

В. Д. СИРОТЮК

Физика

**Учебник для 9 класса
общеобразовательных учебных заведений**

Рекомендовано Министерством образования и науки Украины



*Учебник — победитель
Всеукраинского конкурса учебников
для 12-летней школы
Министерства образования и науки Украины в 2009 г.*

**Киев
«Зодіак-ЕКО»
2009**

ББК 22.3я721
С40

**Рекомендовано Министерством образования и науки Украины
(Приказ Министерства образования и науки Украины
от 2 февраля 2009 г., протокол № 56)**

Издано за счёт государственных средств. Продажа запрещена

Переведено с издания: В. Д. Сиротюк. Фізика: підруч. для 9 кл. загальноосвіт. навч. закладів. — К.: Зодіак-ЕКО, 2009. *Переводчики:* К. А. Дмитренко, Е. С. Святицкая

Ответственные за подготовку учебника к изданию: **Е. В. Хоменко**, главный специалист Министерства образования и науки Украины; **И. А. Юрчук**, методист высшей категории Института инновационных технологий и содержания образования Министерства образования и науки Украины.

Эксперты рукописи учебника: **В. Н. Карпова** — учитель-методист гимназии № 28, г. Запорожье; **О. Н. Дума** — учитель-методист гимназии № 4, г. Одесса; **А. М. Хоренко** — методист Киевского ОИПОПК, учитель-методист; **З. Я. Евтушик** — методист ГМК Ковельского городского управления образования; **И. И. Бродик** — доцент кафедры физики твёрдого тела Прикарпатского национального университета им. В. Стефаника, кандидат физико-математических наук; **В. Г. Барьяхтар** — директор Института магнетизма НАН Украины, доктор физико-математических наук, профессор, действительный член НАН Украины; **Н. В. Головка** — заместитель директора Института педагогики АПН Украины, кандидат педагогических наук

ТВОРЧЕСКАЯ ГРУППА СОЗДАТЕЛЕЙ УЧЕБНИКА

Юрий КУЗНЕЦОВ — руководитель проекта, автор концепций: структуры, дизайна;
Владимир СИРОТЮК — автор текста и методического аппарата;
Олег КОСТЕНКО — заместитель руководителя проекта;
Константин ДМИТРЕНКО — редактор-организатор;
Наталья ДЕМИДЕНКО — контрольное редактирование;
Андрей ВИКСЕНКО — разработчик макета, художественного оформления, художник обложки;
Виктор ГОГИЛЬЧИН — компьютерный дизайн, вёрстка;
Валентина МАКСИМОВСКАЯ — организатор производственного процесса;
Галина КУЗНЕЦОВА — экономическое сопровождение проекта;
Роман КОСТЕНКО — маркетинговые исследования учебника;
Андрей КУЗНЕЦОВ — мониторинг апробации учебника

© Издательство «Зодіак-ЕКО». Все права защищены. Никакие часть, элемент, идея, композиционный подход этого издания не могут быть скопированы либо воспроизведены в любой форме и любыми способами — ни электронными, ни фотомеханическими, в частности ксерокопированием, записью или компьютерным архивированием, — без письменного разрешения издателя.

ISBN 978-966-7090-68-5 (укр).
ISBN 978-966-7090-69-2 (рус).

© В. Д. Сиротюк, 2009
© Перевод. К. А. Дмитренко,
Е. С. Святицкая, 2009
© Издательство «Зодіак-ЕКО», 2009
© Художественное оформление. А. Н. Вихсенко, 2009
© Концепции: структуры, дизайна. Ю. Б. Кузнецов, 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

Юные друзья!6

Глава 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ



§ 1.	Электризация тел. Электрический заряд	8
§ 2.	Два вида электрических зарядов. Дискретность электрического заряда ...	10
§ 3.	Строение атома. Ионы	13
§ 4.	Закон сохранения электрического заряда	16
§ 5.	Электрическое поле. Взаимодействие заряженных тел	17
	Лабораторная работа № 1. Исследование взаимодействия заряженных тел	21
§ 6.	Закон Кулона	22
	Задачи и упражнения	24
	Историческая справка.....	28
	Проверьте свои знания	
	Контрольные вопросы	28
	Что я знаю и умею делать	29
	Тестовые задания	30

Глава 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК



§ 7.	Электрический ток. Источники электрического тока	34
§ 8.	Электрическая цепь и её составляющие	38
§ 9.	Электрический ток в металлах	39
§ 10.	Действия электрического тока. Направление электрического тока.....	41
	Задачи и упражнения	44
§ 11.	Сила тока. Амперметр.....	46
	Лабораторная работа № 2. Измерение силы тока с помощью амперметра	50
§ 12.	Электрическое напряжение. Вольтметр.....	51
	Лабораторная работа № 3. Измерение электрического напряжения с помощью вольтметра	54
§ 13.	Электрическое сопротивление проводников. Единицы сопротивления.....	55
§ 14.	Закон Ома для однородного участка электрической цепи	57
	Лабораторная работа № 4. Измерение сопротивления проводника с помощью амперметра и вольтметра	60
	Задачи и упражнения	61
§ 15.	Расчёт сопротивления проводника. Удельное сопротивление проводника	65
§ 16.	Реостаты. Зависимость сопротивления проводника от температуры	67
	Лабораторная работа № 5. Изучение зависимости электрического сопротивления от длины, площади поперечного сечения и материала проводника	70
	Задачи и упражнения	70
§ 17.	Последовательное соединение проводников	72
	Лабораторная работа № 6. Исследование электрической цепи с последовательным соединением проводников	73

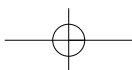


§ 18. Параллельное соединение проводников	74
Лабораторная работа № 7. Исследование электрической цепи с параллельным соединением проводников	76
Задачи и упражнения	77
§ 19. Работа электрического тока	78
§ 20. Мощность электрического тока	80
Лабораторная работа № 8. Измерение мощности потребителя электрического тока	82
§ 21. Закон Джоуля—Ленца	83
§ 22. Потребители электрического тока.	
Электронагревательные приборы.....	83
Задачи и упражнения	87
§ 23. Электрический ток в растворах и расплавах электролитов	89
Лабораторная работа № 9. Исследование явления электролиза	92
§ 24. Электрический ток в полупроводниках.	
Электропроводность полупроводников	93
§ 25. Электрический ток в газах.	
Самостоятельный и несамостоятельный разряды	97
§ 26. Безопасность человека во время работы с электрическими приборами и устройствами	106
Задачи и упражнения	110
Историческая справка	112
Проверьте свои знания	
Контрольные вопросы	113
Что я знаю и умею делать	113
Тестовые задания	116

Глава 3. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ



§ 27. Постоянные магниты. Магнитное поле Земли	120
§ 28. Взаимодействие магнитов	124
§ 29. Магнитное действие тока. Опыт Эрстеда. Гипотеза Ампера.....	126
Задачи и упражнения	130
§ 30. Магнитное поле катушки с током.	
Электромагниты	132
Лабораторная работа № 10. Изготовление электромагнита и исследование его действия.....	135
§ 31. Действие магнитного поля на проводник с током.	
Электрические двигатели	136
§ 32. Громкоговоритель. Электроизмерительные приборы	139
Задачи и упражнения	140
§ 33. Электромагнитная индукция. Опыты Фарадея	144
Задачи и упражнения	147
Историческая справка	148
Проверьте свои знания	
Контрольные вопросы	148
Что я знаю и умею делать	149
Тестовые задания	150



**Глава 4. АТОМНОЕ ЯДРО.
ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

§ 34. Опыты Резерфорда. Ядерная модель атома	154
§ 35. Радиоактивность. Виды радиоактивного излучения	157
§ 36. Строение ядра атома. Изотопы	160
§ 37. Ядерные превращения. Реакции деления. Термоядерные реакции	165
§ 38. Ионизирующее действие радиоактивного излучения. Дозиметры.....	170
§ 39. Влияние радиоактивного излучения на живые организмы	174
Лабораторная работа № 11. Изучение устройства дозиметра и проведение дозиметрических измерений.....	179
§ 40. Ядерная энергетика. Развитие ядерной энергетики в Украине	181
§ 41. Ядерная энергетика и современные проблемы экологии.....	183
Задачи и упражнения	185
Историческая справка	186
Проверьте свои знания	
Контрольные вопросы	188
Что я знаю и умею делать	189
Тестовые задания	190

**ОБОБЩАЮЩИЕ
ЗАНЯТИЯ**

§ 42. Влияние физики на общественное развитие и научно-технический прогресс ..	192
§ 43. Физическая картина мира	195

Вспомогательные материалы

Физические задачи вокруг нас	198
Словарь физических терминов.....	200
Ответы к задачам и упражнениям	203
Ответы к рубрике «Что я знаю и умею делать»	204
Ответы к рубрике «Физические задачи вокруг нас»	204
Предметно-именной указатель	205

ЮНЫЕ ДРУЗЬЯ!

Вы только что открыли учебник, с которым будете работать в течение учебного года. Надеемся, что он станет вам добрым помощником в путешествии в страну знаний, познанию всего разнообразия окружающего мира.

Изучая физику в предыдущих классах, вы узнали о закономерностях окружающего мира, которые раскрываются в механических, тепловых и световых явлениях, о том, как результаты физических исследований применяют в технике и быту, убедились в необходимости внимательной, вдумчивой и систематической работы с учебником. Вы научились работать с физическими приборами, выполнять опыты и проводить наблюдения.

В 9 классе вы будете изучать электрические и магнитные явления, а также свойства вещества на уровне атома и его ядра. Теоретический материал в учебнике поможет вам понять и объяснить эти явления. Обращайте внимание на текст, выделенный **жирным** шрифтом. Это физические термины, определения, важные законы и правила. Их необходимо помнить и уметь применять.

В учебнике много иллюстраций, рассматриваются **опыты**, которые вы можете выполнить самостоятельно либо с помощью учителя, предлагается провести **наблюдения**, что поможет глубже понять физическую сущность изучаемых явлений, а «**Историческая справка**» в конце каждого параграфа, вне сомнения, расширит ваш кругозор.

В конце каждого параграфа также имеются вопросы и задания, ответы на них способствуют практическому усвоению материала, закреплению определений. Часть из них творческого характера, и для ответа требуют умений анализировать условия задания, а также проследивать логическую последовательность и связи в физических явлениях. Такие задания обозначены звёздочкой (*).

В рубрике «Решаем вместе» приведены образцы решений важнейших видов задач и упражнений. Учебник содержит задачи, упражнения и вопросы разных уровней сложности: **А** — на закрепление, **Б** — творческого характера.

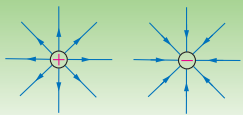
Выполненные **лабораторные работы** обогатят вас углублённым пониманием закономерностей физических явлений и умением проводить опыты, пользоваться измерительными приборами.

Тем, кто стремится расширить познания, будет полезна информация, помещённая в рубрике «Это интересно знать».

Если вам необходимо узнать значение какого-либо физического термина или правила, то используйте «Словарь физических терминов» и предметно-именной указатель в конце учебника.

Выполняя наблюдения и опыты по физике, будьте внимательны, не забывайте о правилах безопасности.

Успехов вам на пути к знаниям!



ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

- **Электризация тел**
Электрический заряд
- **Два вида электрических зарядов**
Дискретность электрического заряда
- **Строение атома. Ионы**
- **Закон сохранения электрического заряда**
- **Электрическое поле**
Взаимодействие заряженных тел
- **Закон Кулона**



§ 1 ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТЕЛ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД

Термин «электричество» вам известен и привычен. Он очень давний и вошёл в науку значительно раньше, чем изобрели электролампы, электродвигатели, холодильники, телевизоры, радиоприёмники — всё то, без чего невозможно представить нашу жизнь. Ещё 600 лет до нашей эры древние греки заметили, если **янтарь** (окаменевшая ископаемая смола хвойных деревьев, которые росли на Земле сотни тысяч лет тому назад) потереть о шерсть, то он приобретает свойство притягивать пушинки, листья, соломинки. Янтарь по-гречески называют *электроном*. Если янтарь притягивает другие тела, то говорят, что он наэлектризован либо обладает *электрическим зарядом*. От слова «электрон» и происходит слово «электричество».

● **Опыт 1.** Положите эбонитовую палочку (эбонит — твёрдый материал из каучука с большой примесью серы) на кусочки бумаги. Видим, что эбонитовая палочка их не притягивает (рис. 1, а). Потрём теперь палочку о лоскут шерстяной ткани (рис. 1, б) и приблизим её к кусочкам бумаги — они притягиваются к палочке и прилипают к ней (рис. 1, в).

Кроме того, палочка, лист бумаги и одежда теперь притягивают к себе кусочки бумаги, пушинки, тонкие струи воды (рис. 2). В этом можно убедиться, если потереть пластмассовую расчёску или ручку о лист бумаги или шерсть и поднести к тонкой стружке воды.

Во всех приведённых примерах мы видим, что тела приобретают новое свойство — воздействовать на другие тела силой, намного большей, чем сила всемирного тяготения. Эту силу называют *электрической*. О телах, которые воздействуют одно на другое электрической силой, говорят, что они заряжены, или обладают электрическим зарядом. Электризоваться могут тела, изготовленные из разных веществ. Легко наэлектризовать *трением* о шерсть палочки из резины, серы, пластмассы, капрона.

Электризуются тела и при взаимном *касании* с последующим их разъединением. (Тела также можно электризовать, приближая к ним без соприкосновения любое наэлектризованное тело. Это явление называют *электризацией влиянием*, или *индукцией*).



Рис. 1

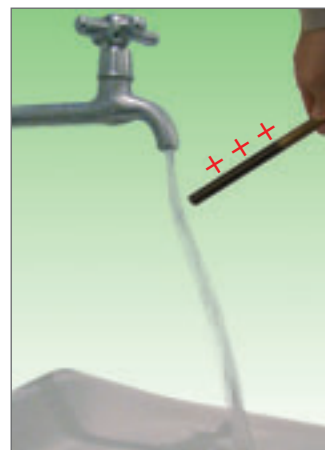


Рис. 2



В результате касания стеклянной палочкой кусочка резины электризуются и стекло, и резина. Резина, как и стекло, притягивает лёгкие тела.

В электризации всегда участвуют два тела. При этом они оба электризуются.

Но по притяжению тел нельзя отличить электрический заряд на стеклянной палочке, потёртой о шёлк, от заряда на эбонитовой палочке, потёртой о шерсть, поскольку обе наэлектризованные палочки притягивают кусочки бумаги.

Означает ли это, что заряды на телах, изготовленных из разных веществ, ничем не отличаются?

● **Опыт 2.** Наэлектризуем эбонитовую палочку, подвешенную на нити. Приблизим к ней такую же палочку и также наэлектризуем трением о шерсть. Палочки будут отталкиваться одна от другой (рис. 3).

Поскольку палочки одинаковы и наэлектризованы об одно тело, то и заряды на них одинаковы, либо палочки имеют одинаковый заряд.

● **Опыт 3.** Поднесём к наэлектризованной эбонитовой палочке стеклянную палочку, потёртую о шёлк. Стеклянная и эбонитовая палочки будут притягиваться (рис. 4). То есть заряд на стекле, потёртом о шёлк, другого вида, чем на эбоните, потёртом о шерсть. Многочисленные опыты подтверждают, что в природе существуют электрические заряды только двух видов.

Заряд на стекле, потёртом о шёлк, назвали *положительным*, а заряд на эбоните, потёртом о шерсть, — *отрицательным*; обозначают их соответственно «+» и «-».

Итак, при электризации стекла о шёлк стекло получает положительный заряд «+», а шёлк — отрицательный «-»; при электризации эбонита о шерсть эбонит получает отрицательный заряд «-», а шерсть — положительный «+» (рис. 5, 6).



Рис. 3

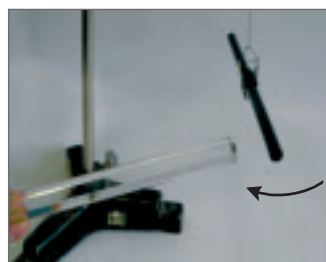


Рис. 4

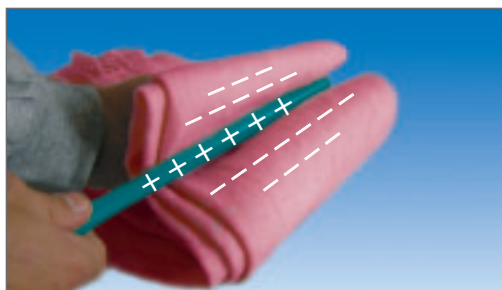
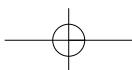


Рис. 5



Рис. 6





ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как можно наэлектризовать тело?
2. Сколько тел участвует в электризации и что с ними происходит?
3. Какие электрические заряды существуют в природе?
4. Каков электрический заряд стеклянной палочки, потёртой о шёлк?
5. Каков электрический заряд эбонитовой палочки, потёртой о шерсть?
6. Какой простейший опыт убеждает, что данное тело наэлектризовано?
- 7*. Почему о некоторых частицах говорят, что они обладают зарядом?
- 8*. Почему тела заряжаются отрицательно или положительно?

§ 2 ДВА ВИДА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ. ДИСКРЕТНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА

В природе существуют два вида электрических зарядов: положительные и отрицательные.

Из предыдущих опытов вы видите, что наэлектризованные тела взаимодействуют между собой. При электризации эбонитовой или стеклянной палочки возникают относительно небольшие заряды, поэтому силы, с которыми они взаимодействуют, незначительны. Более сильное взаимодействие можно наблюдать, зарядив какие-либо тела от *электрофорной машины*, что позволяет непрерывно разделять и накапливать положительные и отрицательные заряды. Соединённые проводом с шариками машины «султаны» (пучки бумажных полосок на штативах) всё сильнее взаимодействуют по мере увеличения количества электрических зарядов на них (рис. 7). Из этих и предыдущих опытов видим, что **одноимённые заряды отталкиваются, а разноимённые — притягиваются.**

Тела, имеющие электрические заряды одинакового знака (рис. 8, а, б), взаимно отталкиваются, а тела, имеющие заряды противоположных знаков, взаимно притягиваются (рис. 8, в).

