительных частиц материи, и так как при самом быстром общем движении часто не наблюдается теплоты, а при отсутствии такового движения наблюдается большая теплота, то очевидно, что *теплота состоит во внутреннем движении материи*». Прокомментируйте это утверждение. Соответствует ли оно современным научным представлениям?

Литература

1. Кудрявцев, П. С. Курс истории физики : [учебное пособие для педагогических ин-тов по физическим специальностям] / П. С. Кудрявцев. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Просвещение, 1982. – С. 118–125.
2. Кудрявцев, Б. Б. М. В. Ломоносов / Б. Б. Кудрявцев. – М. : Учпедгиз, 1955. – 128 с.
3. Капица, П. Л. (1894–1984). Эксперимент. Теория. Практика : Ст. и выступления / П. Л. Капица; АН СССР. – 4-е изд., испр. и доп. – М. : Наука, 1987. – С. 321–342.
4. К 275-летию со дня рождения М. В. Ломоносова // Квант. – 1986. – № 11. – С. 5–11.
5. Филонович, С. Человек-университет (к 300-летию со дня рождения М. В. Ломоносова) [Электронный ресурс] / С. Филонович // Квант. – 2011. – № 5. – Режим доступа: [http : // kvant.mccme / ru / pdf / 2011 / 05.htm](http://kvant.mccme.ru/pdf/2011/05.htm).

КАК ЗАВИСИТ ВРЕМЯ ВАРКИ КАРТОФЕЛЯ ОТ ЕГО РАЗМЕРА

Перед тем как обсудить вопрос, вынесенный в заголовок рассказа, укажем основные закономерности процесса теплопроводности. Пусть стена площадью s имеет толщину ΔL и пусть перепад температур между тёплой комнатой и холодной улицей с течением времени не меняется и составляет ΔT (рис. 2). Чем будет определяться количество теплоты Q , «уходящее» в окружающую среду через стену?

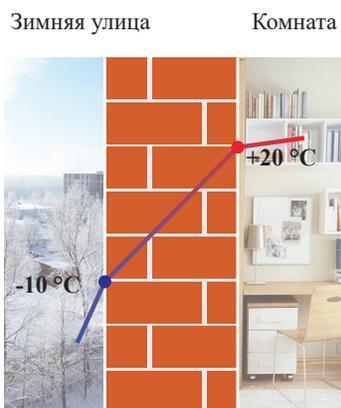


Рис. 2

Ясно, что это количество теплоты будет пропорционально площади стенки s и длительности процесса теплопередачи – времени t . Также «теряемое» количество теплоты определяется теплоизоляционными свойствами стенки – как «хорошо» или как «плохо» материал, из которого выполнена стена, «проводит» тепло. Не столь очевидно, но, наверное, вы согласитесь с этим утверждением, что количество теплоты Q , передаваемое через площадку s за время t , зависит не от перепада температур ΔT и не от толщины слоя вещества ΔL , а от перепада температур на единицу длины, то есть от величины $\Delta T/\Delta L$.

Математически строго закон распространения тепловой энергии в твёрдом теле был обоснован французским физиком и математиком Жаном-Батистом Жозефом Фурье (1768–1830). Выражается закон Фурье следующей формулой:

$$Q = -k \frac{\Delta T}{\Delta L} st.$$

Знак минус в формуле закона напоминает, что энергия распространяется от более нагретого слоя к более холодному. Коэффициент k называют коэффициентом теплопроводности, и он характеризует способность вещества проводить тепло. Если изменение температуры ΔT выразить в единицах абсолютной шкалы температур – в кельвинах (К), то единица измерения коэффициента теплопроводности будет равна Дж/(К·м·с) (в этом легко убедиться, выразив коэффициент теплопроводности из формулы закона Фурье).

Проведение точного расчёта протекания тепловых процессов с использованием закона Фурье требует, как правило, применения высшей математики и является достаточно сложной математической задачей. Поэтому представляет интерес применение в этом случае приближённых, оценочных методов.

Одним из таких методов, помогающих решать задачи, является *метод размерностей*. Всякое уравнение в физике, выражает то или иное соотношение между физическими величинами. Каждая физическая величина измеряется в тех или иных единицах измерения; в свою очередь единица измерения физической величины выражается через основные единицы измерения. В Международной системе единиц физических величин (СИ) к ним относятся, в частности, метр (м), секунда (с), килограмм (кг), кельвин (К).

Например, выразим единицу измерения энергии – джоуль (Дж) через основные единицы СИ. Для этого можно воспользоваться формулой расчёта кинетической энергии E_k поступательно движущегося тела¹:

$$E_k = \frac{mv^2}{2},$$

где m – масса тела,
 v – скорость тела.

Тогда

$$\text{Дж} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2}.$$

Механическая работа A тоже измеряется в джоулях, и в случае постоянной силы F , направление которой совпадает с направлением перемещения S , работа вычисляется по формуле

$$A = FS.$$

Значит,

$$\text{Дж} = \text{Н} \cdot \text{м}$$

или

$$\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2} = \text{Н} \cdot \text{м}.$$

Таким образом

$$\text{Н} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}.$$

Сила тяжести $F_{\text{тяж}}$ вычисляется по формуле

$$F_{\text{тяж}} = mg,$$

значит единица измерения g это $\text{м}/\text{с}^2$.

Соотношение, выражающее единицу измерения данной величины через основные единицы измерения, называют *размерностью* этой физической величины. Решение задачи методом размерностей основывается на применении очевидного утверждения: **обе части каждого физического уравнения должны иметь одинаковую размерность.**

Размерность величины принято обозначать, используя квадратные скобки. Тогда размерность энергии $[E]$ или размерность количества теплоты $[Q]$ равна

¹ Смотрите, к примеру, Андриюшечкин, С. М. Физика в опытах и задачах: факультативный курс к учебнику «Физика. 7 кл» / С. М. Андриюшечкин. – М.: Баласс, 2018. – С. 29–32.

$$[E] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2},$$

$$[Q] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2}.$$

Размерность силы и размерность коэффициента g равны

$$[F] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2},$$

$$[g] = \frac{\text{м}}{\text{с}^2},$$

а размерность коэффициента теплопроводности равна

$$[k] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{К} \cdot \text{с}^3}.$$

Разберём несколько примеров применения метода размерностей.

Пример 1. Наибольшее давление, которое способны выдержать без разрушения горные породы, составляет около 250 МПа, плотность горных пород 2700 кг/м³. Оцените, какова максимально возможная высота гор на Земле.

Проанализируем рассматриваемую ситуацию. Со стороны Земли на гору действует сила тяжести, что приводит к сжатию нижних слоёв горы. Возникающее при этом давление не может превосходить наибольшего давления p , которое выдерживают горные породы без их разрушения. Давление же тем больше, чем больше сила тяжести, а сила тяжести определяется массой горы и коэффициентом g . Масса горы, в свою очередь, очевидно, зависит от высоты горы H и плотности горных пород ρ .

Таким образом, представляется физически разумным предположить, что высота горы H определяется значением наибольшего давления p , которое выдерживают горные породы, коэффициентом g и плотностью горных пород ρ .

$$H \sim p^a g^b \rho^d.$$

В записанном выражении знак \sim означает, что левая часть формулы пропорциональна правой. *Показатели же степеней a , b , d (их нам ещё предстоит определить) должны быть подобраны так, чтобы размерность левой части формулы и размерность правой части формулы были одинаковы.*

Выпишем размерности всех величин:

Высота H	м
Наибольшее давление, выдерживаемое горной породой, p	$\text{Па} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2},$
Коэффициент g	м/с ²
Плотность горных пород ρ	кг/м ³

Тогда

$$M^1 = \left(\frac{\text{КГ}}{\text{М} \cdot \text{С}^2}\right)^a \left(\frac{\text{М}}{\text{С}^2}\right)^b \left(\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}\right)^d.$$

В левой части метры входят в степени 1, значит, и в правой части сумма всех степеней метра должна быть равна 1:

$$-a + b - 3d = 1. \quad (1)$$

В левой части килограммов и секунд нет, поэтому и справа их быть не должно:

$$a + d = 0. \quad (2)$$

$$-2a - 2b = 0. \quad (3)$$

Решая систему уравнений (1) – (3), получим:

$$a = 1,$$

$$b = -1,$$

$$d = -1.$$

Таким образом

$$H \sim \frac{P}{g\rho}. \quad (4)$$

Конечно, решив таким образом задачу, мы не получим точный ответ и вместо знака равенства в выражении (4) нам приходится ставить знак пропорциональности. Но, как правило, (хотя и не всегда) числовые множители в физических формулах близки к 1. Поэтому полученное методом размерности значение физической величины не будет значительно отличаться от значения, полученного в результате точного (и во много раз более трудоёмкого) расчёта. Например, в рассматриваемом примере

$$H \approx 9500 \text{ м},$$

что неплохо согласуется с высотой высочайшей горной вершины на Земле – высота Эвереста 8848 м.

Итак, подведём итог и ещё раз обратим внимание на то, какие же шаги были сделаны нами для решения задачи методом размерностей:

– во-первых, мы обсудили, между какими физическими величинами должна существовать связь (самый сложный момент в решении задачи) и остановили свой выбор на величинах H, p, g, ρ ;

– во-вторых, мы считаем, что формула, выражающая связь между величинами, имеет степенной вид

$$H \sim p^a g^b \rho^d;$$

– в-третьих, исходя из того, что размерности левой и правой частей формулы должны быть одинаковы, определяем показатели степеней a, b, d ;

– в-четвёртых, производим расчёт значения искомой величины.

Пример 2. С гладкой горки высотой H соскальзывают без начальной скорости санки массой m и далее движутся по горизонтальной дороге. Какое количество теплоты Q выделится к моменту остановки санок?

Ясно, что эту задачу не составляет труда решить, рассмотрев переход потенциальной энергии санок, находящихся на вершине горки, в кинетическую

энергию санок у подножия горки. Далее кинетическая энергия санок переходит во внутреннюю энергию (санок и снежного покрытия дороги). Но мы применим метод размерностей.

Количество выделившейся теплоты Q определяется массой санок m , коэффициентом g и высотой горки H . Выпишем размерности всех величин:

Количество выделившейся теплоты Q	$\frac{\text{кг}\cdot\text{м}^2}{\text{с}^2}$
Масса санок m	кг
Коэффициент g	$\text{м}/\text{с}^2$
Высота H	м

Запишем искомое выражение в виде

$$Q \sim m^a g^b H^d. \quad (5)$$

Из условия одинаковой размерности левой и правой частей формулы определим показатели степеней a, b, d :

$$\begin{aligned} a &= 1, \\ b &= 1, \\ d &= 1. \end{aligned}$$

Следовательно,

$$Q \sim mgH.$$

После проведённой нами основательной подготовки можно перейти к основной задаче и рассмотреть процесс варки картофеля. Спросим себя: «Зачем мы варим картофель?» Ответ прост: для того, чтобы он лучше усваивался организмом и был мягче. Питательная ценность картофеля определяется удачным сочетанием в клубне минеральных и органических веществ, необходимых человеку. Больше всего в картофеле углеводов в виде крахмала (до 18 % от общей массы клубня). Находится крахмал в клетках в виде слоистых крахмальных зёрен размером до 100 мкм. При варке крахмальные зёрна впитывают в себя воду, содержащуюся в клетках клубня, они превращаются в пузырьки, наполненные желеобразной массой. Тем самым крахмал переходит в форму, удобную для усвоения организмом. Одновременно при высокой температуре происходят химические превращения в веществе межклеточной прослойки, что приводит к размягчению картофеля и его постепенному растворению при варке. В кислой среде этот процесс происходит медленнее. Поэтому в такие супы, как рассольник, солянка, борщ, картофель надо закладывать раньше, чем кислые приправы (солёные огурцы, томаты), иначе он так и останется непроваренным и твёрдым.

При варке картофеля энергия вовнутрь клубня поступает за счёт процесса теплопроводности, протекание которого описывается законом Фурье. Следовательно, *поступающее вовнутрь клубня за единицу времени количество теплоты определяется перепадом температуры на единицу толщины «картофельной стенки», площадью поверхности клубня и коэффициентом теплопроводности картофеля*. Поступившая энергия расходуется на разрушение

зёрен крахмала. Величина необходимой энергии, очевидно, зависит от объёма картофеля (определяется размерами клубня), а также от плотности клубня и сорта картофеля, условий его выращивания, типа почвы, применяемых удобрений, зрелости клубней, сроков и условий хранения, что влияет как на общее содержание крахмала в картофеле, так и на размер зёрен крахмала. Обозначим этот фактор «качества» картофеля как удельную теплоту варки картофеля q (единица измерения – Дж/м³).

Выпишем размерности всех величин, которые влияют на время варки картофеля.

Время варки t	с
Перепад температур ΔT	К
Размер клубня R	м
Коэффициент теплопроводности картофеля k	$\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{К}\cdot\text{с}^3}$
Удельная теплота варки картофеля q	$\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} = \frac{\text{кг}}{\text{м}\cdot\text{с}^2}$

Пусть

$$t \sim \Delta T^a R^b k^d q^n,$$

где a, b, d, n – показатели степеней, которые мы определим, используя условие равенства размерности левой и правой частей искомой зависимости.

$$\text{с}^1 = (\text{К})^a (\text{м})^b \left(\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{К}\cdot\text{с}^3}\right)^d \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}\cdot\text{с}^2}\right)^n.$$

Тогда

$$\begin{aligned} -3d - 2n &= 1, \\ a - d &= 0, \\ b + d - n &= 0, \\ d + n &= 0. \end{aligned}$$

Отсюда

$$\begin{aligned} a &= -1, \\ b &= 2, \\ d &= -1, \\ n &= 1. \end{aligned}$$

Таким образом,

$$t \sim \frac{q}{\Delta T \cdot k} \cdot R^2,$$

и значит время варки картофеля прямо пропорционально квадрату размера клубней.

Представляет интерес проверить установленную зависимость экспериментально. Для этого измерим время варки до готовности картофеля различного размера и затем построим график зависимости времени варки картофеля от квадрата его размера (рис. 3).

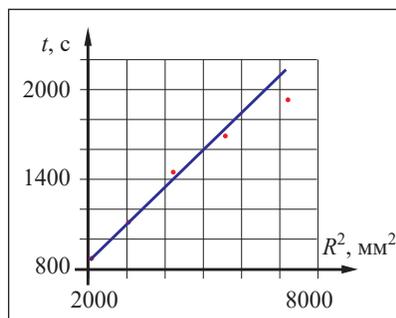


Рис. 3

При выполнении эксперимента были использованы картофелины размером 45, 55, 65, 45, 85 мм.

Ввиду сложности физико-химических процессов, протекающих при варке картофеля, и происходящих в нём при этом химических изменений, достаточно сложно предложить простой химический способ оценки готовности картофеля при варке. По этой причине для определения готовности картофеля использовался физический метод, основанный на оценке прочности картофеля. Предварительно было установлено, что ломтик сваренного картофеля полностью прокалывается вилкой, если к ней приложить силу 5 Н. В кастрюлю с кипящей водой закладывалось несколько картофелин одного размера. Через некоторое время одна из них вынималась из кипятка, из неё вырезался «центральный» ломтик и проверялась готовность картофеля. Если ломтик не прокалывался «пятиньютоновой» вилкой, то процесс варки картофеля продолжался, и через некоторое время проверялась очередная картофелина.

Интересно, что результат, полученный для картофелины самого большого размера (из использовавшихся в эксперименте), явно «выпадает» из графика и противоречит теоретически установленной зависимости

$$t \sim R^2.$$

Это свидетельствует о том, что выбранная нами модель явления в этом случае уже «не работает», что, вероятно, может быть объяснено изменением коэффициента теплопроводности картофеля в процессе его длительной (более получаса) варки и частичным «разрушением» внешних слоёв картофелины.



Используя метод размерностей, выясните, как зависит дальность полета футбольного мяча, по которому ударяет вратарь, от его начальной скорости.



Знаменитую теорему Пифагора можно доказать различными способами, в том числе и методом размерностей. Найдите в Интернете, как производится это доказательство, и разберитесь в нём.

Литература

1. Брук, Ю., Стасенко, А. Метод размерностей помогает решать задачи / Ю. Брук, А. Стасенко // Квант. – 1981. – № 6. – С. 11–29.
3. Компанеец, А. С. Размерность физических величин и подобие явлений / А. С. Компанеец // Квант. – 1975. – № 1 – С. 10–17.
4. Вожаева, Е. Оценка времени тепловых процессов, или как зависит время варки картофеля от его размера / Е. Вожаева // Физика в казахстанской школе. – 2012. – № 6(42). – С. 8–13.
5. Скурихин, И. М. Всё о пище с точки зрения химика / И. М. Скурихин, А. П. Нечаев. – М. : Высш. шк., 1991. – 287 с.

ОШИБКА ДЖОНАТАНА СВИФТА

Джонатан Свифт (1667–1745) – англо-ирландский писатель-сатирик, публицист, философ, поэт и общественный деятель в первую очередь известен нам как автор такого произведения как «Путешествия Гулливера». В первой части книги описываются приключения Гулливера попавшего после кораблекрушения в фантастическую страну Лилипутию: «Опустив глаза как можно ниже, я различил перед собой человеческое существо, ростом не более шести дюймов, с луком и стрелой в руках и колчаном за спиной». Вспомним, что 1 дюйм равен 2,54 см, значит, рост свифтовских лилипутов был около 15 см. Нет ли физических возражений против существования разумных существ такого размера?

Оказывается, возражения есть, и они возникают при анализе процессов теплообмена. Человек – существо теплокровное, температура его тела практически постоянна и не меняется при изменениях (даже существенных) температуры окружающей среды. Постоянство температуры теплокровных существ (а это млекопитающие и птицы) обеспечивается сбалансированным действием механизмов выделения тепловой энергии в их организме и отвода выделенной энергии в окружающую среду.

Различные превращения энергии в организме, связанные с пищеварением, дыханием, мышечной деятельностью, приводят к выделению энергии. Обозначим энергию, выделяющуюся в единицу времени (то есть мощность) как мощность энерговыделения $P_{\text{выдел}}$. Чем определяется эта мощность? Во-первых, она определяется, очевидно, объёмом тела – чем больше объём, тем больше «центров энерговыделения». Объём же тела определяется размером L тела теплокровного существа. Во-вторых, мощность $P_{\text{выдел}}$ определяется интенсивностью протекающего в организме процесса обмена веществ. Об интенсивности обмена веществ можно судить по величине ежесекундно вдыхаемого воздуха в расчёте на единицу объёма тела – чем больше эта величина, тем интенсивнее происходит обмен веществ. Договоримся характеризовать интенсивность процессов обмена коэффициентом тепловыделения q – чем интенсивнее процесс обмена веществ в организме, тем больше q . Таким образом,

$$P_{\text{выдел}} \sim qL^3. \quad (1)$$

(Думается, вам понятно, почему в формуле фигурирует куб размера L – ведь объём измеряется в кубических метрах.)

Теперь обсудим, как осуществляется процесс отвода выделенной энергии в окружающую среду, например, человеком, и какими факторами определяется мощность энергоотвода $P_{\text{отвод}}$. Отвод выделенной энергии происходит путём

процесса излучения тепловой энергии кожей человека, путём теплопроводности – передачи энергии от кожи человека тем предметам (одежде), с которыми она непосредственно контактирует, с последующим излучением тепловой энергии в окружающую среду. Главным механизмом, регулирующим температуру тела, является его «центральное отопление» – система кровообращения. Кровь доставляет тепло от внутренних органов к капиллярам под кожей, а она уже отдаёт избыток тепла окружающему воздуху. При необходимости может быть также дополнительно задействован процесс потовыделения – испарения воды с поверхности кожи и лёгких. Например, для человека в покое при температуре тела $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ и температуре среды $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ потери тепла распределяются следующим образом: приблизительно 75% теряется за счёт излучения в тепловом диапазоне, остальное – за счёт потовыделения и выдоха нагретого в лёгких воздуха. С повышением температуры среды потери тепла излучением уменьшаются: при $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ они составляют около 30% . Перегрев организма при этом устраняется обильным потоотделением – на испарение каждого грамма влаги с поверхности кожи затрачивается 2500 джоулей энергии. Чем же определяется мощность теплоотвода? Во-первых, она определяется, очевидно, площадью поверхности тела. Площадь же кожного покрова зависит от размером L теплокровного существа. Во-вторых, мощность $P_{\text{отвод}}$ определяется теплоотводящими свойствами покрова тела. Договоримся характеризовать теплоотводящие свойства коэффициентом теплоотвода r – чем лучше теплоизоляция, чем гуще шерсть или мех у теплокровного существа, тем меньше коэффициент r , тем меньше теплоотдача, и наоборот. Таким образом,

$$P_{\text{отвод}} \sim rL^2. \quad (2)$$

Для того чтобы не было перегрева или переохлаждения организма, необходимо соблюдение теплового баланса:

$$P_{\text{отвод}} = P_{\text{выдел}}$$

или с учётом соотношений (1) и (2):

$$\begin{aligned} rL^2 &\sim qL^3, \\ r &\sim qL, \\ \frac{r}{q} &\sim L. \end{aligned}$$

Какие выводы можно сделать из этого соотношения? Если размеры теплокровного существа малы, то оно должно иметь густой мех или густую шерсть (малый коэффициент теплоотвода r) и повышенный обмен веществ (большой коэффициент тепловыделения q) в сравнении с теплокровным существом большего размера.

Сравним, к примеру, лошадь и обычную полевую мышшь (живут в одном климатическом поясе). Лошадь за минуту вдыхает объём воздуха, составляющий менее сотой доли её объёма, тогда как объём воздуха, вдыхаемого за минуту мышью, превышает объём её тела. Это указывает на то, что в теле мыши обмен веществ происходит намного интенсивнее, чем в теле лошади. Чем меньше животное, тем интенсивнее протекает у него обмен веществ, тем больше частота дыхания и сердцебиения.

Итак, уменьшение размеров тела теплокровных животных компенсируется усилением обмена веществ и улучшением теплоизоляции. Ясно, что такого рода компенсация не беспредельна и теплокровных животных крайне малого размера быть не может – в этом случае тепловыделение не в состоянии компенсировать теплоотдачу, что привело бы к уменьшению температуры тела и гибели теплокровного существа. Слишком маленькие теплокровные существа не успевают бы запастись и перерабатывать пищу (рис. 4).



Кубинская колибри-пчёлка – самая маленькая на свете птица. Делает 80–90 махов крыльшками в секунду, когда зависает над тропическими цветами и пьёт нектар, а её сердце совершает от 300 до 500 ударов в минуту. В течение одного дня колибри-пчёлка успевает посетить около 1500 цветков

Карликовая белозубка Сави относится к самым маленьким животным Земли. Она весит от полутора до двух с половиной граммов, длина тела вместе с хвостом 5–8 см. Сердце этой крохи делает около 1500 ударов в минуту. Съедает за день примерно в два-четыре раза больше своего веса. Обитает в Северной Африке, Южной Европе, Закавказье, странах Азии. Её можно встретить в Подмоскowie, Приморском крае, в Прибайкалье и на Урале

Рис. 4

Теперь можно вернуться к лилипутам Свифта и констатировать, что у теплокровных существ такого маленького роста, непрерывно занятых поиском пропитания, для которых даже кратковременный перерыв в добывании пищи ведёт к гибели, не мог развиваться интеллект. Такого рода существа не располагают временем, которое можно было бы отвести на создание орудий труда и прочих атрибутов цивилизации.



Почему кутают маленьких детей, перед тем как выйти с ними на улицу в морозный день?

Литература

1. Тарасов, Л.В. Физика в природе: книга для учащихся / Л.В. Тарасов. – М. : Просвещение, 1988. – С. 316–320.
2. Сигаловский, Д. Почему человек не стал великаном / Д. Сигаловский // Квант. – 1990. – № 7. – С. 26–29.

ВЕЛИКИЙ ЗАКОН ПРИРОДЫ И ЕГО ТВОРЦЫ

Одним из фундаментальных законов природы является закон сохранения энергии. Физический энциклопедический словарь определяет энергию как общую количественную меру движения и взаимодействия всех видов материи. Вдумаемся в это определение. Если энергия – *общая* количественная мера, то, следовательно, это понятие используется во всех разделах науки физики при рассмотрении самых разных явлений природы. Если энергия – количественная *мера*, значит энергия – это физическая величина, и она имеет определённую единицу измерения; в международной системе единиц физических величин (СИ) эта единица измерений получила название джоуль. Если энергия – это *мера движения и взаимодействия* всех видов материи, то по этой причине в механике мы различаем кинетическую энергию движущегося тела и потенциальную энергию взаимодействующих тел, при рассмотрении тепловых явлений – внутреннюю энергию тела. В дальнейшем вы познакомитесь и с другими видами энергии. В природе, как вы уже знаете, постоянно происходят взаимные превращения энергии. Например, у падающей вниз капли дождя уменьшается её потенциальная энергия, но увеличивается кинетическая энергия, а после падения капли дождя на землю происходит превращение механической энергии капли во внутреннюю энергию воды и грунта.

В наше время сложно представить, что сравнительно недавно (по историческим меркам) понятие энергии ещё не занимало в физике своего уникального места. Британский физик Уильям Томсон, он же – лорд Кельвин (титул был присвоен ему за научные заслуги, в том числе и за исследования, которые привели к установлению абсолютной шкалы температур), ещё в 1881 году говорил: «Само слово *энергия*, хотя и было впервые употреблено в современном смысле ... приблизительно в начале этого века, только сейчас входит в употребление практически после того, как теория, которая дала определение энергии, ... развилась от просто формулы математической динамики до принципа, пронизывающего всю природу».

Какой же принцип имел в виду Уильям Томсон? Это утверждение, которое накладывает ограничения на возможность осуществления тех или иных физических процессов: *при всех превращениях энергии, во всех известных современной науке случаях выполняется закон сохранения энергии*.

Вот как об этом законе природы писал лауреат Нобелевской премии по физике американский учёный Ричард Филлипс Фейнман (1918–1988): «Существует факт, или, если угодно, *закон*, управляющий всеми явлениями природы, всем, что было известно до сих пор. Исключений из этого закона не существует;

насколько мы знаем, он абсолютно точен. Название его – *сохранение энергии*. Он утверждает, что существует определённая величина, называемая энергией, которая не меняется ни при каких превращениях, происходящих в природе. ... существует некоторая численная величина, которая не изменяется ни при каких обстоятельствах. ... можно подсчитать какое-то число и затем спокойно следить, как природа будет выкидывать любые свои трюки, а потом опять подсчитать это число – и оно останется прежним».