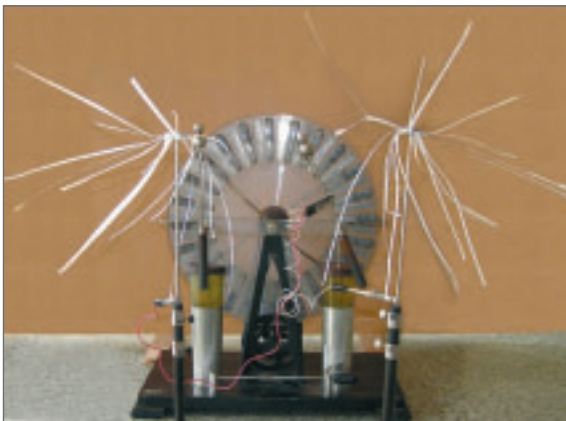


Рис. 7

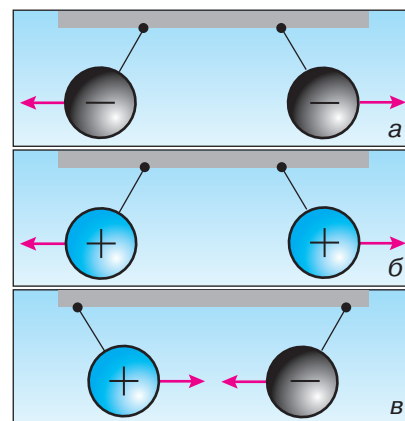


Рис. 8

Явление взаимного притяжения или отталкивания наэлектризованных тел используют для того, чтобы определить, передаётся ли определённому телу электрический заряд. Действие устройства, с помощью которого проверяют, наэлектризовано ли тело, основано на взаимодействии заряженных тел. Такое устройство называют *электроскопом* (от греческих слов *электрон* — янтарь, электричество и *скопео* — наблюдаю, выявляю). Прибор, конструкция которого дополнена стрелкой и шкалой для оценки значения электрического заряда, называют *электрометром* (рис. 9).

Через пластмассовую вставку в металлическом корпусе электрометра пропущен металлический стержень, к которому прикреплена лёгкая стрелка (или две бумажные полоски). Эта стрелка, заряжаясь от наэлектризованного эбонитовой (стеклянной) палочкой стержня, отталкивается от него и отклоняется на определённый угол. Чем больший заряд электрометра, тем с большей силой стрелка отталкивается от стержня и тем на больший угол отклоняется. Следовательно, по изменению угла отклонения стрелки электрометра можно определить, увеличился или уменьшился его заряд.

Если коснуться рукой заряженного стержня электрометра, то он разрядится (электрометр заряда при этом не будет иметь). Электрические заряды перейдут на тело и по нему могут уйти в землю (рис. 10). Любое заряженное тело разрядится, если его соединить с землёй (заземлить) железной, медной либо алюминиевой проволокой. Если заряженное тело соединить с землёй стеклянной, эбонитовой или пластмассовой палочкой, то электрические заряды не будут переходить из тела в землю, то есть тело не разрядится.

По способности проводить электрические заряды вещества разделяют на проводники и непроводники электричества.

Опыт 1. Зарядим электрометр, соединим его с помощью эбонитовой, стеклянной, фарфоровой или пластмассовой палочки с другим таким же электрометром, но незаряженным. В результате мы увидим, что второй электрометр не зарядился (рис. 11).

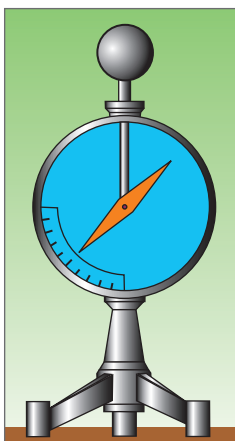


Рис. 9

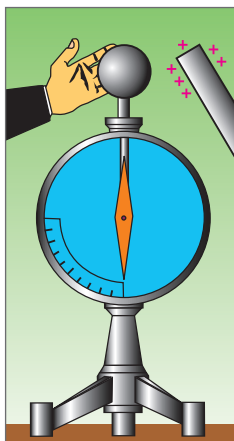


Рис. 10

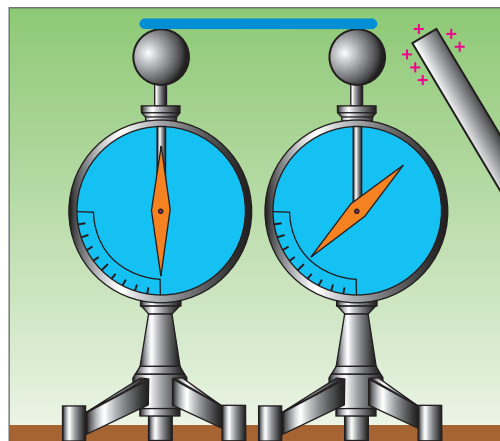


Рис. 11

Фарфор, эбонит, стекло, янтарь, резина, шёлк, капрон, пластмасса, керосин, воздух — всё это непроводники электричества. Тела, изготовленные из таких веществ, называют **изоляторами**, или **диэлектриками** (от французского слова *изолер* — отделить).

● **Опыт 2.** Зарядим электрометр, соединим его с помощью какого-либо металлического проводника с таким же, но незаряженным электрометром. Через проводник заряды перейдут на незаряженный электрометр. Оба электрометра станут одинаково заряженными (рис. 12).

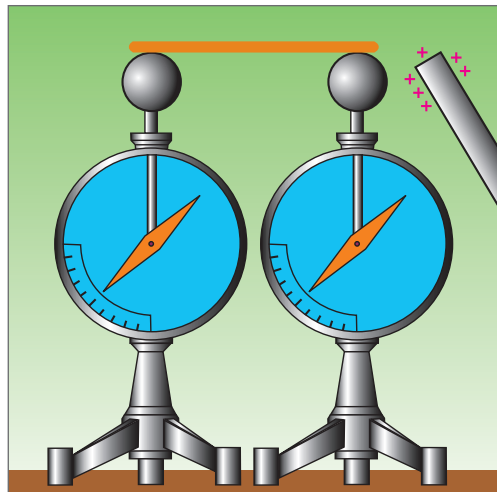


Рис. 12

Все металлы, почва, растворы солей и кислот в воде — хорошие **проводники** электричества. Тело человека также является проводником.

● **Опыт 3.** Разъединим заряженные в опыте 2 электрометры и прикосновением разрядим второй из них. Ещё раз соединим его с первым электрометром, на котором осталась половина начального заряда. Оставшийся на нём заряд снова разделится на две равные части, и на первом электрометре останется четверть начального заряда. Аналогично можно получить одну восьмую, одну шестнадцатую начального заряда и т. д.

Возникают вопросы: *до какой степени можно уменьшать заряд? Существует ли предел деления электрического заряда?*

Чтобы доказать существование такого предела и установить его, выдающийся физик **А. Ф. Иоффе** (1880–1960) выполнил опыты, в которых электризовались мелкие пылинки цинка, видимые только в микроскоп. Заряд пылинок несколько раз изменяли и каждый раз измеряли. Опыты показали, что все изменения заряда пылинок были в целое число (то есть 2, 3, 4, 5 и т. д.) раз больше определённого наименьшего заряда, то есть дискретны (от латинского слова *discretus* — отдельный, прерывный). Поскольку электрический заряд присущ веществу, учёный пришёл к выводу, что в природе существует частица вещества, обладающая наименьшим зарядом, который дальше уже не делится. В 1897 г. было сделано открытие, объясняющее большинство электрических явлений: английский учёный **Дж. Дж. Томсон** открыл частицу — носитель наименьшего (элементарного) отрицательного электрического заряда. Эту частицу назвали **электроном**.

Значение заряда электрона впервые определил американский учёный **Р. Милликен**. Свои опыты, аналогично опытам А. Ф. Иоффе, он проводил с мелкими капельками растительного масла.

Электрический заряд — одно из основных свойств электрона. Этот заряд нельзя у электрона «забрать». Заряд электрона нельзя ни увеличить, ни уменьшить. Он всегда имеет одно и то же значение.

Масса электрона равна $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, она в 3 700 раз меньше массы молекулы водорода. Масса крылышка мухи приблизительно в $5 \cdot 10^{22}$ раз больше, чем масса электрона.

Электрический заряд — это физическая величина, которая определяет электрическое взаимодействие (притяжение, отталкивание) заряженных частиц.

Обозначают электрический заряд латинской буквой q .

В Международной системе единиц (СИ) единицей электрического заряда является **один кулон (1 Кл)**. Эта единица названа в честь французского физика **Шарля Кулона (1736–1806)**, открывшего закон взаимодействия электрических зарядов. Один кулон — это очень большой заряд. В опытах по электризации тел, о которых упоминалось выше, мы имели дело с зарядами в миллионы и миллиарды раз меньшими, чем один кулон.

Абсолютное значение (модуль) наименьшего электрического заряда обозначают буквой e и называют **элементарным зарядом**:

$$e = 0,00000000000000000016 \text{ Кл} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

По определению, заряд электрона $q_e = -e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Этот заряд в миллиарды раз меньше заряда, полученного в ходе опытов по электризации тел трением.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как взаимодействуют между собой разноимённые заряды? Одноимённые?
2. Как устроен электроскоп? Для чего его используют?
- 3*. Как с помощью заряженного электроскопа установить, является ли данный предмет проводником или изолятором?
4. Можно ли электрический заряд делить бесконечно?
5. Какой электрический заряд имеет электрон? Чему равна его масса?
6. Как называется единица заряда в СИ?
- 7*. Почему заряд электрона считают минимальным элементарным зарядом?

§ 3 СТРОЕНИЕ АТОМА. ИОНЫ

Все вещества состоят из разных атомов. Вид атомов с одинаковым зарядом ядра называют **химическим элементом**. Разным химическим элементам соответствуют и разные атомы.

Атом — это мельчайшая частица простого вещества, наименьшая частица химического элемента, которая является носителем его химических свойств.

В древности атом считали простейшей частицей, не имеющей структуры. Слово «атом» происходит от греческого слова *atomos* — неделимый. По современным представлениям атом имеет сложную структуру.

Решающую роль в исследовании строения атома имели опыты (в 1911 г.)



основоположника ядерной физики *Эрнеста Резерфорда*. Он пропускал излучение радиоактивных элементов через золотую фольгу. По характеру рассеяния альфа-частиц Э. Резерфорд установил, что атом в основном пустой: в центре его размещается очень малое и плотное положительно заряженное ядро, а вокруг — электроны. Позднее учёный предложил **планетарную модель атома**: электроны вращаются вокруг массивного ядра аналогично тому, как планеты движутся вокруг Солнца.

Оказалось, что по сравнению с размерами самого атома ($\sim 10^{-10}$ м) ядро очень мало ($\sim 10^{-14}$ м). Чтобы представить относительные размеры атома и его ядра, рассмотрим следующую модель: если ядро атома — это шарик диаметром 1 мм (диаметр головки булавки), то атом — шар диаметром 10 м (высота трёхэтажного здания). Масса ядра значительно превышает массу электрона. Даже у наиболее лёгкого атома — атома водорода — ядро в 1 836 раз тяжелее электрона. У всех других атомов соотношение массы ядра и массы электрона ещё больше. Это означает, что **масса любого атома почти равна массе его ядра**, то есть массой электронов можно пренебречь.

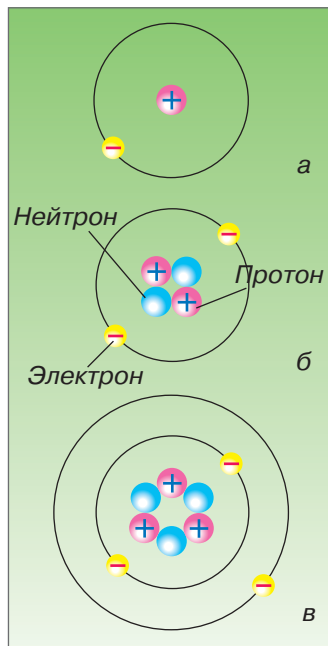


Рис. 13

Оболочка атома состоит из электронов, у которых совокупный отрицательный заряд по значению равен положительному заряду ядра, поскольку в целом атом электрически не заряжен, или **электронейтральный**, или **нейтральный**.

Атомы разных элементов в обычном состоянии отличаются количеством электронов, которые движутся вокруг ядра. Так, в атоме водорода вокруг ядра движется один электрон (рис. 13, а), в атоме гелия — 2 (рис. 13, б), лития — 3 (рис. 13, в), урана — 92 электрона. Основной характеристикой химического элемента является именно заряд ядра, а не количество электронов.

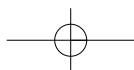
Из опытов, проведённых Э. Резерфордом и *Г. Мозли* в 1913 г., следовало, что заряд ядра определяется произведением элементарного заряда e и порядкового номера элемента Z в периодической системе элементов Д. И. Менделеева:

$$q_{\text{ядра}} = Ze.$$

То есть атом в целом электронейтральный, а заряд электрона $q_e = -e$. Это означает, что электронная оболочка атома содержит Z электронов. Следовательно, порядковый номер Z элемента имеет физический смысл: он показывает, во сколько раз заряд ядра больше, чем элементарный заряд.

Из чего же состоит атомное ядро?

В 1932 г. Д. Д. Иваненко предложил протон-нейтронную модель ядра атома, согласно которой атомное ядро состоит из **протонов** и **нейтронов**. Протон — эта положительно заряженная частица, масса которой в 1 836 раз превышает массу электрона. Электрический заряд протона совпадает по модулю с зарядом электрона: $q_{\text{пр}} = e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.





Ядра разных атомов содержат разное количество протонов. Например, в ядре атома водорода — лишь один протон, кислорода — 8, урана — 92 протона.

Количество протонов в ядре совпадает с порядковым номером соответствующего элемента в периодической системе (то есть Z — количество протонов в ядре), а также с числом электронов в атоме вследствие электронейтральности.

Кроме порядкового номера в периодической системе для каждого химического элемента указана относительная атомная масса, округлённое целое значение которой называют *массовым числом ядра* A . Массовое число ядра A показывает общее количество протонов и нейтронов в атомном ядре:

$$A = Z + N,$$

где Z и N — соответственно число протонов и нейтронов в ядре атома.

Масса нейтрона в 1 839 раз превышает массу электрона, электрический заряд нейтрона равен нулю ($q_n = 0$), то есть нейтрон — нейтральная частица. Чтобы определить число нейтронов N в ядре, из массового числа A этого ядра вычитаем количество протонов Z в нём:

$$N = A - Z.$$

Поскольку нейтроны не имеют заряда, то электрический заряд атомного ядра совпадает с суммарным зарядом протонов в этом ядре.

Итак, уточнённое строение атома следующее: **в центре атома размещается ядро, состоящее из нуклонов (протонов и нейтронов), а вокруг ядра движутся электроны.**

Позднее учёные предложили более совершенные модели строения атома. Согласно современным представлениям, что вам уже известно из курса химии, общепринятой является более сложная оболочечная модель атома. В нашем курсе для объяснения многих электрических явлений достаточно иметь представление об уточнённой планетарной модели.

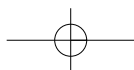
Если атом теряет один или несколько электронов, то такой атом называют **положительным ионом**. Положительно заряженные ионы обозначают химическим знаком элемента и знаком «+» с числом, которое показывает, сколько электронов теряет атом, например K^+ , Zn^{2+} .

Соответственно атом, к которому присоединились один или несколько электронов, называют **отрицательным ионом**. Обозначают отрицательные ионы Cl^- , S^{2-} и т. д.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое атом? Каково его строение?
2. Вокруг чего движутся электроны внутри атома?
3. Чему равен электрический заряд ядра атома?
- 4*. Каков физический смысл порядкового номера химического элемента?
- 5*. Докажите, что атом в целом нейтральный.
6. Кто и когда предложил планетарную модель атома?
7. Из каких частиц состоит атомное ядро?
- 8*. Что представляют собой положительные и отрицательные ионы? Как они образуются?



§ 4 ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА

Известно, если в результате взаимодействия тел происходит изменение значений масс этих тел либо их частей, то общая масса тел и их частей не изменяется. Например, после взрыва пушечного ядра сумма масс его обломков равна массе оболочки этого ядра до взрыва. При электризации тел и их взаимодействии также происходит перераспределение электрических зарядов между телами. *Изменяется ли при этом общий заряд взаимодействующих тел, могут ли возникать или исчезать электрические заряды только одного знака?*

● **Опыт 1.** Закрепим на стержне электрометра металлический диск. На него кладем суконный лоскут и накрываем таким же диском, но с ручкой из диэлектрика. Выполним диском несколько движений по сукну и снимем диск. Стрелка электрометра отклоняется на определённый угол, то есть на сукне и диске появляется электрический заряд (рис. 14, а).

Диском, потёртым о сукно, прикасаемся к стержню другого электрометра. Его стрелка отклоняется на такой же угол, как и в первом электрометре (рис. 14, б). Это означает, что при электризации оба диска получили равные по модулю заряды.

А что можно сказать о знаках этих зарядов? Соединим стержни электрометров металлическим проводником. Мы увидим, что стрелки обоих приборов вернутся в нулевое положение, то есть заряды электрометров нейтрализуются. Это означает, что заряды, полученные дисками при электризации, были равны по модулю, но противоположны по знаку, поэтому их сумма равна нулю.

Этот и другие опыты показывают, что при электризации **общий (суммарный) заряд тел сохраняется**: если он равен нулю до электризации, то таким же будет и после неё.

Почему это происходит? Если стеклянную палочку потереть о шёлк, то она, как вы уже знаете, заряжается положительно, а шёлк — отрицательно. Это объясняется тем, что при контакте определённое число электронов переходит со стеклянной палочки на шёлк, создавая дефицит электронов на палочке, то есть положительный заряд, и такой же по модулю отрицательный заряд на шёлке с избытком тех же электронов. При этом полный электрический заряд на шёлке и стеклянной палочке остаётся равным нулю, то есть сохраняется.

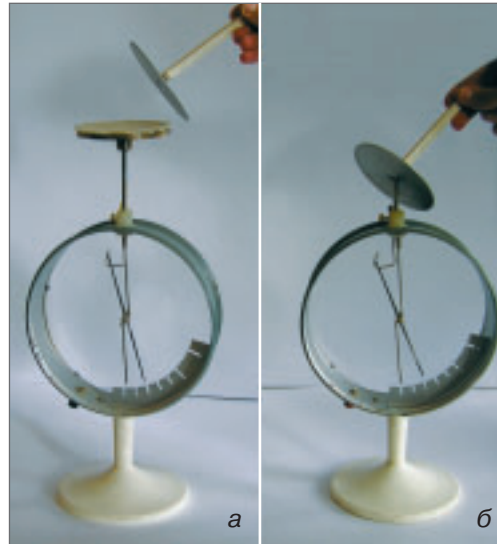


Рис. 14

Полный электрический заряд сохраняется и в том случае, если начальные заряды тел не были равны нулю. Следовательно, при электризации тел выполняется фундаментальный закон природы, который называют **законом сохранения электрического заряда**. Закон справедлив только для электроизолированных, или замкнутых, систем, — они не обмениваются электрическими зарядами с телами или частицами, которые не входят в эти системы.

В замкнутой системе заряженных тел алгебраическая сумма зарядов остаётся постоянной.

Если отдельные заряды обозначить $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$, то

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const}.$$

Из этого закона также следует, что при взаимодействии заряженных тел не может возникнуть либо исчезнуть заряд только одного знака. Возникновение положительного электрического заряда всегда сопровождается появлением такого же по модулю отрицательного электрического заряда.

Закон сохранения заряда сформулировал в 1750 г. американский учёный и выдающийся политический деятель **Бенджамин Франклин**. Он также впервые ввёл понятие о положительных и отрицательных электрических зарядах, обозначив их знаками «+» и «-».



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Почему на стеклянной палочке и шёлке при касании образуются заряды, равные по модулю и противоположные по знаку?
2. Чему равен суммарный заряд при электризации тел?
3. Сформулируйте закон сохранения электрического заряда.
4. Приведите примеры явлений, в которых наблюдается сохранение заряда.