Идея закона сохранения энергии высказывалась многими учёными, но историки науки считают, что наибольшие заслуги в его открытии принадлежат немецкому медику Юлиусу Роберту Майеру (1814–1878), английскому физику Джеймсу Прескотту Джоулю (1818–1889), немецкому учёному Герману Людвигу Фердинанду Гельмгольцу (1821–1894).

Юлиус Роберт Майер родился в семье аптекаря и получил медицинское образование. В качестве корабельного врача он отправился на торговом судне на остров Ява. Там, проводя медицинские процедуры и пуская кровь больному, Майер заметил, что цвет крови был более ярким, алым, чем он привык видеть в Европе. Это рядовое наблюдение стало исходной точкой целой цепи умозаключений. В тёплом климате, при высокой температуре, где организм менее охлаждается и ему не требуется большого количества теплоты, процессы выделения теплоты происходят медленнее. Меньшее расходование кислорода приводит, как следствие, к более яркому цвету венозной крови. Значит, делает вывод Майер, расходование кислорода и выделяющееся при этом количество теплоты взаимосвязаны, то есть теплота не появляется ниоткуда, а выделяется при окислении вещества.



Юлиус Роберт Майер

Вернувшись из путешествия, Майер в 1841–1845 годах обобщает свои размышления в нескольких статьях и научных брошюрах. Среди его выводов выделим следующие:

1. «Движение, теплота ... представляют собой явления, которые могут быть сведены к одной силе, которые измеряются друг другом и переходят друг в друга по определённым законам». «Если сила падения и движение равны теплу, то естественно, и тепло должно быть равно движению и силе падения. Как возникает тепло в качестве действия при уменьшении объёма и прекращающемся движении, так же исчезает тепло в качестве причины при появлении его действий – движения, увеличения объёма, поднятия груза». «Локомотив с его поездом может быть сравнен с перегонным аппаратом; тепло, разведённое под котлом, превращается в движение, а таковое снова осаждается на осях колёс в качестве тепла».

Для правильного понимания текста современному читателю следует иметь в виду, что Майер использует термин «сила» вместо термина «энергия», который в то время ещё не вошёл окончательно в широкий научный оборот. И там, где мы теперь произносим слова «потенциальная энергия груза, поднятого на некоторую высоту», он использует слова «сила падения»; там, где мы произносим слова «кинетическая энергия», он использует слова «сила движения». Таким образом, Майер утверждает, что механическая (потенциальная и кине-

тическая) энергия тела при определённых условиях превращается во внутреннюю энергию и наоборот.

При этом им впервые была решена с достаточной точностью задача, которая в истории физики получила название «механический эквивалент теплоты». Условие этой задачи можно сформулировать следующим образом: «С какой высоты следует опустить груз массой 1 кг, чтобы уменьшение потенциальной энергии груза была равно тому количеству теплоты, что требуется для нагревания 1 кг воды на 1 °С?».

Для решения такой задачи Майер вначале рассчитал, какое количество теплоты необходимо для нагревания газа на 1 °С в баллоне постоянного объёма. Затем он определил, какое количество теплоты потребуется для нагревания этого же газа на 1 °С в баллоне, который закрыт подвижным поршнем массой 1 кг, и при повышении температуры газа поршень может подняться вверх на некоторую высоту. Ясно, что во втором случае потребуется большее количество теплоты, так как помимо увеличения внутренней энергии газа ещё совершается механическая работа по увеличению потенциальной энергии поршня.

Название задачи – «механический эквивалент теплоты» отражает сложившуюся в физике того времени ситуацию, когда для механической энергии, механической работы и количества теплоты применялись различные единицы измерения. Так, например, количество теплоты измерялось в калориях. Одна калория – количество теплоты, которое необходимо для нагревания 1 г воды на 1 °С. Если выполняется закон сохранения энергии, то за счёт механической энергии мы получаем точно такое же количество теплоты. Это означает, что соотношение (эквивалент) между единицей измерения механической энергии и единицей измерения теплоты должен быть один и тот же, *вне зависимости от того, каким способом* механическая энергия «переведена» в тепло.

2. «Если мы сформулируем результат произведённых до сих пор исследований в одном общем положении, то мы снова получим установленную вначале аксиому. Она гласит: *при всех химических и физических процессах данная сила остаётся постоянной величиной*». Фактически мы имеем здесь чёткую и определённую формулировку закона сохранения энергии.

3. «Солнце по человеческим понятиям является неисчерпаемым источником физической силы. Поток этой силы, проливающийся на нашу землю, есть та непрестанно заводящая пружина, которая поддерживает в состоянии движения механизм всех происходящих на земле деятельностей. ... Природа поставила перед собой задачу поймать налету льющийся на землю свет и накопить самую подвижную силу, приведя её в неподвижное состояние. Для достижения этой силы она покрыла земную кору организмами, которые, живя, поглощают солнечный свет. ... Этими организмами являются растения». Майер первым из учёных с полной определённой и ясностью указал на роль Солнца как источника энергии и роль растений как «энергетической консервы», накапливающих энергию за счёт происходящих в растении под действием солнечного света химических реакций.

Дальнейшая научная карьера и личная жизнь Юлиуса Роберта Майера сложилась трагически. Научные круги не проявили внимания к его гениальным идеям, его труды не печатались в физических журналах, и он вынужден был издавать их за свой счёт. Невежественное окружение организовало травлю в газетах, обвиняя учёного в мании величия; семья отвернулась от него, считая,

что он должен как рядовой врач заниматься медицинской практикой, а не научными изысканиями. Дело заканчивается тем, что родственники помещают Майера на годичное «лечение» в психиатрическую клинику. После этого учёный был вынужден отойти от активной научной деятельности. Лишь в последние годы жизни Юлиуса Роберта Майера его работы по установлению закона сохранения энергии стали широко известны учёным-физикам и были по достоинству оценены, был восстановлен его приоритет (научное первенство) в вопросе открытия закона сохранения энергии.

Джеймс Прэскотт Джоуль – выдающийся английский физик-экспериментатор. Он родился в семье манчестерских пивоваров, и ему приходилось совмещать занятие наукой с управлением семейным предприятием, вплоть до 36-летнего возраста, когда пивоваренный завод удалось продать.

Джоуль в течение ряда лет выполнил целый ряд экспериментальных исследований, которые стали прочным фундаментом закона сохранения энергии. Перечислим название его основных работ:

– О тепле, выделяемом при электролизе воды (1843),

– О тепловом эффекте магнитоэлектричества и о механическом эквиваленте тепла (1843),

– О существовании эквивалентного соотношения между теплом и обычными формами механической энергии (1845),

– О механическом эквиваленте тепла, определённом от трения, возникающего при перемешивании жидкостей (1847),

– Эксперименты об эквивалентности тепловой и механической энергии. Определение количественного эквивалента тепла, выделяемого при трении ртути (1847),

– О материи, живой силе и теплоте» (1848).

Результаты экспериментальных исследований позволили Джоулю независимо от Майера, содержание работ которого ему первоначально не было известно, прийти к следующему выводу: «Могучие силы природы ... неразрушимы и ... во всех случаях, когда затрачивается механическая сила, получается точное эквивалентное количество теплоты».

Проведёнными экспериментами Джоуль в том числе доказал, что энергия сохраняется и при сложных превращениях. Так, например, в серии работ 1843 года «О тепловом эффекте магнитоэлектричества и о механическом эквиваленте тепла» с помощью падающих грузов он приводил во вращение катушку между полюсами сильного магнита. В результате вращения в катушке возникал электрический ток. Ток нагревал проводник, выделялось определённое количество теплоты, которая шла на нагревание воды, окружающей катушку. Зная массу грузов и высоту падения, можно было определить затраченную потенциальную энергию, а по величине массы воды и повышению её температуры – полученное количество теплоты.

В честь Джеймса Прэскотта Джоуля в 1889 году единица измерения энергии, механической работы, количества теплоты получила его имя. Но старые привычки изживаются долго и трудно. Так, например, до сегодняшнего дня атмос-



Джеймс Прэскотт Джоуль

ферное давление указывают не в паскалях, как того требует Международная система единиц физических величин, а в миллиметрах ртутного столба. В силу сложившейся традиции до сих пор тепловую и химическую энергию, особенно в химической и пищевой промышленности, часто измеряют в старых энергетических единицах – калориях. Только сравнительно недавно при маркировке продуктов питания их энергетическую ценность стали указывать и в калориях, и в джоулях. И вряд ли в ближайшем будущем вместо фразы «Этот торт очень калорийный» мы услышим «Этот торт очень джоулейный».

Наряду с Майером, рассматривавшим цепь энергетических превращений поистине в космических масштабах – от Солнца до живого организма, и Джоуля, доказывавшего закон блестящими и всесторонними опытами, потребовалась ещё работа по математическому анализу закона. Первые шаги в этом направлении и были сделаны одним из знаменитых учёных второй



Герман Людвиг Фердинанд
Гельмгольц

половины XIX века **Германом Людвигом Фердинандом Гельмгольцем**. Гельмгольц происходил из педагогической семьи (его отец был учителем гимназии). Высшее образование он получил в медико-хирургическом институте, который окончил в 1842 году. Выпускники этого института обязаны были продолжительное время служить в армии, но учитывая успехи Гельмгольца в науке, ему было разрешено досрочно покинуть воинскую службу. В сферу научных интересов Гельмгольца помимо физики входили медицина, физиология, психология, где им также были получены первоклассные результаты.

Летом 1847 года учёный выступил на заседании Берлинского физического общества с докладом «О сохранении силы»¹. В этой работе он математически обосновывает закон сохранения энергии для механических процессов: «Всегда сумма существующих в системе напряжённых сил и живых сил постоянна» (то есть, выражаясь современным физическим языком, сумма потенциальной энергии и кинетической энергии есть величина постоянная). С позиции закона сохранения энергии анализируется целый ряд явлений электричества и магнетизма. Гельмгольц указывает, какие следствия вытекают из закона сохранения энергии, ярко и с максимальной полнотой показывает общенаучное значение закона. Учёный особо подчёркивает, что «приведённые данные доказывают, что высказанный закон не противоречит ни одному из известных в естествознании фактов и поразительным образом подтверждается большим числом их».

Дальнейшее развитие науки подтвердило взгляды Майера, Джоуля, Гельмгольца, других учёных, внёсших вклад в становление закона сохранения энергии. Наука получила в своё распоряжение великий закон – закон сохранения энергии.

¹ На язык современной физики название его доклад следует перевести как «О сохранении энергии».



Гельмгольц писал: Наш принцип требует, чтобы количество работы, которое получается, когда тела системы переходят из начального положения во второе, и количество работы, которое затрачивается, когда они переходят из второго положения в первое, всегда было одно и то же, каков бы ни был способ перехода... Так, если бы величина работы была на каком-нибудь одном пути больше, чем на другом, то мы могли бы пользоваться первым путем для получения работы, а вторым – для обратного перемещения тел, при котором мы могли бы затратить только часть полученной работы, и мы...могли бы построить вечный двигатель (perpetuum mobile), который не только поддерживал бы свое собственное движение, но и был бы в состоянии давать силу для совершения внешней работы». На какой принцип ссылается Гельмгольц? (Принцип – основное, исходное положение какой-либо теории, учения; руководящая идея, основное правило деятельности.) Какой принцип излагается здесь Гельмгольцем?

Литература

1. Блудов, М.И. Беседы по физике : учеб. пособие для учащихся. [В 3 ч.] / М.И. Блудов; под ред. Л.В. Тарасова. – 3-е изд., перераб. – М. : Просвещение, 1984. – Ч. 1. – М. : Просвещение, 1984. – С. 174–180.
2. Майер, Ю.Р. Закон сохранения и превращения энергии : четыре исследования, 1841–1851 / Роберт Майер; под ред. А.А. Максимова. – М.; Л. : Гос. технико-теоретическое изд-во, 1933. – 309 с.
3. Тимирязев, К.А. Растение и солнечная энергия / К.А. Тимирязев. – М. : Лит.-изд. отд. Нар. ком. по просвещению, 1918. – 92 с.
4. Кудрявцев, П.С. Курс истории физики: [учебное пособие для педагогических ин-тов по физическим специальностям] / П.С. Кудрявцев. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Просвещение, 1982. – С. 199–213.
5. Дягилев, Ф.М. Из истории физики и жизни её творцов : Кн. для учащихся / Ф.М. Дягилев. – М. : Просвещение, 1986. – С. 87–96.
6. Алексеева, М.Н. Физика – юным : Теплота. Электричество. Кн. для внеклассного чтения. 7 класс / сост. М.Н. Алексеева. – М. : Просвещение, 1980. – С. 20–22.
7. Белопухов, Л. Джеймс Джоуль (к 200-летию со дня рождения) / Л. Белопухов // Квант. – 2018. – № 7. – С. 10–12.
8. Розенбергер, Ф. История физики / Ф. Розенбергер; Пер. с нем. под ред. И. Сеченова, вновь проверенный и перераб. В.С. Гохманом. – М.; Л. : Объединенное науч.-техн. изд-во, 1934–1936. – С. 14–61.

ЧТО ИЗМЕРЯЕТ ТЕРМОМЕТР?

На первый взгляд немного странно звучит вопрос: «Что измеряет термометр?» Ясно, что прибор термометр измеряет температуру. Но в таком случае, что же такое температура?

Температура – одна из немногих физических величин, о которых человек узнаёт ещё ребёнком. Горячая каша, тёплый чай, холодная вода – слова горячее, тёплое, холодное и связанные с этими словами ощущения, известны нам с самого раннего детства.

При этом привычность, обыденность понятия температуры заслоняет от нас одну из важнейших особенностей температуры. Вот как об этом написано в одной из статей научно-популярного физико-математического журнала «Квант»: «Если соединить десять стержней длиной в 1 м каждый, приставив их один к другому, то получится стержень длиной 10 м. Десять масс в 1 кг каждая в сумме дадут массу в 10 кг и так далее. Но если соединить десять тел, каждое из которых имеет температуру 20 градусов, то мы получим тело, температура которого 20 градусов, а не 200. Температуры тел при их соединении не складываются, как складываются их длины, объёмы, массы и так далее. Длина в 100 м – это сумма длин в 1 м, но температура в 100 градусов – это не сумма ста температур в 1 градус каждая, подобно тому, как человек в возрасте 15 лет – это не то же самое, что 15 годовалых детей. ... С этой особенностью связан и способ измерения температуры. Чтобы измерить длину тела, нужно сравнить его с другим телом, длина которого принята за единицу. Определить массу тела – значит сравнить её с другой массой, принятой за единицу. ... Но температуру так измерить нельзя. Но это значит, что сама величина температуры не может быть измерена, раз её нельзя сравнить с эталоном температуры».

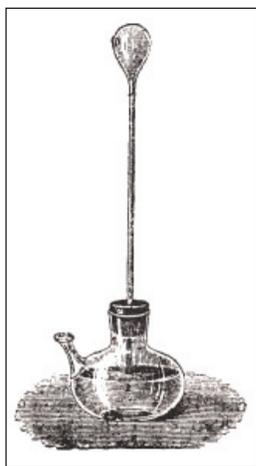


Рис. 5. Термоскоп
Галилея

Принцип измерения температуры, установленный ещё Галилеем, таков: температура непосредственно не измеряется, а **измеряется величина, зависящая от температуры.**

У Галилея его прибор для измерения температуры состоял из стеклянного шара, наполненного воздухом с очень узким и длинным горлышком, наполненным водой; само горлышко также было опущено в сосуд с водой (рис. 5).

Если к шару прикоснуться, например, рукой, то при нагревании воздух в шаре расширится, и уровень воды понижается. Понижение уровня воды при нагревании и повышение уровня воды при охлаждении позволяло судить о температуре воздуха в шаре. Но высота уровня воды зависит при такой конструкции прибора не только от температуры, но и от величины атмосферного давления. Такой прибор ещё не являлся термометром («тепло» + «измеряю»), а был термоскопом («тепло» + «наблюдаю»).

Запаянные термометры, изолированные от атмосферы, впервые стали изготавливать в середине XVII века во Флоренции. Вначале это были водные термометры, а потом их стали заполнять винным спиртом, что позволило измерять и отрицательные температуры. Во всех этих термометрах использовалось свойство тел расширяться при нагревании (и сжиматься при охлаждении).

Превращение термометра в точный лабораторный прибор является заслугой Даниэля Габриэля Фаренгейта (1686–1736). Во-первых, он стал заполнять термометры ртутью. Хотя при нагревании степень расширения ртути в шесть раз меньше степени расширения спирта, но её легко получать и сохранять в чистом виде, в отличие от спирта, который поглощает воду и из-за этого меняется степень его температурного расширения. При использовании ртути различные экземпляры термометров заполнялись веществом с неизменной степенью теплового расширения. Во-вторых, и это самое важное, Фаренгейт разработал температурную шкалу, в основу которой были положены температуры «опорных» постоянных точек, легко воспроизводимых в любой лаборатории. В качестве таких точек Фаренгейт выбрал: температуры смеси льда, поваренной соли и нашатыря ($0\text{ }^{\circ}\text{F}$), температуру смеси льда и воды ($32\text{ }^{\circ}\text{F}$), температуру человеческого тела ($98\text{ }^{\circ}\text{F}$), температуру кипения воды ($212\text{ }^{\circ}\text{F}$). Что давало применение «опорных» точек? Разные экземпляры термометров Фаренгейта можно было сверять друг с другом, сравнивая их показания в «опорных» точках.



Какие опорные точки использованы в более привычной для нас температурной шкале Цельсия?

Спрос на стандартные термометры Фаренгейта был так велик, что в 1717 году в Амстердаме им была основана специальная фирма по производству ртутных термометров, а также барометров, ареометров, оптических приборов. В 1721 году фаренгейтовские термометры были заказаны даже Петром I.

В наше время ртутные термометры практически выведены из употребления (это связано с высокой токсичностью ртути) и применяются термометры других типов. Например, используются механические термометры (рис. 6).

В основе действия таких приборов лежит свойство металлических тел расширяться при нагревании. Чаще всего рабочим элементом такого термометра является пластина, изготовленная из двух металлов (биметаллическая пластина), скрученная в спираль (рис. 7).



Рис. 6. Механический термометр

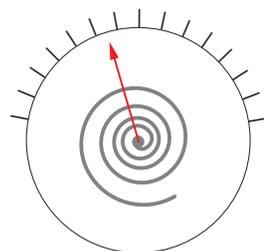


Рис. 7

Если металл верхней части пластины при нагревании расширяется больше, чем металл нижней части пластины, то пластина изгибается в направлении, показанном на рисунке 8, *а*. При понижении температуры металл верхней части также сильнее сжимается и биметаллическая пластина изгибается вверх (рис 8, *б*).



Рис. 8

Широко применяются электронные термометры (рис. 9). Принцип действия таких термометров основан на зависимости электрического сопротивления рабочего элемента прибора от температуры.



Рис. 9

Как мы видим, несмотря на различие в устройстве термометров, принцип измерения температуры неизменен со времён Галилея – измеряется изменение физической величины (объёма жидкости, угла изгиба биметаллической пластины, электрического сопротивления элемента электрической цепи) в зависимости от температуры.

Сразу же, как только учёные научились изготавливать термометры, стало возможным измерение и сравнение температуры различных тел. Это позволило открыть один из важнейших и очень глубоких по своему внутреннему содержанию физических законов – **закон теплового равновесия**. Этот закон состоит в том, что в любой изолированной от внешнего воздействия системе с течением времени температура всех тел в системе выравнивается за счёт передачи тепла от более горячих тел к более холодным. Закон теплового равновесия кажется настолько простым и очевидным, что в истории науки не сохранилось ни имени того учёного, кто первым его сформулировал, ни даты открытия закона. Но если вдуматься в его содержание, то становится ясным, что должна же быть какая-то фундаментальная причина (или причины), по которой тепловые процессы – это «улица с односторонним движением»: энергия передаётся только от горячего к холодному до тех пор, пока не произойдёт выравнивание температур, и обратного движения тепла нет.

После того как мы познакомились с различными типами термометров и законом теплового равновесия, мы, как кажется, не продвинулись в поиске ответа на основной вопрос: «Что же в действительности представляет собой тем-

пература?». Попробуем в этой связи рассмотреть принцип действия газового термометра (рис. 10).

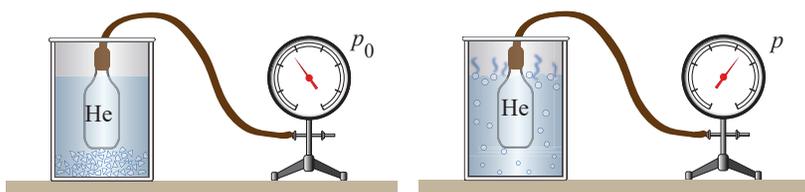


Рис. 10

В газовом термометре баллон постоянного объёма заполнен разреженным газом и соединён с манометром, с помощью которого измеряют давление газа. Поместим сосуд первоначально в смесь льда и воды и измерим давление газа p_0 в баллоне. Затем поместим баллон в кипящую воду и вновь измерим давление газа в баллоне p . (При проведении измерений не забудем выждать некоторое время, чтобы успело наступить состояние теплового равновесия.) Опыт показывает, что давление p больше давления p_0 в 1,3661 раза:

$$\frac{p}{p_0} = 1,3661. \quad (1)$$

Будем определять температуру по величине давления газа в баллоне, считая, что чем больше давление газа, тем выше его температура. Обозначим температуру газа, соответствующей таящему льду, как T_0 , а температуру кипящей воды как T .

Тогда

$$T_0 \sim p_0,$$

$$T \sim p$$

и с учётом соотношения (1)

$$\frac{T}{T_0} = 1,3661,$$

$$T = 1,3661 T_0. \quad (2)$$

«Опорные» точки T_0 и T в температурной шкале газового термометра выбраны. Следуя традиции, разделим шкалу газового термометра от T_0 до T на 100 частей:

$$T - T_0 = 100$$

и, используя соотношение (2), определим значение температуры T_0 таяния льда по шкале газового термометра:

$$1,3661 T_0 - T_0 = 100,$$

$$T_0 = \frac{100}{0,3361} \approx 273.$$

Как мы видим, шкала газового термометра отличается от шкалы Цельсия: температура таяния льда в этой шкале не 0, а 273 единицы, температура кипения воды – 373 единицы. Такая температурная шкала получила название аб-

солнотной шкалы температур или шкалы Кельвина. Абсолютная температура измеряется в кельвинах (сокращённо обозначается К):

$$0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273\text{ К},$$

$$100\text{ }^{\circ}\text{C} = 373\text{ К}.$$

Начало шкалы Кельвина называют абсолютным нулём,

$$0\text{ К} = -273\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Абсолютный нуль – эта та наименьшая температура, при которой давление газа стало бы равным нулю (если бы на опыте удалось достигнуть такой температуры, и если бы газ ещё остался бы газом при такой температуре).

Итак, введя абсолютную шкалу температур, нам удалось связать температуру с давлением газа. Но чем определяется давление газа в баллоне? Мы знаем, что газ, запёртый в баллоне, – это огромное число непрерывно беспорядочно движущихся молекул вещества (кстати, это движение физики называют тепловым движением). При своём движении молекулы непрерывно «бомбардируют» изнутри стенки баллона, и благодаря ударам молекул создаётся давление газа. Расчёты учёных показали, что давление, создаваемое некоторым количеством газа в баллоне определённого объёма, зависит от средней кинетической энергии молекулы газа¹. *Чем больше энергия непрерывного беспорядочного движения, приходящаяся в среднем на одну молекулу газа, тем выше давление, создаваемое газом.*

Кажется, «забрёл свет в конце туннеля»! Если проследить всю цепочку фактов: *средняя энергия теплового движения молекулы газа – давление газа – абсолютная температура*, то становится ясно, что же измеряют термометры. Термометры, изобретённые за сотни лет до того, как люди поняли, что такое температура и что именно термометры измеряют, оказывается, измеряют среднюю энергию теплового движения молекул вещества.



В некоторых странах шкала Фаренгейта используется до настоящего времени. Как перевести градусы Фаренгейта в градусы Цельсия? в кельвины?



Какой из фраз вы бы отдали предпочтение: «Чем выше температура, тем быстрее движутся молекулы газа» или «Чем быстрее движутся молекулы газа, тем выше температура газа»?

Литература

1. Кикоин, А. Температура, теплота, термометр / А. Кикоин // Квант. – 1990. – № 8. – С. 10–19.

2. Явелов, Б.Е. Д. Фаренгейт и его термометры / Б.Е. Явелов // Квант. – 1986. – № 10. – С. 26–27.

3. Буздин, А.И. Немного о термометре и о термоскопе Фердинанда / А.И. Буздин // Квант. – 1986. – № 5. – С. 26–27.

4. Смородинский, Я.А. Температура / Я.А. Смородинский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Наука, 1987. – 188 с.

¹ Впервые вывод о зависимости давления, производимого газом, от средней кинетической энергии молекулы газа получил «гражданин в науке» в середине XIX века.

АДИАБАТНЫЙ ПРОЦЕСС

Термин «адиабата» происходит от греческого слова *adia'batos* – непреходимый. По этой причине не случайно адиабатным (или адиабатическим) называют физический процесс, при котором система (то есть группа тел) не получает теплоты извне и не отдаёт её.

Как можно осуществить адиабатный процесс? Ясно, что любой процесс, происходящий в термосе, является адиабатным. Может ли быть адиабатным процесс без термоса, без теплоизолирующей оболочки? Оказывается, да. Нужно чтобы тепловой процесс происходил быстро. Тогда теплообмен между системой и окружающей средой не успеет произойти, и процесс будет адиабатным.

Вспомним первый закон термодинамики: количество теплоты Q , полученное, например, газом, равно изменению внутренней энергии ΔU газа и работе $A_{\text{газ}}$, совершённой газом:

$$Q = \Delta U + A_{\text{газ}}$$

В случае адиабатного процесса

$$Q = 0$$

или

$$\Delta U + A_{\text{газ}} = 0.$$

Следовательно

$$\Delta U = -A_{\text{газ}}. \quad (1)$$

Какие выводы следуют из соотношения (1)? Если газ адиабатно расширяется, совершая положительную работу, то внутренняя энергия газа уменьшается (действительно, если газ «не подпитывать» теплом, то он может совершить работу только за счёт убыли собственной внутренней энергии). Если же внутренняя энергия газа уменьшается, то и температура газа понижается.

И наоборот. Если газ адиабатно сжимают, то работа самого газа отрицательна, а над газом совершают положительную работу. При этом внутренняя энергия газа увеличивается и температура газа повышается.

Адиабатные процессы часто встречаются в природе и используются в технике. Рассмотрим более подробно несколько примеров адиабатных процессов.