§ 5

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ТЕЛ

Наблюдения и опыты подтверждают, что наэлектризованные тела взаимодействуют на расстоянии, — они притягиваются или отталкиваются. *Как же передаётся действие наэлектризованного тела на другое тело?*

Опыт 1. Подвесим на нити заряженную гильзу и поднесём к ней наэлектризованную стеклянную палочку. Даже при отсутствии непосредственного контакта гильза на нити отклоняется от вертикального положения (рис. 15). Заряженные тела, как видим, способны взаимодействовать на расстоянии. Как при этом передаётся действие одного тела другому? *Может быть, причина в воздухе между ними?* Выясним это на опыте.

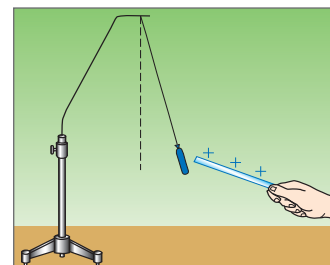


Рис. 15



● **Опыт 2.** Поместим заряженный электроскоп (без стекла) под колпак воздушного насоса и откачаем из него воздух (рис. 16). Мы видим, что в безвоздушном пространстве листочки электроскопа также взаимно отталкиваются. Следовательно, на передачу электрического взаимодействия воздух не влияет. *Как происходит взаимодействие заряженных тел?*

Изучая взаимодействие наэлектризованных тел, учёные *Майкл Фарадей* (1791–1867) и *Джеймс Кларк Максвелл* (1831–1879) установили, что в пространстве вокруг электрического заряда существует **электрическое поле**. С помощью этого поля и происходит электрическое взаимодействие.

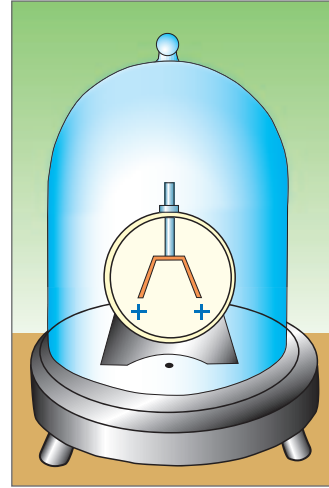


Рис. 16

Электрическое поле — это особый вид материи, который отличается от вещества и существует вокруг любых заряженных тел.

Органы чувств человека не воспринимают электрическое поле, обнаружить его можно лишь по действию на электрические заряды.

Наблюдения и опыты дают возможность установить основные свойства **электрического поля**.

Электрическое поле заряженного тела действует с определённой силой на любое другое заряженное тело, находящееся в данном поле.

Это подтверждают все опыты, в которых демонстрируется взаимодействие заряженных тел.

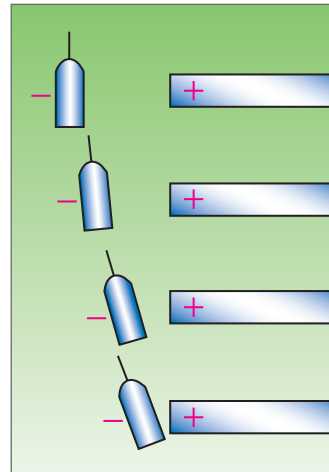


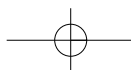
Рис. 17, а

Электрическое поле, создаваемое заряженным телом, действует на заряженные тела, которые размещены ближе к нему, сильнее, чем на те, которые находятся на большем расстоянии.

Убедимся в этом, выполнив следующий опыт.

● **Опыт 3.** Подвесим на нити отрицательно заряженную гильзу. Разместим возле неё палочку с зарядом положительного знака (рис. 17, а). Будем приближать подставку с гильзой к заряженной палочке. Опыт показывает, чем ближе гильза к палочке, тем с большей силой действует на неё электрическое поле заряженной палочки.

Силу, с которой электрическое поле действует на заряженные тела, находящиеся в этом поле, называют электрической силой.



Следует иметь в виду, что не только заряженная палочка своим электрическим полем действует на заряженную гильзу, но и гильза при этом собственным электрическим полем воздействует на палочку. Такое общее действие электрических полей каждого из заряженных тел на другое и характеризует электрическое **взаимодействие заряженных тел**.

● **Опыт 4.** Подвесим на нити незаряженную гильзу из алюминиевой фольги. Разместим рядом положительно заряженную палочку, как в опыте 3 (рис. 17, б). При сближении палочки и гильзы незаряженная гильза также притягивается к палочке, как и в случае с заряженной гильзой.

Почему незаряженная гильза притягивается к наэлектризованной палочке?

В металлах электроны на внешних оболочках атомов легко отрываются от них, образуя положительные ионы, расположенные в узлах кристаллических решёток. Эти свободные электроны могут легко перемещаться по всему кристаллу, электрическое поле положительно заряженной палочки действует на них, и они, притягиваясь к палочке, собираются на расположенной ближе к палочке стороне гильзы. Следовательно, эта часть гильзы получает отрицательный заряд, а противоположная оказывается «обеднённой» на электроны и получает положительный заряд. Поскольку электрическое поле сильнее действует на более близкий к палочке отрицательный заряд, чем на более удалённый положительный, то результирующим действием является притяжение гильзы палочкой.

Данный опыт иллюстрирует явление **электростатической индукции**, а тип электризации тел без касания их заряженным телом, как вы уже знаете, называют **электризацией влиянием**, или **индукцией**.

Действие электрического поля на заряды наблюдается также в опытах с диэлектриками. Если диэлектрик разместить в электрическом поле, то положительно заряженные частицы (ионы) под действием электрического поля смещаются в одну сторону, а отрицательно заряженные частицы (электроны) — в другую. Это явление называют **поляризацией диэлектрика**.

Именно поляризацией объясняются опыты, в которых происходит притяжение заряженными телами в целом нейтральных лёгких кусочков бумаги, ворсинок. Однако в электрическом поле наэлектризованного тела (стеклянной или эбонитовой палочки, расчёски) они поляризуются. На размещённом ближе к палочке кусочке бумаги возникает заряд, противоположный по знаку заряду палочки. Взаимодействие с ним объясняет притяжение бумаги к наэлектризованному телу.

Электрическое поле изображают с помощью **силовых линий** (рис. 18).

► **Силовые линии электрического поля — это воображаемые линии, показывающие направление силы, которая действует в этом поле на размещённое в нём положительно заряженное маленькое тело.**

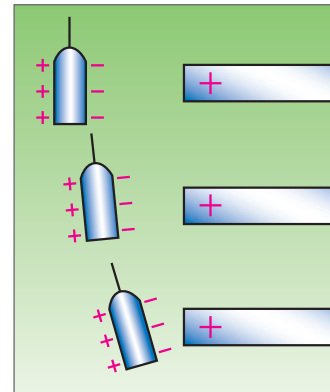


Рис. 17, б

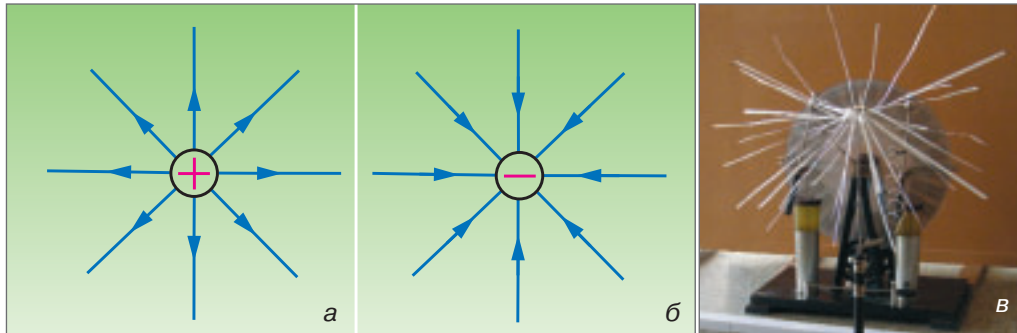


Рис. 18

На рисунках изображены силовые линии поля, которое создаётся положительно (рис. 18, а) и отрицательно (рис. 18, б) заряженным телом. Стрелки показывают, что силовые линии направлены от положительно заряженных тел к отрицательно заряженным телам. Похожую картину мы наблюдали в ходе опытов с электрическими «султанами» (рис. 18, в).



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое электрическое поле?
2. Назовите основные свойства вещества.
3. Назовите основные свойства электрического поля.
4. Что показывают силовые линии электрического поля?
- 5*. Почему нейтральные кусочки бумаги притягиваются к заряженному телу?
- 6*. Объясните, почему после получения электрическим «султаном» заряда его бумажные полоски расходятся в разные стороны.
- 7*. Как обнаружить наличие электрического поля, ведь человек не имеет специальных органов чувств?

ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

- Путешественники, попавшие в горах ночью в грозу, могут наблюдать редкое явление. Палки, окованные железом, начинают «звучать», в темноте на их концах появляется свечение.

Светятся и верхушки высоких деревьев, громоотводов, антенн, корабельные мачты. Объясняется это явление так. Перед грозой электрическое поле близ заострённых предметов, выступающих над поверхностью Земли, иногда становится настолько сильным, что возникает электропроводность воздуха, а прохождение тока в газе (электрический разряд) сопровождается излучением света.

- Одна из «профессий» электрического поля — электропокраска. Окрашиваемый предмет присоединяют к отрицательному полюсу электрической машины, а краскопульт — к положительному. Положительно заряженные капли краски из краскопульты перемещаются в электрическом поле к отрицательно заряженному предмету и равномерно покрывают его. Такой способ очень экономичен и значительно улучшает качество окрашивания.

Красить в электрическом поле можно изделия из металла, дерева, стекла, резины и т. д. Поэтому этот способ применяют не только в маши-

ностроительной, но и в обувной, деревообрабатывающей и мебельной промышленности.

- Дымовые трубы заводов, фабрик, тепловых электростанций выбрасывают много дыма, загрязняющего и отравляющего воздух. Каждую минуту наши лёгкие пропускают до 10 л воздуха, а в сутки — почти 15 м³. Человеческому организму необходим чистый воздух. Поэтому для очищения воздуха от дыма применяют электрофильтры. Это металлические цилиндры, по оси которых проходит отрицательно заряженный провод. Цилиндры имеют положительный заряд. Под действием электрического поля, создаваемого внутри цилиндра, мелкие частицы, заряженные отрицательно, перемещаются к стенкам и оседают на них. Со стенок пыль и осадок периодически очищают. В сутки из электрофильтра средних размеров собирают несколько тонн пыли и сажи. На одном из цементных заводов за 12 лет электрический фильтр собрал 340 000 т цементной пыли. Представьте, сколько зданий могло «вылететь в трубу», если бы не было фильтра.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ТЕЛ

- **Цель работы:** изучить электризацию тел и исследовать взаимодействие заряженных тел.
- **Приборы и материалы:** две одинаковые пластмассовые ручки, полоски бумаги и полиэтиленовой плёнки, кусочки бумаги, нитки, штатив с лапкой.

Ход работы

1. Подвесьте к лапке штатива на нити пластмассовую ручку в горизонтальном положении. Один конец ручки потрите бумагой.
2. Конец другой ручки потрите бумагой и поднесите к натёртому концу подвешенной ручки. Наблюдайте, как взаимодействуют тела.
3. Потрите ручку об полиэтиленовую полоску и снова проверьте взаимодействие с подвешенной ручкой.
4. На бумажную полоску положите полиэтиленовую полоску и разгладьте её рукой. Поднимите полоски за концы, разведите и поднесите одну полоску к другой. Что с ними происходит?
5. Поднесите поочередно заряженные полоски к наэлектризованной ручке. Что происходит с полосками? Как зависит взаимодействие от расстояния между заряженными телами?
6. Положите рядом две полиэтиленовые полоски и потрите сухой рукой. Поднимите за концы и поднесите одну к другой. Наблюдайте их взаимодействие.
7. Повторите предыдущий опыт, но потрите полоски сильнее. Как изменилось их взаимодействие?
8. Сделайте выводы. Результаты опытов запишите в тетрадь.

§ 6 ЗАКОН КУЛОНА

Мы убедились на опытах, что сила взаимодействия между заряженными телами зависит от степени электризации тел, их формы и расстояния между ними. Формулы, описывающие электрические взаимодействия заряженных тел в произвольных условиях, очень сложны. В 1785 г. Шарль Кулон предложил простую формулу закона взаимодействия **точечных зарядов** в вакууме.

Точечными зарядами называют заряженные тела, размеры которых очень малы по сравнению с расстояниями, на которых эти тела взаимодействуют.

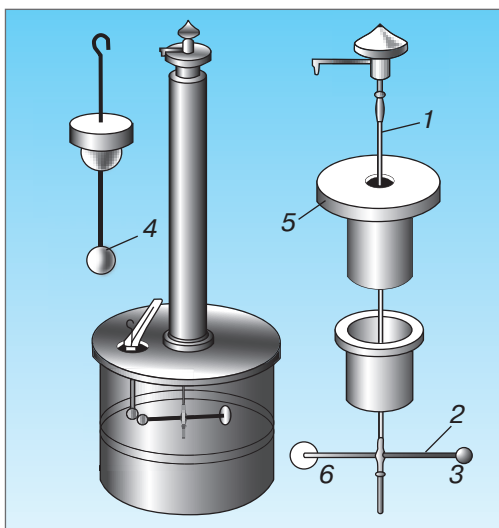


Рис. 19

Аналогичным признаком мы воспользовались ранее для определения понятия материальной точки. В своих исследованиях Ш. Кулон использовал небольшие заряженные шарики. В крутильных весах (рис. 19) лёгкое стеклянное коромысло 2, подвешенное на упругой тонкой нити 1, заканчивается с одной стороны металлическим шариком 3, с другой — противовесом 6. Через отверстие в крышке внесли наэлектризованный шарик 4, одинаковый по размеру с шариком 3. Ш. Кулон прикасался шариком 4 к шариком 3. При этом заряд перераспределялся между шариками, и они взаимно отталкивались. Коромысло поворачивалось и закручивало нить до тех пор, пока сила упругости,

возникающая в нити, не уравновешивала силу электрического взаимодействия. Поворачивая рукоятку в верхней части прибора, к которой прикреплена нить, можно было изменять угол закручивания нити, в результате изменялась сила упругости, а вследствие этого — и расстояние между зарядами.

Ш. Кулон определил: **сила электрического взаимодействия между точечными зарядами обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.**

Сложность опыта заключалась в том, что учёный не владел точным методом измерения заряда на шариках, поэтому он использовал следующий приём. К наэлектризованному шариком прикасался незаряженным шариком такого же размера, отдаляя его затем на значительное расстояние. Поскольку при этом заряд распределялся поровну между обоими шариками, заряд пробного шарика уменьшался в два раза. Оказалось, что во столько же раз уменьшается и сила электрического взаимодействия. Повторив опыт несколько раз, учёный пришёл к выводу: **сила электрического взаимодействия пропорциональна произведению точечных зарядов, которые взаимодействуют между собой.**

Опыты Кулона проводились в воздухе и не отличались высокой точностью, поскольку шарики были большими, а сила измерялась со значительной погрешностью (до 3 %). Полагая, что точечные заряды взаимодействуют в вакууме, Ш. Кулон сформулировал закон, который подтверждается всей совокупностью электрических явлений.

Сила взаимодействия между двумя неподвижными точечными электрическими зарядами прямо пропорциональна произведению этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Если обозначить модули точечных зарядов q_1 и q_2 , а расстояние между ними — r , то в СИ модуль силы F электрического взаимодействия в вакууме будет равен:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2},$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$ — *электрическая постоянная*. Если точечные заряды взаимодействуют в определённой среде, то закон Кулона следует записывать так:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2},$$

где ϵ — *диэлектрическая постоянная* среды (для вакуума $\epsilon = 1$, для различных веществ указана в таблицах).

Иногда используют электрическую постоянную в виде:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}.$$

В этом случае формула для закона Кулона имеет такой вид:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2}.$$

Из формулы видно: если расстояние между двумя точечными зарядами по 1 Кл каждый равно 1 м, то сила взаимодействия между ними в вакууме составляет $9 \cdot 10^9$ Н.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какой заряд называют точечным?
2. Почему Ш. Кулон, выполняя опыт, был уверен, что электрический заряд изменяется именно в два раза?
3. Сформулируйте закон Кулона.
- 4*. Почему в формулировке закона Кулона важно пользоваться термином «точечный заряд»?
5. Как определяют единицу заряда 1 кулон?
- 6*. Почему за единицу заряда не приняли заряд электрона?

ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

Решаем вместе

1. Если погладить шерсть кошки ладонью, то в темноте можно заметить небольшие искорки между рукой и шерстью. Какова причина их возникновения?

О т в е т: искры возникают в результате электризации руки при трении о шерсть.

2. Некоторые щётки для чистки одежды притягивают пыль. Почему?

О т в е т: щётки изготовляют из специального материала, который при трении сильно электризуется.

3. Каков состав наиболее тяжёлого из природных атомов — урана?

О т в е т: количество электронов в атоме (совпадает с порядковым номером элемента) $Z = 92$; общее число частиц (совпадает с массовым числом) $A = 238$; число протонов в ядре (совпадает с числом электронов в атоме) $Z = 92$; количество нейтронов в ядре:

$$N = A - Z; N = 238 - 92 = 146.$$

4. С какой силой будут взаимодействовать два точечных заряда по 10^{-4} Кл каждый, если их разместить в вакууме на расстоянии 1 м один от другого?

Дано:

$$q_1 = q_2 = 10^{-4} \text{ Кл}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$$

$$r = 1 \text{ м}$$

$$\pi = 3,14$$

$$F = ?$$

Решение

Используем формулу:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

Подставив значения физических величин, получим:

$$F = \frac{10^{-4} \text{ Кл} \cdot 10^{-4} \text{ Кл}}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} \cdot 1 \text{ м}^2} = 90 \text{ Н.}$$

Ответ: $F = 90 \text{ Н.}$

Уровень А

1. Как показать, что на обоих телах при их трении возникают электрические заряды?
2. Как объяснить возникновение на одном из натёртых тел положительного заряда, а на другом — отрицательного?
3. На шёлковой нити подвешена незаряженная гильза из алюминиевой фольги. Если к ней приблизить наэлектризованную стеклянную палочку, то гильза притягивается. Почему гильза сразу после прикосновения отталкивается от палочки (рис. 20, а, б)?