Образование облаков. Пусть летним днём светит солнце, которое сильно прогревает земную поверхность. Та, в свою очередь, нагревает приземные слои воздуха, одновременно интенсивно испаряется вода из почвы, рек и озёр. Как следствие, возникают конвекционные потоки – под действием архимедовой силы менее плотный теплый и достаточно влажный воздух поднимается

вверх¹. При подъёме происходит расширение воздуха (ведь атмосферное давление с высотой понижается). Это расширение воздуха происходит достаточно быстро и его можно считать практически адиабатным. Значит, поднимающийся вверх влажный воздух будет охлаждаться. При подъёме до некоторой высоты влажный воздух охлаждается до такой степени, что начинается процесс конденсации водяного пара. Так образуется нижняя граница кучевого облака.

Что происходит с новыми воздушными массами, поднявшимися до нижней границы облака. Они поднимаются выше, так как помимо происходящего адиабатного охлаждения воздуха «включается» ещё один «конкурирующий» процесс – выделение теплоты, происходящее при конденсации водяного пара. По этой причине расширяющиеся воздушные массы остаются более нагретыми, чем окружающий воздух и могут подниматься всё выше и выше. В результате толщина кучевого облака достигает нескольких километров. По мере того как конденсируются водяные пары, воздух становится всё менее влажным, на какой-то высоте температура поднимающегося воздуха сравнивается с температурой окружающего воздуха и вертикальное развитие облака прекратится (рис. 11).



Рис. 11. Кучевое облако. Хорошо видна нижняя плоская граница облака, совпадающая с высотой, на которой начинается процесс конденсации водяного пара.

Дизельный двигатель. Дизельный двигатель – один из типов двигателей внутреннего сгорания – изобретён немецким инженером Рудольфом Кристианом Карлом Дизелем (1858–1913). Первый работоспособный двигатель такого типа был построен им в 1897 году. Рассмотрим, каковы особенности работы дизельного двигателя на примере четырёхтактного двигателя (рис. 12):

– *такт 1* – поршень движется вниз, через открытый впускной клапан в поршень засасывается воздух;

– *такт 2* – впускной клапан закрыт. Поршень движется вверх и происходит адиабатное сжатие воздуха (в современных дизельных двигателях степень сжатия воздуха достигает 25). При этом температура воздуха повышается до 800 °С. К моменту завершения сжатия воздуха через форсунку в цилиндр впрыскивается распылённое топливо. Топливо, контактируя с раскалённым воздухом, воспламеняется;

¹ Подъём воздушных масс также может происходить и по другим причинам:

- за счёт движения тёплых и холодных фронтов воздуха;
- за счёт циклонов – мощных атмосферных вихрей, размеры которых достигают нескольких тысяч километров;
- за счёт горизонтально направленного ветра, когда на его пути встречается препятствие в виде горного массива.

- *такт 3* – газообразные продукты горения топлива толкают поршень вниз, при расширении газом совершается работа;
- *такт 4* – выпускной клапан открыт. Поршень движется вверх, выталкивая отработанные продукты горения топлива в атмосферу.

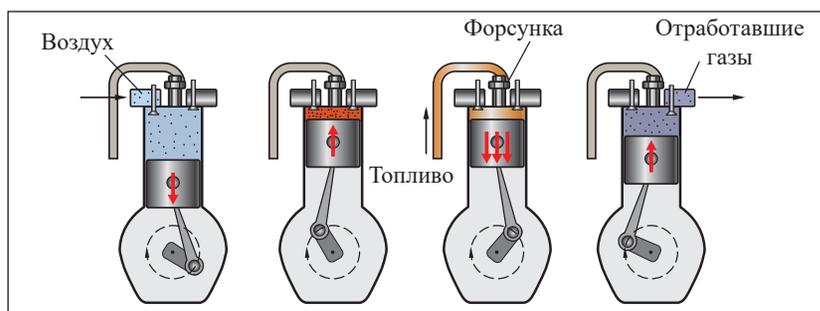


Рис. 12

Уже первый построенный Рудольфом Дизелем двигатель имел КПД выше, чем он был у двигателей внутреннего сгорания, в которых происходило сжатие бензиново-воздушной горючей смеси с последующим её воспламенением электрической искрой. Но главная задумка изобретателя, под которую немецкие промышленники и выделяли ему средства, не была реализована. Первоначально Рудольф Дизель планировал построить двигатель, который должен был работать на угольной пыли. Ведь Германия располагает запасами угля, но не имеет собственной нефти. Если двигатель работал бы на местном дешёвом угле, то это было бы очень выгодно немецким промышленникам.

Заставить двигатель работать на угольной пыли не удалось. Построенный Рудольфом Дизелем двигатель работал на керосине, и немецкие промышленники к новому двигателю и его создателю отнеслись недоброжелательно. Но дизель-мотор заинтересовал промышленника Эммануэля Нобеля. Он вместе со своими родственниками был владельцем крупнейшей в то время нефтедобывающей компании России. В 1898 году Нобель купил лицензию на двигатель внутреннего сгорания Рудольфа Дизеля. Инженеры Петербургского завода Нобеля внесли изменения в конструкцию двигателя, после чего дизель-мотор мог работать и на нефти. В 1900 году на Всемирной выставке в Париже дизель-мотор получил Гран-при, чему способствовало известие, что завод Нобеля в Петербурге наладил выпуск двигателей, работавших на сырой нефти. Этот двигатель получил в Европе название «русский дизель» (рис. 13).

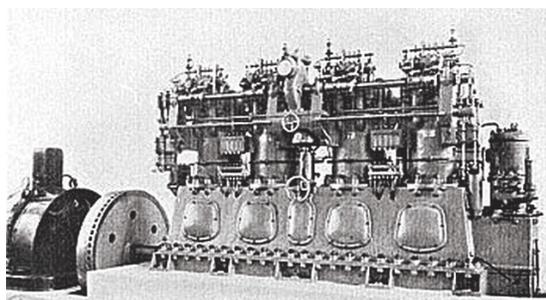


Рис. 13. Дизельный судовой двигатель, изготовленный на заводе Нобеля в 1910 году

В наше время дизельные двигатели – наиболее распространённый тип двигателя внутреннего сгорания, которые устанавливаются на легковые и грузовые автомобили, на строительную и сельскохозяйственную технику, на танки и самоходные артиллерийские установки, на морские суда и железнодорожный транспорт (рис. 14). Такая популярность объясняется мощностью, высоким КПД и экономичностью двигателей, в основе действия которых – повышение температуры воздуха при его адиабатном сжатии.



Рис. 14. ЧТЗ. Дизельный двигатель В-59 УМС. Челябинский тракторный завод



В 1803 году профессор физики Молле из города Лиона сообщил в Париж об удивительном открытии рабочего оружейного завода, зажёгшего трут¹ в дуле духового (воздушного) ружья сжатием воздуха при зарядке ружья нагнетательным насосом. Историки науки пишут, что «его сообщению придали мало веры, пока оно не было подтверждено на опыте». Как объяснить явление, о котором сообщил профессор Молле?

Литература

1. Тарасов, Л. В. Физика в природе: книга для учащихся / Л. В. Тарасов. – М. : Просвещение, 1988. – С. 57–76.
2. Андриюшечкин, С. М. Физика. 10 кл. : учеб. для общеобразоват. организаций: базовый уровень / С. М. Андриюшечкин. – М.: Баласс, 2013. – С. 99–100.
3. Алексеева, М. Н. Физика – юным : Теплота. Электричество. Кн. для внеклассного чтения. 7 класс. / сост. М. Н. Алексеева. – М. : Просвещение, 1980. – С. 53–56.

¹ Трут – фитиль, зажигающийся от искры при высекании огня.

СЖИЖЕНИЕ ГАЗОВ

В настоящее время сжиженные газы нашли самое широкое применение в промышленности, науке и повседневной жизни. Приведём только один пример. Годовое производство сжиженного природного газа (СПГ) достигло сотен миллионов тонн. СПГ получают из природного газа путём сжатия и последующего охлаждения, при этом объём газа уменьшается примерно в 600 раз (рис. 15).



Рис. 15. Буровая и добывающая платформа. Установлена в Охотском море (Сахалин) в 14 км от побережья на глубине 48 м. Предназначена для добычи газа для завода по производству СПГ.

Высота каждой из четырёх опор 56 м, диаметр опоры 20 м.

Размер плиты основания $105 \times 88 \times 13,5$ м

Сейчас нас совершенно не удивляет, что газ может быть переведён в жидкое состояние, а затем эта жидкость, испаряясь, превратится в газ. Но долгое время физики и химики вынуждены были довольствоваться лишь тем, что наблюдали, как водяной пар при охлаждении конденсируется, и образуются капельки воды и наоборот, как при нагревании воды до температуры кипения она переходит в газообразное состояние и образуется пар. История сжижения газов ведёт свой отсчёт с опытов нидерландского физика и ботаника Мартина ван Марума, который в 1792 году изучал зависимость объёма газа аммиака от давления. Оказалось, что при сжатии газа его давление, как и следовало ожидать, сжимался, увеличивалось. Так продолжалось до тех пор, пока давление не превысило 700 кПа (то есть давление стало больше атмосферного давления в 7 раз). При этом давлении часть газа аммиака превратилась в жидкость,

и дальнейшее сжатие вело только к увеличению количества жидкости. Такое успешное превращение газа в жидкость с современной точки зрения вполне объяснимо. При сжатии газа его плотность становится больше, а молекулы вещества ближе друг к другу. В результате сближения молекул возрастают силы межмолекулярного взаимодействия, что и может привести к переходу вещества из газообразного в жидкое состояние.

Следующий заметный шаг в деле сжижения газов был сделан в 1823 году тогда ещё начинающим исследователем, а впоследствии знаменитым физиком Майклом Фарадеем. Первый из газов, который Фарадей смог перевести в жидкое состояние, был газ хлор, и этот результат был получен им неожиданно в ходе одного из опытов. В изогнутую трубку были помещены кристаллы вещества, при нагревании которого, как уже было до этого известно, выделяется хлор. После этого трубка была запаяна, и Фарадей нагрел её в пламени спиртовки (рис. 16).

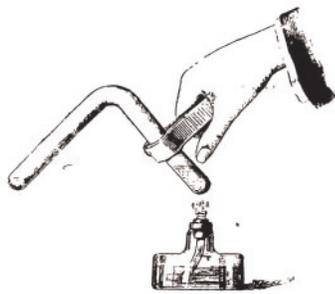


Рис. 16. Опыт Фарадея по получению жидкого хлора

Кристаллы расплавились и дали зеленовато-жёлтые пары газа хлора. Газ хлора образовалось столько, что внутри трубки давление газа было так велико, что, в холодном колене газ сконденсировался с образованием жидкого хлора – маслянистой жидкости.

Так Фарадей открыл новый метод сжижения газов: не обязательно получать газы в одном сосуде и с помощью технически несовершенных насосов закачивать их в другой сосуд, где будет производиться их сжатие и сжижение. Более удобно из подходящих веществ, находящихся в твёрдом или жидком состоянии, получать газообразное вещество в закрытом сосуде в таком количестве, чтобы внутри сосуда создавалось давление, достаточное для перехода образовавшегося газа в жидкость. Таким способом на протяжении 1823 года Фарадею удалось перевести в жидкое состояние целый ряд газов.

Через двадцать с лишним лет, вернувшись к этой теме исследований, Фарадей усовершенствовал метод. Помимо получения высокого давления газа в замкнутом сосуде за счет химической реакции, он стал производить охлаждение газа, что способствовало сжижению получаемого газа в охлаждаемой части сосуда. Фарадей использовал охлаждающую смесь из твёрдой углекислоты (сухой лёд) и эфира. С помощью этой смеси обычно получают температуру около $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$. Но Фарадей добился большего, использовал специальный прибор (рис. 17). Под стеклянный колпак 1, соединённый с воздушным насосом, он ставил сосуд с охлаждающей смесью 2 и запаянную трубку с газом 3.

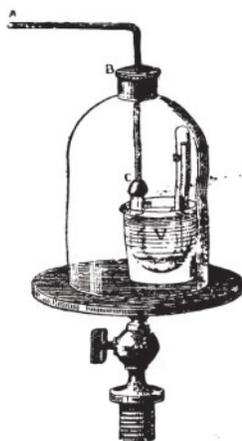


Рис. 17. Прибор Фарадея для сжижения газов с помощью охлаждающей смеси

Когда из-под колпака насосом выкачивается воздух, то в разреженной атмосфере охлаждающая смесь начинает испаряться намного быстрее. Смесь, испаряясь, поглощает энергию и это приводит к понижению температуры оставшейся, ещё не испарившейся смеси, и температуры газа в трубке до $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким способом удалось перевести в жидкое состояние большинство известных в то время газов, многие из которых были не только сжижены, но и заморожены.

Но было несколько газов – водород, азот, кислород, открытый позже газ гелий¹ и ещё несколько газов, которые «упорно отказывались» превращаться в жидкость. Даже когда физикам в ходе экспериментов по сжижению газов удалось довести давление до невиданного тогда значения в 2800 атмосфер (280 МПа) эти «постоянные» газы не превращались в жидкость. «Под этими громадными давлениями сокращённые до ничтожной доли своего первоначального объёма испытываемые газы героически оставались верными своей природе, становясь более плотными, чем вода, но не сдаваясь!»

Учёные, анализируя данную проблему, поняли, что для того, чтобы перевести газ в жидкое состояние, недостаточно повышать давление, сжимая газ, необходимо дополнительно ещё и понижать температуру газа. Для каждого из газов существует определённая *критическая температура*, выше которой газ не может быть переведён в жидкость ни при какой степени его сжатия, ни при каком повышении давления. С точки зрения молекулярной теории существование критической температуры несложно обосновать. Если газ имеет значительную температуру, это значит, что достаточно велика средняя энергия теплового движения молекул газа. И если кинетическая энергия молекул превосходит энергию взаимодействия молекул даже в случае, когда молекулы находятся близко друг к другу (при большом сжатии газа), то конденсации газа происходить не будет. Необходимо уменьшить энергию теплового движения молекул, то есть понизить температуру газа, чтобы энергия взаимодействия молекул могла «победить» энергию их теплового движения.

¹ В составе воздуха гелий был обнаружен в 1896 году. Из каждого миллиона атомов газов, входящих в состав воздуха, только несколько атомов – это атомы гелия.

Итак, «постоянный» газ – это не газ с каким-то особенным внутренним строением, а это газ, температуру которого в ходе процесса сжижения предварительно не понизили до его критической температуры. Для понижения температуры газов учёные применили так называемый *метод адиабатного расширения*. В чём заключается этот метод? Если газ предварительно сжать, а затем выпустить из баллона, то газ, расширяясь, будет совершать работу только за счёт своей внутренней энергии (ведь при быстром расширении газа теплообмен с окружающей средой не успеет произойти). Уменьшение внутренней энергии газа и означает понижение его температуры. Это позволило учёным приступить к успешному штурму бастиона «постоянных» газов: азот, сжатый до давления 20 МПа «мгновенно расширяемый, сгущается весьма изящно, производя массу, похожую на пульверизированную жидкость, в капельках заметного объёма, потом жидкость мало-помалу исчезает, от стенок к центру жидкости». Водород, предварительно сжатый до давления 30 МПа, «образует чрезвычайно мелкий и тонкий туман, который наполняет трубку и быстро исчезает».

Следующий шаг – не наблюдение перехода газа в жидкое состояние, а получение определённого количества «постоянных» газов в жидком состоянии. Успех пришёл после усовершенствования конструкций экспериментальных установок, создания холодильных машин. Чтобы оценить всю сложность решённых при этом задач, достаточно указать значения критической температуры, для азота: – 147 °С, для кислорода: – 183 °С.

В январе 1893 года шотландский физик и химик Джеймс Дьюар впервые продемонстрировал изобретённый им сосуд с вакуумными стенками для хранения жидких газов (рис. 18). Вакуумная колба оказалась настолько эффективна для теплоизоляции, что сосуд Дьюара позволяет сохранять газы в жидком состоянии на протяжении достаточно длительного времени. В повседневной жизни каждый из нас встречался с бытовой разновидностью сосуда Дьюара – с термосом.



Рис. 18. Сосуды Дьюара

В 1898 году Дьюаром впервые был получен водород в жидком состоянии, а в 1899 году – водород в твёрдом состоянии (критическая температура водорода – 239 °С).

Последним из газов был переведён в жидкое состояние газ гелий в 1908 году (критическая температура гелия – 268 °С, пять градусов до абсолютного нуля). Это научное достижение – результат работы лаборатории Лейденского университета под руководством Хейке Камерлинг-Оннеса, ставшего в дальнейшем

лауреатом Нобелевской премии по физике (1913). Успех не был делом случая. Камерлинг-Оннес понимал, что исследования при таких сверхнизких температурах могут быть успешными не только при наличии соответствующего сложного оборудования, но и высококвалифицированного технического персонала. Время профессоров-одиночек, проводивших эксперименты на самодельном оборудовании, прошло, сложные научные задачи нового времени требовали создания индустрии научного приборостроения и обучения соответствующих технических кадров. Поэтому Камерлинг-Оннес создал мощную техническую базу для подготовок экспериментов, открыл при своей лаборатории школу прибористов и стеклодувов, основал научный журнал «Сообщения из физической лаборатории Лейденского университета», организовал широкое международное сотрудничество физиков, работавших в области низких температур. Так, по существу, лаборатория Камерлинг-Оннеса стала прообразом и моделью для научно-исследовательских институтов XX века.

Так трудами многих учёных была создана физика низких температур. У учёных появилась возможность исследовать свойства веществ при температурах, близких к абсолютному нулю. Появилась возможность открыть и изучить в лаборатории новые физические эффекты, происходящие в условиях даже не космического холода (-270°C , три градуса до абсолютного нуля), а при ещё более низких температурах.



В правилах безопасности по эксплуатации сосудов Дьюара говорится: «Для закрытия горловины должна использоваться только специальная крышка. Ни в коем случае не использовать пробок и других плотных предметов». Почему сосуд Дьюара нельзя закрывать герметически?

Литература

1. Лефевр, Ж. Ж. Сжижение газов и их применение / Соч. Ж. Лефевра, проф. в Нанте; Пер. с фр. [и предисл.] С. И. Ламанского. – СПб. : тип. М. М. Стасюлевича, 1901. – 157 с.
2. Бродянский, В. М. От твёрдой воды до жидкого гелия : История холода / В. М. Бродянский. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – С. 33–74.
3. Шаховская, Н. Д. Майкл Фарадей. [1791–1867] : Повесть о жизни и трудах маленького переплётчика, ставшего великим учёным / Н. Шаховская, М. Шик. – 2-е доп. и перераб. изд. книги «Загадка магнита». – М.; Л. : Изд. и ф-ка дет. книги Детгиза в М., 1947. – С. 153–160.
4. Буздин, А., Тугушев, В. Как создавалась физика низких температур / А. Буздин, В. Тугушев // Квант. – 1982. – № 9. – С. 19–27.
5. Кикоин, А. К. Газ превращается в жидкость / А. К. Кикоин // Квант. – 1984. – № 11. – С. 25–27.
6. Клод, Ж. Жидкий воздух / Ж. Клод ; Пер. И. В. Зельцера и В. О. Каплана; под ред. Е. Н. Богоявленского. – Л. : Науч. хим.-техн. изд-во Всехимпром, 1930. – С. 7–57.

КАК РАБОТАЕТ ХОЛОДИЛЬНИК

Все знают, что тепло передаётся от более горячих тел к более холодным. А вот в холодильнике всё происходит наоборот – в морозильнике некоторое количество теплоты отнимается от находящихся там продуктов (их температура при этом ещё больше понижается) и передаётся более тёплому воздуху в помещении. В результате, за счёт холодильника температура воздуха в помещении повышается. Не противоречит ли это закону «от горячего к холодному»? Нет! Ведь «обратное движение тепла» происходит не само по себе, не самопроизвольно, а только за счёт работы электродвигателя-компрессора холодильника. Так что холодильная установка не ставит законы физики под сомнение, она лишь является тепловым двигателем «наизнанку». В тепловом двигателе за счёт поступления тепловой энергии «от горячего к холодному» организовано совершение механической работы рабочим телом двигателя. В холодильнике же электродвигатель включён в электрическую сеть, и электродвигатель, потребляя электроэнергию, совершает механическую работу по «перекачке» тепла из морозильника в помещение.

Для того чтобы разобраться в принципе действия холодильника, необходимо вспомнить несколько физических фактов.

Факт 1. Температура кипения жидкости зависит от давления окружающей среды. Чем выше давление, тем выше температура кипения, и наоборот, понижение давления ведёт к понижению температуры кипения. Так при нормальном атмосферном давлении вода кипит при 100 °С, но если давление в два раза меньше (как, например, на вершине Эльбруса на высоте 5642 м), то вода будет кипеть уже при температуре около 80 °С.

Герметичные трубки – рабочая система холодильника – наполнены веществом, которое кипит при низкой температуре. Например, в современных бытовых холодильниках широко используют хладагент (сокращение от слов «холодильный агент») R600a. Это вещество при нормальном атмосферном давлении имеет температуру кипения – 11,7 °С, а при давлении в два раза меньшем оно кипит при температуре – 25 °С.

Факт 2. Кипение жидкости, образование пара требует большого количества теплоты, которое пар поглощает из окружающей среды и самой кипящей жидкости. Например, для образования одного килограмма водяного пара при атмосферном давлении необходимо такое количество теплоты, которое было бы достаточно для нагревания трёх килограммов стали от комнатной температуры до температуры плавления (1500 °С) и последующего плавления стали. Для хладагента R600a это число скромнее – «всего» половина килограмма стали, но тоже не может не впечатлить.

Факт 3. Конденсация паров жидкости сопровождается выделением энергии.

СХЕМА РАБОТЫ ОДНОКАМЕРНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА

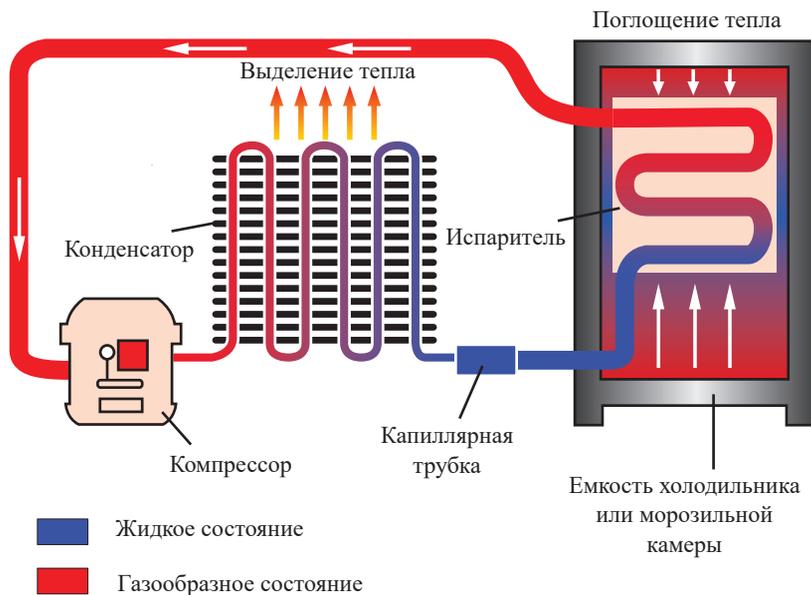


Рис. 19. Устройство и схема работы холодильника

Рассмотрим устройство холодильника и физические процессы, происходящие при его работе (рис. 19). Мотор-компрессор 1 откачивает пары вещества-хладагента из испарителя и нагнетает их в конденсатор 2, создавая повышенное давление, в пять – семь раз больше атмосферного (500–700 кПа). Пары вещества-хладагента конденсируются и переходят в жидкое состояние. При конденсации происходит выделение энергии. По этой причине трубки конденсатора 2 при работе холодильника всегда имеют высокую температуру (конденсатор 2 – это те горячие трубки, что расположены на задней стенке холодильника). Выделившееся тепло за счёт теплообмена передаётся окружающему воздуху. Далее жидкий хладагент через узкую трубку-капилляр 3 (от латинского *capillaris* – волосной) направляется в испаритель 4. В испарителе 4 (он расположен внутри холодильника, стенки испарителя окружают морозильную камеру холодильника) при низком давлении происходит интенсивное испарение хладагента, что сопровождается поглощением значительного количества теплоты от продуктов, заполняющих морозильную камеру.

Пока работает мотор-компрессор холодильника процессы конденсации вещества-хладагента при сжатии и его последующего испарения при пониженном давлении повторяются. Так происходит до тех пор, пока в морозильной камере не устанавливается необходимая отрицательная температура. После этого автоматика отключает компрессор холодильника. Затем через некоторое время, когда температура в морозильной камере немного повысится за счёт притока тепла извне, компрессор вновь включится, и вновь «запустит» рассмотренные нами физические процессы.



Для чего в холодильнике между компрессором и испарителем установлена узкая трубка – капилляр?

КАПИЦА – УЧЁНЫЙ И ЧЕЛОВЕК

Сокращённый вариант статьи, посвящённой выдающемуся физику XX века, лауреату Нобелевской премии Петру Леонидовичу Капице. Впервые статья была опубликована в пятом номере научно-популярного физико-математического журнала «Квант» за 1994 год. Автор статьи – академик Виктор-Андрей Станиславович Боровик-Романов, в 1984–1990 годах директор Института физических проблем имени П. Л. Капицы.

Пётр Леонидович Капица родился 9 июля 1894 года в Кронштадте. Его отец был военным инженером. Жизнь Петра Леонидовича сложилась очень не просто. На его долю выпали три тяжелейших удара, которые он сумел перенести только благодаря своему сильному характеру и большой личной смелости.

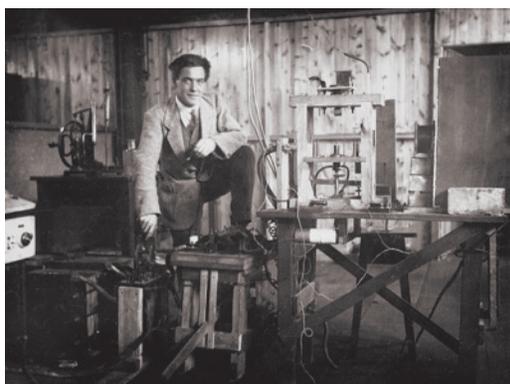
Первое испытание постигло Петра Леонидовича в 1920 году, когда он только начинал свою научную карьеру в группе учеников и сподвижников Абрама Фёдоровича Иоффе¹ – одного из основателей физической школы нашей страны. Судьба нанесла ужасный удар по семье Петра Леонидовича – во время эпидемии скарлатины и испанки в течение месяца Капица теряет отца, жену, двух-летнего сына и только что рождённую дочку.