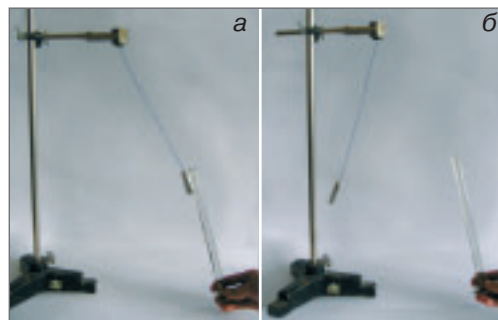


Рис. 20

4. Объясните, почему между ремнями и шкивами машин и трансмиссий периодически возникают искры?
5. Если гладить рукой сухие чистые волосы или расчёсывать их, то они поднимаются за рукой или расчёской. Объясните это явление.
6. Почему можно наэлектризовать стеклянную палочку, держа её в руке, но нельзя наэлектризовать металлическую? Что необходимо сделать, чтобы наэлектризовать металлическую палочку?
7. Синтетические ткани на сидениях автомобилей быстро загрязняются вследствие их электризации. Почему? Как это предотвратить?
8. Если эбонитовую палочку потереть резиной, то она наэлектризуется положительно, а если мехом, — то отрицательно. В мехе или резине атомы слабее удерживают электроны, входящие в их состав?
9. Можно ли эбонитовую палочку натиранием наэлектризовать так, чтобы одна её половина была заряжена положительно, а другая — отрицательно? (См. условие предыдущей задачи.)
10. Почему металлы при натирании их шерстью или шёлком электризуются только положительно?
11. На одинаковых нитях подвесили два шарика. Один из них отталкивается от положительно заряженной палочки, а другой — притягивается. К отрицательно заряженной палочке оба шарика притягиваются. Охарактеризуйте электрическое состояние этих шариков.
12. Известно, что одноимённо заряженные тела отталкиваются. В каком школьном приборе используется свойство заряженных тел отталкиваться? Каков принцип его действия?
13. Листочки электроскопа начинают расходиться прежде, чем к нему притронутся заряженной палочкой. Какова причина этого явления? Почему листочки опадают сразу после отдаления палочки?
14. Почему шарик и стержень электроскопа изготавливают из металла? Почему заряженный электроскоп разряжается, если к его шарiku прикоснуться пальцем?
15. Почему в помещении, где много людей, заряженный электроскоп быстро теряет заряд?
16. Почему тела плохо электризуются, если в комнате высокая влажность?
17. Из перечисленного назовите проводники и изоляторы: серебро, эбонит, фарфор, раствор поваренной соли, медь, шёлк, тело человека, алюминий, керосин.
18. Почему корпуса штепсельных розеток, вилок, патронов, выключателей и т. д. изготавливают из пластмассы или фарфора?
19. Почему во время работы электромонтёры надевают резиновые сапоги и рукавицы (рис. 21)?
20. Как можно обнаружить электрическое поле и его действие?



Рис. 21



21. Сколько электронов в атоме: а) меди (Cu); б) кремния (Si); в) иода (I)?
22. Каков состав атомов фтора (F), серебра (Ag), платины (Pt), цинка (Zn)?
23. Чему равен общий заряд всех электронов в атоме кислорода?
24. У какого атома общий заряд всех электронов равен $q = -16 \cdot 10^{-19}$ Кл?
25. Два заряда $2,3 \cdot 10^{-6}$ Кл и $3,5 \cdot 10^{-5}$ Кл размещены в вакууме на расстоянии 1,7 см. Определите силу взаимодействия между ними.

Уровень Б

26. Как определить, какой из двух одинаковых бузиновых шариков, подвешенных на тонких шёлковых нитях, наэлектризован, а какой — нет?
27. Какой заряд имеет гильза 1 (рис. 22, а), если у гильзы 2 — положительный? Какой заряд у гильзы 2 (рис. 22, б), если у гильзы 1 — отрицательный?
28. При перевозке в цистернах бензина, керосина они электризуются, что может привести к возгоранию. Какие мероприятия проводятся, чтобы нейтрализовать заряды, возникающие при электризации бензина, керосина?
29. Если поднести к незаряженной гильзе на нити наэлектризованную эбонитовую палочку, то она быстро притягивается к палочке, сразу же отталкивается и затем будет удерживаться на определённом расстоянии. А если поднести наэлектризованную стеклянную палочку, то гильза снова притягивается. Сделайте вывод из этого опыта.
30. Почему сначала заметили электризацию тел из янтаря, стекла, а не из меди или олова?
31. Имеем два одинаковых металлических шара. В одном не хватает электронов, в другом — 4 000 лишних. Шары соединили. Какими были заряды шаров до соединения, какими — после их соединения?
32. Если в пространство, окружающее наэлектризованное тело, вносят другое заряженное тело, то на него действует электрическая сила, а в пространстве вокруг ненаэлектризованного тела этого не наблюдается. Почему к заряженному телу притягиваются мелкие кусочки бумаги?
33. Как перенести заряд с электризованного тела на ненаэлектризованное с помощью третьего ненаэлектризованного тела?
34. Объясните, почему электризацию трением заметили на веществах, которые относятся к непроводникам электричества.
35. Почему в опытах с электроскопом к шарiku не только прикасаются наэлектризованной палочкой, но и проводят ею по шарiku?
36. В ходе опытов по электричеству рекомендуют эбонитовые и стеклянные палочки брать за один конец. Почему?
37. Можно ли изготовить электроскоп с пластмассовым, эбонитовым или стеклянным стержнем? Почему?
38. Как с помощью электроскопа определить знак заряда наэлектризованного тела?

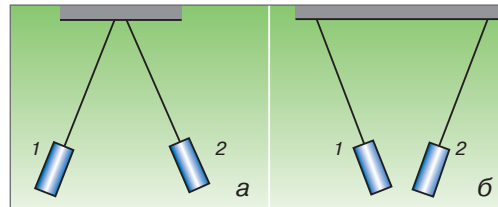
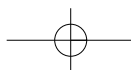
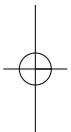


Рис. 22



39. Объясните, почему иногда электроскоп разряжается быстро, а иногда — медленно.
40. Чтобы электроскоп хорошо работал, перед опытами его необходимо просушить. Зачем?
41. Перед опытами с электричеством подставки, эбонитовые палочки необходимо протирать тряпкой, смоченной в керосине. Зачем?
42. Листочки заряженного электроскопа ещё больше расходятся, если к нему поднести положительно заряженную палочку, а если отдалить, то листочки занимают прежнее положение. Какой заряд зафиксировал электроскоп?
43. Почему при сборке и ремонте компьютеров необходимо надевать на руку заземлённый браслет?
44. Почему во время грозы нельзя запускать бумажного змея?
45. К шарiku электроскопа, не прикасаясь к нему, подносят наэлектризованную эбонитовую или стеклянную палочку. Полоски электроскопа расходятся. Если убрать палочку, то полоски снова опадают. Как объяснить это явление?
46. К шарiku наэлектризованного электроскопа, не прикасаясь к нему, подносят тело, имеющее такой же заряд. Что происходит с полосками, если наэлектризованное тело убрать?
47. Почему в ходе опытов с наэлектризованной эбонитовой или стеклянной палочкой и кусочками бумаги последние будто танцуют: то приближаются к палочке, то опадают?
48. Полоски «султана» притягиваются к поднесённой наэлектризованной палочке. Значит ли это, что они также электризуются?
49. Чему равен заряд ядра атома ртути (Hg)? Во сколько раз он больше, чем заряд ядра атома гелия (He)?
50. От атома меди (Cu) отделился один электрон. Как называется образованная частица? Каков её заряд?
51. Определите состав атома кремния (Si).
52. Электроскоп получил заряд, равный $q = -6,4 \cdot 10^{-10}$ Кл. Какому количеству электронов соответствует этот заряд?
53. Может ли существовать частица, заряд которой равен $-4,8 \cdot 10^{-19}$ Кл? Какому количеству элементарных зарядов соответствует такой заряд?
54. Какому количеству элементарных зарядов соответствует электрический заряд, равный 1 Кл?
55. Два одинаковых металлических шарика подвешены на шёлковых нитях. Заряд одного равен 10 нКл, второго — 16 нКл. Шарики столкнули и развели. Каковы заряды шариков после столкновения? $1 \text{ нКл} = 10^{-9} \text{ Кл}$.
56. Какой заряд будет иметь каждый из трёх одинаковых металлических шариков после их столкновения и расхождения, если начальные заряды шариков соответственно равны 6 нКл, -4 нКл и 7 нКл?

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА



Шарль Кулон

Кулон Шарль Огюстен родился 14 июня 1736 г. в Ангулеме. Учился в Париже в Колледже четырёх наций (Колледж Мазарини), затем переехал в Монпелье. В феврале 1757 г. Ш. Кулон на заседании Королевского научного общества прочитал свою первую научную работу «Геометрический очерк среднепропорциональных кривых». Позднее его избирают адъюнктом по классу математики. В феврале 1760 г. Ш. Кулон поступает в Мезьерскую школу военных инженеров, которую окончил в октябре 1761 г., получив назначение в порт Брест, что на западном побережье Франции.

Вскоре Ш. Кулон попадает на Мартинику. Благодаря успехам на строительстве форта в Монт-Гранье в марте 1770 г. он становится капитаном. В это время Ш. Кулон уже занимается изобретением способа изготовления магнитных стрелок для точных измерений магнитного поля Земли, а в 1784 г. завершает работу «Теоретические и экспериментальные исследования силы кручения и упругости металлических проводов».

В сентябре 1781 г. Ш. Кулона переводят в Париж, а в декабре – избирают в академию по классу механики. После многочисленных опытов по изучению трения он исследовал зависимость трения скольжения от относительной скорости движения соприкасающихся тел с использованием больших нагрузок. Работой Ш. Кулона «Теория простых машин» инженеры пользовались почти столетие.

С целью применения разработанных крутильных весов Ш. Кулон углубился в проблемы магнетизма и электричества. В результате он установил основной закон электростатики — закон взаимодействия точечных зарядов.

В последние годы жизни Ш. Кулон занимался организацией системы образования во Франции. Но после частых поездок по стране летом 1806 г. учёный заболел лихорадкой и 23 августа 1806 г. умер.

ПРОВЕРЬТЕ СВОИ ЗНАНИЯ

Контрольные вопросы

1. Почему о некоторых частицах говорят, что они имеют электрический заряд?
2. Почему заряженные тела могут притягиваться либо отталкиваться?
3. Заряд каких частиц равен по значению элементарному заряду?
4. Почему тела заряжаются положительно или отрицательно?
5. Каков физический смысл порядкового номера химического элемента?
6. Незаряженные тела называют *электронейтральными*. При каких условиях при контакте происходит полная нейтрализация наэлектризованных тел?
7. Какой опыт с двумя электрометрами может подтвердить закон сохранения электрического заряда?

В учебнике
не писать

8. Что подтверждает наличие вокруг заряженного тела электрического поля?
9. Какие вы знаете основные свойства электрического поля?
10. На что указывают силовые линии электрического поля?
11. Почему при формулировании закона Кулона обязательно используют термин «точечный заряд»?
12. Почему за единицу заряда не был принят заряд электрона?

Что я знаю и умею делать

Я знаю, какие заряды существуют в природе

1. Каков заряд эбонитовой палочки (рис. 23)?
2. Как зарядилась стрелка электрометра (рис. 24)?
3. На рисунке 25 изображены шарики синего, красного, жёлтого цвета, которые взаимодействуют между собой. Какой заряд имеет жёлтый шарик во всех случаях?
4. Стеклянную палочку потёрли шёлковой тканью. Какой заряд получила палочка, какой — шёлковая ткань? Поясните взаимодействие между палочкой и шариком; между тканью и шариком (рис. 26).

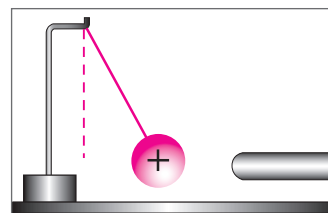


Рис. 23

Я умею объяснять явление электризации тел

5. Струйка песка из узкого отверстия отклоняется в разные стороны, если к ней поднести заряженную эбонитовую или стеклянную палочку. Почему?
6. Будут ли электрические заряды взаимодействовать на Луне, где нет атмосферы?

Я умею выполнять опыты

7. Наэлектризуйте об волосы расчёску и прикоснитесь к пёрышку. Что происходит с пёрышком? Стряхните пёрышко с расчёски и, когда оно будет в воздухе, попытайтесь удержать на одной высоте, подставляя снизу на некотором расстоянии наэлектризованную расчёску. Почему пёрышко не падает? Что удерживает его в воздухе?

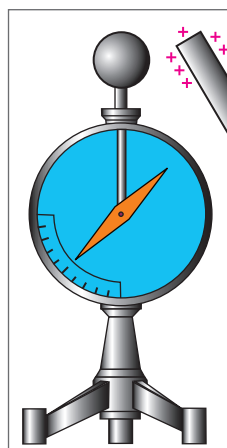


Рис. 24

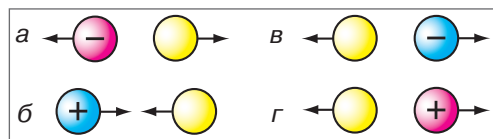


Рис. 25

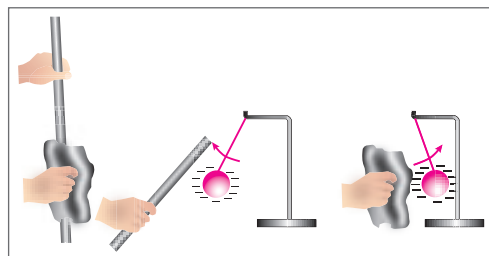


Рис. 26

8. Наполните воздушный шарик воздухом, потрите его о шерсть, мех либо свои волосы. Объясните, почему шарик начинает «прилипать» к разным предметам и даже к потолку.

Я знаю строение атома

9. Атом какого химического элемента содержит: а) 15 электронов; б) 79 электронов; в) 100 электронов?
10. От атома гелия отделился один электрон. Как называется образовавшаяся частица? Каков её заряд?
11. К атому кислорода присоединился один электрон. Как называется образовавшаяся частица? Каков её заряд?
12. При электризации стеклянная палочка получила заряд $3,2 \cdot 10^{-10}$ Кл. Сколько электронов она потеряла?

Я умею применять закон сохранения электрического заряда

13. Два одинаковых металлических шарика подвешены на шёлковых нитях. Заряд одного равен 4 нКл, заряд другого — (-10 нКл). Шарик столкнули и развели. Какой заряд будут иметь шарик?

Я умею определить силу взаимодействия двух точечных зарядов

14. С какой силой будут взаимодействовать два точечных заряда по 1 Кл каждый, если их разместить на расстоянии 1 км один от другого?
15. Два маленьких шарика с зарядами $2,0 \cdot 10^{-7}$ Кл и $4,5 \cdot 10^{-7}$ Кл в вакууме действуют с силой 0,1 Н. Определите расстояние между ними.

Тестовые задания

Вариант I

1. Вам известно, что трением о шерсть заряжаются палочки из резины, серы, эбонита, пластмассы, капрона. Заряжается ли при этом шерсть?
А. Да, поскольку в электризации трением всегда принимают участие два тела. При этом оба электризуются.
Б. Хотя в электризации трением принимают участие два тела, но в опытах всегда используют только палочки, поэтому можно считать, что заряжаются лишь палочки.
В. Ответа нет.
2. Что будет происходить с подвешенным на шёлковой нити незаряженным лёгким шариком, если к нему поднести заряженное тело?
А. Шарик притянется к заряженному телу.
Б. Шарик оттолкнётся от заряженного тела.
В. Шарик сначала притянется к заряженному телу, а после контакта с ним — оттолкнётся.
3. Для чего используют электроскоп?
А. Только для определения значения заряда.
Б. Только для определения знака заряда.
В. Только для выявления заряда.
Г. Для выявления заряда, определения его значения и знака.
4. Какой заряд у шарика электроскопа, к которому поднесли, не касаясь его, положительно заряженную палочку?

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

- А.** Положительный.
Б. Отрицательный.
В. Заряда нет.
5. Можно ли делить электрический заряд неограниченно?
А. Можно.
Б. Нельзя.
В. Только до заряда электрона.
6. Наэлектризованную палочку положили на деревянный стол. Разрядится ли палочка?
А. Разрядится. Заряды перейдут в стол.
Б. Все заряды сохранятся на палочке.
В. В местах соприкосновения часть зарядов с палочки переходит в стол.
7. К заряженному электроскопу с достаточно большого расстояния начали подносить отрицательно заряженную палочку. По мере её приближения листочки сначала опадали, а потом начали снова расходиться. Заряд какого знака был на электроскопе?
А. Положительный.
Б. Отрицательный.
В. Электроскоп был не заряжен.
8. Чему равен заряд атома бора?
А. $8 \cdot 10^{-19}$ Кл. **Б.** $10 \cdot 10^{-19}$ Кл. **В.** $-8 \cdot 10^{-19}$ Кл.
9. Каков состав атома хлора?
А. 17 электронов, 17 протонов, 17 нейтронов.
Б. 34 электрона, 17 протонов, 17 нейтронов.
В. 17 электронов, 17 протонов, 18 нейтронов.
10. Три одинаковых металлических шарика подвесили на шёлковых нитях. Заряд одного равен 2 нКл, второго — (-10 нКл), а третьего — 5 нКл. Шарик столкнули и развели. Какой заряд будут иметь шарик после этого?
А. 1 нКл. **Б.** 5,6 нКл. **В.** -1 нКл. **Г.** -3 нКл.
11. Среднее расстояние между двумя облаками составляет 10 км. Электрические заряды их соответственно равны 10 Кл и 20 Кл. С какой электрической силой взаимодействуют облака?
А. 9 кН. **Б.** 200 кН. **В.** 180 кН. **Г.** 18 кН.
12. Заряд одного из двух одинаковых металлических шариков в 5 раз больше, чем другого, но того же знака. Шарик столкнули, а потом снова отвели на прежнее расстояние. Во сколько раз изменилась сила взаимодействия шариков?
А. Увеличилась в 5 раз.
Б. Увеличилась в 1,8 раза.
В. Уменьшилась в 1,25 раза.
Г. Не изменилась.

Вариант II

1. Как взаимодействуют между собой стеклянная палочка, потёртая о шёлк, и эбонитовая палочка, потёртая о сукно?
А. Отталкиваются.
Б. Притягиваются.
В. Ответа нет.