В 1921 году Иоффе включил Капицу в состав группы учёных, командированных за границу для установления контактов с ведущими лабораториями Германии и Англии и для закупки оборудования для вновь организуемых физических институтов. При посещении Кавендишской лаборатории в Кембридже по рекомендации Иоффе и в значительной степени благодаря находчивости самого Петра Леонидовича ему удалось уговорить тогда уже одного из самых знаменитых физиков Эрнеста Резерфорда принять его на стажировку в свою лабораторию.

Так получилось, что больше десяти лет Пётр Леонидович занимался наукой в Англии. В Кембридже он очень быстро проявил себя как замечательный физик-экспериментатор и разработал абсолютно оригинальные установки.

По инициативе Резерфорда для Капицы в 1933 году была построена новая лаборатория в Кембридже, Пётр Леонидович был назначен её директором. Год спустя после открытия этой лаборатории, когда Капица начал развёртывать новые исследования в области низких температур и сверхсильных магнитных полей, судьба преподнесла ему второй удар – осенью 1934 года советское правительство запретило ему вернуться в Англию после очередного приезда в Советский Союз.

¹ Иоффе Абрам Фёдорович (1880–1960) – российский и советский физик, организатор науки, создатель научной школы, давшей многих выдающихся советских физиков.



Пётр Капица в Кавендишской лаборатории

В течение нескольких месяцев положение Петра Леонидовича было совершенно неопределённым – у него не было работы, он не имел возможности вести научные исследования, многие знакомые боялись встречаться с ним (в 30-е годы XX века в нашей стране все боялись доносов и арестов), тем более, что за ним в открытую ходили агенты НКВД¹).

Однако к декабрю 1934 года обстановка вокруг Капицы начинает проясняться. Его вызывают в Москву. В Москве происходят переговоры относительно его будущей работы сначала в Президиуме Академии наук, а затем в Правительстве. Обсуждается вопрос о строительстве в Москве специального института для развития работ Петра Леонидовича Капицы, начатых им в Англии. При этом Пётр Леонидович ставит обязательным условием покупку всей созданной им уникальной аппаратуры и перевоз её из Кембриджа в Москву. В конце концов, в значительной мере благодаря содействию Резерфорда, эту проблему удаётся решить. В Москве строится Институт физических проблем, оснащённый уникальной аппаратурой и главное – созданными Петром Леонидовичем установками по получению сверхсильных магнитных полей и ожижению водорода и гелия. Директором этого института назначается Пётр Леонидович Капица.

В 1936 году в основном заканчивается строительство института, и изголодавшийся по научной работе Пётр Леонидович начинает работать с необычайной напористостью и энергией. За пять лет (к началу войны в 1941 году) он делает два крупнейших открытия – одно научное, другое инженерное. В разгар войны его достижения высоко оцениваются Правительством – в мае 1943 года его назначают председателем специального Комитета (в ранге министра) по развитию промышленного производства разработанных им установок по получению кислорода. В августе 1945 года его привлекают к работе совершенно секретного Комитета по созданию ядерного оружия. На этих административных должностях у него складываются очень сложные отношения с Берией². Пётр Леонидович Капица пишет два письма Сталину, в которых критикует Берию. Подобные действия были в те времена неслыханной дерзостью. Конфликтная

¹ НКВД – Народный комиссариат внутренних дел.

² Берия Л. П. (1899–1953) – генеральный комиссар госбезопасности. Входил в ближайшее окружение Сталина. Курировал ряд важнейших отраслей оборонной промышленности, в том числе все разработки, касавшиеся создания ядерного оружия и ракетной техники. В 1953 г. Берия был арестован по обвинению в измене Родине и расстрелян.

ситуация кончается тем, что Капицу снимают не только с государственных постов, но и с поста директора созданного им института и практически выгоняют его из института. Это был третий тяжёлый удар, который судьба нанесла Капице. Удар был очень тяжёлым, но не сломил Петра Леонидовича. Он постепенно создаёт у себя на даче настоящую физическую лабораторию. Сначала он проводит несколько изящных исследований в области механики и гидродинамики, а через несколько лет совершает характерный для Капицы прорыв в абсолютно новой области. Он разрабатывает теорию и строит уникальный генератор сантиметровых радиоволн непрерывного действия рекордной по тем временам мощности. После смерти Сталина и казни Берии Капицу реабилитируют, в 1955 году он возвращается в свой институт и развивает новый цикл работ в области электроники больших мощностей и высокочастотного нагрева плазмы¹.

Открытия и изобретения Капицы

Значительность любого учёного можно оценивать по тому, как долго помнят о его открытиях и используют изобретённые им приборы или установки. Капица – столь же великий инженер, как и физик. Нужно отметить три его крупных вклада в науку, которые используются и продолжают развиваться до сих пор во многих ведущих лабораториях мира.

Пётр Леонидович первым понял, что получать рекордно сильные магнитные поля можно только в импульсном режиме, и разработал для этого уникальную установку со специальным мотор-генератором (1924–1925 годы). В этом генераторе энергия, необходимая для создания сильного магнитного поля, накапливалась в виде кинетической энергии очень тяжёлого маховика, находившегося на оси ротора генератора. При закорачивании генератора на катушку по ней в течение 10 мс шёл гигантский ток, и внутри катушки создавалось очень сильное магнитное поле. Создание Петром Леонидовичем установки для получения сильных импульсных полей было в физике одним из первых шагов того процесса, который был позже назван научно-технической революцией. Это понятие имеет два аспекта: немедленное освоение промышленностью фундаментальных открытий и создание промышленностью специальной сложной аппаратуры, предназначенной только для фундаментальных открытий. Первым примером такой сложной аппаратуры была установка Капицы. Достаточно сказать, что мотор-генератор весил более 2,5 т.

Особенно крупный вклад Капица внёс в физику низких температур. Он открыл явление сверхтекучести жидкого гелия. Это означает, что жидкий гелий при температурах ниже 2 К может протекать без трения о стенки. В серии чрезвычайно изящных экспериментов Пётр Леонидович подробно изучил это явление и выявил удивительные особенности явления сверхтекучести: в гелии, перешедшем в сверхтекучее состояние, сосуществуют нормальная и сверхтекучая компоненты; через тонкие узкие трубки-капилляры и щели протекает только сверхтекучая компонента. В 1978 году Капице была присуждена Нобелевская премия – за основополагающие изобретения и открытия в области низкотемпературной физики. Выдающийся физик-теоретик Лев Давидович

¹ Плазма – ионизованный газ (содержит свободные электроны и положительные и отрицательные ионы), одно из четырёх основных агрегатных состояний вещества.

Ландау¹, работавший вместе с Капицей, построил теорию сверхтекучести и был также удостоен Нобелевской премии в 1962 году за теоретические исследования в области конденсированного состояния, особенно жидкого гелия.

В ходе исследований теплопередачи в жидком гелии Капица открыл ещё одно явление, которое получило в литературе два названия: скачок Капицы или теплоспротивление Капицы. Речь идёт о том, что на границе металла, в котором выделяется тепло и прилегающего к нему жидкого гелия, возникает скачок температуры.

Достижения Капицы в области техники лежат на грани между фундаментальной и инженерной наукой. Первым очень важным его изобретением было создание оригинальной модели гелиевого оживителя. Жидкий гелий получают не только для изучения его свойств, но и как хладагент для изучения поведения разных веществ при самых низких температурах. До Петра Леонидовича во всех гелиевых оживителях (а их было в ту пору всего несколько штук) газ охлаждался, совершая работу при расширении из очень сильно сжатого состояния. Недостатками таких оживителей были использование высокого давления и, главное, необходимость предварительно охлаждать гелий с помощью жидкого водорода. Последнее обстоятельство делало установку взрывоопасной.

Капица построил гелиевый оживитель так называемого детандорного типа, в котором охлаждение происходит за счёт совершения работы при адиабатическом расширении газа в поршневой машине. Идея детандера не была новой, но никто не пробовал реализовать её для оживления гелия, так как не существовало смазки, которая могла бы работать при такой низкой температуре. Пётр Леонидович нашёл решение задачи о смазке, используя для этого сам газообразный гелий. Для того, чтобы не было слишком большой утечки гелия через зазор между поршнем и цилиндром, этот зазор был сделан очень тонким. Во всех лабораториях мира теперь используют только оживители гелия, конструкция которых была предложена Капицей.

Как известно, кислород для промышленных целей добывается путём разделения жидкого воздуха. До Капицы охлаждение в установках для получения жидкого воздуха достигалось в поршневых детандерах, в которых было велико выделение тепла за счёт трения поршня о стенки и которые требовали использования высокого давления. Поршневые детандеры и компрессоры высокого давления не могли обеспечить высокой производительности таких установок. Пётр Леонидович предложил использовать вместо поршневого детандера турбодетандер. Важным шагом в удачном решении этой проблемы был выбор типа турбины. Как всё, что делал Капица, и созданный им турбодетандер был совершенно необычен. Его ротор имел диаметр всего 8 см. Он вращался со скоростью 40 000 об/мин и пропускал 1000 м³ воздуха в час. Установка с таким турбодетандером могла выдавать до 50 л жидкого воздуха.

Такая установка начала работать в Институте в 1938 году – это всего через два года после окончания строительства института. И при этом параллельно Капица вёл уникальные исследования свойств жидкого гелия, открыл сверхтекучесть и продолжал тонкие эксперименты по её изучению. Отметим, что

¹ Ландау Л. Д. (1908–1968) – советский физик-теоретик, основатель научной школы, академик. Лауреат Нобелевской премии по физике.

если на старых кислородных установках требовались компрессоры высокого давления – до 200 атм., то на установке Капицы стоял турбинный компрессор на 9 атм. была построена большая установка для получения кислорода, которая одна производила 1/6 часть всего кислорода в стране.

Всё развивалось прекрасно, но нужно сказать, что многие из инженеров, работавшие в кислородной промышленности до Капицы, не поняли значения изобретённого им метода, всячески препятствовали его распространению и сыграли немалую роль в снятии его со всех постов в 1946 году. Как и полагалось в те времена, когда Капица попал в опалу, все его изобретения были признаны недействительными и никто не решался работать на созданных им установках для ожижения гелия и воздуха. Дальнейшую разработку его метода прекратили, опытные установки разобрали и продолжали выпускать старые машины. Однако в западных странах быстро поняли достоинства изобретённых Петром Леонидовичем установок и уже в конце 40-х годов XX века начали выпускать и детандерные гелиевые установки, и турбодетандерные кислородные заводы. Постепенно это поняли и у нас в стране и продолжили выпуск установок с турбодетандером, не акцентируя, что их изобрёл Капица (пока его не реабилитировали). Теперь такие установки работают во всём мире и ежегодно производят миллионы тонн кислорода, который кроме металлургии используется также в химической промышленности и в ракетной технике.

Капица – организатор науки

Велика роль Капицы в организации науки в нашей стране. Всего, что он сделал, не перечислишь. Он создал прекрасный институт, руководил им и обеспечил в нём исключительно благоприятные условия для научного творчества. Пётр Леонидович всегда подчёркивал, насколько заслуга первооткрывателя в науке больше заслуг тех учёных, которые, хотя и прилежно трудятся, но движутся в уже проложенном фарватере.

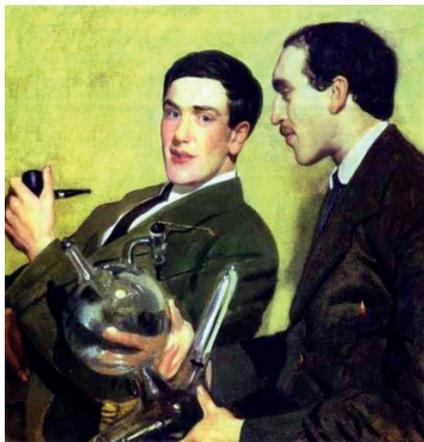
Капица был рад помочь добиться признания всякому таланту, открытия которого консервативными коллегами не признавались.

Особенно большую роль играл Капица в воспитании научной молодёжи. Он всегда подчёркивал, что занятия наукой должны сочетаться с преподавательской деятельностью. Учёный только тогда может сохранять хорошую форму новатора, когда он работает вместе со студентами и аспирантами. Пётр Леонидович был одним из главных инициаторов создания Московского физико-технического института (МФТИ). В этом институте почти все преподаватели совмещают преподавание с научной работой.

Легендарная личность Капицы

Далеко не все гениальные учёные играли такую большую роль в самых различных областях жизни их современников. Сложная биография Капицы, его нестандартное мышление и способность находить неожиданные решения сделали его легендарной личностью, о поступках или высказываниях которого знал широкий круг людей, далеко не всегда связанных с наукой. Капица легко находил контакт с людьми, занимавшими гораздо более высокое положение в обществе. И это с молодых лет. Приведу два примера.

В 1920 году 25-летний молодой учёный, только начинавший научную деятельность, пришёл к очень известному тогда художнику Борису Михайловичу Кустодиеву и сказал ему: «Почему вы рисуете портреты только тех людей, которые уже знамениты? Нарисуйте портрет молодых людей, которые будут знаменитыми». Как ни странно, Кустодиев согласился и нарисовал двойной портрет Петра Леонидовича Капицы и Николая Николаевича Семёнова. Оба они действительно стали знаменитыми, и каждый из них получил Нобелевскую премию.



Двойной портрет
Петра Капицы и Николая Семёнова.
Художник Борис Кустодиев. 1921

Второй пример связан с поступлением Капицы на стажировку к Резерфорду. Сначала Резерфорд не хотел принимать Петра Леонидовича и сказал, что лаборатория переполнена и он не сможет принять лишнего человека. Тогда Капица спросил Резерфорда, с какой точностью он обычно проводит свои эксперименты. Резерфорд был удивлён этим необычным вопросом и ответил, что с точностью до трёх процентов. После этого Капица заявил, что у Резерфорда в лаборатории как раз 30 человек, значит при такой точности наблюдений одного лишнего сотрудника он не заметит. На Резерфорда такой смелый и остроумный выпад Петра Леонидовича произвёл сильное впечатление, и он согласился принять его в лабораторию.

Смелость Петра Леонидовича и его умение убедительно разговаривать и переписываться с руководителями государства спасли жизнь двум крупнейшим физикам нашей страны – Владимиру Александровичу Фоку¹, который был арестован в 1937 году, и Льву Давидовичу Ландау, арестованному в 1938 году. Как только Капица узнавал об аресте каждого из них, он писал письма Сталину в их защиту. В случае с Фоком это сработало сразу – он был освобождён через неделю. Ландау находился пол арестом почти год, и Пётр Леонидович за это время написал несколько писем Сталину, Молотову², Берии. В письме Берии Капица просил освободить Ландау под его, Капицы, поручительство, и после

¹ Фок В. А. (1898–1974) – выдающийся физик-теоретик, академик.

² Молотов В. М. (1890–1986) – советский политический и государственный деятель.

этого письма через два дня Ландау был освобождён. Чтобы совершить такое в 30-е годы XX века, надо было обладать не только отчаянным мужеством, но и ещё каким-то даром, который был только у Капицы. Пётр Леонидович помогал своими письмами начальству и другим физикам и не только физикам и в менее критических ситуациях. Он никогда не оставался равнодушным, если узнавал о нарушенной справедливости, и всегда находил эффективный способ помочь человеку.

Капица был исключительно широко образованным человеком, и его интересовали все аспекты жизни людей. Поэтому у него было много друзей самых разных профессий – писатели, режиссёры, артисты, шахматисты, не говоря уже об учёных из всех областей наук.

Не будет преувеличением сказать, что такие удивительные по таланту, широте кругозора и ещё чего-то, что трудно сформулировать словами, люди рождаются раз в столетие.



Король Швеции Карл XVI Густав вручает П.Л. Капице Нобелевскую премию (1978)

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТРЕНИЕМ

Каждый из нас знает, как «непослушны» сухие волосы после расчёсывания их пластмассовой расчёской, как к такой расчёске «пристают» мелкие кусочки бумаги (рис. 20).

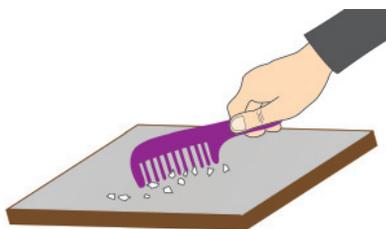


Рис. 20

Это примеры *электризации трением* – разделение электрических зарядов и происходящее вследствие этого их электрическое взаимодействие.

Легенды утверждают, что внимание на явление электризации обратили ещё в Древней Греции. Знаменитый философ Фалес Милетский (около 625 – около 547 до нашей эры), вероятно, знал, что от трения янтарь приобретает свойство притягивать лёгкие тела, например, солому. «Быть может, это наблюдение, которое приписывают Фалесу, было сделано совершенно случайно. Так как янтарь идёт на украшения, то, быть может, при его обработке или же во время натирания готовых изделий (бус), с целью придания им блеск или подновить их, и было замечено, что такие бусы, будучи натёрты, притягивают волосы, перья и прочее».

Только спустя многие сотни лет был сделан следующий шаг в изучении электрических явлений, начиная с которого можно вести речь о возникновении науки об электричестве. Этот шаг был сделан Уильямом Гильбертом (1544–1603), английским физиком, придворным врачом. Именно в его научном труде в 1600 году появляется комментарий: «электрические тела (electrics) – те, которые притягивают таким же образом, как янтарь». Основная заслуга Гильберта – провозглашение опыта основой естественнонаучных знаний – «при исследовании тайн и отыскании скрытых причин вещей, благодаря точным опытам и опирающимся на них аргументам, получают более сильные доводы, нежели от основанных на одном только правдоподобию предположений и мнений вульгарных философов». Реализуя свою экспериментальную программу и выясняя,

какие же вещества притягивают как янтарь, Гильберт изготавливает первый электрический прибор – «сделай себе из любого металла стрелку длиной в три или четыре дюйма¹, достаточно подвижную на своей игле, наподобие магнитного указателя» (рис. 21). На основе проведённых опытов Гильберт заключает, что помимо янтаря «многие тела обладают, как видно, способностью притягивать не только созданные природой, но и искусственно приготовленные, выкованные и составленные тела».

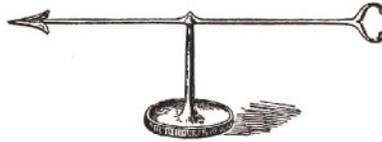


Рис. 21. Стрелка на острие для опытов с электричеством

Далее следует упомянуть известного нам бургомистра г. Магдебурга Отто фон Герике (1602–1686), который прославился не только опытами по демонстрации атмосферного давления, но и созданием первой электрической машины (рис. 22). Он изготовил шар из серы, который был закреплён на железной оси и мог приводиться во вращение. К вращающемуся шару прижимали сухие руки и так производили электризацию шара.

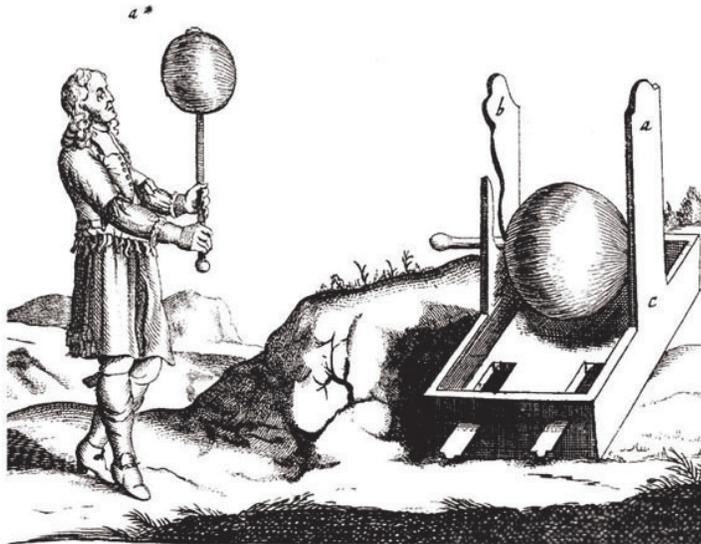


Рис. 22. Электрическая машина Отто фон Герике

В дальнейшем другие учёные стали использовать для трения кожаные подушечки, прижимаемые к шару; шар из серы заменили стеклянным шаром, а затем стеклянным диском (рис. 23).

¹ 1 дюйм равен 2,54 см.

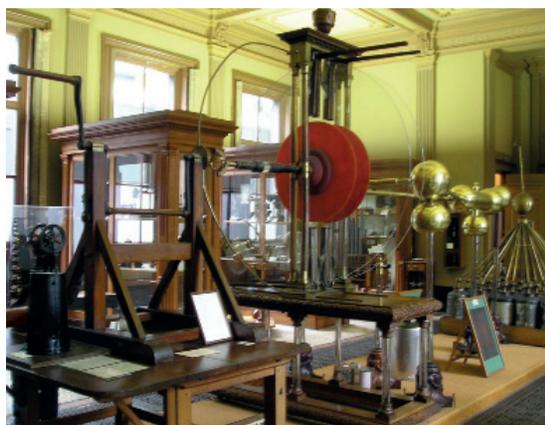


Рис. 23. Электрическая машина из музея Тейлора – естественно-научного музея в городе Харлем (Нидерланды). Музей основан в 1778 году.

С помощью таких электрических машин можно было сообщать предметам значительный электрический заряд, наблюдать притяжение и отталкивание наэлектризованных тел, получать большие электрические искры и даже производить разложение некоторых химических веществ электрической искрой. Было установлено, что все вещества можно разделить на проводники электричества и изоляторы. Был обнаружен фундаментальный факт, что «существует два рода электричества... Существенное различие этих двух родов электричества состоит в том, что каждый из них отталкивает электричество того же рода, но притягивает электричество другого рода».

Один из известных историков науки отмечает, что во второй половине XVIII века «в самые широкие круги проникает желание познакомиться с новыми электрическими явлениями и испытать их удивительное действие на себе; кому не удаётся побывать в физических лабораториях, тот даёт себя электризовать для улучшения своего здоровья, но, во всяком случае, за счёт собственного кошелька, хотя бы в ярмарочных балаганах на народных празднествах. ... Впрочем, это увлечение, конечно, принесло большую пользу дальнейшему развитию учения об электричестве, потому что оно привлекло в эту область такое значительное число работников и возбудило в них столько рвения, что это учение сделало огромные успехи в течение каких-нибудь 30 лет (приблизительно с 1750 по 1780 г.). За этот короткий срок были изучены самые важные из явлений электричества от трения; было сконструировано большинство электрических приборов». Но важнейший вопрос – что «перетекает» с одного тела на другое в процессе электризации трения, ещё долгие годы оставался нерешённым!

Потребовалось ещё более столетия беспрестанной работы учёных-физиков, результаты которой позволили прояснить природу электрических явлений. Только в 1881 году немецкий учёный Гельмгольц, обобщая имеющиеся научные сведения, мог заявить: «Если мы принимаем гипотезу атомной структуры элементов, мы не можем не прийти к выводу о том, что электричество (как положительное, так и отрицательное) также разделяется на элементарные порции, или атомы электричества». Только в 1897 году в результате работ английского физика Джозефа Джона Томсона был открыт электрон – частица с наи-

меньшим электрическим зарядом. (Название частицы не случайно, ведь янтарь по-гречески – электрон.) Только в начале XX века ученик Томсона английский физик Эрнест Резерфорд, как вы знаете, установил строение атома: в центре атома находится положительно заряженное ядро, вокруг которого движутся электроны. Атомы по разным причинам могут потерять один или несколько электронов, либо, наоборот, приобрести несколько избыточных электронов. В таком случае нейтральный атом становится положительно или отрицательно электрически заряженной частицей – ионом.

Только после того, как учёные выяснили, что вещества «сложены» из атомов, что атомы, в свою очередь, состоят из электрически заряженных частиц, «появился свет в конце туннеля». Стало ясно, что в процессе электризации трением тела обмениваются электрически заряженными частицами. *При электризации не создаются и не возникают какие-то новые электрические заряженные частицы, а происходит их перераспределение между двумя телами.* Трение же веществ одно о другое, близкое соприкосновение веществ, способствует этому процессу перераспределения заряженных частиц. Но при этом возник резонный вопрос: «Каким образом заряженные частицы переходят с поверхности одного тела на поверхность другого тела?». Ведь известно, что изоляторы тем и отличаются от проводников, что в изоляторах нет свободных подвижных заряженных частиц (электронов или ионов). Ведь именно по этой причине через изоляторы не проходит электрический ток.

Значительный прогресс в понимании того, как происходит электризация трением, был достигнут только во второй половине XX века после экспериментальных исследований советского физика Марка Иосифовича Корнфельда (1908–1993).

Для проведения опытов им были выбраны вещества, являющиеся хорошими изоляторами (янтарь, рубин, оргстекло). Из этих веществ изготовили цилиндры диаметром 10 и высотой 14 мм. Цилиндры ставились торцами друг на друга, верхний цилиндр прижимался к нижнему цилиндру и верхний цилиндр с трением поворачивался на несколько оборотов. Через каждые три оборота измерялся электрический заряд первоначально нейтральных цилиндров. В результате опытов было установлено:

- при вращении заряжаются оба цилиндра. Один цилиндр приобретает положительный заряд, а другой – такой же по величине отрицательный заряд;
- соприкосновение образцов без вращения, не приводит к заметной электризации, то есть для электризации необходимо трение образцов друг об друга;
- при вращении электризация постепенно увеличивается, пока заряд образцов не достигает некоторого предельного значения.

Было обнаружено, что если наэлектризованный образец поместить в небольшой камере, лишённой доступа свежего воздуха, то образец сохранял свой заряд продолжительное время, в течение нескольких недель. На открытом же воздухе заряд образца падал до нуля за сутки. Это объясняется тем, что к заряженной поверхности наэлектризованного образца притягиваются из воздуха ионы противоположно знака. (В воздухе всегда содержится определённое количество положительных и отрицательных ионов.)

Итак, было выяснено, как происходит разрядка образца: происходит нейтрализация заряда образца «осевшими» на образец ионами, находившимися в воздухе. Это стало ключом к ответу на основной вопрос – как же именно за-

ряжаются образцы при трении друг об друга, как осуществляется электризация трением.