2. На чём основано действие электроскопа?
 - А. На взаимодействии разноимённых зарядов.
 - Б. На взаимодействии одноимённых зарядов.
 - В. На взаимодействии нейтральных и заряженных частиц.
3. Положительно заряженная стеклянная палочка притягивает сухой стебель подсолнечника, подвешенный на нити. Сделайте вывод о заряде стебля.
 - А. Стебель заряжен отрицательно.
 - Б. Стебель заряжен положительно.
 - В. Стебель не заряжен.
4. Могут ли два одноимённо заряженных бузиновых шарика, подвешенных на нитях, притягиваться?
 - А. Не могут, поскольку одноимённо заряженные тела отталкиваются.
 - Б. Могут, если значение зарядов шариков мало.
 - В. Могут, если заряд одного из шариков значительно превышает заряд другого.
5. Можно ли наэлектризовать металлический стержень трением, если держать его в руке?
 - А. Металлический стержень при трении электризуется, как и все тела.
 - Б. Нельзя, поскольку металл и тело человека — это проводники.
 - В. Можно, если его электроизолировать от руки.
6. Почему лёгкие гильзы или шарики при демонстрации опытов по взаимодействию зарядов подвешивают на шёлковых нитях?
 - А. Шёлковые нити лёгкие и гибкие.
 - Б. Шёлковые нити тонкие и крепкие.
 - В. Шёлковая нить не проводит электрических зарядов.
7. К стержню заряженного электроскопа поднесли, не касаясь его, незаряженный металлический стержень. Как при этом изменится угол расхождения листочков?
 - А. Увеличится. Б. Уменьшится. В. Не изменится.
8. Каков заряд ядра атома лития?
 - А. $4,8 \cdot 10^{-19}$ Кл. Б. $3 \cdot 10^{-19}$ Кл. В. $-4,8 \cdot 10^{-19}$ Кл.
9. Каков состав атома углерода?
 - А. 6 электронов, 6 протонов.
 - Б. 12 электронов, 6 протонов, 6 нейтронов.
 - В. 6 электронов, 6 протонов, 6 нейтронов.
10. Три одинаковых металлических шарика подвешивают на шёлковых нитях. Заряд одного равен -2 нКл, второго — 10 нКл, а третьего — -5 нКл. Шарики сомкнули и развели. Какими стали заряды шариков после этого?
 - А. 1 нКл. Б. 5,6 нКл. В. -1 нКл. Г. -3 нКл.
11. Среднее расстояние между двумя облаками составляет 20 км. Их электрические заряды соответственно равны 20 Кл и 20 Кл. С какой электрической силой взаимодействуют облака?
 - А. 9 кН. Б. 200 кН. В. 180 кН. Г. 18 кН.
12. Заряд одного из двух одинаковых металлических шариков в 5 раз больше, чем второго, но другого знака. Шарики столкнули, а потом снова отвели на прежнее расстояние. Во сколько раз изменилась сила взаимодействия шариков?
 - А. Увеличилась в 5 раз. Б. Увеличилась в $1,8$ раза.
 - В. Уменьшилась в $1,25$ раза. Г. Не изменилась.



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

- Электрический ток.
Источники электрического тока
- Электрическая цепь
- Электрический ток в металлах
- Действие электрического тока
- Сила тока
- Электрическое напряжение
- Электрическое сопротивление проводников
- Закон Ома для участка цепи
- Соединение проводников
- Работа и мощность электрического тока
- Закон Джоуля—Ленца
- Потребители электрического тока
- Электрический ток в растворах и расплавах электролитов
- Электрический ток в полупроводниках
- Электрический ток в газах
- Безопасность человека во время работы с электрическим током



§7 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Для работы электроприборов необходим электрический ток. Фонарики, электронные часы, аудиоплееры, радиоприёмники и телефоны используют электроэнергию батареек или аккумуляторов. Лампы, холодильники, телевизоры, пылесосы работают от электросети, то есть получают электроэнергию по проводам с электростанции.

Что же такое электрический ток и что нужно, чтобы он возник и существовал необходимое время?

Слово «ток» означает движение или течение чего-либо. А что может перемещаться в проводниках, соединяющих батарейку с лампой, холодильник — с электростанцией?

Явление электризации тел обусловлено наличием в них электрически заряженных частиц — электронов, а также положительных и отрицательных ионов, всегда находящихся в состоянии беспорядочного теплового движения (рис. 28). Есть много веществ, в которых при определённых условиях заряженные частицы могут свободно перемещаться на значительные расстояния по всему объёму тела. Например, в технике давно применяют металлические проводники, в которых носителями электричества являются свободные электроны. Если на все свободные заряженные частицы действовать какой-либо силой в одном направлении, то их беспорядочное перемещение дополнится движением в направлении приложенной силы. Говорят, что в теле возникает **электрический ток**.

Электрический ток — это упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц.

Если в объёме проводника создать электрическое поле, то под его действием свободные заряженные частицы будут перемещаться в направлении приложенных к ним электрических сил, то есть в проводнике возникает электрический ток (рис. 29). Например, в проводнике, соединяющем шарик заряженного электрометра с Землёй, возникает электрическое поле, а вместе с

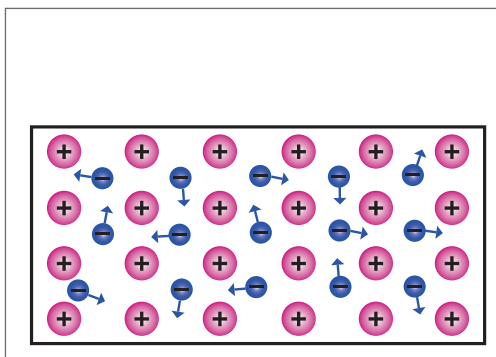


Рис. 28

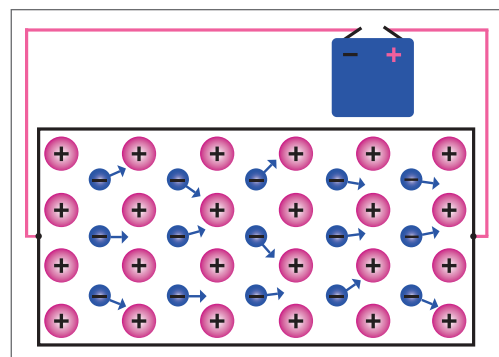


Рис. 29

ним и электрический ток, который прекращается, как только весь заряд шарика, образующий электрическое поле, переходит в землю.

Чтобы электрический ток в проводнике протекал как можно дольше, в нём необходимо постоянно поддерживать электрическое поле, то есть обеспечивать на одном конце проводника избыток зарядов определённого знака, а на другом — их недостаток (дефицит). Такое постоянное распределение зарядов на концах проводника создаётся и поддерживается **источниками электрического тока**.

Источниками электрического тока называют устройства, в которых происходит преобразование энергии определённого вида в электрическую энергию.

В каждом источнике тока выполняется работа по разделению положительно и отрицательно заряженных частиц, которые накапливаются на полюсах источника. Соответственно эти полюса условно обозначают знаками «+» и «-».

На практике используют разнообразные источники электрического тока. По видам преобразуемой энергии их разделяют на: **химические** (гальванические элементы, аккумуляторы), **световые** (фотоэлементы, солнечные батареи), **тепловые** (термоэлементы), **механические** (электрофорная машина, генераторы электрического тока разного рода).

Если к гальваническому элементу с помощью проводников присоединить электрическую лампу (рис. 30), то под действием электрического поля заряженные частицы в проводнике приходят в движение, возникает электрический ток, лампа загорается.

Первый химический источник тока создал в 1799 г. итальянский физик **Алессандро Вольта** и назвал его **гальваническим элементом** в честь основателя учения об электричестве **Люджи Гальвани**. Этот элемент давал напряжение около 1 вольта (1 В). Для получения более высокого напряжения А. Вольта собрал батарею (так называемый вольтов столб) из 20 цинковых, 20 медных и 20 суконных кружков, сложенных один на другой (рис. 31).

В гальванических элементах происходят химические реакции, благо-



Рис. 30



Рис. 31

даря которым выполняется работа по разделению разных зарядов, то есть химическая энергия преобразуется в электрическую.

● **Опыт.** Опустим в раствор серной кислоты две пластины — цинковую и медную. Получим простейший гальванический элемент (рис. 32). В нём происходит перераспределение положительно и отрицательно заряженных частиц вещества. В результате обе пластины электризуются, и между ними возникает электрическое поле. Эти пластины называются **электродами (полюсами) источника тока.**

Гальванический элемент состоит из цинкового стакана 1, заполненного желеобразной смесью (рис. 33). В смесь вставлен угольный стержень 2. Сверху стакан залит слоем смолы 3.

В результате химических реакций цинковый стакан становится отрицательно заряженным (отрицательный электрод), а угольный стержень — положительно заряженным (положительный электрод). Между электродами возникает электрическое поле. Если положительный и отрицательный электроды соединить проводником, то в нём возникнет электрический ток.

Несколько гальванических элементов можно соединить в **батарею**. Если необходимо получить большее напряжение, то используют **последовательное соединение элементов**: отдельные элементы соединяют между собой разноимёнными полюсами. На рисунке 34 изображена батарея из трёх элементов, в которой стержень первого элемента соединён с цинковым стаканом второго, а угольный стержень второго — со стаканом третьего элемента. Цинковые стаканы изолированы один от другого. От цинкового стакана первого элемента и угольного стержня третьего отведены две жестяные полоски: первая — отрицательный полюс батареи, вторая — положительный.

Для получения большего тока используют **параллельное соединение элементов**: отдельные элементы соединяют в батарею одноимёнными полюсами, то есть корпус — с корпусом, а стержень — со стержнем. **Аккумулятор** (от латинского *аккумуляе* — накапливаю) — это химический источник, в котором электрическая энергия накапливается при пропускании электрического тока в кислотном или щелочном растворе.

Аккумуляторы бывают **кислотные** и **щелочные**. Кислотный аккумуля-

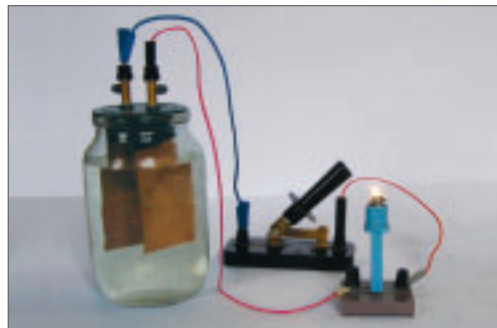


Рис. 32

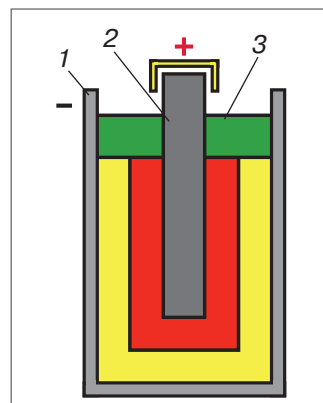


Рис. 33



Рис. 34

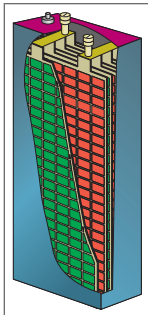


Рис. 35



Рис. 36

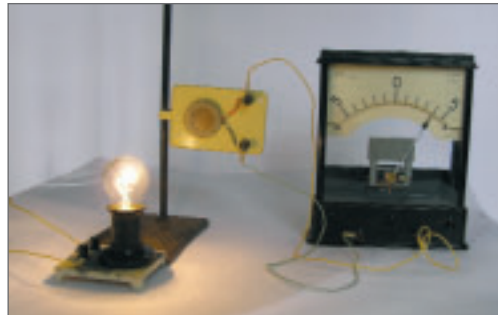


Рис. 37

лятор состоит из однородных электродов (рис. 35), например свинцовых пластин, помещённых в раствор серной кислоты. В щелочных аккумуляторах электроды изготовлены из разных металлов, например железа и никеля, и опущены в раствор едкой щёлочи. Для того чтобы аккумулятор стал источником тока, его необходимо «зарядить». Для этого через него пропускают ток от какого-либо другого источника. В процессе зарядки и в результате химических реакций один электрод заряжается положительно, а другой — отрицательно. После зарядки аккумулятора его можно использовать как самостоятельный источник тока. Полюса аккумуляторов обозначены знаками «+» и «-». При зарядке аккумулятора его положительный полюс соединяют с положительным полюсом источника тока, а отрицательный — с отрицательным.

Аккумуляторы используют для запуска автомобильных двигателей (рис. 36), освещения автомобилей и железнодорожных вагонов. Они питают электроэнергией подводные лодки. Аппаратура на искусственных спутниках, космических кораблях и станциях также питается от установленных на них аккумуляторов, которые заряжаются от солнечных батарей.

Под действием света, падающего на поверхность пластин из селена или кремния, в них происходит перераспределение положительных и отрицательных электрических зарядов (рис. 37). На этом основаны конструкция и действие **солнечных батарей** (рис. 38), в которых происходит прямое преобразование энергии солнечного излучения в электрическую энергию.

В Институте полупроводников НАН Украины разработаны солнечные батареи с КПД 18 %, то есть близкие к максимально возможному. А учёные Национального технического университета «КПИ» использовали солнечные батареи для создания фотоэлектрической станции мощностью 5 кВт.

Если спаять две проволоки, изготовленные из разных металлов, а место спая нагреть, то в проводах возникнет электрический ток (рис. 39). Такой источник тока называют **термоэлементом**, или термопарой. В нём внутренняя энергия нагревателя преобразуется в электрическую энергию.



Рис. 38

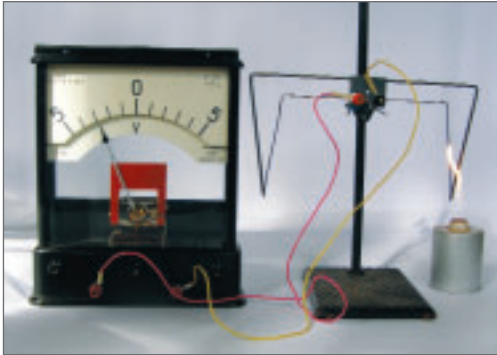


Рис. 39

В **электрофорной машине** два диска из органического стекла (с размещёнными по кругу металлическими полосками) вращаются в противоположных направлениях. В результате трения проволочных щёток о полоски на кондукторах (полюсах) машины накапливаются заряды противоположных знаков (рис. 7 на с. 10). Механическая энергия вращения дисков преобразуется в электрическую энергию.

На тепловых, атомных, ветровых и гидроэлектростанциях электриче-

ский ток вырабатывают с помощью **генераторов электрического тока** (от латинского слова *генератор* — производитель, создатель). Об устройстве и действии генераторов вы узнаете позднее.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое электрический ток?
2. Что необходимо создать в проводнике, чтобы в нём возник и определённое время существовал электрический ток?
3. Что называется источником электрического тока?
4. Какие источники электрического тока вы знаете?
5. Кто первый создал гальванический элемент и так его назвал?
- 6*. Чем аккумулятор отличается от гальванического элемента?
7. Какая энергия преобразуется в электрическую в солнечных батареях?
8. Где применяют разнообразные источники электрического тока?

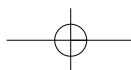
§ 8 ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ И ЕЁ СОСТАВЛЯЮЩИЕ

Электрическая энергия, сосредоточенная в источниках электрического тока, — очень выгодный и удобный вид энергии, поэтому широко применяется в промышленности, технике, быту. Электродвигатели, электрические лампы, нагреватели, плиты, телевизоры и компьютеры называют **приёмниками**, или **потребителями электрической энергии**.

Чтобы доставить электрическую энергию от источника к потребителю, их соединяют между собой **проводниками** электрического тока. Для этого используют преимущественно медные или алюминиевые провода.

Простейшая **электрическая цепь** состоит из источника тока (рис. 40), потребителя электроэнергии (лампа, электродвигатель), соединительных проводов и устройства для замыкания и размыкания цепи — выключателя (ключа).

Для того чтобы в цепи проходил ток, она должна быть **замкнутой**, то есть состоять только из проводников электрического тока. Если в каком-либо месте отсоединить провод или случится его обрыв, то в цепи тока не будет. На этом основано действие выключателей.



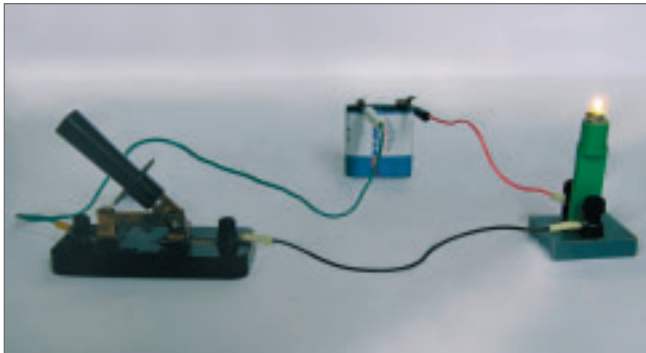


Рис. 40

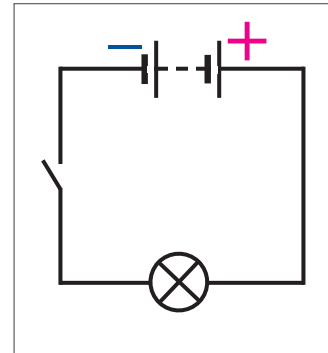


Рис. 41

Чертёж, на котором изображают различные способы соединения элементов электрической цепи, называют **схемой электрической цепи**.

Приборы и соединения на схемах изображают с помощью **условных обозначений**. Некоторые из них приведены на странице I форзаца.

На рисунке 41 изображена схема простейшей электрической цепи.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что необходимо для наличия электрического тока в электрической цепи?
2. Назовите известных потребителей электрической энергии.
- 3*. Какие виды энергии преобразуются в электрическую в источниках тока в процессе работы по разделению заряженных частиц? Приведите примеры.
4. Из чего состоит простейшая электрическая цепь?
5. Что такое схема электрической цепи?
- 6*. Начертите возможные схемы электрических цепей, состоящих из батареи гальванических элементов, электрической лампы, электродвигателя, электрического звонка и ключа.

§ 9 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В МЕТАЛЛАХ

Электрический ток – это упорядоченное движение свободных электрических зарядов под действием электрического поля источника тока. *Какие это заряды? Как они перемещаются?*

Рассмотрим внутреннее строение металлических проводников. В каждом металле часть электронов покидает своё место в атоме, при этом атом превращается в положительный ион. Положительные ионы в металлах размещаются в строгом порядке, образуя кристаллические решётки (рис. 42). Между ионами хаотически движутся свободные электроны в виде электронного газа.

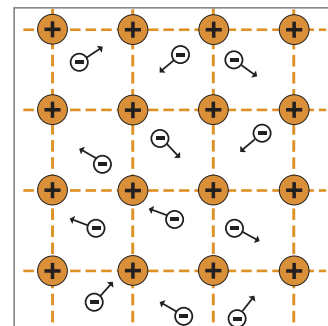


Рис. 42

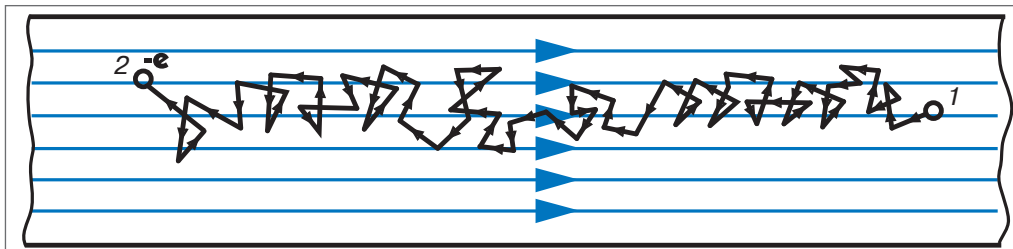


Рис. 43

Отрицательный заряд всех свободных электронов по абсолютному значению равен положительному заряду всех ионов кристаллических решёток. Поэтому в обычных условиях металлический проводник электронейтрален.

Итак, какие электрические заряды перемещаются под действием электрического поля в металлических проводниках?