Возьмём, к примеру, янтарь – окаменевшую смолу древнейших хвойных деревьев или современную пластмассу. Когда эти вещества находились в жидком состоянии, то число положительных ионов вряд ли в точности равнялось числу отрицательных ионов. После того, как жидкость была охлаждена, и образовалось твёрдое вещество-изолятор, то такой образец имеет определённый заряд – положительный или отрицательный. Образно говоря, у изолятора есть «родимое пятно» – собственный электрический заряд, обусловленный преобладанием положительных или отрицательных ионов в исходном жидком веществе изолятора. Но изолятор «живёт» не в безвоздушном пространстве – вокруг него воздух. Ионы, находящиеся в воздухе, притягиваются к изолятору, на поверхность изолятора осаживаются ионы противоположного знака, нейтрализуя собственный заряд изолятора. Так «родимое пятно» изолятора «маскируется кремом» – слоем осевших ионов.

Что происходит при трении? Трение двух образцов изоляторов сопровождается смешиванием слоёв ионов, осевших на образцах. Нейтрализация собственных зарядов у изоляторов нарушается («маскировочные кремы» перемешались), и возникает электризация. Вот как писал об этом сам Корнфельд, называвший осевший на изолятор слой ионов «электрической грязью»: «Трение сопровождается смешением слоёв грязи и их перераспределением между торцевыми поверхностями. При этом вследствие нарушения компенсации собственных зарядов и возникает электризация. Таким образом, электризация обусловлена, попросту говоря, тем, что образцы пачкают друг друга заряженной грязью».

Так было выяснено, что же в действительности происходит при электризации трением, так было объяснено физическое явление, остававшееся загадкой на протяжении двух тысячелетий.



В книге Пауля Лакура и Якоба Аппеля «Историческая физика» говорится, что Отто фон Герике, используя созданную им первую электрическую машину, сделал несколько важных открытий: «Между прочим Герике заметил, что пушинка сначала притягивалась наэлектризованным шаром, но затем, прикоснувшись к шару, отталкивалась последним. Он мог даже удерживать пушинку в воздухе, вынимая шар из станка и держа его под пушинкой. Таким образом он открыл, что существует не только электрическое притяжение, но и электрическое отталкивание». Почему пушинка после того, как она прикоснулась к шару, в дальнейшем отталкивается от него?



В одной из своих статей физик Корнфельд, давший объяснение процесса электризации трением, писал: «Для эксперимента были взяты образцы рубина ... Измерения показали, что электризация пары рубин – рубин не отличается ни по своим закономерностям, ни по порядку величины от электризации, наблюдавшейся для пар неодинаковых веществ». Почему трение двух внешне одинаковых образцов рубина приводит к их электризации, то есть к появлению положительного заряда на одном образце и к появлению отрицательного заряда на другом образце?

Литература

1. Корнфельд М. И. Что такое электризация трением? // ФТТ. – 1969. – Т. 11, № 6. – С. 1611–1616.
2. Ашкинази Л. А. Что же такое электризация трением? // Квант. – 1985, № 6. – С. 16–19.
3. Гильберт, Вильям. О магните, магнитных телах и о большом магните – Земле : Новая физиология, доказанная множеством аргументов и опытов / [Предисл. Э. Райта]; пер. с латин. А. И. Доватура; ред., статья и коммент. А. Г. Калашникова. – М. : Изд-во Акад. Наук СССР, 1956. – С. 78–97.
4. Лакур, Пауль (1832–1891). Историческая физика / П. Лакур и Я. Аппель; Пер. с нем. под ред. «Вестн. опыт. физики и элементар. математики» : В 2 т. – Одесса : Mathesis, 1908. – С. 219–274.
5. Розенбергер, Фердинанд (1845–1899). История физики / Ф. Розенбергер ; пер. с нем. под ред. И. Сеченова, вновь проверенный и перераб. В. С. Гохманом. – М.; Л. : Гос. техн.-теоретич. изд., 1934–1936. – С. 283–333.

ОТ ЛЯГУШАЧЬЕЙ ЛАПКИ ДО АККУМУЛЯТОРА

В настоящее время мы не представляем свою жизнь без использования различных электронных устройств – смартфонов, планшетов, музыкальных плееров, цифровых фотоаппаратов, игровых приставок и многого другого. Работоспособность же этих устройств в автономном режиме невозможна без компактных источников электрической энергии – аккумуляторов и гальванических элементов.

Долгая история появления постоянных источников электрической энергии берёт своё начало с опытов итальянского врача, анатома и физика Луиджи Гальвани (1737 – 1798). Он в частности обнаружил, что если препарированную лягушку положить на серебряную пластину и прикоснуться к нерву лягушки стальным скальпелем, то всякий раз при прикосновении мышцы мёртвой лягушки сокращаются. Профессор Гальвани был достаточно наблюдательным экспериментатором, чтобы заметить одно обстоятельство: сокращение мышц лягушки особенно сильно тогда, когда нерв и мышца замыкаются парой *разнородных* металлов.

В «Трактате о силах электричества при мышечном движении» в 1791 году Луиджи Гальвани писал: «То же самое я постоянно наблюдал при употреблении других металлов, в других местах, в другие часы и дни и всё с тем же результатом, если не считать, что сокращения были различны сообразно различию металлов. ... После этого я немедленно решил поставить опыты над другими телами, которые в сухом состоянии мало или совсем не проводят электричество, именно из стекла, смолы, резины, камня, дерева. Однако ничего подобного не получилось. ... Мы решили ... образовать цепь не соединением рук, но через посредство какого-либо тела, в одном случае не проводящего, именно стеклянной палочки, а в другом случае – проводящего, именно металлической палочки. Проделав опыт, мы не без удовольствия увидели, что феномен удаётся при применении металлической палочки, а при применении стеклянной – совершенно прекращается (рис. 24)».



Рис. 24. Опыты Гальвани

Трактат Гальвани вызвал большой интерес. Привлёк он внимание и итальянского профессора физики Алессандро Вольта (1745–1827), к тому времени уже известного своими работами по исследованию электрических явлений и своими изобретениями в области электричества. Вольта приходит к выводу, что дело совсем не в лягушке, а именно в двух разнородных металлах, соприкасающихся с ней и замыкающих цепь.

В доказательство Вольта описывает следующий опыт: «К кончику языка прикладывается оловянная или свинцовая пластинка, чистая и блестящая, а на середину самого языка кладётся золотая или серебряная монета, серебряный шпатель или ложка, затем оловянная или свинцовая пластинка, в которую упирается кончик вашего языка, приводится в соприкосновение с ручкой этой ложки, или шпателя, или же с монетой. При таком только методе ... вы почувствуете ... кислотавый вкус на языке. ... Весьма примечательно, что этот вкус продолжает ощущаться всё время ... пока эти два металла, олово и серебро ... соприкасаются друг с другом, составляя некоторую проводящую дугу. Это доказывает, что переход электрического флюида с одного места на другое совершается постоянно и непрерывно¹». Тем самым Вольта старался доказать, что лягушка, как и язык экспериментатора – это только своеобразный индикатор течения электричества, а главную роль играет пара разнородных металлов.

В следующих опытах Алессандро Вольта между двумя разнородными металлами помещает не лапку лягушки или язык экспериментатора, а просто смоченный в жидкости кусочек картона и показывает, что такая система образует источник непрерывающегося движения электричества. При этом, отдавая должное тому, кто дал толчок его собственным исследованиям, Вольта называет явление гальваническим. В 1800 году он публикует сообщение о простом и компактном устройстве, состоящем из последовательно соединённых гальванических элементов, которое современники назвали «вольтовым столбом». Устройство это состояло из поставленных друг на друга цинковых и медных кружков, разделённых смоченными в растворе серной кислоты картонными кружками (рис. 25, а, б). Ввиду простоты их изготовления вольтовы столбы вскоре появились во всех физических лабораториях и ими пользовались до начала XX века.



Рис. 25

а – устройство вольтова столба;

б – банкнота в 10 000 итальянских лир с портретом Алессандро Вольта и изображением вольтова столба. (Итальянская лира – денежная единица, имевшая хождение в Италии, Сан-Марино и Ватикане до введения евро в 2002 году.)

¹ «Переход электрического флюида с одного места на другое» – в современной научной терминологии – электрический ток (направленное движение заряженных частиц).

Значение этого открытия было очень велико. Как сказал современник Алессандро Вольта знаменитый французский физик и астроном Доминик Франсуа Жан Араго, вольтов столб стал «самым замечательным прибором, когда-либо изобретённым людьми, не исключая телескопа и паровой машины». Можно сказать, что с изобретением источника постоянного тока началась новая эра в исследовании электричества. Многочисленные эксперименты с вольтовым столбом, проводившиеся учёными разных стран, привели уже в течение первых десятилетий XIX века к открытию химических, тепловых, световых и магнитных действий электрического тока. В результате, возникла новая отрасли науки и промышленности – электротехника.

Рассмотрим в общих чертах, какие физические и химические процессы происходят в элементе Вольта, который состоит их цинковых и медных пластин, погружённых в раствор серной кислоты (рис. 26).

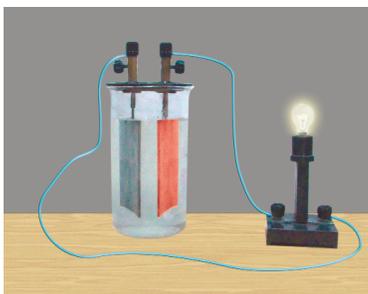
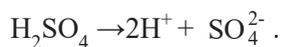


Рис. 26

Заметим, что медь и цинк состоят не из нейтральных атомов, а из положительных ионов соответствующего металла и электронов, отделившихся от атома, которые могут перемещаться по всему объёму металла. Следует иметь в виду, что и раствор кислоты состоит не из нейтральных молекул воды (H_2O) и серной кислоты (H_2SO_4). Значительная часть молекул кислоты в воде разделена на три иона – два положительно заряженных иона водорода и отрицательно заряженный ион кислотного остатка с двойным зарядом:



Посмотрим, что происходит, когда в такой раствор погружают цинковый и медный электроды (рис. 27). Начнём с цинка.

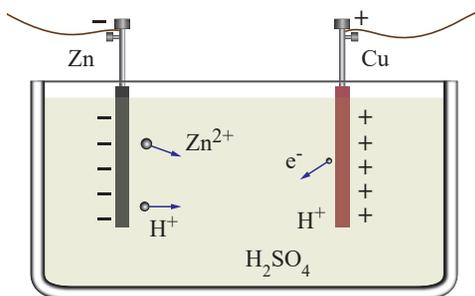


Рис. 27

При погружении цинка в раствор кислоты происходит химическая реакция, в результате которой ионы цинка Zn^{2+} отрываются от электрода и переходят в раствор. При этом на электроде оказывается избыток электронов e^- , и цинковый электрод становится отрицательно заряженным.

Дополнительные положительные ионы цинка Zn^{2+} оттесняют часть положительных ионов водорода H^+ к медному электроду. На этом электроде также происходят химические реакции, но другого рода. В отличие от цинка, медь почти не растворяется в кислоте, то есть не посылает в раствор своих ионов. Наоборот, положительно заряженные ионы водорода H^+ из раствора, попадая на медный электрод, отбирают у него электроны и нейтрализуются. Медь, «потеряв» электроны, становится положительно заряженной.

Таким образом, за счёт протекающих химических реакций, медный электрод в элементе Вольта образует положительный полюс, цинковый электрод – отрицательный полюс. Если подключить к электродам элемента вольтметр, то он покажет значение напряжения приблизительно 1,1 В. (Напомним, что единица измерения напряжения названа в честь Алессандро Вольта.)

Посмотрим, что произойдёт, если электроды соединить металлическим проводником. Свободные электроны во внешней цепи (в проводнике) начнут двигаться от цинка, где они имеются в избытке, к меди, где их недостаёт. Это означает, что во внешней цепи возникает электрический ток.

А что в самом элементе Вольта? На цинковом электроде продолжается уход ионов цинка Zn^{2+} в раствор, и тем самым поддерживается отрицательный заряд электрода. А из-за прихода электронов на медный электрод большее число положительных ионов водорода сможет нейтрализоваться на этом электроде. Этим поддерживается положительный заряд меди. Так в замкнутой цепи осуществляется процесс перемещения электрических зарядов, то есть электрический ток.

За счёт энергии, выделяющейся при химических реакциях между электродами и раствором кислоты, совершается работа по перемещению зарядов по замкнутой цепи, проявляющаяся, в частности, в нагреве проводников. Таким образом, источник тока (не совсем удачное название) в действительности есть источник энергии.

В других элементах используют другие пары металлов, происходят другие химические процессы, но роль их всегда такая же, как в рассмотренном нами элементе Вольта – за счёт энергии химических реакций поддерживать круговорот электрических зарядов в замкнутой цепи, с тем, чтобы совершалась работа на внешнем участке цепи.

В настоящее время разработано множество различных видов химических источников электрической энергии, которые, как правило, подразделяют на *батареи* и *аккумуляторы*. Батареи – это элементы, в которых входящие в их состав химические компоненты расходуются в процессе их работы при необратимых химических реакциях. Аккумуляторы – это элементы, в которых химические реакции могут быть «прокручены» в обратном направлении за счёт другого источника электрической энергии. В аккумуляторе может быть вновь накоплена химическая энергия, и он после этого может быть опять использован как источник тока.

Изобретатели и инженеры-электротехники ведут непрерывную работу по усовершенствованию современных гальванических источников, ведущих

свою родословную от элемента Вольта, стремясь улучшить их характеристики: величину запаса химической энергии, которая может быть преобразована в электрическую энергию, надёжность, безопасность и простоту изготовления элементов. Так что история, начавшаяся с подёргивания лягушачьей лапки под скальпелем Луиджи Гальвани, продолжается.



Одной их характеристик, указываемых на автомобильном аккумуляторе, является его ёмкость. Выясните, что характеризует эта величина.

Литература

1. Белкин И. Спор о лягушке // Квант. – 1978. – № 2. С. 40–45.
2. Гальвани, Луиджи (1737–1798). Избранные работы о животном электричестве / Л. Гальвани и А. Вольта; Пер., биограф. очерк и прим. проф. Е. Э. Гольденберга. – М.; Л. : Биомедгиз, 1937. – 430 с.
3. Кикоин А. Первый источник электрического тока // Квант. – 1992. – № 1. – С. 35–36.

ФИЗИКА ПОМОГАЕТ АРХЕОЛОГАМ

Многие археологические исследования начинаются с поисково-разведочных работ в местах предполагаемого расположения памятников. Поиски и разведка бывают связаны с раскопками, часто довольно глубокими. Культурные и почвенные слои постоянно растут, и следы былой жизни и деятельности людей уходят всё глубже. Все неоткрытые ещё памятники погребены под солидными пластами земли.

Следует также подчеркнуть, что при археологических раскопках, как правило, применяется ручной труд. Поэтому надо свести его объём к минимуму. Точное определение местонахождения археологических объектов, гарантирующее наименьший объём раскопок, может быть осуществлено за счёт применения методов электроразведки.

Методы электроразведки применяют в археологии с середины прошлого века. С одной стороны, благодаря использованию этих методов удаётся составить планы нераскопанных археологических памятников площадью в десятки и сотни квадратных метров. С другой стороны, благодаря высокой чувствительности применяемых физических приборов археологам удаётся обнаружить очень маленькие предметы, иногда массой в несколько граммов.

В качестве примера рассмотрим, как был составлен план огромного стадиона в бывшем Карфагене.

Период с 264 до 146 годов до нашей эры был временем яростной схватки Рима и Карфагена за экономическое господство в Западном Средиземноморье (рис. 28).



Рис. 28. Рим и Карфаген

Первоначально военные действия шли с переменным успехом, и победу праздновал то один, то другой участник боевых столкновений, но в результате окончательная победа осталась за Римом. В 146 году до нашей эры Карфаген был захвачен римлянами, из 700 тысяч его обитателей в живых осталось лишь 50 тысяч, которые были проданы в рабство, а сам город был полностью разрушен (рис. 29).



Рис. 29. Разрушение Карфагена. Гравюра XVI века

Ненависть римлян к Карфагену была так велика, что после того, как город сравняли с землёй, его территория была перепахана, а руководивший осадой Карфагена римский полководец Сципион Младший, прозванный Африканским, объявил, что всякий, кто поселится на месте бывшего Карфагена, будет проклят.

Однако район Карфагена пустовал недолго. На севере Африки образовалась римская провинция, её центром стал новый Карфаген, построенный римлянами. За сто с лишним лет, к началу новой эры, римский Карфаген превратился в большой и процветающий город. Был построен акведук длиной около 130 км, часть этого сооружения с арками высотой более 20 м сохранилась до наших дней (рис. 30).



Рис. 30. Карфагенский акведук

Был возведён огромный театр, скопированный со знаменитого римского Колизея, он вмещал несколько десятков тысяч зрителей.

Ещё одной достопримечательностью римского Карфагена являлся стадион. В те времена его называли цирком, но арена здесь была не круглой, а сильно вытянутой. Может быть, правильнее называть это сооружение ипподромом, так как именно конские скачки сделали карфагенский цирк знаменитым. Скачки на колесницах были необычайно популярны в римском Карфагене, тому есть немало свидетельств. Скачки изображены на найденных при раскопках больших мозаичных панно, украшавших когда-то богатые дома в Карфагене. Обнаружены таблички, на которых увековечены сетования лиц, сделавших ставки на проигравших лошадей и потерявших значительные суммы денег.

С середины III в. римский Карфаген постепенно приходит в упадок. В начале V в. в Северную Африку вторглись варвары, которые захватили город. Впоследствии Карфагеном владела Византия, а позднее – арабы. Сейчас на месте Карфагена находится Тунис, столица одноимённого государства. Значительная часть древнего Карфагена расположена в столичных пригородах. Развалины стадиона скрыты под мощным слоем земли на окраине Туниса. На поверхности почти ничего от него не осталось.

В 80-х годах прошлого века по инициативе ЮНЕСКО¹ было проведено изучение 320 тыс. кв. м. в пригородной зоне Туниса. Примерно две трети этой площади приходилось на территорию, которую в прошлом занимал стадион. Именно здесь и были получены самые интересные результаты при использовании метода электроразведки. С помощью этого метода можно уверенно выявлять различие в электрическом сопротивлении находящегося под землёй каменного материала и той среды, в которой залегают остатки стен и фундаментов. Сопротивление глинистой почвы, характерной для окраин Туниса, намного меньше сопротивления строительного камня, это сразу отметили электроразведочные приборы.

Чтобы измерить электрическое сопротивление грунтов, почв или горных пород, по ним пропускают ток, используя батарею (рис. 31). Питающие электроды *A* и *B* представляют собой прочные металлические стержни, забиваемые в землю на глубину около полуметра. К верхней части стержней присоединяют провода от источника тока. На линии, соединяющей точки *A* и *B*, располагают приёмные электроды *M* и *N*. Ток от питающего электрода *B* распространяется в исследуемой среде и направляется к электроду *A*. Амперметр, включённый в цепь питающих электродов, измеряет силу тока *I*. Вольтметр, включённый в цепь электродов *MN*, измеряет напряжение *U* на этом участке электрической цепи.

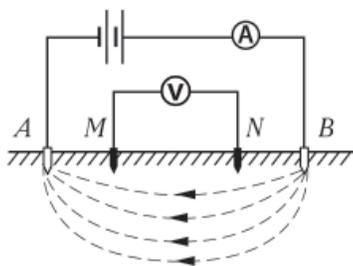


Рис. 31. Схема измерения электрического сопротивления грунта.

A – амперметр; *V* – вольтметр; *A* и *B* – питающие электроды; *M* и *N* – приёмные электроды.

¹ ЮНЕСКО – специализированное учреждение Организации Объединённых Наций по вопросам образования, науки и культуры.

Пусть, например, проводник имеет длину l , площадь поперечного сечения s , а удельное сопротивление металла, из которого изготовлен проводник, составляет ρ . Тогда электрическое сопротивление проводника R равно

$$R = \rho \frac{l}{s}.$$

Отсюда

$$\rho = R \frac{s}{l}. \quad (1)$$

Если проводник включён в электрическую цепь и сила тока в проводнике равна I при напряжении U на концах проводника, то сопротивление проводника R можно рассчитать, используя закон Ома:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (2)$$

С учётом соотношения (2) выражение (1) можно записать в виде

$$\rho = \frac{s}{l} \cdot \frac{U}{I}.$$

Аналогичным образом при электроразведке, измерив силу тока и напряжение между электродами, можно рассчитать удельное сопротивление почвы или породы между электродами.

После того, как получено значение удельного сопротивления ρ на данной точке, всю установку передвигают и измеряют удельное сопротивление на соседнем участке. При этом перемещаются по заранее намеченному прямолинейному пути, что позволяет получить набор значений удельного сопротивления (как говорят, получить профиль удельного сопротивления ρ). Вот почему рассмотренный метод электроразведки и называется методом электропрофилеирования.

Если под исследуемым участком поверхности залегает остаток каменной стены, то измеряемое удельное сопротивление резко возрастёт по сравнению с удельным сопротивлением почвы. Исследователи провели в общей сложности 15 000 измерений величины удельного сопротивления и проложили через территорию над стадионом ряд профилей, проходивших в разных направлениях. В качестве примера на рисунке 32 представлены результаты измерения удельного сопротивления ρ по профилю, пересекавшему остатки стен, поддерживающих трибуны стадиона. Здесь на участке протяжённостью более 50 м обнаружено восемь шедших параллельно друг другу мощных стен – поперечные стены под трибунами.

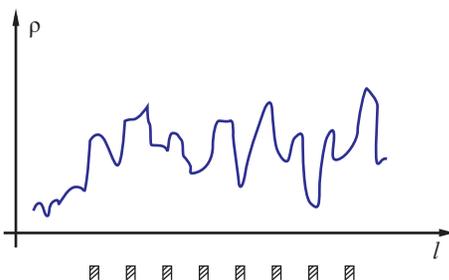


Рис. 32. Профиль значений удельного сопротивления ρ над остатками стен, поддерживавших трибуны стадиона в Карфагене

На основе карты распределения электрического сопротивления был составлен план всего древнеримского спортивного комплекса. На плане было указано расположение всех находящихся под слоем земли толщиной от 1 до 3 м остатков элементов конструкции стадиона с погрешностью определения их местонахождения, не превышающей одного метра. Удалось точно определить габариты стадиона: его полная длина составляла 550 м, а ширина – 148 м. Удалось оценить вместимость стадиона; оказалось, что число мест для зрителей на стадионе составляло не менее 130 000!

Если вспомнить, что, например, Большая спортивная арена олимпийского комплекса «Лужники» вмещает 81 000 человек, а самый большой во всём мире стадион в столице Северной Кореи Пхеньяне рассчитан на 150 000 человек, то не могут не поражать масштабы стадиона древнего Карфагена.

Помимо методов электроразведки в археологии используется целый ряд других физических методов – аэрофотосъёмка с применением беспилотных летательных аппаратов, проведение магнитных измерений (магниторазведка), измерение скорости распространения упругих колебаний в грунте и так далее. Это позволяет выявить «аномалии» физических характеристик на исследуемой территории, а применение компьютерных методов обработки полученных результатов позволяет оперативно выделить области возможного местонахождения археологических объектов. В некоторых случаях даже удаётся построить план древнего городища, определить, как были расположены его защитные сооружения – рвы и валы – без проведения раскопок.

Литература

1. Ваганов П. А. Физики дописывают историю / под ред. Я. А. Шера. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. – С. 14–21.
2. Мартынов А. И., Шер Я. А. Методы археологического исследования: учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – С. 20–49.

КАК ФИЗИКИ УДЛИНИЛИ ДЕНЬ И УКРОТИЛИ НОЧЬ

После изобретения в 1800 году итальянским физиком Алессандро Вольта гальванического элемента – вольтова столба – было обнаружено, что ток, проходя по проводнику, нагревает его. Если тонкой тугоплавкой проволокой (например, из вольфрама) замкнуть полюса мощной гальванической батареи, то проволока может быть нагрета до такой высокой температуры, что будет источником не только тепла, но и видимого света (рис. 33).



Рис. 33. Нагретая током спираль лампы – искусственный источник света

Ещё один способ «извлечь свет из электричества» – это использование электрической дуги.

При замыкании электрической цепи с помощью двух угольных стержней из-за значительного сопротивления в точке их контакта выделяется такое количество теплоты, что концы угольных стержней раскаляются. При этом происходит термоэлектронная эмиссия – «испарение» электронов из «горячей области». Если угольные стержни теперь раздвинуть, то в воздушном зазоре возникает электрическая дуга (рис. 34).

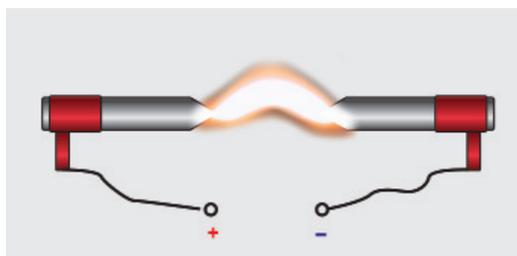


Рис. 34. Электрическая дуга между двумя угольными стержнями при напряжении 50–60 В

Впервые электрическая дуга была получена русским физиком Василием Владимировичем Петровым (1761–1834), академиком Петербургской академии наук. В своём труде «Известие о гальвани-вольтовых опытах» он описывает эксперименты 1802 года: «Если на стеклянную плитку будут положены два или три древесных угля ... и если потом металлическими направлятелями, сообщёнными с обоими полюсами огромной батареи, приближать оные один к другому ..., то является между ними весьма яркий белого цвета свет или пламя, от которого ... тёмный покой довольно ясно освещён быть может».

Таким образом, у энтузиастов создания электрического освещения было две принципиально различные возможности для его практической реализации – или конструирование устройств по принципу электрической дуги, или использование эффекта накаливания проводника при протекании по нему тока.

Решению задачи создания системы электрического освещения способствовало и изобретение во второй половине XIX века динамо-машины – устройства, в котором механическая энергия преобразовывалась в электрическую энергию (рис. 35). Динамо-машины – значительно более мощные источники электроэнергии, чем гальванические элементы, и они нашли самое широкое применение в промышленности.

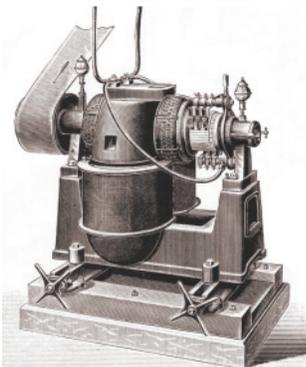


Рис. 35. Первая динамо-машина постоянного тока (генератор постоянного тока) Эрнста Вернера фон Сименса (1816–1892) – известного немецкого инженера, изобретателя



Александр Николаевич Лодыгин (1847–1923) – русский электротехник, один из изобретателей лампы накаливания

Первый заметный успех в деле разработки электрического освещения связан с именем российского изобретателя **Александра Николаевича Лодыгина**.

В 1872 г. он публикует работу «Теорию дешёвого электрического освещения», в которой пишет: «Изобретённое мною дешёвое электрическое освещение имеет своим основанием свойства тел нагреваться и накаливаться под влиянием сильного электрического тока». Основная проблема при этом заключалась в том, что на воздухе раскалённый проводник, реагируя с кислородом, очень быстро сторал, и лампа накаливания выходила из строя. Лодыгин предложил помещать проводник с током в стеклянный баллон, наполненный инертными газа-

ми, с которыми проводник «не реагирует, нисколько не сгорает, между тем он даёт свет, не сопровождающийся химическими реакциями». Либо помещать проводник с током в стеклянный баллон, в котором создан вакуум (откачан воздух). В 1874 году Лодыгин получил патент на изобретенную им лампу накаливания. Первоначально в качестве источника света в лампе накаливания Лодыгина использовался угольный стерженёк, накаливаемый электрическим током (рис. 36).



Рис. 36. Лампа накаливания Лодыгина 1874 года. Отличительной особенностью является накаливание угольного стерженька в герметически закрытом баллоне. Лампа демонстрировалась на Парижской международной электротехнической выставке 1881 года, на Первой и Второй электротехнических выставках в Санкт-Петербурге в 1880 и 1882 годах

В 1894 году Лодыгин получает патент на лампы накаливания с нитью накаливания из тугоплавких металлов. Он первым предложил применять в лампах вольфрамовые нити (в настоящее время в электрических лампах накаливания применяют нить накаливания именно из вольфрама) и закручивать нить в форме спирали. Лампы Лодыгина с вольфрамовой нитью накаливания демонстрировались на Всемирной выставке в Париже в 1900 году.

Александр Николаевич Лодыгин был близок к революционерам-народникам. Когда в 1884 году начались массовые аресты революционеров, в том числе знакомых и друзей Лодыгина, он уехал за границу. В течение 23 лет Лодыгин работает во Франции и США, создавая новые типы ламп накаливания, изобретая и строя электропечи и электромобили. Только в 1907 году шестидесятилетний Лодыгин смог вернуться в Россию, где работал и занимался изобретательской деятельностью до 1917 года, а затем его семья и он были вынуждены переехать в Америку.

Второй заметный успех электрического освещения связан с именем **Павла Николаевича Яблочкова** – русского электротехника, военного инженера, изобретателя и предпринимателя. Яблочков, узнав об опытах Лодыгина по освещению улиц электрическими лампами накаливания, решил заняться усовершенствованием дуговых ламп. Дуговые лампы до Яблочкова – это два угольных стерж-



Павел Николаевич Яблочков (1847–1894) известен разработкой дуговой лампы (вошедшей в историю техники под названием «свеча Яблочкова»)

ня, направленных навстречу друг другу, между которыми при прохождении тока вспыхивала дуга. С течением времени стержни сгорали, отдаляясь друг от друга, дуга слабела, и требовались специальные регуляторы для сближения стержней.

Свеча же Яблочкова – два стержня, параллельных друг другу, между которыми проложен каолин (глина), являющийся изоляцией (рис. 37). Горели угли в парах каолина.

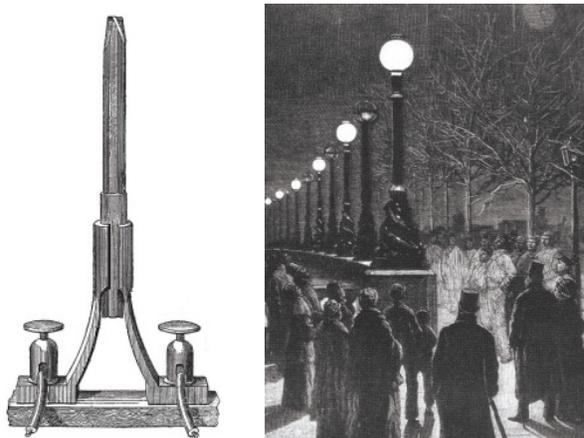


Рис. 37. Свеча Яблочкова (слева)
и освещение набережной реки Темзы (Лондон), 1878 год (справа)

В 1876 году в Лондоне на выставке точных и физических приборов свеча имела огромный успех, на Всемирной выставке 1878 года в Париже свеча Яблочкова стала сенсацией. Улицы, магазины, театры Парижа, Лондона и других городов освещал этот «русский свет» (*la lumiere russe* – русский свет – так лампы Яблочкова называли французы). Павел Николаевич Яблочков, работавший в то время в Париже, писал: «Из Парижа электрическое освещение распространилось по всему свету, дойдя до дворца шаха персидского и короля Камбоджи».

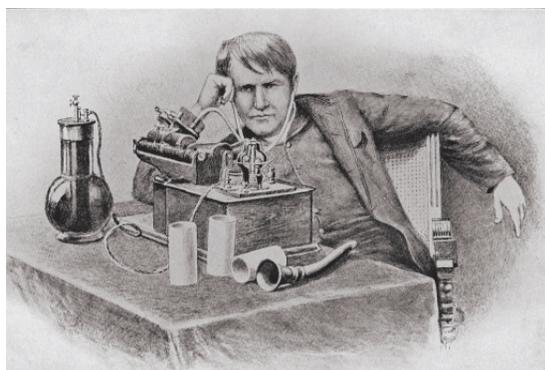
Когда Яблочков изобрёл дуговую лампу, он первым делом хотел найти ей применение в России. Но никто из русских промышленников не оказал ему поддержки, и изобретатель был вынужден добиваться признания за границей. Во Франции Павел Николаевич Яблочков становится знаменитым и богатым человеком. Но заграничная слава и финансовое благополучие были не тем, к чему стремился русский изобретатель. Выкупил у французской компании, которая финансировала его работы, право применять своё изобретение в родной стране, Яблочков отправился в Россию. Изобретатель думал, что после европейского успеха он сможет развернуть широкий фронт работ по развитию электрического освещения в России, но он ошибся. Уровень развития электротехники в тогдашней России был таков, что дуговые лампы здесь так и не получили значительного распространения. К тому же через несколько лет лампы накаливания, ставшие серьёзным конкурентом дуговых ламп, вытеснили систему электрического освещения на основе свечей Яблочкова.

При этом следует отметить, что усилия многих изобретателей из целого ряда стран в работе над усовершенствованием лампы накаливания, повышением её

надежности были в большой степени обусловлены грандиозным успехом электрического освещения дуговыми лампами¹.

После первой Международной электротехнической выставки и первого Международного конгресса электриков, проходившего в 1881 году в Париже, Павел Николаевич Яблочков полностью переключился на работы в области создания мощных и экономически выгодных химических источников тока. В ходе этих работ в малоисследованной в то время области электроэнергетики, изобретателю порой приходилось рисковать не только здоровьем, получая химические отравления парами хлора, но и в прямом смысле жизнью, когда в его лаборатории в 1884 году произошёл мощный взрыв экспериментальной батареи. Вероятно, это сократило жизненный путь Павла Николаевича Яблочкова, которого не стало в возрасте 47 лет.

Решающий шаг к внедрению современного электрического освещения был сделан знаменитым американским изобретателем Томасом Алва Эдисоном.



Томас Алва Эдисон (1847–1931).

Американский изобретатель и предприниматель, получивший в США более 1000 патентов и около 3000 патентов в других странах мира

Сила Эдисона как изобретателя состояла в созданной им совершенно новой системе научно-экспериментальной работы. Он организовал изобретательскую работу по принципу крупных предприятий и был не только гениальным техником-изобретателем, но и пионером промышленной организации научно-экспериментальной работы.

Проблемой электрического освещения Эдисон заинтересовался в 1878 году (после работ Лодыгина и Яблочкова), направив всю свою энергию на создание не только лампы накаливания, но и всех элементов системы электрического освещения и использования электрической энергии

После многочисленных упорных опытов в октябре 1879 года Эдисон изготовил лампочку с обугленной хлопчатобумажной нитью (в виде подковы), помещенной в стеклянный баллон, из которого был тщательно выкачан воздух. Так родилась электрическая лампа накаливания с угольной нитью, одно из крупнейших изобретений XIX века. Однако потребовалось ещё около тринадцати

¹ Долгое время считалось, что лампы Яблочкова – тупиковая ветвь эволюции в области электрического освещения. Однако в наше время яркость дуговых ламп оценили автомобильные компании. Ксеноновые лампы в фарах современных автомобилей, – это в некотором роде «правнуки» свечи Яблочкова.

месяцев упорной работы, чтобы достигнуть результатов, имеющих практическое значение. Все эти долгие месяцы Эдисон и его помощники работали с огромным напряжением. Надежды сменялись разочарованием. Работа кипела и днем и ночью.

При этом Эдисон умело рекламировал результаты своей работы. 21 декабря 1879 года на первой странице газеты «Нью-Йорк Геральд» появилась большая статья: «Триумф великого изобретателя в области электрического освещения». Газета излагала краткую историю электрического освещения, говорила о работах других лабораторий, ближайших предшественников Эдисона, в том числе Яблочкова и Лодыгина, довольно подробно освещала этапы работы Эдисона с вакуумной лампочкой – сначала с платиновой, а потом с угольной нитью, описывала процесс получения последней и подробно рассказывала о «блестящих результатах» и «великом открытии». В газете сообщалось, что «первая публичная демонстрация долго ожидаемого электрического света Эдисона... должна состояться под Новый год в Менло-Парке¹, причём последний будет освещён этим новым светом... Ученые и весь цивилизованный мир с нетерпением ожидают результатов этого вечера». Ровно через десять дней, в канун Нового года, состоялась демонстрация нового освещения в Менло-Парке. Из Нью-Йорка были направлены специальные поезда. Около трёх тысяч человек, в том числе много видных общественных деятелей, поспешили в этот день в Менло, чтобы увидеть «странный яркий свет лампочек, подвешенных на проводе, протянутом между деревьями». Семьсот лампочек освещали в этот вечер Менло-Парк. В последующие дни газеты были полны сообщениями о событии в Менло-Парке. Триумф Эдисона был общепризнан. Эдисон оборудовал электрическое освещение в нескольких театрах в Нью-Йорке, Массачусетсе и Бостоне. Более того, в одном из нью-йоркских театров он организовал балетное ревю, в котором у каждой балерины на лбу зажигалась электрическая лампочка.

В первый период производства ламп Эдисон сосредоточил своё внимание на исходном материале для получения угольной нити. Оказалось, что наиболее подходящей является бамбуковая нить. Он решает искать лучшие сорта бамбука. В этих поисках сотрудники Эдисона, во многих случаях с риском для здоровья и даже с опасностью для жизни, проникают в Китай и Японию, в Южную Америку, на Кубу, во Флориду – за пальмовыми растениями, на Ямайку – за тростниками, на Цейлон, в Индию и Гвиану. В лаборатории Эдисона было произведено за этот период около шести тысяч обугливания разных сортов бамбука и сахарного тростника. И около десяти примерно лет основным материалом для получения угольной нити оставался японский бамбук.

Электрический свет быстро и широко завоевывал мир. Спустя тридцать лет, в 1910 году, 45 миллионов лампочек было уже в ежедневном употреблении в одних только США.

В связи с дальнейшим развитием электротехники лампочка накаливания Эдисона претерпевает ряд существенных изменений и усовершенствований. Вскоре появились лампочки с накаливаемой нитью из тугоплавкого вольфрама. Лампочки с металлической нитью довольно быстро вытеснили угольные, оставив им лишь отдельные области специального применения. В 1912 году

¹ Менло-Парк – небольшая деревушка неподалёку от Нью-Йорка, куда в 1876 году переселился Эдисон и где располагалась его лаборатория.

появились так называемые «полуваттные» лампочки, наполненные инертным газом (азот, аргон и т. п.). Благодаря наполнению газом получается возможность значительно повысить температуру накала нити и, как следствие, увеличить экономичность лампочки, то есть уменьшить расход электрической энергии на единицу светового потока.

Современная лампа накаливания, построенная на принципе температурного излучения, с калильной нитью из вольфрама, обладает всё же низким коэффициентом превращения лучистой тепловой энергии в световую. По этой причине на смену лампы накаливания пришли светотехнические устройства, в которых использованы иные физические принципы действия – это люминесцентные лампы и светодиоды.

Литература

1. Жукова Л. Н. Лодыгин. – 2-е изд., доп. – М. : Мол. гвардия, 1989. – 301 с. – (Жизнь замечательных людей. Серия биограф. Вып. 632).
2. Капцов, Н. А. Павел Николаевич Яблочков : Его жизнь и деятельность / Н. А. Капцов. – М. : Гостехиздат, 1957. – 96 с. – (Люди русской науки).
3. Русский свет Павла Яблочкова // Наука и жизнь. – 2010. – № 4. – С. 12–15.
4. Лапиров-Скобло, М. Я. Эдисон / под общ. ред. проф. Б. Г. Кузнецова. – М. : Мол. гвардия, 1960. – 255 с. – (Жизнь замечательных людей. Серия биографий. Вып. 15 (305)).

УКРОТИТЕЛЬ МОЛНИИ

Одной из ярких фигур в истории изучения электрических явлений является фигура Бенджамина Франклина (1706–1790) – американского политического деятеля, дипломата, изобретателя, писателя, журналиста, издателя. Благодаря разносторонним талантам Франклина его выдающаяся общественная, литературная и научная деятельность оставила заметный след в истории.

Родом Франклин из малообеспеченной многодетной семьи, его отец был мелким ремесленником в городе Бостоне. Проучившись два года в школе, девятилетний Бенджамин вынужден был зарабатывать на жизнь собственным трудом. Сначала он помогал отцу, а затем работал в типографии у одного из своих братьев. Свободные от работы часы Бенджамин посвящал чтению и самообразованию.

Когда Франклину исполнилось 15 лет, его брат начал издавать газету – одно из первых периодических изданий в Америке. В этой газете были опубликованы первые статьи Бенджамина, сделавшие имя юного интеллектуала известным в среде местной интеллигенции. Это вызвало неудовольствие его брата-хозяина типографии (обусловленное, наверное, чувством зависти). Бенджамин был вынужден расторгнуть контракт и перебраться в поисках работы в другой город – в Филадельфию (с этим городом в дальнейшем и будет связана практически вся жизнь Франклина).

В Филадельфии со временем он приобретает репутацию квалифицированного печатника, открывает собственную типографию, выпускает газету. Почти три десятка лет издаёт периодический альманах-календарь, сделавший имя его издателя популярным по всей Америке. По инициативе Франклина в 1731 году была создана первая в Филадельфии библиотека, в 1744 году – Философское общество, ставшее центром развития научной мысли Америки, был открыт один из первых в Америке университетов. Авторитет Франклина продолжает расти, он принимает самое активное участие в общественной жизни города. Английское правительство передаёт в ведение Франклина все почты британских колоний в Америке, и он более двух десятилетий исполняет обязанности генерал-почтмейстера¹.

В 1757 году Франклин отправляется в Англию в качестве представителя английских колоний в Америке. Там он проводит пятнадцать лет, отстаивая права и интересы соотечественников. В этот период отношения между Англией и ко-

¹ Напомним, что тринадцать провинций Северной Америки являлись в то время колониями Великобритании и только в дальнейшем образовали самостоятельное государство после войны за независимость в 1775–1783 годах.

лониями обостряются, и в 1775 году переходят в открытые военные столкновения.

Франклин, вернувшийся к тому времени в Америку, принимает участие в работе комитета по составлению Декларации независимости (1776 год), положившей начало независимому существованию Соединённых Штатов. Принимает участие в выработке американской конституции. Вооружённая борьба, разгоревшаяся между восставшими колониями и Англией, оказалась для американцев неравной. В это тяжёлое время неоценимую услугу оказал своему молодому отечеству Франклин. Он был послан послом во Францию и, несмотря на свой солидный возраст, успешно выполнил эту дипломатическую миссию, склонив Францию на сторону американцев. В этом немалую роль сыграли личные качества Франклина и его необыкновенная популярность. В итоге во Франции был подписан мирный договор (рис. 38). Согласно договору «Великобритания признавала Тринадцать колоний в качестве суверенных и независимых государств (штатов) и отказывалась от каких-либо претензий на управление ими, их территорию и собственность».



Рис. 38. «Парижский мир». Групповой портрет работы англо-американского художника Уэста (1738–1820). В центре картины – Бенджамин Франклин. Члены британской делегации отказались позировать художнику, и портрет остался неоконченным

Общественная деятельность, многочисленные таланты и заслуги Бенджамина Франклина получили самую высокую оценку не только на его родине, но и во всём мире. Не случайно с 1914 года изображение Бенджамина Франклина – одного из отцов-основателей США – размещено на стодолларовой купюре (рис. 39).



Рис. 39. Дизайн стодолларовой купюры образца 2010 года дополнен изображениями чернильницы и пера, которые были использованы для подписания Декларации независимости США

Через всю свою жизнь Франклин пронёс интерес к наукам, и круг его научных интересов был очень широк. Так одна из первых научных работ Франклина была посвящена экономическим вопросам и носила название «Скромное исследование о природе и необходимости бумажных денег». Одновременно он обладал и изобретательским даром – изобретает оригинальный музыкальный инструмент, двойные очки для старческой дальнозоркости, широкое распространение в Америке получила экономичная отопительная печь с подогревом воздуха на входе конструкции Франклина.

Много времени Франклин уделял сбору материалов, относящихся к мало исследованному тогда морскому течению Гольфстриму. Благодаря измерениям скорости, ширины и глубины Гольфстрима, сделанным при непосредственном участии Франклина, сведения об этом течении заметно расширились, и оно с достаточной точностью было нанесено на карты. Он производил измерения теплопроводности различных материалов, изучал явление охлаждения, которым сопровождалось испарение жидкостей.

Наиболее заметный и глубокий след в науке оставили работы Франклина в области электрических явлений. Бенджамин Франклин увлёкся электричеством в сорокалетнем возрасте после посещения им одного из представлений, на котором демонстрировались опыты по электризации трением. «Электрические фокусы» произвели на него столь сильное впечатление, что ему захотелось найти научное объяснение виденных им явлений.

Начав свои опыты с электричеством простым любителем, Франклин сделал вскоре удивительное открытие. В письме в Лондонское королевское общество он писал, что «мы наблюдали ряд представляющихся нам новыми явлений. ... Первое из них заключается в замечательной способности заострённых предметов извлекать и испускать электрический огонь. ... Наэлектризуйте шар. ... Если вы станете подводить острие к шару в темноте, то увидите, иногда при расстоянии между ними в один фут или даже больше, как острие начинает светиться подобно светлячку; чем менее заострён предмет, тем ближе потребуется подвести его, чтобы увидеть свет. ... Чтобы убедиться, что острия способны не только извлекать, но и испускать электрический огонь ... прикрепите иглу к концу подвешенного ружейного ствола или железного прутка с таким расчётом, чтобы она выдавалась вперёд наподобие крохотного штыка; теперь ... наэлектризовать ружейный ствол или пруток ... не удаётся, потому, что электрический огонь будет непрерывно и тихо стекать с конца иглы. В темноте вы сможете наблюдать картину наподобие уже упоминавшейся выше».

Вы, наверное, уже догадались, что Франклин описывает, используя современную научную терминологию, коронный разряд. Когда металлическому проводнику сообщают электрический заряд и проводник имеет острие, то на маленькой площади острия электрические заряды располагаются очень плотно друг к другу. В результате, вокруг острия возникает очень сильное электрическое поле. Это электрическое поле, действуя силой на свободные заряженные частицы (электроны и ионы), имеющиеся в воздухе, разгоняет их до высокой скорости. К каким последствиям это приводит? Во-первых, эти «высокоскоростные» частицы могут произвести ионизацию атомов, с которыми они сталкиваются, то есть могут выбить из атомов электроны. Воздух вокруг острия перестаёт быть изолятором и будет происходить утечка «электрического огня» – электрического заряда. Во-вторых «высокоскоростные» частицы

могут не вызывать ионизацию атома, но при столкновении сообщают ему дополнительно энергию. От этой «избыточной» энергии атом избавляется, излучая свет. По этой причине вокруг заряженного острия возникает свечение.

Стараясь проникнуть в сущность природы электричества, Франклин поставил перед собой сложный вопрос: создаётся ли в действительности электричество трением? Производит ли, например, трение стекла о шёлк электричество «заново» или же фактически оно лишь отбирается при натирании от шёлка и сообщается стеклу? Остроумные опыты, проделанные Франклином для выяснения этого вопроса, убедили его, что электричество заново не создаётся, а переходит с одного тела на другое в процессе натирания. Это утверждение сейчас мы называем законом сохранения электрического заряда. При разработке Бенджамином Франклином теории электричества в науку были введены столь привычные нам теперь обозначения «плюс» и «минус».

Теоретические исследования Франклин неизменно сочетал с практикой, с экспериментом; особенно ярко это обозначилось у Франклина в его работах по изучению природы молнии. Франклин проанализировал все известные в то время сведения о молнии и электрической искре. Они с большой достоверностью свидетельствовали о единой природе этих двух явлений. Но для полного доказательства нужно было найти убедительное экспериментальное подтверждение.

План Франклина был смелым по замыслу и в то же время простым. Он решил запустить воздушный змей к наэлектризованным облакам и отвести молнию к земле. Змей был изготовлен не из бумаги, которая размокла бы во время дождя, а из шёлка и к нему была прикреплена заострённая проволока. «Конец бечёвки, за которую берутся рукой, следует надвязать шёлковой лентой, а в месте соединения бечёвки с лентой нужно привязать ключ. При приближении грозных туч этот змей следует запустить ввысь, причём человек, держащий его за поводок, должен находиться под каким-нибудь навесом, чтобы не намочить шёлковой ленты. ... Как только грозная туча окажется над змеем, заострённая проволока станет извлекать из неё электрический огонь. ... А когда дождь смочит змей вместе с бечевою, сделав их тем самым способными проводить электрический огонь, вы увидите, как ... при помощи полученного таким образом электрического огня можно воспламенить спирт и проводить прочие электрические опыты, которые обычно ставят при помощи натёртого стеклянного шара или трубки. Тем самым будет полностью доказано тождество между электрической субстанцией и субстанцией молнии». Необходимо отметить, что подобные опыты с атмосферным электричеством смертельно опасны (и их ни в коем случае не следует пробовать воспроизвести!). Вся степень опасности этих опытов стала понятна Франклину и другим учёным после трагической гибели профессора Георга Вильгельма Рихмана в Петербурге летом 1753 года во время эксперимента с молнией.

Разгадка природы молнии позволила решить очень важный практический вопрос о защите от молний, удары которых приводили к частым пожарам, разрушениям зданий и другим тяжёлым последствиям. Вот только один пример из книги «Гром и молния» знаменитого физика Доминика Франсуа Жана Араго (1786 – 1853): «Утром, 18 августа 1769 года, гром ударил в башню Св. Назария в Брешиа. Под основанием этой башни находился подземный погреб, в котором хранилось 1 030 000 килограммов пороха, принадлежащего венецианской республике. Эта огромная масса воспламенилась мгновенно. Шестая часть зданий об-



Рис. 40. Примеры грозозащитных устройств

ширного и прекрасного города Брешиа была разрушена. ... Башня Св. Назария была подброшена на воздух и упала обратно на землю в виде каменного дождя».

Бенджамин Франклин предложил в грозозащитном устройстве использовать заострённый металлический проводник, поднятый на некоторую высоту и соединённый с землёй. «Не могут ли сведения об этой силе заострённых предметов принести пользу человечеству в деле спасения домов, храмов, кораблей и т. п. от удара молнии, побудив нас устанавливать на самых высоких местах этих зданий вертикальные железные прутки, заострённые как игла, ... а от их основания опускать вниз проволоку снаружи здания до земли или вдоль одного из вантов корабля по борту до воды? Не отведут ли эти острия электрический огонь из тучи тихо, быть может, ещё до того, как она приблизится на ударное расстояние, и тем самым не спасут ли они нас от самого внезапного и ужасного зла?» – писал Франклин в 1750 году.

Предложенное учёным защитное устройство достаточно быстро распространилось по всему миру, и в наше время небольшой заземлённый металлический стержень венчает почти каждое сооружение, являясь стандартным элементом его конструкции (рис. 40).

Практическая польза такого устройства в наше время не вызывает никаких сомнений, и единственный вопрос заключается в том, какое из наименований устройства наиболее верно отражает физический принцип его действия. Грозозащитное устройство, предложенное Бенджамином Франклином, очень долго называли громотоводом. Затем его стали называть молниеотводом, как в большинстве случаев называют теперь. Но, по большому счёту, ни грозу, ни молнию «отвести» нельзя – они лишь неизбежные следствия электрического грозового разряда. По этой причине, считает ряд физиков, навер-

ное, наиболее правильно называть изобретение Франклина грозоотводом.

Самого же Бенджамина Франклина в полной мере характеризуют слова одного из самых знаменитых ораторов и политических деятелей времён Великой Французской революции графа де Мирабо (1749–791): «Античный мир воздвиг бы алтарь этому смертному, который знал, как покорить и гром, и деспотизм».

Литература

1. Франклин, В. Опыты и наблюдения над электричеством: [К 250-летию со дня рождения]. 1706–1956 / пер. с англ. В. А. Алексеева; ред., статья и коммент. Б. С. Сотина. – М. : Изд-во Акад. Наук СССР, 1956. – 271 с.
2. Васильев А. Франклин – изобретатель громотовода // Квант. – 2001. – № 6. – С. 17, 18.
3. Кикоин А. Гроза и грозоотвод // Квант. – 1991. – № 1. – С. 35–37.

ПРОИЗВОДСТВО АЛЮМИНИЯ

Один из летних месяцев 1889 года знаменитый русский химик Дмитрий Иванович Менделеев провёл в Англии по приглашению сразу двух научных обществ – Британского Королевского института и Лондонского химического общества. В ознаменование двадцатилетия открытия Менделеевым периодического закона ему предложили прочесть лекции, посвящённые истории открытия и перспективам дальнейшего развития периодического закона. Выступления Менделеева прошли с большим успехом, лекции были в кратчайший срок изданы в Англии, Франции, России, а научные заслуги Дмитрия Ивановича Менделеева отметили премией и почётной медалью. Помимо медали, как вспоминал в дальнейшем Менделеев, «Оба лондонских общества выслали мне на память драгоценные вазы из алюминия и золота».

В наше время не могут не удивить слова «драгоценная ваза из алюминия», но в те времена, оказывается, алюминий был очень редким, а значит, и очень дорогим металлом – дороже золота.