В 1899 г. **К. Рикке** включал в основной провод питания трамвайных линий в Штутгарте последовательно три металлических цилиндра, тесно прижатых один к другому торцами: два крайних — медные, а средний — алюминиевый. Через эти цилиндры более года проходил электрический ток. В результате точного взвешивания оказалась, что диффузии в металлах не происходило: в медных цилиндрах не было атомов алюминия и наоборот.

Таким образом, **К. Рикке** доказал, что при прохождении по проводнику электрического тока в металлах ионы не перемещаются. Следовательно, электрический ток в металлических проводниках образуется благодаря упорядоченному движению электронов.

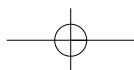
Теперь остаётся выяснить: *как движутся свободные электроны?*

При отсутствии в проводнике электрического поля движение электронов хаотическое, как движение молекул газов или жидкостей. В любой момент скорости движения разных электронов отличаются значением и направлением.

При наличии в проводнике электрического поля электроны, сохраняя своё хаотическое движение, начинают смещаться к положительному полюсу источника. Одновременно с беспорядочным движением электронов возникает их упорядоченное движение. На рисунке 43 схематично показана траектория движения одного электрона из точки 1 в точку 2 под действием электрического поля.

Отсюда следует: **электрический ток в металлах (металлических проводниках) — это упорядоченное движение электронов под действием электрического поля, которое создаётся источником электрического тока.**

Исследованием электронной проводимости металлов занимался украинский учёный **А. Э. Малиновский** (1884–1937). Он представил свою интерпретацию взаимодействия свободных электронов и положительных ионов в металлах. Сделал уточнения к теории экспериментов, которые в 1916 г. проводили американский физик **Р. Толмен** и шотландский физик **Б. Стюарт**. Они раскручивали до большой скорости катушку из тонкого медного провода вокруг её оси. Потом катушку резко тормозили и регистрировали в цепи кратковременный электрический ток, обусловленный инерцией носителей заряда, которыми оказались именно электроны.





ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Каково строение металлического проводника?
2. Объясните, почему при обычных условиях любой кусок металла является электронейтральным.
- 3*. Как доказать, что электрический ток в металлах возникает в результате движения электронов, а не ионов? Опишите соответствующий опыт.
- 4*. Как перемещаются электроны в проводнике при отсутствии и наличии в нём электрического поля?
5. Объясните природу электрического тока в металлах.

§ 10 ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. НАПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Движение электрически заряженных частиц в веществе проводников глаз человека не воспринимает. При этом направленное движение заряженных частиц связано с целым рядом явлений, по которым можно определить наличие электрического тока в цепи.

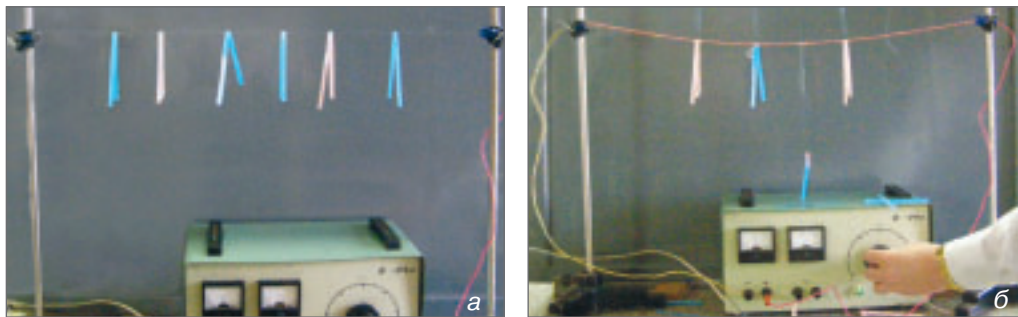


Рис. 44

● **Опыт 1.** Присоединим к полюсам источника тока никелиновый или нихромовый провод (рис. 44). Видим, что он нагревается, накаляется до красного свечения и провисает. Наблюдаем *тепловое действие тока*. Под действием электрического тока в электрических лампах вольфрамовая нить накаляется до яркого свечения, нагреваются спирали электроутюгов и электроплит.

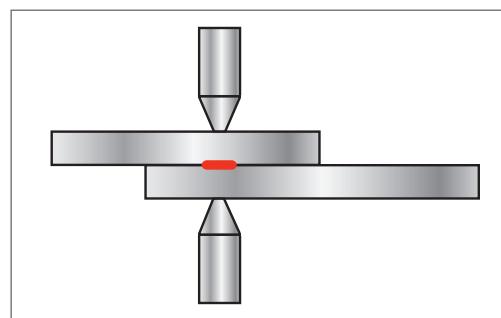


Рис. 45

Тепловое действие тока широко используется при контактной сварке металлов (рис. 45). Через детали в процессе сварки пропускают сильный ток. В результате в местах контактов детали сильно нагреваются и свариваются.



Рис. 46

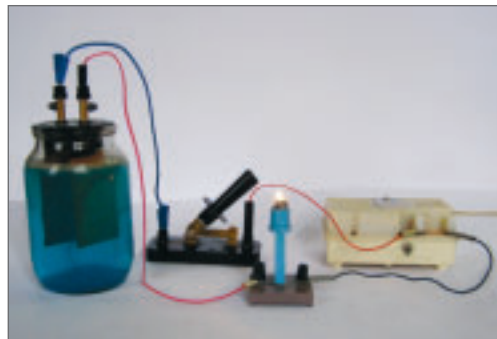


Рис. 47

● **Опыт 2.** На железный гвоздь или стержень намотаем несколько десятков витков изолированного медного провода. Освободив его концы от изоляции, присоединим их к источнику тока. Видим, что гвоздь приобретает свойство притягивать к себе мелкие железные предметы: опилки, гвозди, скрепки и т. п. (рис. 46), то есть он стал магнитом. В этом опыте проявляется *магнитное действие* электрического тока.

● **Опыт 3.** По рисунку 47 собираем электрическую цепь. Если в банке чистая (дистиллированная) вода, то электрическая лампа не горит. Если в воду добавить кристаллы медного купороса, то лампа засветится. Следовательно, в растворе медного купороса проходит электрический ток. Если через определённое время вынуть из банки отрицательный электрод, то увидим, что на нём выделилась чистая медь, то есть прохождение электрического тока сопровождается химическим превращением веществ.

Химическое действие тока используют для получения чистых металлов.

Световое действие тока вы можете наблюдать при свечении ламп дневного света (рис. 48). Под действием электрического поля газы, находящиеся в лампе, начинают светиться. В природе световое действие электрического тока наблюдается во время электрического разряда — молнии (рис. 49).

А какое направление имеет электрический ток?

Ещё раз вспомним, что электрический ток — это упорядоченное движение заряженных частиц. *Движение каких именно заряженных частиц в электрическом поле принимают за направление тока?*



Рис. 48



Рис. 49

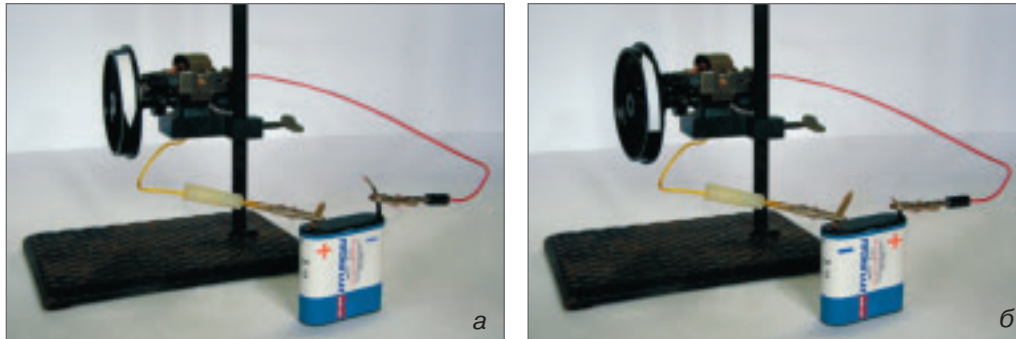


Рис. 50

На практике чаще всего имеют дело с электрическим током в металлических проводниках, поэтому за направление тока в цепи целесообразно принять направление движения электронов в электрическом поле, то есть от отрицательного полюса источника к положительному.

Но вопрос о направлении тока возник в науке, когда об электронах и ионах ничего не было известно. Полагали, что во всех проводниках могут перемещаться как положительные, так и отрицательные заряды.

За направление электрического тока условно принимают то направление, в котором перемещаются (или могли бы перемещаться) в проводнике положительные заряды, то есть направление от положительного полюса источника тока к отрицательному.

Убедимся, что от направления тока зависит его **механическое действие**.

● **Опыт 4.** Присоединим к батарее гальванических элементов электродвигатель со стрелкой на его шкиве. Вал двигателя будет вращаться в определённом направлении (рис. 50, а). А если поменять полюса батареи, то вал двигателя вращается в противоположном направлении (рис. 50, б). Работа электродвигателя – это пример **механического действия электрического тока**, которое состоит в том, что рамка из провода, помещённая в магнитное поле, вращается в определённом направлении, если через неё проходит ток. Направление поворота при этом зависит от направления тока, что мы и наблюдаем в ходе опыта. Действие магнитного поля на проводник с током будем изучать позднее.

Направление тока учитывают во всех правилах и законах электрического тока.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Где на практике можно наблюдать механическое, тепловое, химическое, магнитное и световое действия электрического тока?
- 2*. Носителями тока в металле являются электроны. Почему за направление тока принято направление движения положительных зарядов?
3. Как убедиться, что от направления электрического тока зависит его механическое действие?



ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

Решаем вместе

1. Если между параллельными металлическими пластинами, присоединёнными к кондукторам работающей электрофорной машины, разместить лёгкие пёрышки, то они будут интенсивно перемещаться от одной пластины к другой. Какое физическое явление моделирует данный опыт?

Ответ: электрический ток. Пёрышки совершают упорядоченное движение частиц в электрическом поле.

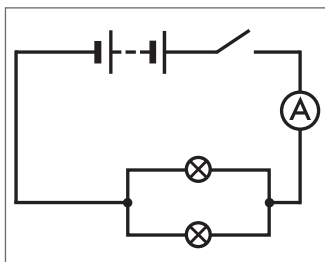


Рис. 51

2. Будет ли действовать элемент Вольта, если оба его электрода — цинковые или медные?

Ответ: нет, поскольку не будет различия в зарядах электродов.

3. Начертите схему электрической цепи, состоящей из батареи аккумуляторов, двух параллельно соединённых ламп амперметра, выключателя, соединительных проводников.

Ответ: схема электрической цепи показана на рисунке 51.

Уровень А

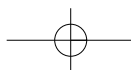
57. Может ли электрический ток протекать в цепи, в которой нет выключателя?
58. На рисунке 52 показаны разные источники тока. Как называется каждый из этих источников? Где их используют?
59. Рассмотрите карманный фонарик. Начертите схему его электрической цепи.
60. Электрическая цепь состоит из электродвигателя и лампы. Источник тока в ней — батарея аккумуляторов. Нарисуйте схему этой цепи.
61. В каком источнике тока в электрическую энергию превращаются: а) химическая; б) тепловая; в) световая энергия?
62. Как соединить проводами полюса источников тока, изображённых на рисунке 53, чтобы собрать из них батарею для более яркого свечения лампы?
63. В каком направлении перемещаются в электрическом поле между двумя противоположно заряженными параллельными пластинами: электрон, положительный ион, отрицательный ион?



Рис. 52

Уровень Б

64. Электрическое поле распространяется в вакууме со скоростью $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$. За какое время оно распространится на расстояние,



равное земному экватору (средний радиус Земли $R_3 \approx 6,4 \cdot 10^6$ м), и на расстояние от Земли до Солнца ($R_{3c} \approx 1,5 \cdot 10^{11}$ м)?

65. На какое расстояние переместится электрон от источника тока за 1 ч, если скорость его движения вдоль проводника равна $0,006 \frac{см}{с}$?

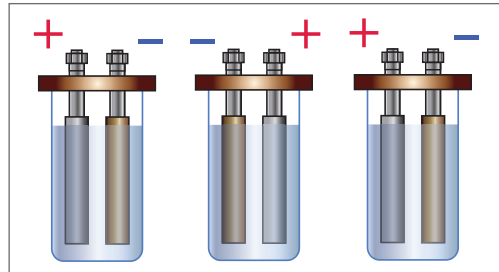


Рис. 53

66. Соберите цепь из ключа, лампы, электродвигателя, соединительных проводов. Начертите её схему.
67. Аккумулятор надо зарядить от источника тока. Какую из клемм аккумулятора необходимо присоединить к положительному полюсу источника тока, а какую — к отрицательному (рис. 54)?

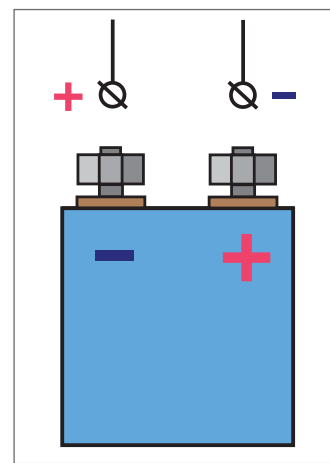


Рис. 54

68. Почему аккумуляторы называют иногда вторичными элементами?
69. Электрическая цепь состоит из гальванического элемента, лампы, выключателя, соединительных проводников. Какое действие тока подтверждает, что цепь замкнута? Нарисуйте схему цепи.
70. Укажите, какое действие тока используется в каждом из этих случаев: а) приготовление пищи на электроплите; б) освещение комнаты лампой дневного света; в) хромирование и никелирование деталей; г) нагревание воды электрокипяльником; д) поднимание деталей с помощью электромагнита.
71. В какой из банок находится дистиллированная (очищенная от примесей) вода (рис. 55 а, б)?
72. Открытие физика Араго (1820 г.) состоит в следующем: если тонкий медный провод, соединённый с источником тока, погрузить в стальные опилки, то они прилипают к нему. Как объяснить это явление?

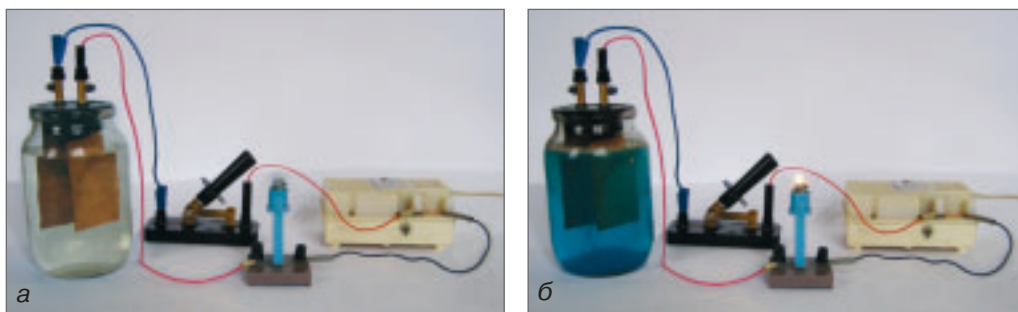


Рис. 55

73. Имеет ли значение для теплового действия электрического тока его направление?
74. В схемах заряда и разряда аккумулятора укажите направление электрического тока внутри и снаружи аккумулятора.

§ 11 СИЛА ТОКА. АМПЕРМЕТР

Опыты показывают, чем больше электрических зарядов проходит через проводник за определённое время, тем больше проявляется действие электрического тока — тепловое, химическое, магнитное, механическое и световое. Чем больше заряженных частиц перемещается от одного полюса источника тока к другому, тем больший общий заряд переносится частицами.

Электрический заряд, который проходит через поперечное сечение проводника за единицу времени, определяет силу тока в цепи.

С и л а т о к а — это физическая величина, которая характеризует электрический ток и определяется отношением электрического заряда, прошедшего через поперечное сечение проводника, ко времени его прохождения.

Силу тока обозначают латинской буквой I . Формула для определения силы тока имеет вид:

$$I = \frac{q}{t},$$

где q — электрический заряд, проходящий через проводник за время t .

За единицу силы тока принят **один ампер (1 А)**. Эта единица названа в честь французского физика *Андре-Мари Ампера*. На Международной конференции мер и весов в 1948 г. принято решение в основу определения единицы силы тока положить явление взаимодействия двух проводников с током.

● **Опыт 1.** Возьмём два гибких прямых проводника, разместим их параллельно и присоединим к источнику тока. При замыкании цепи в проводниках проходит электрический ток, в результате они взаимодействуют между собой: притягиваются, если направление тока в них одинаковое (рис. 56, а), либо отталкиваются, если направление противоположное (рис. 56, б).

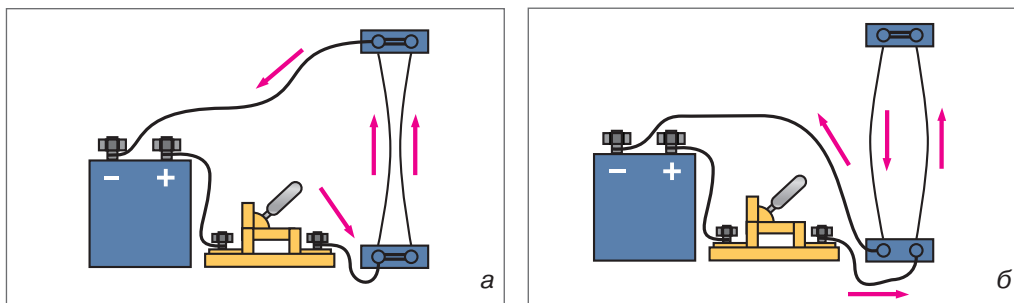


Рис. 56

Этот опыт впервые выполнил А.-М. Ампер. Он измерял силу взаимодействия проводников с током. Оказалось, что эта сила зависит от длины проводников, расстояния между ними, среды, в которой они размещены, и от силы тока в проводниках. Учёный определил, что два очень тонких и длинных параллельных проводника длиной 1 м в безвоздушном пространстве (вакууме), расстояние между которыми равно 1 м, а сила тока в каждом из них одинакова, взаимодействуют с силой 0,0000002 Н.

Один ампер (1 А) — это сила тока, который, протекая в двух параллельных прямолинейных бесконечной длины тонких проводниках, размещённых в вакууме на расстоянии 1 м, вызывает на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Применяют также дольные и кратные единицы силы тока: миллиампер (мА), микроампер (мкА), килоампер (кА):

$$1 \text{ мА} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ А}; 1 \text{ мкА} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ А}; 1 \text{ кА} = 1 \cdot 10^3 \text{ А}.$$

Через единицу силы тока 1 А определяют единицу электрического заряда.

Поскольку $I = \frac{q}{t}$, то $q = It$. Поскольку $I = 1 \text{ А}$, $t = 1 \text{ с}$, то единица электрического заряда — один кулон (1 Кл).

$$1 \text{ кулон} = 1 \text{ ампер} \cdot 1 \text{ секунда, или } 1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ А} \cdot \text{с}.$$

Из определения силы тока следует, что при силе тока 1 А через поперечное сечение проводника каждую секунду проходит электрический заряд 1 Кл, то

есть $1 \text{ А} = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ с}} = 1 \frac{\text{Кл}}{\text{с}}$. Зная заряд электрона, можно определить, что при силе тока 1 А через поперечное сечение проводника проходят $6,25 \cdot 10^{18}$ электронов в секунду.