Вам, конечно же, известно, что в природе встречаются самородки золота, можно найти и самородное железо, а вот алюминия в свободной металлической форме ввиду высокой химической активности металла нет. По причине высокой химической активности алюминий входит в состав различных химических соединений. В итоге, хотя алюминий и занимает первое место по распространённости среди других металлов, составляя около 8 % земной коры, но долгое время он был не известен химикам. Только в 1825 году знаменитый датский физик, исследователь явлений электромагнетизма Ханс Кристиан Эрстед (1777–1851) в лабораторных условиях смог получить путём проведения химических реакций небольшое количество металлического алюминия.

В 1854 году, французский физикохимик Анри Этьен Сент-Клер Девиль¹ разработал более практичный химический способ получения алюминия, и счёт полученного алюминия пошёл на килограммы. Алюминий стал металлом для производства ювелирных украшений. При французском императорском дворе в то время столовые приборы из алюминия использовались лишь высшими лицами, в то время как менее именитые гости довольствовались золотыми вилками и ложками.

¹ В 1872 году по поручению Международной комиссии мер и весов именно Девиль приготовил сплав платины с 10 % иридия, из которого были изготовлены международные эталоны метра и килограмма.

Через два года тот же Анри Этьен разрабатывает метод получения алюминия путём осуществления электролиза химических соединений, содержащих алюминий. Напомним, что электролиз – это процесс выделения вещества на электродах, погружённых в раствор или расплав электролита, при прохождении электрического тока через электролит. После этого счёт получаемого алюминия пошёл на тонны.

Но настоящий технический прорыв, после которого алюминий был исключён из числа редких драгоценных металлов, произошёл в 1886 году. Был предложен такой метод получения алюминия путём электролиза, который можно было применять в широких промышленных масштабах. Одновременное открытие этого метода, независимо друг от друга, сделали французский инженер-химик Поль-Луи-Туссен Эру и американский инженер-химик Чарльз Мартин Холл. Этот метод по сей день носит имя своих изобретателей.

Электролиз по методу Холла – Эру проводят в стальных электролитических ваннах (электролизёрах), которые внутри выложены графитовыми (угольными) блоками (рис. 41). Графитовые блоки у основания ванны вместе с расплавленным алюминием служат катодом, а аноды представляют собой угольные стержни, которые смонтированы в верхней части ванны.

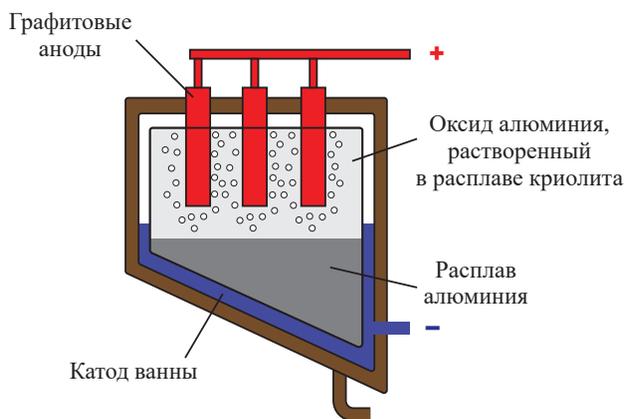


Рис. 41. Схема электролизёра

В первую очередь в ванну загружают криолит (кристаллическое вещество, в состав которого входят натрий, алюминий и фтор). После расплавления криолита теплом, которое выделяется при пропускании электрического тока, в расплав добавляют оксид алюминия. Оксид алюминия растворяется в криолите. Далее под действием электрического тока в расплаве при температуре около 1000 °С происходят химические реакции, приводящие к выделению алюминия на катоде – в нижней части электролитической ванны.

Алюминий – это лёгкий, хорошо обрабатываемый металл, он не подвержен коррозии (на воздухе алюминий мгновенно покрывается прочной оксидной плёнкой, которая препятствует его дальнейшему окислению). Имеет высокую теплопроводность, малое удельное сопротивление, соединения алюминия не ядовиты. Основным недостатком алюминия – малая прочность, но этот недостаток преодолевают тем, что сплавляют алюминий с небольшим количеством меди и магния, получая прочный сплав дюралюминий. Такой удачный набор

качеств превратил алюминий в один из основных металлов авиационной, авиакосмической, электротехнической пищевой промышленности, а также в самый популярный упаковочный материал. В результате производство алюминия в мире растёт воистину семимильными шагами, составляя десятки миллионов тонн в год (рис. 42).

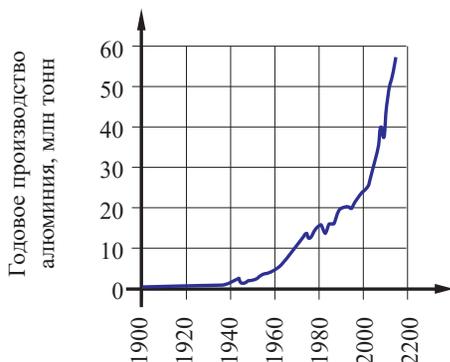


Рис. 42. Рост мирового производства алюминия

При производстве алюминия потребляется большое количество электрической энергии: при напряжении около 5 В сила тока в электролизёре более 170 000 А. В результате, на получение одной тонны алюминия расходуется суммарно до 17 000 кВт·ч электроэнергии. Процесс получения алюминия экономически выгоден только при наличии дешёвой электроэнергии, и потому не случайно Россия занимает лидирующие позиции в мировом производстве алюминия. Гидроэлектростанции, построенные на могучих сибирских реках, снабжают алюминиевые заводы необходимой электроэнергией. Так, например, 70 % электроэнергии, вырабатываемой одной из крупнейших гидроэлектростанций России – Красноярской ГЭС, направляется на расположенный неподалеку алюминиевый завод.

На Красноярском алюминиевом заводе производится до одного миллиона тонн металла в год (рис. 43).



Рис. 43. Электролизёры на Красноярском алюминиевом заводе.

В производственный комплекс завода входят 25 корпусов электролиза (2233 электролизёра)

Завод выпускает разнообразную продукцию. Например, здесь выплавляют самые длинные в мире алюминиевые слитки (рис. 44) и производят алюминий высокой чистоты – 99,996%, который используется в производстве компьютерных жестких дисков, мобильных телефонов и другой электронной техники.

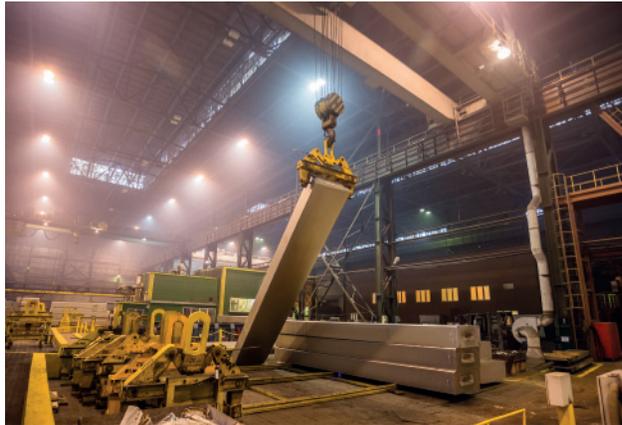


Рис. 44. Слитки алюминиевых сплавов длиной 11,5 м

Литература

1. Трифонов, Д. Н. Два лондонских чтения / 1 сентября. Химия. № 5. 2002.
2. История металлургии [сборник статей]. – М. : Изд-во Академии наук СССР, 1959. – (Труды Института истории естествознания и техники. Акад. наук СССР. т. 20).
3. Беляев, А. И. К столетию со дня рождения Эру и Холла // Изв. высших учебных заведений. Цветная металлургия. – 1963. – № 5.
4. История алюминия // Тр. института истории естествознания и техники. – 1959. – Т. 20.

ГАДКИЙ УТЁНОК» ЭЛЕКТРОНИКИ

У датского писателя Ханса Кристиана Андерсена (1805–1875) есть известная сказка «Гадкий утёнок». В ней рассказывается о том, как в выводке утят появился птенец, который выглядел ужасно и совершенно не был похож на остальных утят. Этому птенцу пришлось испытать немало трудностей. Но когда он повзрослел и научился летать, то оказалось, что гадкий утёнок – это прекрасный молодой лебедь, которого другие лебеди с радостью приняли в свою стаю.

Образно говоря, подобная история произошла и в электронике с веществами, называемыми полупроводниками. Первоначально полупроводники не были особо интересны физикам, электротехникам, инженерам. Но с середины XX века именно полупроводниковые материалы, благодаря своим особым электрическим свойствам, заняли лидирующие позиции в электронике, являясь в наше время основой современных электронных устройств.

Одним из первых, кто обнаружил необычные свойства полупроводников, был великий английский физик Майкл Фарадей (1791–1867). Как известно, сопротивление металлического проводника возрастает при повышении температуры металла. Фарадей же в 1833 году выяснил, что сопротивление сернистого серебра с ростом температуры не повышается, а наоборот понижается; в дальнейшем он обнаружил подобный эффект ещё в ряде материалов.

Работы Фарадея в то время не были подхвачены другими учёными-физиками, и только через несколько десятилетий открыли (причём совершенно случайно) ещё одну особенность электрических свойств полупроводниковых материалов. В 1873 году инженеры-электрики для изоляции подводного телеграфного кабеля решили попробовать использовать химический элемент селен. Селен, будучи расплавленным, а затем быстро охлаждённым, застывает в стекловидную массу с очень большим сопротивлением; эта масса и использовалась в качестве изоляции кабеля. Было обнаружено, что на свету сопротивление селена становится значительно меньше, чем в темноте. Это свойство селена стали использовать в различных приборах, начался поиск других чувствительных к свету материалов, и физики приступили к целенаправленному изучению материалов, которые не были ни металлами, ни изоляторами.

В начале XX века в научный обиход вводится термин «полупроводники»: «Полупроводниками ... будут называться проводники с металлической проводимостью, сопротивление которых очень сильно изменяется с температурой». Интересно отметить, что в современном энциклопедическом словаре «Электроника» приводится сходное определение: «Полупроводники – широ-

кий класс веществ с электронным механизмом электропроводности, занимающим промежуточное положение между металлами и хорошими изоляторами. Характерной особенностью полупроводников, отличающих их от металлов, является возрастание электропроводности с ростом температуры», хотя указание на такую температурную зависимость не исчерпывает, конечно же, всех особенностей полупроводников.

Зависимость сопротивления полупроводников от температуры используется в приборе термисторе (терморезисторе). Термисторы применяют в устройствах автоматической регулировки температуры: бытовая техника (холодильники и морозильные камеры, посудомоечные машины), в автомобильной электронике (контроль температуры масла в двигателе, воздуха в салоне автомобиля). На рисунке 45 в качестве примера показан термистор в источнике питания на плате кондиционера. В источнике питания использован конденсатор, и в начальный момент при зарядке конденсатора сила тока в цепи будет велика. Чтобы уменьшить начальный ток, в цепь конденсатора включают термистор. В «холодном» состоянии сопротивление термистора велико, и сила тока при зарядке конденсатора будет мала (вспомните закон Ома). В процессе зарядки конденсатора при прохождении тока в термисторе выделяется определённое количество теплоты, и его температура повышается. В результате сопротивление термистора уменьшается, и далее он не влияет на работу источника питания.

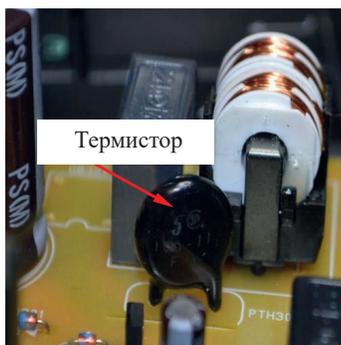


Рис. 45

Зависимость сопротивления полупроводников от их освещённости используется в приборе фоторезисторе. Разные полупроводниковые материалы чувствительны к разным диапазонам излучения – теплового (инфракрасного), видимого, ультрафиолетового, – что позволяет конструировать на основе фоторезисторов различные датчики: датчики пересечения инфракрасного луча для охранной сигнализации, датчики контроля загрязнения воды и запылённости воздуха и так далее. На рисунке 46 в качестве примера показан фоторезистор в схеме, управляющей включением фонарей освещения. При понижении освещённости фоторезистора его сопротивление возрастает, что приводит к уменьшению силы тока в его цепи и, как следствие, к замыканию контактов реле, регулирующего подачу напряжения на фонари освещения.



Рис. 46

Для того чтобы разобраться в причинах особенных электрических свойств полупроводников, необходимо выяснить, каково внутреннее строение типичных полупроводников и чем оно отличается от внутреннего строения «хороших» проводников, например, металлов.

На рисунке 47 схематически изображена кристаллическая решётка меди (Cu). При образовании решётки каждый атом меди лишился одного внешнего электрона, и в результате решётка ионов меди «погружена» в «газ» из свободных электронов, которые не принадлежат никакому конкретному иону меди. Именно наличие свободных электронов делает медь хорошим проводником: под действием внешнего электрического поля, создаваемого гальваническим элементом, в металле возникает направленное движение свободных электронов, то есть электрический ток.

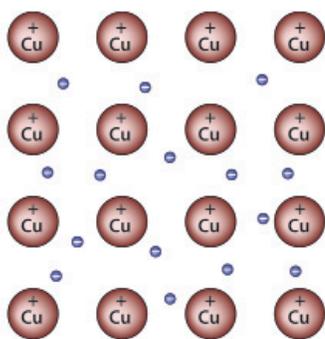


Рис. 47

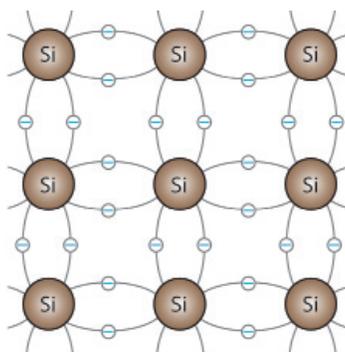


Рис. 48. Кристаллическая решётка кремния

Совершенно иным образом устроена кристаллическая решётка полупроводника, например кремния (Si). Каждый атом кремния имеет на внешней электронной оболочке четыре электрона, которые он использует для связи с соседними атомами (рис. 48).

Если к такому кристаллу кремния приложить внешнее электрическое поле, то возникнет ли электрический ток? Конечно же не возникнет, так как отсутствуют свободные носители заряда, скажете вы, и будете правы, но лишь отчасти. Тепловые колебания решётки могут разорвать отдельные электронные связи и создать в полупроводнике свободные носители заряда. Правда, доля таких «разрушенных» связей при комнатной температуре в полупроводниках

крайне мала. Например, в кремнии будет разорвана только одна электронная связь из десяти тысяч миллиардов связей. Но с ростом температуры доля разорванных связей резко возрастает, возрастает число свободных носителей заряда, что и приводит к уменьшению сопротивления полупроводника.

Ещё одна возможность увеличить число свободных носителей заряда в полупроводнике – это осуществить разрыв электронных связей, освещая полупроводник. Именно таким образом уменьшают сопротивление фоторезистора, направляя на него свет.

Итак, свободные носители заряда возникают в полупроводниках при разрыве электронных связей. При этом в полупроводниках возможно два варианта дальнейшего движения электронов. Во-первых, электрон, покинувший атом и подгоняемый внешним электрическим полем, может перемещаться по кристаллу полупроводника, подобно тому, как это делают свободные электроны в металлах. Такой механизм движения электронов в полупроводнике называют *электронной проводимостью*. Во-вторых, после разрыва электронной связи и ухода электрона в структуре полупроводника возникает «вакантное место», имеющее, как легко понять, положительный заряд. Это «вакантное место» называют дыркой. Дырку может заполнить электрон с другой электронной связи и, значит, дырка переместится по полупроводнику – сместится область положительно заряда. То есть перемещение электрона от атома к атому по «вакантным местам» равносильно движению положительной «как бы частицы» – дырки. Такой механизм перемещения электронов по «вакантным местам» характерен исключительно для полупроводников и его называют *дырочной проводимостью*. Термин «дырка» для «частицы», способной создавать ток в полупроводниках и имеющей положительный заряд, численно равный заряду электрона, ввёл в научный обиход в 1933 году советский физик Яков Ильич Френкель.

Таким образом, в полупроводниках существует *два вида проводимости*:

1) электронная проводимость (движение отрицательно заряженных частиц – свободных электронов по кристаллу полупроводника);

2) дырочная проводимость (движение положительно заряженных «частиц» – дырок по кристаллу проводника, возникающее из-за перемещения электронов по электронным связям от атома к атому, в результате чего разрыв электронной связи заполняется в одном месте, но возникает в другом месте в полупроводнике).

На начальном этапе изучения полупроводников исследователи столкнулись с проблемой, с которой они никогда ранее не встречались при изучении электрических свойств других веществ. Измерение удельного сопротивления полупроводников и изучение зависимости их удельного сопротивления от температуры в разных физических лабораториях для одних и тех же полупроводниковых материалов давало результаты отличающиеся друг от друга в сотни, а то и в тысячи раз!

Оказалось, что всё дело в микроскопических примесях, содержащихся в полупроводниках. До той поры вещество, содержащее один посторонний атом на тысячу атомов основного вещества (доля примеси 0,1 %), считалось чистым веществом. С химической точки зрения изумительно чистым будет вещество, в котором один посторонний атом приходится на миллион атомов основного вещества (доля примеси 0,0001 %). Теперь представьте, что в кристалл кремния в качестве примеси добавлены атомы химического элемента мышьяка

(As). Атом мышьяка имеет пять электронов на внешней электронной оболочке. Четыре электрона будут задействованы на образование электронных связей с соседними атомами кремния, а пятый электрон атома мышьяка оказывается незанятым в этих связях (рис. 49).

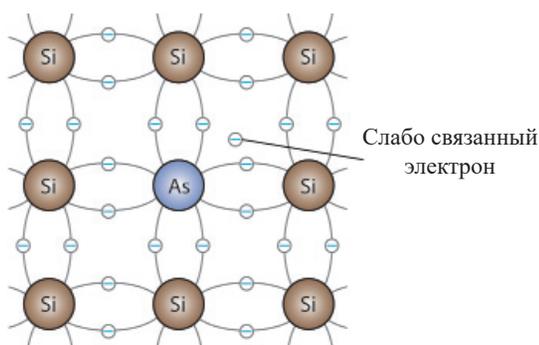


Рис. 49

«Бесхозный» электрон покидает атом мышьяка, становится свободным и вносит вклад в электронную проводимость полупроводника. Теперь проведём несложный расчёт. Выше уже упоминалось, что при комнатной температуре в кремнии будет разорвана только одна электронная связь из десяти тысяч миллиардов связей. Следовательно, если примесь атомов мышьяка составляет один к миллиону (0,0001 %), то на десять миллиардов атомов кремния придётся десять тысяч свободных электронов примеси. Значит, в этом полупроводнике будет полностью доминировать примесная электронная проводимость. Такой полупроводник называют *полупроводником n-типа* (читается: полупроводник эн типа, от слова *negativ* – отрицательный).

Как будет обстоять дело, если в кремний в качестве примеси добавить, например, химический элемент индий (In), атомы которого имеют по три электрона на внешней электронной оболочке? Индий установит электронные связи лишь с тремя соседними атомами кремния. Для четвертого «соседа», у индия не хватает одного электрона. Этот недостающий электрон будет захвачен атомом индия из электронной связи соседних атомов кремния и там возникнет дырка (рис. 50).

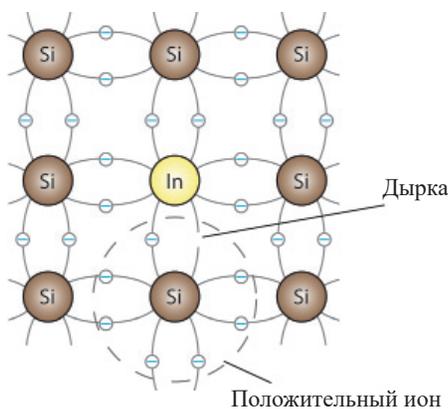


Рис. 50

В полупроводнике с «малоэлектронной» примесью будет преобладать примесная дырочная проводимость. Такой полупроводник называют *полупроводником p -типа* (читается: полупроводник p э типа, от слова *positiv* – отрицательный).

Самое время опять вспомнить Андерсена и ещё одну его сказку – «Принцесса на горошине». Героиня этой сказки жаловалась, что не могла нормально спать, чувствуя горошину через двадцать тюфяков и двадцать перин из гагачьего пуха. Как далеко этой сказочной принцессе до обычного полупроводника – кремния. Ведь проводимость кремния меняет свой характер (становясь или практически полностью электронной, или полностью дырочной) при добавлении всего одного атома примеси к миллиону атомов полупроводника!

Если кристалл кремния n -типа (с электронной проводимостью) сплавить с кристаллом кремния p -типа (с дырочной проводимостью), то в области контакта двух различных примесных областей образуется слой со специфическими электрическими свойствами, называемый $p - n$ - переходом. Основное свойство $p - n$ - перехода – это неодинакое электрическое сопротивление перехода в зависимости от полярности поданного на переход электрического напряжения. Иными словами, в одном направлении ток через $p - n$ - переход проходит «легко и просто», а при другом направлении тока $p - n$ - переход является для тока практически непреодолимым препятствием. Это свойство односторонней проводимости $p - n$ - перехода использовано в полупроводниковом приборе – диоде (рис. 51). Диоды применяют для преобразования переменного тока (именно такой «колеблющийся» ток вырабатывается на электростанциях) в постоянный ток (то есть ток, величина и направление которого не изменяются с течением времени).



Рис. 51

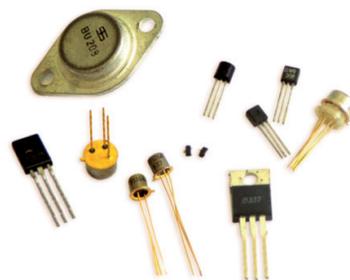


Рис. 52

редине XX века область применения полупроводников всё более расширяется, и они все больше теснят вакуумные лампы, главенствовавшие тогда в радиотехнике. Один из решающих шагов при этом сделали американские физики Уильям Брэдфорд Шокли (1910–1989), Уолтер Хаузер Браттейн (1902–1987), Джон Бардин (1908–1991). Ими был разработан *полупроводниковый транзистор* – прибор, содержащий два $p - n$ - перехода и используемый для усиления, генерирования¹ и преобразования электрических сигналов (рис. 52). В 1956 году учёные были удостоены Нобелевской премии по физике

¹ Генерировать – производить, возбуждать электрические колебания.

«за исследования полупроводников и открытие транзисторного эффекта». Через несколько лет были изготовлены полупроводниковые транзисторы и другого типа, действующие на иных физических принципах.

Следующий принципиальный шаг в истории полупроводников – создание интегральных схем – систем, состоящих из множества транзисторов, диодов, конденсаторов, резисторов, изготавливаемых одновременно на одном полупроводниковом кристалле. Первая интегральная схема (1961 г.) содержала четыре транзистора и два резистора – всего шесть элементов, в наше время число отдельных элементов в одной интегральной схеме исчисляется миллиардами! Такие интегральные схемы являются элементной базой современных ЭВМ¹.

Заметный вклад в физику полупроводников сделан советским и российским учёным Жоресом Ивановичем Алфёровым (1930–2019), который в 2000 году был удостоен Нобелевской премии по физике «за разработку полупроводниковых гетероструктур, используемых в высокочастотных схемах и оптоэлектронике». Гетероструктурой в физике полупроводников обозначают выращенную на подложке² слоистую структуру из различных полупроводников.

Именно благодаря полупроводниковым гетероструктурам заработал полупроводниковый лазер – источник высококачественного светового излучения, который теперь применяется в оптико-волоконной связи, в проигрывателях компакт-дисков. Солнечные батареи, работающие на земле и на космической станции, светодиоды, транзисторы в системах спутникового телевидения – вот только несколько примеров применения современных полупроводниковых гетероструктур.

В результате благодаря колоссальному труду многих учёных, инженеров, технологов, работавших и работающих в области физики полупроводников, бывший «гадкий утёнок» электроники – полупроводник – стал основой всех микроэлектронных приборов, без которых уже невозможно представить нашу современную жизнь.

Литература

1. Левинштейн, М.С., Симин, Г.С. Знакомство с полупроводниками / под ред. Л.Г. Асламазова. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 240 с. – (Библиотечка «Квант». Вып. 33).

2. Андриюшечкин, С.М. Физика. 10 кл. : учеб. для общеобразоват. организаций: базовый уровень / С.М. Андриюшечкин. – М. : Баласс, 2013. – 304 с. – (Образовательная система «Школа 2100»).

¹ Для примера: первая ЭВМ созданная в 1945 году в «дополупроводниковую эру», насчитывала 17500 радиоламп, занимала площадь 140 м², имела массу 30 т и потребляла электрическую мощность в 150 кВт.

² Подложка – пластина основного материала, поверхность которого подвергается различным видам обработки, в результате чего образуются слои с новыми свойствами. Подложка в микроэлектронике – это обычно кристаллическая полупроводниковая пластина, предназначенная для создания на ней плёнок и выращивания кристаллических слоёв с высокой точностью (с точностью до одного атомного слоя).

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

Одним из вопросов, вызывающих неослабевающий интерес учёных, является вопрос о том, каким образом возникло магнитное поле Земли, какова его роль в биологической эволюции жизни на Земле, какую роль играет магнитное поле на других планетах Солнечной системы.

Магнитные явления, в частности постоянные магниты, известны людям с давних времён. Так, например, магнитный компас – приспособление для определения сторон света – описан в китайских книгах XI века. В Европе изобретение компаса относят к XII–XIII векам, но если судить по косвенным указаниям античных историков, магнитный компас использовался для ориентации народами Средиземноморья ещё во втором тысячелетии до нашей эры. При этом секрет навигации по компасу хранился в строгой тайне и передавался только избранным.

Первым учёным, кто подошел к изучению магнетизма с подлинно научных позиций, был английский физик и врач Уильям Гильберт (1544–1603). В своём знаменитом трактате, опубликованном в 1600 году, «О магните, магнитных телах и большом магните – Земле. Новая физиология, доказанная множеством аргументов и опытов» Гильберт писал: «Мы пожелали получить наши главные, основанные на опытах ... доказательства при помощи шаровидного магнита. ... Итак, возьми магнит сильный, прочный, достаточно большой, ... сделай из него шар. ... Для того, чтобы найти полюсы, соответствующие полюсам Земли, держи круглый камень в руке и положи на камень железную иглу или проволоку: концы железа движутся вокруг своего центра и внезапно приходят в состояние покоя. ... Отметь мелом, как лежит покоящееся железо: передвинь прибор в другое место и снова отметь направление и положение. Проделай тоже во многих местах и ты найдёшь – по тому, где сходятся линии, отмечающие направление – один полюс в точке *A*, другой в *B*. Истинный полюс указывает также помещённая около камня стрелка» (рис. 53).