Диапазон (границы) значений силы тока, с которыми приходится иметь дело в физике, небольшой по сравнению с другими величинами и составляет от 10^{-6} (0,000001) до 10^5 (100 000) А.

В электрических лампах, нагревательных приборах сила тока достигает нескольких ампер. При электросварке, когда нужно разогреть металлы до высокой температуры, сила тока достигает значений в несколько тысяч ампер. Ещё большая сила тока (в сотни тысяч ампер) возникает во время молнии. При этом воздух нагревается до температуры $20\,000 \text{ }^\circ\text{C}$; за очень короткое время (до 10^{-4} с) его давление повышается до 300 атм ($3,03 \cdot 10^7$ Па), что соответствует интенсивному акустическому удару, — мы слышим гром.

Химическое действие тока используется при зарядке аккумуляторов, хромировании и никелировании деталей и изделий, при электрохимическом получении металлов. Сила тока во время этих процессов составляет от нескольких ампер (зарядка аккумуляторов) до сотен и даже тысяч ампер (получение чистых металлов).

Магнитное действие тока используют в электромагнитах, двигателях и др. При работе мощных двигателей сила тока может достигать сотен ампер.

В таблице 1 приведены значения силы тока в некоторых технических устройствах и приборах.

Таблица 1
Сила тока в различных технических устройствах и приборах

Устройство, прибор	Сила тока, А
Электронный микроскоп	0,00001
Кинескоп телевизора	0,00012
Рентгеновская установка	0,02–0,10
Электробритва	0,08
Электрический фонарик	0,3
Велосипедный генератор (при $v = 12 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$)	0,3
Электрическая лампа	0,3–0,4
Пылесос	1,9–4,2
Электроплитка	3–4
Генератор автомобиля	17
Двигатель троллейбуса	160–220
Двигатель электровоза	350
Аппарат для контактной сварки	10 000

Для измерения силы тока в цепи используют прибор — **амперметр** (рис. 57). Шкала амперметра на рисунке 57, а проградуирована в амперах (А), а на рисунке 57, б — в микроамперах (сокращённое обозначение — мкА, международное — μA). На шкалах соответственно написаны буквы А и μA . На схемах амперметр изображают буквой А в кружкѣ (рис. 58).

Любой измерительный прибор при включении в цепь не должен влиять на значение измеряемой величины. Поэтому конструкция амперметра такова, чтобы при включении в цепь сила тока в ней почти не изменялась. При этом электрическое сопротивление должно быть как можно меньшим (об электрическом сопротивлении узнаете позднее).

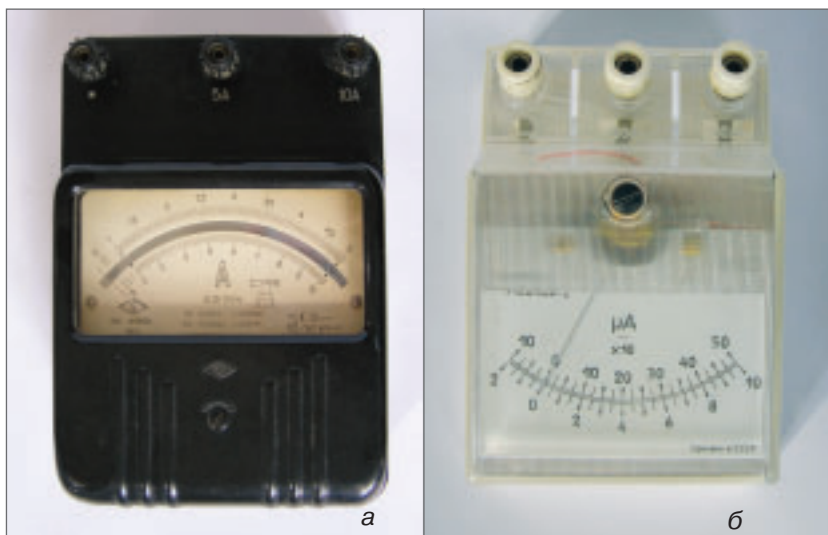


Рис. 57

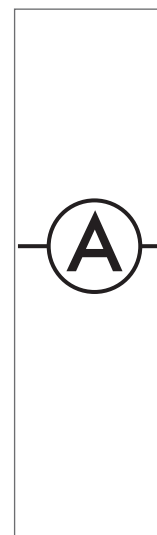


Рис. 58

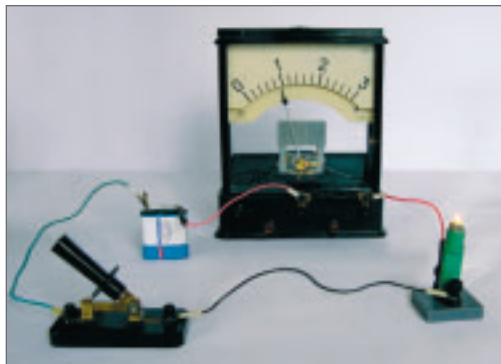


Рис. 59

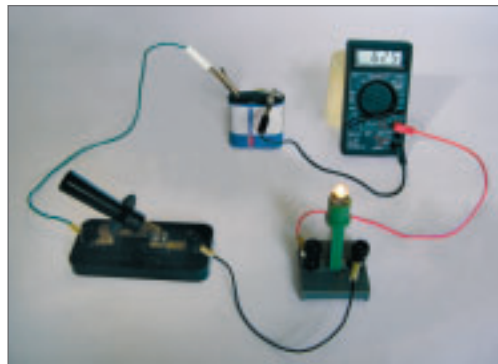


Рис. 60

Для измерения силы тока в цепи **амперметр включают в цепь последовательно** с тем прибором, в котором измеряют силу тока. Для этого надо «разорвать» цепь, то есть отсоединить от прибора один из проводников, и в образовавшийся промежуток включить амперметр с помощью двух клемм или зажимов на его корпусе. Возле одной из клемм амперметра стоит знак «плюс» («+»), возле другой — «минус» (иногда «-» не указывают). Клемму со знаком «+» надо обязательно соединить с проводом, который отходит от положительного полюса источника тока.

Поскольку по закону сохранения электрического заряда количество зарядов, поступающих в цепь от одного из полюсов источника тока, равно количеству зарядов, которые возвращаются на второй полюс источника, то сила тока одинакова на разных участках цепи с последовательно соединёнными приборами. Поэтому для измерения силы тока в такой цепи амперметр можно включать в любом месте, его показания всегда будут одинаковы.

● **Опыт 2.** Собираем электрическую цепь (рис. 59) и измеряем силу тока в спирали лампочки карманного фонарика. Сила тока равна 1 А.

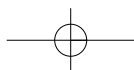
В технике применяют разнообразные амперметры. По их шкалам либо другим обозначениям видно, на какую наибольшую силу тока они рассчитаны. Превышать эту силу тока нельзя, так как прибор может выйти из строя. На практике также используют амперметры с цифровыми индикаторами. Например, на рисунке 60 показано, что измеренная таким амперметром сила тока в цепи равна 0,0625 А.

Современными амперметрами можно измерять силу тока до 10^5 А.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое сила тока?
2. Объясните, почему сила тока является скалярной величиной.
- 3*. Объясните, почему термин «сила тока» не совсем удачен.
- 4*. Какое явление используется для определения единицы силы тока?
5. Что принято за единицу силы тока? Как называют эту единицу?
6. Каким прибором измеряют силу тока?
7. В каких единицах градуируют шкалу амперметра?
8. Как включают амперметр в электрическую цепь?



**ЛАБОРАТОРНАЯ
РАБОТА № 2****ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА
С ПОМОЩЬЮ АМПЕРМЕТРА**

- **Цель работы:** научиться собирать электрическую цепь. Выяснить, одинакова ли сила тока на разных участках цепи.
- **Приборы и материалы:** источник тока, лампа на подставке, амперметр, выключатель, соединительные проводники.

Ход работы

1. Рассмотрите шкалу амперметра. Какова цена деления шкалы прибора? Каковы границы измерения амперметра?
Цена деления шкалы амперметра составляет ... А. Амперметром можно измерять силу тока от 0 до ... А.
2. Соберите электрическую цепь (рис. 61, а). Замкните выключатель. Снимите показания амперметра. Результат запишите в тетрадь.
3. Включите амперметр, как показано на рисунке 61, б. Что показывает амперметр?
4. Соберите цепь (рис. 61, в). Запишите показания амперметра.
5. Сравните все показания амперметра и сделайте вывод.
6. Начертите в тетради схемы собранных цепей.

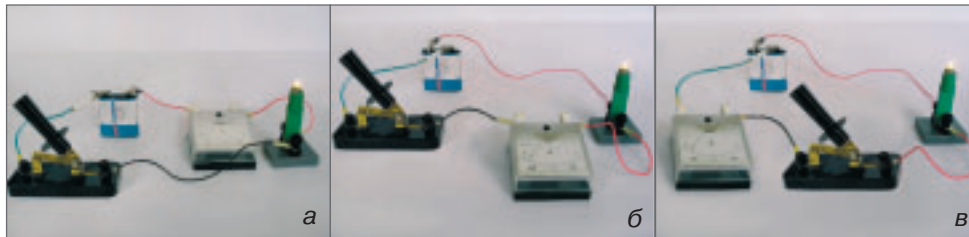


Рис. 61

Задания для любознательных

1. Изучите устройство карманного фонарика. Обратите внимание, как вставляется батарейка гальванических элементов, чтобы обеспечить контакт с лампочкой. Выясните, на какую силу тока рассчитана лампочка. Исследуйте, как замыкается и размыкается электрическая цепь.
Начертите схему электрической цепи карманного фонарика, пользуясь условными обозначениями элементов цепи.
2. Возьмите батарею гальванических элементов и присоедините к её полюсам два медных провода. Разрежьте картофелину пополам, в место среза одной половины картофелины вставьте медные провода. Наблюдайте за изменением цвета картофелины у полюсов. У одного из полюсов картофелина посинела? Как с помощью этого опыта можно определить полюса источника постоянного тока?

§ 12 ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ. ВОЛЬТМЕТР

Под действием электрического поля, которое создаёт источник тока, заряженные частицы перемещаются по проводнику. При этом выполняется работа: накаляется спираль электролампы, приходит в движение электрический двигатель и т. д. Это говорит о том, что главную роль в прохождении электрического тока в проводниках играет электрическое поле. Для характеристики электрического поля вводят физическую величину, которая называется **электрическим напряжением**, или **напряжением**.

Н а п р я ж е н и е — это физическая величина, которая определяется отношением работы электрического поля на данном участке цепи к электрическому заряду, прошедшему по этому участку. Оно характеризует электрическое поле, которое образует ток.

Напряжение обозначается большой латинской буквой U . Формула для определения напряжения:

$$U = \frac{A}{q},$$

где A — работа, выполненная электрическим полем при прохождении тока; q — значение электрического заряда, перенесённого током.

Единица напряжения в СИ — **один вольт (1 В)**. Названа так в честь Алессандро Вольта, создавшего первый гальванический элемент.

О д и н в о л ь т (1 В) — это напряжение на концах проводника, при котором работа по перемещению электрического заряда в один кулон (1 Кл) по этому проводнику равна одному джоулю (1 Дж).

$$\text{Отсюда } 1 \text{ В} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}.$$

Кроме вольта применяют дольные и кратные ему единицы: милливольт (мВ) и киловольт (кВ).

$$1 \text{ мВ} = 0,001 \text{ В}; 1 \text{ кВ} = 1000 \text{ В}.$$

Электрические приборы работают при разном напряжении. Например, при контактной сварке напряжение составляет 0,1 В, бытовые приборы работают при напряжении 220 В, мощные двигатели — 380 В, а двигатели электровоза — 1500 В.

Разные источники тока характеризуются рабочим напряжением. В гальваническом элементе и аккумуляторе (химических источниках тока) значение напряжения небольшое. Если в гальваническом элементе медный и железный электроды, то напряжение 0,78 В, медный и цинковый — 1,1 В, серебряный и цинковый — 1,56 В. Среднее напряжение свинцового кислотного аккумулятора составляет 2 В, а железоникелевого щелочного — 1,25 В.

Термоэлементы (термопары) и фотоэлементы (солнечная батарея) создают ещё меньшие напряжения. Например, термоэлемент из графита и карбида

титана при нагревании спая до 1 000 °С создаёт напряжение 52 мВ (0,052 В).

Солнечная кремниевая батарея площадью 160 см² при освещении солнечными лучами даёт 2 В. Чтобы получить большие напряжения, гальванические элементы, аккумуляторы, термо- и фотоэлементы соединяют в батареи.

В таблице 2 приведены значения напряжения в некоторых технических устройствах и приборах.

Таблица 2

Напряжение в различных технических устройствах и приборах

Устройство, прибор	Напряжение, В
Электронный микроскоп	130 000
Кинескоп телевизора	16 000
Рентгеновская установка	70 000–200 000
Электробритва	220
Электрический фонарик	4,5
Велосипедный генератор (при $v = 12 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$)	7,2
Электрическая лампа	220
Электроплитка	220
Генератор автомобиля	12
Двигатель троллейбуса	550
Двигатель электровоза	1 500
Аппарат для контактной сварки	0,1



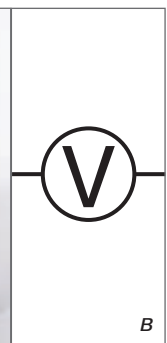
а

Для измерения напряжения в электрических цепях используют **вольтметр** (рис. 62, а) — для школьных опытов, б — для лабораторных работ).

Чтобы отличить вольтметры от амперметров или других электрических измерительных приборов, на их шкалах ставят букву V. На схемах вольтметр изображают так, как это показано на рисунке 62, в. Как и у амперметра, возле одного зажима вольтметра ставят знак «+». Этот зажим обязательно надо соединять с проводом, идущим от положительного полюса



б



в

Рис. 62

источника тока. Иначе стрелка прибора будет отклоняться в обратную сторону, и он может выйти из строя, то есть важно учитывать направление электрического тока.

Вольтметр включают иначе, чем амперметр.

● **Опыт 2.** Измеряем напряжение, которое даёт батарея гальванических элементов (рис. 63). Напряжение на полюсах батареи составляет 4,6 В. (Примечание: нельзя таким образом включать амперметр, так как он выйдет из строя!) Подсоединим теперь вольтметр к одному из зажимов выключателя и лампы. Вольтметр ничего не показывает (рис. 64, а). А если подсоединить вольтметр к обоим зажимам лампы, то он покажет, какое напряжение поступает на лампу (рис. 64, б). Это напряжение равно 4 В.

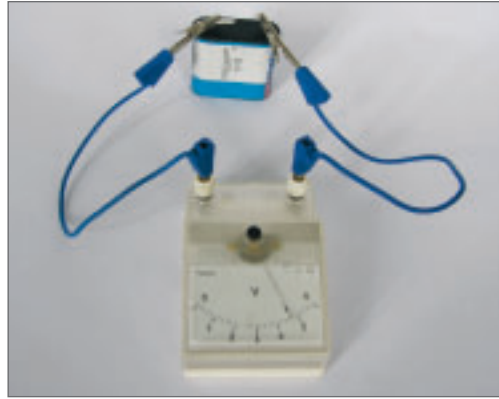
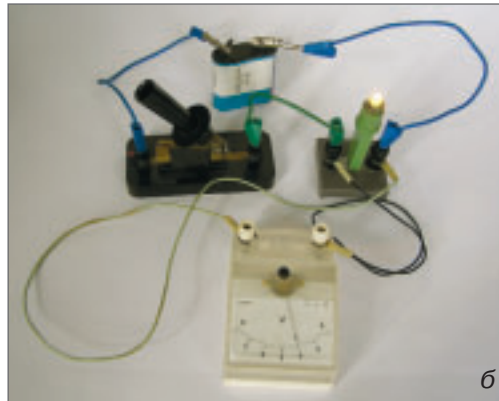


Рис. 63



а



б

Рис. 64

Вольтметр подсоединяем параллельно к участку цепи, на котором нужно измерить напряжение, то есть зажимы вольтметра надо подсоединить к тем точкам цепи, между которыми необходимо измерить напряжение. При этом через вольтметр проходит определённый ток из цепи, что приводит к изменению значения напряжения в точках соединения. Чтобы это изменение было как можно меньшим, электрическое сопротивление вольтметра должно быть большим (об электрическом сопротивлении узнаете позднее).

На практике также используют вольтметры с цифровыми индикаторами. Измеряем напряжение в электросети, оно равно 217 В (рис. 65).

Современными вольтметрами можно измерять напряжение до 10^6 В.

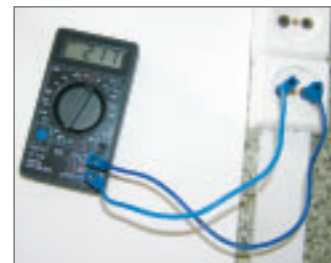


Рис. 65

ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

У некоторых рыб есть органы, вырабатывающие электрический ток. Например, электрический сом даёт разряды напряжением до 360 В, электрический скат — до 220 В, электрический угорь — до 650 В и силой тока 2 А.

**ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ**

1. Что такое электрическое напряжение?
2. Как можно определить напряжение, зная работу тока и электрический заряд?
3. Что принято за единицу напряжения? Как называют эту единицу?
4. Каким прибором измеряют напряжение?
5. В каких единицах градуируют шкалу вольтметра?
6. Объясните, как включить вольтметр в электрическую цепь.
- 7*. Почему вольтметр включают параллельно участку цепи?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3**ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПЯЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ВОЛЬТМЕТРА**

- **Цель работы:** научиться пользоваться вольтметром, с его помощью измерять напряжение на разных участках цепи.
- **Приборы и материалы:** источник тока, низковольтная лампа на подставке, спираль из проводника, вольтметр, ключ, соединительные провода.

Ход работы

1. Рассмотрите шкалу вольтметра. Какова цена деления шкалы прибора? Каковы предельные значения при измерении вольтметром? Цена деления шкалы вольтметра составляет ... В. Вольтметром можно измерить напряжение от 0 до ... В.
2. Соберите электрическую цепь из источника тока, лампы, спирали и ключа, соединив все приборы, как показано на рисунке 66.
3. Зная, что вольтметр включают параллельно потребителю, подсоедините его к лампе. Замкните цепь. Снимите показания вольтметра.
 $U_1 = \dots \text{ В.}$
4. Присоедините вольтметр к спирали. Замкнув цепь, измерьте напряжение на спирали.
 $U_2 = \dots \text{ В.}$

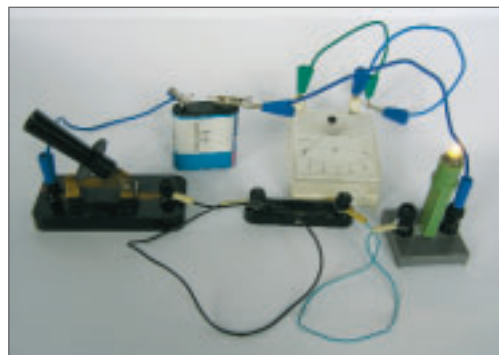


Рис. 66

5. Измерьте напряжение на зажимах батареи гальванических элементов.
 $U = \dots$ В. Начертите схему собранной электрической цепи.
6. Определите сумму напряжений $U_1 + U_2$ и сравните с напряжением U .
7. Сделайте вывод.