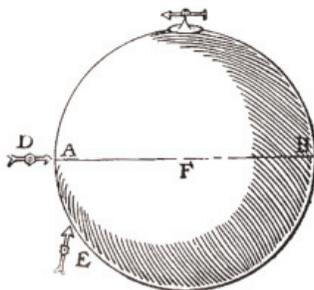


Рис. 53. Рисунок из трактата Гильберта. Круглый магнит (модель Земли) с магнитными стрелками – вблизи полюса, на экваторе и в промежуточном положении

Магнитные свойства постоянных магнитов – источников магнитного поля – объясняются тем, что они являются *ферромагнетиками*. К ферромагнетикам относятся железо, никель, кобальт и некоторые сплавы. Удивительное свойство ферромагнетиков быть источником сильного постоянного магнитного поля объясняется их специфическим внутренним строением. Ферромагнетиками являются только вещества в твёрдом кристаллическом состоянии, в которых благодаря определённым особенностям строения электронных оболочек атомов и особенностям структуры кристаллической решётки возникают области самопроизвольного намагничивания. Эти области называют *доменами*.

Отдельный домен объединяет, как правило, сотни тысяч атомов и имеет размеры около сотой доли миллиметра. Домены можно непосредственно наблюдать в оптический микроскоп, используя метод порошковых фигур: тщательно отполированную поверхность ферромагнетика покрывают тонким слоем жидкости, в которой находятся мельчайшие частицы ферромагнитного порошка; частицы порошка оседают преимущественно на границах доменов (рис. 54, стрелками указано направление магнитного поля, создаваемого доменами).

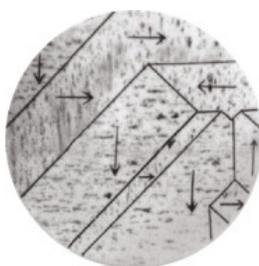


Рис. 54. Доменная структура ферромагнетика

В естественном состоянии магнитное поле отдельных доменов ориентировано произвольно – ферромагнетик не намагничен. Поместим ферромагнетик во внешнее магнитное поле. Под действием этого внешнего магнитного поля начнётся рост тех доменов, чьи магнитные поля ориентированы по направлению внешнего магнитного поля, и произойдёт переориентация доменов, имеющих магнитное поле, не совпадающее по направлению с направлением внешнего магнитного поля (рис. 55, *а*, *б*).

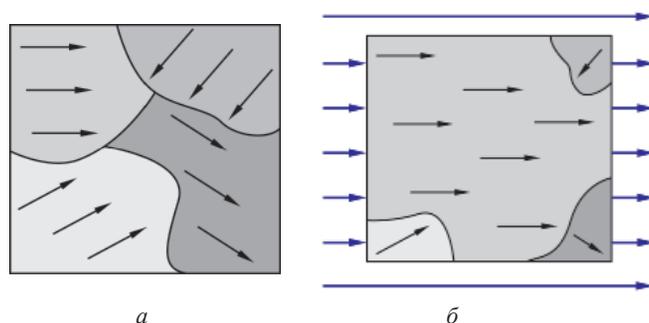


Рис. 55. Модель доменного строения ферромагнетиков.

Стрелками показаны направления магнитного поля доменов:

а – в естественном состоянии магнитные поля доменов ориентированы произвольно;

б – при намагничивании магнитные поля доменов ориентированы по внешнему магнитному полю

После того как внешнее магнитное поле исчезнет, ориентация большинства доменов сохранится и ферромагнетик будет иметь остаточное магнитное поле, величина которого в сотни, тысячи, десятки тысяч раз больше величины внешнего магнитного поля – «инициатора» процесса. Так ферромагнетики превращаются в источники магнитного поля – постоянные магниты.

Может ли рассмотренный процесс намагничивания ферромагнетиков объяснять существование магнитного поля Земли, других планет Солнечной системы? Оказывается, нет! Сильномагнитные свойства существуют, если температура ферромагнетиков ниже определённой температуры. Для железа, например, эта критическая температура составляет 768 °С, для никеля 358 °С. Выше критической температуры энергия теплового движения атомов так велика, что происходит разрушение доменной структуры, и у вещества остаются только слабомагнитные свойства. Так как температура в ядрах планет Солнечной системы намного выше критической температуры разрушения ферромагнетизма, то ферромагнитный механизм планетарного магнитного поля невозможен.

В настоящий момент большая часть учёных поддерживает научную теорию планетарного магнитного поля, называемую *теорией гидромагнитного динамо*¹: магнитное поле непрерывно генерируется благодаря конвективным потокам в жидком токопроводящем ядре планеты.

Как известно, если замкнутый проводник находится в переменном магнитном поле или движется в постоянном магнитном поле, то в проводнике возникает электрический ток (явление электромагнитной индукции, открыто великим английским физиком Майклом Фарадеем в 1831 году). Возникший электрический ток (часто его называют индукционным током) создаёт магнитное поле. Магнитное поле тока будет иметь такое направление, что стремится компенсировать внешнее магнитное поле, являющееся причиной возникновения индукционного тока. Это утверждение в физике называют правилом Ленца, в честь российского физика и электротехника, академика Петербургской академии наук Эмилия Христиановича Ленца (1804–1865), сформулировавшего это правило в 1833 году. Правило Ленца является следствием закона сохранения энергии: внешнее магнитное поле – это причина, а возникающий индукционный ток и его магнитное поле – это следствие. Если следствие будет не ослаблять, как того требует правило Ленца, а усиливать причину, то тогда возросшая причина даст ещё большее следствие, которое вновь усилит причину и так далее. Ясно, что подобный ход процесса противоречит закону сохранения энергии.

В теории гидромагнитного динамо, тем не менее, рассмотрены ситуации, которые позволяют «обойти» правило Ленца. Если замкнутым проводником будет являться поток проводящей жидкости, совершающей вихревое движение, то возможно усиление индукционного тока и его магнитного поля, но не «бесплатно», а за счёт кинетической энергии вихревого движения проводящего потока. В таком физическом процессе «и волки сыты, и овцы целы»: и закон сохранения энергии соблюден, и правило Ленца «нарушено». В настоящее время теория динамо – математически глубоко разработанная область астрофизики и геофизики. Имеются и определённые экспериментальные подтверждения теории, полученные в ходе проведения соответствующих опытов, в которых в качестве проводящей жидкости использовался расплавленный металл – натрий.

¹ Динамо – устаревшее название электрического генератора постоянного тока.

Вот как по современным научным представлениям работает природная «динамомашина» в недрах Земли. В центре Земли находится твёрдое (из-за гигантского давления в миллионы атмосфер окружающих его слоёв) внутреннее ядро. Внутреннее ядро имеет радиус около 1300 км, состоит из железо-никелевого сплава, его температура около 6000 °С. Далее располагается жидкое ядро толщиной около 2200 км. Во внутреннем ядре выделяется тепло за счёт распада содержащихся в нём радиоактивных элементов и, возможно, за счёт кристаллизации вещества на границе твёрдого внутреннего и жидкого внешнего ядра. Выделяющееся тепло приводит к возникновению конвективным в жидком внешнем ядре. Суточное вращение Земли приводит к закручиванию этих потоков в спирали. За счёт трения слои вещества приобретают заряд, возникает ток в проводящем веществе. Этот ток и его магнитное поле усиливается за счёт кинетической энергии движущегося проводящего потока. Увеличение тока приводит одновременно к увеличению так называемого джоулева тепла (то есть теплоты, выделяющейся при прохождении тока по проводнику). В результате при некотором значении тока наступает равновесный режим: приток энергии, подводимой за счёт движения потока, компенсирует потери на джоулево тепло.

Математические уравнения, описывающие все физические тонкости упомянутых выше процессов, крайне сложны. Но применение современных компьютеров позволяет провести необходимые численные расчёты, сравнить полученные результаты с наблюдаемыми значениями и, при необходимости, вводить в уравнения необходимые уточнения и развивать теорию магнитного поля Земли.

Развитие теории позволит найти ответы на многие вопросы:

– каковы причины изменения направления магнитного поля Земли? Последний раз северный и южный магнитные полюса Земли поменялись местами около 780 тысяч лет тому назад, что оставило след» в намагниченности ферромагнитных горных пород;

– какова причина смещения магнитных полюсов Земли? Результаты измерений, проведённых учёными, свидетельствуют, что магнитные полюса смещаются со скоростью десятки километров в год (причём эта скорость не постоянна);

– как меняется с течением времени величина магнитного поля Земли? Установлено, что в последние десятилетия происходит постепенное ослабление магнитного поля нашей планеты.

Перечисленные вопросы имеют не только чисто научный интерес, но очень важны и с практической точки зрения. Вы, наверное, знаете, что магнитное поле Земли – это тот защитный зонтик, что предохраняет поверхность Земли и всё живое на ней от губительного воздействия солнечного ветра – потока частиц, выбрасываемых Солнцем, и различных видов излучения, приходящего из космоса.

Литература

1. Андрюшечкин, С.М. Физика. 10 кл. : учеб. для общеобразоват. организаций: базовый уровень / С.М. Андрюшечкин. – М. : Баласс, 2013. – 304 с. – (Образовательная система «Школа 2100»).

МАЙКЛ ФАРАДЕЙ – ВЕЛИКИЙ ТРУЖЕНИК НАУКИ

Английский физик-экспериментатор и химик Майкл Фарадей (1791–1867) вошёл в историю науки как один из величайших учёных XIX века. «Никогда со времён Галилея свет не видал стольких поразительных и разнообразных открытий, вышедших из одной головы, и едва ли скоро увидит другого Фарадея. Заслуги его громадны», – писал известный русский физик Александр Григорьевич Столетов (1839–1896).

Действительно, сложно просто перечислить всё сделанное Фарадеем, даже если ограничиваться только областью физических знаний. Именно он открыл явление электромагнитной индукции, которое составляет основу современного промышленного производства электричества и многих его технических применений. Первая модель электродвигателя, первый трансформатор – это Фарадей; открытие законов электролиза, действия магнитного поля на свет, научные термины: ион, катод, анод, электролит, диэлектрик и многие другие – это Фарадей.

Фарадей – основоположник учения об электромагнитном поле, которое затем математически оформил и развил великий английский физик Джемс Клерк Максвелл (1831–1879). Недаром один из основателей современной теоретической физики Альберт Эйнштейн (1879–1955) писал: «Со времени обоснования теоретической физики Ньютоном наибольшие изменения в её теоретических основах, другими словами, в нашем представлении о структуре реальности, были достигнуты благодаря исследованиям электромагнитных явлений Фарадеем и Максвеллом». Эйнштейну за долгие годы его жизни довелось проживать во многих городах и странах, но в его рабочем кабинете неизменно висели три портрета – Ньютона, Фарадея и Максвелла.



Портрет Фарадея (1842 год),
художник Томас Филлипс

Майкл Фарадей родился в сентябре 1791 года в рабочем пригороде Лондона, и кроме Майкла в семье кузнеца Джеймса Фарадея и его жены Маргарет росли старший брат и две младшие сестры. Жили бедно, поэтому Майкл, получив в школе начальные навыки чтения, письма и арифметики, в 13 лет был вынужден пойти работать. Ему повезло – он попал на работу вначале разнощиком газет, а затем учеником пере-

плётчика в книжный магазин (рис. 56). Такая работа предоставляет Фарадею возможность удовлетворять тягу к знаниям – читать книги, заниматься самообразованием.



Рис. 56. Книжный магазин Жоржа Рибо, где работал юный Майкл Фарадей (рисунок из книги, посвящённой Фарадею и впервые изданной в 1870 г.). Здание сохранилось, и сейчас на нём установлен памятный знак

Юный Фарадей знакомится с учебником по химии для детей и юношества «Беседы о химии, в которых основы этой науки доступно представлены и иллюстрированы экспериментами». Автор этого учебника Джейн Марсе. «Беседы о химии» была не единственной книгой Марсе научно-популярного характера. За свою жизнь она написала более 30 книг – по минералогии, политической экономике, ботанике, филологии, географии, истории. Её по праву считают выдающимся популяризатором науки и выдающимся педагогом XIX века. Особенно ценным в «Беседах о химии» было то, что для лучшего уяснения материала в каждой главе приводилось описание опытов, сопровождавшееся превосходными рисунками самого автора, указывались мельчайшие подробности проведения опытов, а также предупреждение об опасностях, подстерегающих экспериментатора. Конечно же, Фарадей постарался проделать все опыты. В последствие Фарадей писал, что это книга «сумела открыть молодому, необученному, пытливому уму явления и законы необъятного мира естественнонаучных знаний». До конца своих дней Фарадей был признателен автору «Бесед», считая её своим первым научным наставником.

Фарадей изучает статью из «Британской энциклопедии», посвящённой электричеству, и, как всегда, самостоятельно изготавливает все приборы и приспособления, необходимые для повторения опытов, описанных в статье. Он посещает научно-популярные лекции, читавшиеся в Лондоне для тех, кто интересуется достижениями науки (деньгами на оплату посещения этих лекций его снабжает старший брат). На лекциях молодой Фарадей знакомится с такими же, как он молодыми людьми, увлечёнными наукой, и некоторые из них становятся его друзьями на всю оставшуюся жизнь.

В 1812 году удача ещё раз улыбнулась Майклу Фарадею. Один из посетителей книжного магазина, заметив с каким увлечением молодой переплётчик штудирует последний номер серьёзного научного журнала «Химическое обозрение», дарит ему билеты на цикл лекций знаменитого английского химика Гемфри Дэви (1778 – 1829). Дэви известен открытием целого ряда химических элементов (калий, натрий, барий, кальций, литий) и как основатель электрохимии. Он одним из первых произвёл с помощью гальванического элемента элек-

трохимическое разложение воды, подтвердив, что вода состоит из водорода и кислорода. Лекции Дэви покорили Майкла Фарадея, занятие наукой – вот единственный жизненный путь, который следует избрать, решает Фарадей. Но как попасть в столь желанный мир науки простому подмастерью? Вот как сам Фарадей пишет об этом: «Я написал письмо сэру Гемфри Дэви, послав в качестве доказательства серьёзности моих намерений сделанные мною записи его последних лекций. Ответ пришёл немедленно, доброжелательный и благоприятный». Весной 1813 года, как только в Королевском институте Великобритании появилась вакансия, Фарадей приступает там к работе в качестве лаборанта.

Королевский институт Великобритании был основан в 1799 году для содействия массовому образованию и прикладным научно-техническим исследованиям (рис. 57). Сразу с началом деятельности Институт организовал циклы научно-популярных лекций широкой тематики; одновременно были организованы научные лаборатории и приглашены квалифицированные учёные. Институт продолжает свою деятельность и в наше время, проводя ежегодно десятки мероприятий по различной тематике, при этом многие лекции читают признанные специалисты. Продолжаются в Институте и научные эксперименты в Исследовательской лаборатории Дэви-Фарадея.

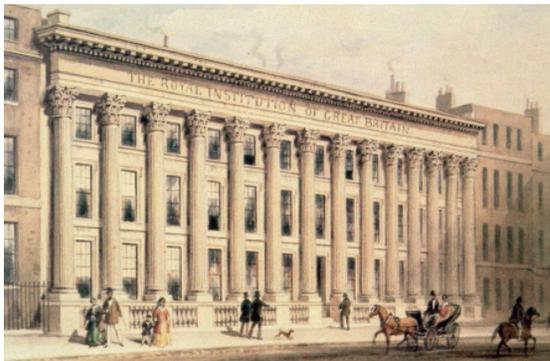


Рис. 57. Здание Королевского института (с акварели Т. Шепарда, ок. 1840 г.)

Первоначально в обязанности Фарадея входили подготовка демонстрационных опытов к лекциям Дэви, других профессоров и лекторов Института и уход за приборами. При этом он старался использовать любую возможность для пополнения своего образования, и в первую очередь – внимательно слушал все лекции, читаемые в Институте. Свои служебные обязанности Фарадей исполнял настолько тщательно и умело, что вскоре стал незаменимым помощником Дэви. Поэтому не случайно, что в том же 1813 году Гемфри Дэви берёт своего помощника в путешествие по Европе, которое заняло полтора года. В Париже Фарадей знакомится со знаменитыми французскими учёными, в том числе и с Андре Мари Ампером; участвует в исследованиях Дэви, приведших к открытию нового химического элемента – йода. В Генуе подготавливает опыты с электрическим скатом, в ходе которых Дэви был намерен выяснить, вызывает ли электрический разряд ската электрохимического разложения воды. Во Флоренции становится участником и свидетелем эффектного опыта по сжиганию алмаза в атмосфере кислорода. В ходе опыта алмаз, на поверхности которого с помощью огромной собирающей линзы фокусировалось солнечное

излучение, нагревался до такой температуры, что начинал гореть и при этом образовывался углекислый газ. Тем самым опыт доказывал, что минерал алмаз состоит из углерода. В Милане присутствует при встрече Гемфри Дэви со знаменитым Алессандро Вольта. Это путешествие стало для Фарадея школой научного становления, сформировало из него самостоятельно мыслящего учёного. Вероятно, именно в это время Фарадей сформулировал своё основное правило – «Наблюдать, изучать, работать», правилу, которому он следовал в дальнейшем всю свою жизнь.

После возвращения из путешествия в 1816 году Фарадей публикует первую научную работу, в последующие годы он также активно публикует результаты своих научных исследований (в основном по химии), становится заведующим лабораторией, приступает к чтению первых курсов лекций. Он ведёт переписку с крупными европейскими учёными, его имя становится известным в научном мире.

Рост научного авторитета Фарадея вызывал противоречивые чувства его учителя Гемфри Дэви. С одной стороны, его не могли не радовать успехи Фарадея, с другой стороны, на фоне угасания его собственной творческой активности, отсутствия в последние годы крупных научных достижений, он относился к Фарадею всё прохладней. Дело дошло до того, что когда ввиду больших научных заслуг Фарадея встал вопрос об избрании его в Лондонское королевское общество по развитию знаний о природе, Дэви первоначально выступил против. Несмотря на это в 1824 году Фарадей был избран в Королевское общество, пройдя, таким образом, за 11 лет путь от лаборанта до академика. При этом при оглашении результатов тайного голосования, оказалось, что «против» был подан только один голос, и в истории науки так и останется открытым вопрос – был ли это голос Гемфри Дэви.

Сам Майкл Фарадей до конца своего жизненного пути будет благодарно чтить память своего учителя, отдавая должное его весомым научным заслугам. Что же касается знаменитого Гемфри Дэви, то однажды в беседе с друзьями он заявил: «Самым великим моим открытием было открытие Фарадея». А ведь о наиболее выдающемся открытии Фарадея Гемфри Дэви не суждено было узнать – он ушёл из жизни в 1829, явление электромагнитной индукции было открыто Майклом Фарадеем 29 августа 1831 года.

Приведём описание одного из опытов Майкла Фарадея, посвящённое изучению этого явления: «Из круглого брускового железа было сварено кольцо; толщина металла была равна семи восьмым дюйма¹, а наружный диаметр кольца – шести дюймам. На одну часть этого кольца было намотано три спирали, содержавшие каждая около двадцати четырёх футов² медной проволоки, толщиной в одну двадцатую дюйма. Спирали были изолированы от железа и друг от друга ... ими можно было пользоваться по отдельности и в соединении; эта группа обозначена буквой *A* (рис. 58).

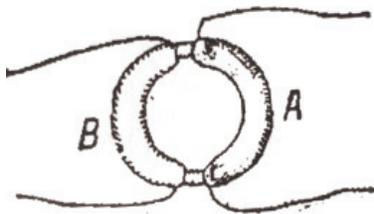


Рис. 58

¹ 1 дюйм равен 2,54 см.

² 1 фут равен 0,30 м.

На другую часть кольца было намотано таким же способом около шестидесяти футов такой же медной проволоки в двух кусках, образовавших спираль *B* ... Спираль *B* соединялась медными проводами с гальванометром, помещённым на расстоянии трёх футов от кольца. Отдельные спирали *A* соединялись конец с концом так, что образовали общую спираль, концы которой были соединены с батареей. ... Гальванометр реагировал немедленно, и притом значительно сильнее, чем это наблюдалось ... при пользовании в десять раз более мощной спиралью *без железа*; однако, несмотря на сохранение контакта, действие прекращалось, и стрелка вскоре возвращалась в своё нормальное положение. ... При размыкании контакта с батареей стрелка снова сильно отклонялась, но в направлении, противоположном тому, которое индуцировалось в первом случае».

Открытие Фарадеем явления электромагнитной индукции, другие его работы составили целую эпоху в изучении электричества и магнетизма и являются колоссальным научным достижением, как по результатам, полученным Фарадеем, так и по тому колоссальному объёму труда, вложенному в эти исследования. Достаточно сказать, что когда в середине XX века в нашей стране решили перевести на русский язык и опубликовать фарадеевские «Экспериментальные исследования по электричеству», то, в результате было издано три тома его научных трудов, которые содержат в общей сложности более 2200 страниц!

В течение десятков лет Фарадей, помимо непосредственно научной работы, уделял значительное время организации в Королевском институте, директором которого он был с 1825 года, циклов научно-популярных лекций для детей и юношества. Лекции были отлично организованы: в ходе лекций демонстрировались тщательно подготовленные опыты с использованием приборов института. Проводились лекции в большом лекционном зале Королевского института. Сам Фарадей, по воспоминаниям современников, был прекрасным лектором и в молодости он даже специально брал уроки по ораторскому искусству (рис. 59). Знаменитый шотландско-ирландский физик Уильям Томсон (1824–1907), которому английской королевой за научные заслуги был пожалован титул «лорд Кельвин», отзывался о Фарадее так: «Необычайная быстрота и живость отличали его. Отблеск его гения окружал его какой-то особенной, сияющей аурой. Определённо каждый чувствовал это обаяние – будь то глубокий философ или простой ребёнок».



Рис. 59. Фарадей читает одну из своих Рождественских лекций для юношества в Королевском институте, 1856 г.

Один из самых известных курсов его научно-популярных лекций назывался «Химическая история свечи». Фарадей не записывал лекций. Но на одном его курсе лекций «История свечи» присутствовал молодой тогда человек, а впоследствии известный английский химик и физик, будущий президент Лондонского королевского общества Уильям Крукс (1832–1919). Он дословно записал текст лекций и в 1861 году опубликовал их, снабдив лекции рисунками и комментариями. «История свечи» неоднократно издавалась на многих языках мира. Впервые на русском языке она появилась в 1866 году ещё при жизни Фарадея. С тех пор книга выходила ещё несколько раз и переиздавалась и в наше время (рис. 60).



Рис. 60

После десятилетия напряжённой экспериментальной работы по изучению электромагнетизма (1831–1841) Фарадей был вынужден на несколько лет прекратить научную работу ввиду сильного нервного истощения, ухудшения памяти. В дальнейшем он смог вернуться на некоторое время к работе и выполнить ещё несколько первоклассных исследований в области оптики и магнетизма. Чтобы сохранить остаток сил для занятия наукой, Фарадей отклоняет предложение стать президентом Лондонского королевского общества, уходит в отставку как лектор Королевского института, покидает пост директора Королевского института, уходит с должности консультанта Общества английских маяков.

Жизненный путь Майкла Фарадея завершился в 1867 году, но с каждым годом, который отдаляет нас от времени Фарадея, всё весомее становятся слова, произнесённые знаменитым немецким физиком, одним из авторов закона сохранения энергии Гельмгольцем. Оценивая роль Фарадея в истории человеческого общества, Гельмгольц сказал: «До тех пор пока люди пользуются благами электричества, они всегда будут с благодарностью вспоминать имя Фарадея».

История науки свидетельствует, что не всякий большой учёный, внесший значительный вклад в ту или иную отрасль знаний, обязательно является крупной личностью и моральным эталоном для окружающих его людей. Совершенно иным образом обстоит дело с Майклом Фарадеем. Вот, какую оценку, например, дал Фарадею известный химик и государственный деятель Франции Жан-Батист Андре Дюма: «Всякий из знавших его – я твёрдо убеждён – желал бы только приблизиться к тому нравственному совершенству, которое, по видимому, было дано Фарадею от рождения. ... Я не знал человека, который был бы более достоин любви и уважения, чем он».



Объясните результаты одного из опытов Фарадея: «Спирали ... были соединены с гальванометром посредством двух медных проводов, длиной по пять футов каждый; во внутрь спирали, по её оси, был введён цилиндр из мягкого железа; два полосовых магнита, длиной по двадцать четыре дюйма каждый, были приложены друг к другу разноимёнными полюсами, так что давали подобие подковообразного магнита; другие два полюса прикладывались к концам железного цилиндра так, что он временно превращался в магнит (рис. 61) ... В момент образования магнитного контакта стрелка отклонялась; при продолжительном контакте стрелка становилась безразличной и возвращалась в своё первоначальное положение; при нарушении контакта она снова отклонялась, но в направлении, противоположном первому, а затем опять становилась безразличной».



Рис. 61



На рисунке 58 изображена схема одного из опытов Фарадея, а в описании результатов опыта сказано, что при использовании в опыте железного кольца гальванометр реагировал значительно сильнее, чем это наблюдалось без железа. Почему?

Литература

1. Шаховская, Н. Д. Майкл Фарадей [1791–1867] : Повесть о жизни и трудах маленького переплетчика, ставшего великим ученым / Н. Шаховская, М. Шик. – 2-е доп. и перераб. изд. книги «Загадка магнита». – М.; Л. : Изд. и ф-ка дет. книги Детгиза в М., 1947. – 232 с.
2. Карцев, В. Л. Приключение великих уравнений / В. Л. Карцев. – М. : Знание, 1986. – С. 123–145.
3. Фарадей, М. История свечи : пер. с англ. / под ред. Б. В. Новожилова. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 128 с. – (Библиотечка «Квант»).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Ломоносов – учёный-энциклопедист	4
Как зависит время варки картофеля	8
от его размера	8
Ошибка Джонатана Свифта	15
Великий закон природы и его творцы	18
Что измеряет термометр?	24
Адиабатный процесс	29
Сжижение газов	33
Как работает холодильник	38
Капица – учёный и человек	40
Электризация трением	47
От лягушачьей лапки до аккумулятора	53
Физика помогает археологам	58
Как физики удлиннили день и укоротили ночь	63
Укротитель молнии	70
Производство алюминия	75
Гадкий утёнок» электроники	79
Магнитное поле Земли	86
Майкл Фарадей – великий труженик науки	90

....

О ФИЗИКЕ И ФИЗИКАХ

книга для дополнительного чтения

8 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 № 086

Издательство «Амфора»

644042, Омск, пр. К. Маркса, 34а

Тел./факс: (3812)957-177

e-mail: amfora2002@inbox.ru