Задание для любознательных

Возьмите старые гальванические элементы от фонарика, при которых спираль лампочки едва накаляется. Подогрейте гальванические элементы на батарее отопления или другим нагревателем. Снова вставьте их в фонарик. Будет ли лампочка светить ярче? Сделайте вывод.

§ 13 ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ. ЕДИНИЦЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Вы уже знаете, что электрический ток в цепи — это упорядоченное движение заряженных частиц в электрическом поле. Чем сильнее действие электрического поля на заряженные частицы, которые в нём перемещаются, тем больше сила тока в цепи.

При этом действие электрического поля характеризуется напряжением. Итак, возникает вопрос: *зависит ли сила тока в проводнике от напряжения на его концах?*

● **Опыт 1.** Собираем электрическую цепь, используя гальванический элемент, ключ, амперметр, никелиновую спираль от магазина сопротивлений, к которой параллельно присоединяем вольтметр (рис. 67).

Замкнём цепь и зафиксируем показания приборов (рис. 67, а). К гальваническому элементу последовательно присоединим такой же и снова замкнём цепь. Мы видим, что напряжение на спирали при этом увеличилось в два раза, а амперметр показывает вдвое бóльшую силу тока (рис. 67, б).

Если соединить последовательно три элемента, то напряжение на спирали увеличится в три раза, во столько же раз увеличится и сила тока в электрической цепи.

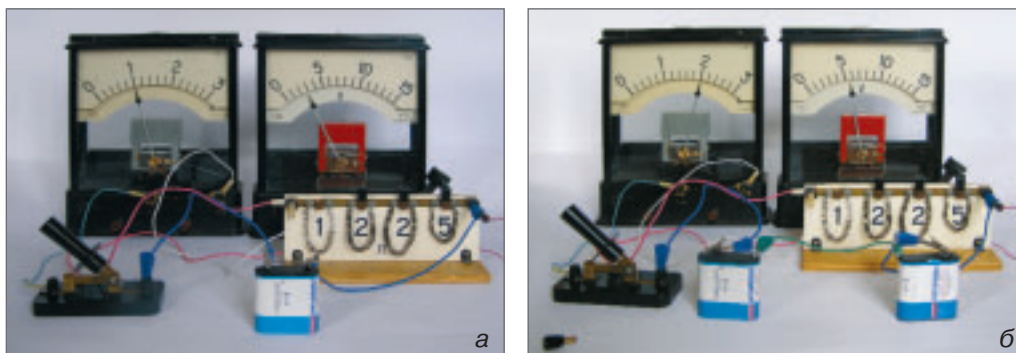


Рис. 67



Графически это можно изобразить следующим образом (рис. 68). На горизонтальной оси в выбранном масштабе откладываем значения напряжения, а на вертикальной — соответствующие им значения силы тока. Наносим точки на плоскость и получаем график линейной зависимости: чем большее напряжение приложено к участку цепи, тем больший ток в цепи.

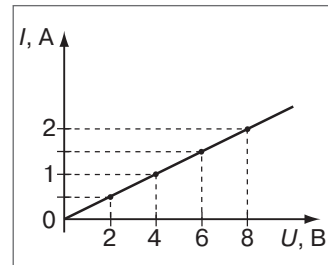


Рис. 68

Следовательно, **сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на концах проводника.**

● **Опыт 2.** Собираем электрическую цепь (рис. 69). При её замыкании амперметр показывает определённое значение силы тока. Разомкнув цепь, присоединим к лампе никелиновый провод длиной 1—2 м. Снова замкнём цепь и видим, что сила тока в цепи уменьшилась. Если вместо никелинового провода включить в цепь такого же размера нихромовый провод, то амперметр покажет ещё меньшую силу тока. При включении медного провода такого же размера сила тока в цепи возрастает.

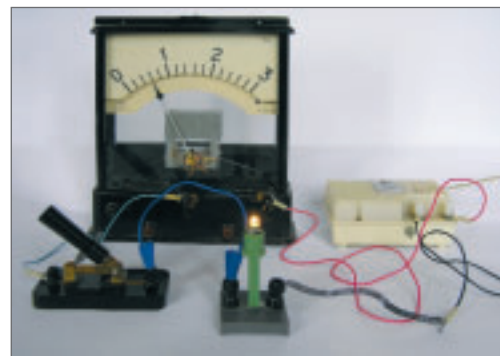


Рис. 69

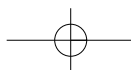
Если при замыкании цепи каждый раз присоединять к концам этих проводников вольтметр, то он будет показывать одинаковое напряжение. Следовательно, **сила тока в цепи зависит не только от напряжения, но и от свойств проводников, включённых в цепь.**

Зависимость силы тока от свойств проводника объясняется тем, что направленному движению свободных электронов в металлическом проводнике противодействуют их хаотические столкновения с ионами кристаллической решётки, находящимися в состоянии теплового движения (колебаний). Это противодействие приводит к уменьшению скорости направленного движения заряженных частиц, то есть к уменьшению силы тока в цепи.

Величина, характеризующая свойство проводника противодействовать направленному перемещению свободных зарядов внутри него, называется электрическим сопротивлением проводника.

Проводники, имеющие одинаковые геометрические размеры (длину и площадь поперечного сечения), но изготовленные из разных металлов, имеют разные значения электрического сопротивления, что объясняется различиями в строении их кристаллических решёток.

Электрическое сопротивление обозначают большой латинской буквой R . Единица электрического сопротивления в СИ — **один ом (1 Ом)**; названа в честь немецкого физика *Георга Ома*.



Значение электрического сопротивления один ом (1 Ом) имеет такой проводник, в котором проходит ток силой один ампер (1 А) при напряжении один вольт (1 В) на его концах.

На практике используют следующие единицы сопротивления: миллиом (мОм), килоом (кОм), мегаом (МОм).

$$1 \text{ мОм} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}; 1 \text{ кОм} = 1 \cdot 10^3 \text{ Ом}; 1 \text{ МОм} = 1 \cdot 10^6 \text{ Ом}.$$

Схемы электрических и электронных приборов состоят из совокупности электрических цепей, сила тока и напряжение которых зависят от значений электрического сопротивления специальных деталей — *резисторов* разных конструкций. Значение сопротивления резисторов составляет от десятых долей ома до десяти тысяч мегаомов.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как сила тока в проводнике зависит от напряжения на концах проводника?
2. Опишите опыты, которые показывают, что сила тока в электрической цепи зависит от свойств проводника.
3. Какое сопротивление принято за единицу сопротивления проводника?
- 4*. Чем объясняется электрическое сопротивление проводника?
5. Какое свойство проводника характеризует его электрическое сопротивление?

§ 14 ЗАКОН ОМА ДЛЯ ОДНОРОДНОГО УЧАСТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Явления, происходящие в электрических цепях, характеризуются взаимозвязанными физическими величинами: **силой тока, напряжением и сопротивлением**. Вы, например, знаете, что сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на его концах.

Впервые явления в электрических цепях подробно изучил *Георг Ом*. В 1826 г. ему удалось экспериментально установить зависимость между силой тока, напряжением и сопротивлением в электрических цепях. Эта зависимость оказалась очень важной и получила название **закона Ома**. Чтобы понять его физический смысл, выполним опыты.

● **Опыт 1.** Используя источник тока, амперметр, спираль из никелинового провода (резистор), вольтметр, ключ и соединительные проводники, собираем электрическую цепь (рис. 70, а). На рисунке 70, б приведена схема этой цепи. Амперметр, включённый в цепь последовательно, будет показывать силу тока, протекающего в спирали. Вольтметр, присоединённый к спирали параллельно, покажет напряжение на её концах. Сопротивление спирали не изменяется.

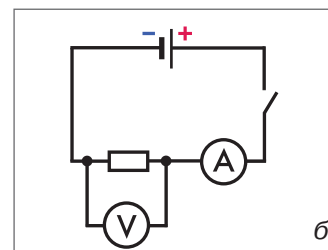
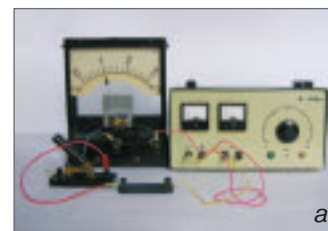


Рис. 70

Замкнём ключ и снимем показания вольтметра и амперметра: $U = 4$ В; $I = 1$ А. Если увеличить напряжение в два раза, то есть $U = 8$ В, то амперметр покажет силу тока в два раза большую, то есть $I = 2$ А. Отсюда следует: **при постоянном сопротивлении проводника сила тока, протекающего в нём, прямо пропорциональна напряжению на его концах** (рис. 68 на с. 56).

● **Опыт 2.** Собираем такую же электрическую цепь, как в предыдущем опыте, но вместо одного нихромового включаем поочерёдно провода, сопротивление которых равно соответственно 1 Ом, 2 Ом, 4 Ом (рис. 71, а).

Напряжение на концах каждого проводника в ходе опыта было постоянным, контролируем его значение по показаниям вольтметра. Силу тока в цепи измеряем амперметром.

Результаты опытов следующие: напряжение на концах проводников составляет 2 В; при включении проводника с сопротивлением 1 Ом сила тока в цепи равна 2 А, 2 Ом — 1 А, 4 Ом — 0,5 А. Отложив эти значения на осях координат, построим график (рис. 71, б). Видим, что это *гипербола*, то есть чем больше сопротивление проводника, тем меньший ток в нём протекает.

Следовательно, при постоянном напряжении **сила тока в проводнике обратно пропорциональна его сопротивлению**.

По результатам обоих опытов получаем формулу зависимости силы тока в проводнике I от напряжения на концах проводника U и его сопротивления R :

$$I = \frac{U}{R}.$$

Эта формула выражает **закон Ома**.

▶ **Сила тока на участке электрической цепи прямо пропорциональна напряжению на данном участке и обратно пропорциональна сопротивлению этого участка.**

На законе Ома основан экспериментальный способ определения сопротивления проводника. Из закона Ома следует, что

$$R = \frac{U}{I}.$$

Итак, для определения сопротивления проводника необходимо измерить напряжение на нём и силу тока, затем значение напряжения разделить на

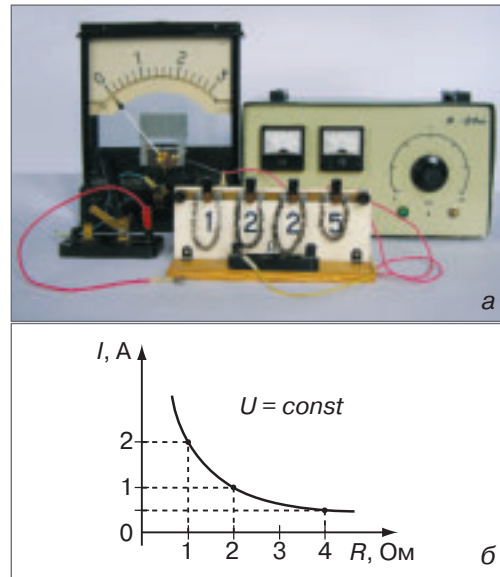


Рис. 71

значение силы тока. Из формулы также следует, что единица электрического сопротивления равна отношению единицы напряжения к единице силы тока, то есть $1 \text{ Ом} = \frac{1 \text{ В}}{1 \text{ А}} = 1 \frac{\text{В}}{\text{А}}$.

Если известны сопротивление и сила тока на участке цепи, то по закону Ома можно вычислить напряжение на его концах:

$$U = IR.$$

Чтобы определить напряжение на концах участка цепи, силу тока на этом участке необходимо умножить на его сопротивление.

ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

Г. Ом после выхода книги «Теоретические исследования электрических цепей», в которой он изложил открытый им закон, писал, что «рекомендует её добрым людям с тёплым чувством отца, не ослеплённого обезьяньей любовью к детям, но удовлетворённого указанием на открытый взгляд, с которым его ребёнок смотрит на недобрый мир». Мир действительно оказался для него недобрым. Спустя год после выхода его работы в одном из журналов была опубликована статья, в которой исследования Г. Ома подвергались сокрушительной критике. «Тот, кто набожными глазами смотрит на Вселенную, — говорилось в статье, — должен отвернуться от этой книги, поскольку она является плодом безусловных заблуждений, преследующих единственную цель — преуменьшить величие природы».

Злобные и необоснованные нападки на Г. Ома не прошли бесследно. Теорию Ома не приняли. И вместо научных исследований он был вынужден время и энергию тратить на полемику с оппонентами. В одном из своих писем учёный писал: «Появление на свет “Электрических цепей” принесло мне огромные страдания, и я готов проклинать время их зарождения».

Но это были временные трудности. Постепенно теория Ома получила повсеместное признание. Закон Ома внёс такую ясность в правила расчёта токов и напряжений в электрических цепях, что американский учёный Дж. Генри, узнав об открытии Ома, не удержался от восклицания: «Когда я впервые прочитал теорию Ома, то она мне показалась молнией, внезапно озарившей комнату, погружённую во тьму».



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как изменится сила тока на участке цепи, если при постоянном сопротивлении увеличить напряжение на её концах?
2. Как изменится сила тока, если при постоянном напряжении увеличить сопротивление участка цепи?
3. Сформулируйте закон Ома.
4. Как с помощью вольтметра и амперметра измерить сопротивление проводника?
5. По какой формуле определяется напряжение, если известны сила тока и сопротивление данного участка?
- 6*. Объясните, почему формула для определения сопротивления проводника, полученная из закона Ома, не имеет физического смысла.


**ЛАБОРАТОРНАЯ
РАБОТА № 4**
**ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА
С ПОМОЩЬЮ АМПЕРМЕТРА И ВОЛЬТМЕТРА**

- **Цель работы:** научиться измерять сопротивление проводника, используя амперметр и вольтметр. Убедиться на опытах, что сопротивление проводника не зависит от силы тока, а также напряжения на его концах.
- **Приборы и материалы:** источник тока, исследуемый проводник (нихромовая спираль), амперметр, вольтметр, реостат, ключ, соединительные провода.

Ход работы

1. Соберите электрическую цепь, соединив последовательно источник тока, амперметр, исследуемый проводник (спираль), реостат, ключ. К концам спирали присоедините вольтметр (учитывайте знаки «+» и «-»).
2. Начертите схему полученной электрической цепи.
3. Измерьте силу тока в цепи и напряжение на проводнике.
4. С помощью реостата измените сопротивление цепи, снова измерьте силу тока в цепи и напряжение на проводнике.
5. Результаты измерений запишите в таблицу.

Номер проводника	Сила тока I , А	Напряжение U , В	Сопротивление R , Ом
1			
2			

6. Пользуясь законом Ома, вычислите сопротивление проводника по данным каждого измерения.
7. Результаты вычислений запишите в таблицу. Сравните результаты.

Задача для любознательных

По данным работы начертите график зависимости силы тока в проводнике от напряжения на его концах. Проанализируйте график. По графику определите сопротивление проводника при каком-либо промежуточном значении силы тока.

ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

➤ Решаем вместе

1. Сила тока в цепи электрической лампы равна 0,3 А. Сколько электронов проходит через поперечное сечение спирали за 5 мин?

Дано:
 $I = 0,3 \text{ А}$
 $t = 5 \text{ мин} = 300 \text{ с}$
 $e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
 $\pi = 3,14$
 $N = ?$

Решение
 Заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время протекания тока, вычисляем по формуле:

$$q = It.$$

Разделив это значение на элементарный заряд, определим количество

электронов, прошедших через поперечное сечение проводника:

$$N = \frac{It}{e}.$$

Подставив значения известных величин, получим:

$$N = \frac{0,3 \text{ А} \cdot 300 \text{ с}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 5,6 \cdot 10^{20} \text{ электронов.}$$

Ответ: через поперечное сечение спирали проходит $5,6 \cdot 10^{20}$ электронов.

2. Какое сопротивление имеет вольтметр, рассчитанный на 150 В, если сила тока в нём не должна превышать 0,01 А?

Дано:
 $U = 150 \text{ В}$
 $I = 0,01 \text{ А}$
 $R = ?$

Решение
 Сопротивление вольтметра определим по закону Ома: $R = \frac{U}{I}$.

Подставив значения, получим: $R = 150 \text{ В} : 0,01 \text{ А} = 15\,000 \text{ Ом} = 15 \text{ кОм}$.

Ответ: сопротивление вольтметра равно $R = 15 \text{ кОм}$.

3. Что изменилось на участке цепи, если включённый с ней последовательно амперметр показывает увеличение силы тока?

Ответ: увеличилось напряжение или уменьшилось сопротивление.

Уровень А

75. Сила тока в цепи электроплитки равна 1,4 А. Какой электрический заряд проходит по спирали за 10 мин?
76. Вычислите силу тока в проводнике, через поперечное сечение которого в минуту проходит заряд 36 Кл.
77. В приборе, включённом в электрическую цепь, сила тока равна 6 мкА. Какой заряд проходит через прибор за 10 мин?
78. За какое время через поперечное сечение проводника проходит заряд 10 Кл при силе тока 2 А?
79. Амперметр, включённый в электрическую цепь, показывает силу тока 4 А. За какое время через амперметр проходит заряд 20 Кл?
80. Выразите в амперах силу тока, равную: 2000 мА; 100 мА; 55 мА; 3 кА.

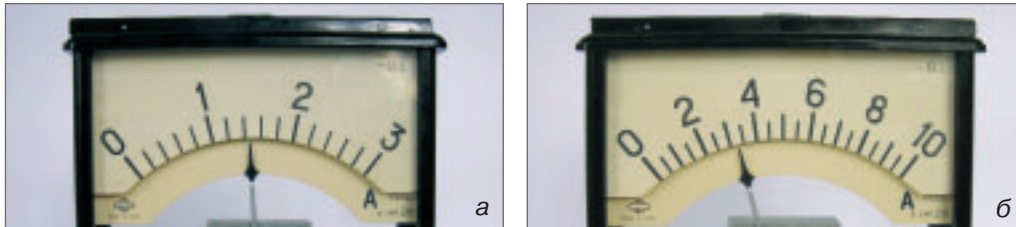


Рис. 72

81. На рисунке 72, *a*, *б* изображены шкалы двух амперметров. Определите для каждого амперметра границы измерения и цену деления шкалы. Какую силу тока показывает каждый амперметр?
82. При измерении силы тока в электрической цепи один ученик включил амперметр в цепь последовательно, а другой — параллельно. Какой ученик неправильно присоединил амперметр? Почему?
83. На рисунке 73, *a*, *б* изображены электрические цепи. Какие приборы включены в эти цепи? Начертите электрические схемы цепей. Какую силу тока зафиксировал каждый амперметр?
84. При перемещении заряда 12 Кл по спирали электрической лампы выполнена работа 240 Дж. Какое напряжение на зажимах лампы?
85. Определите напряжение на участке электрической цепи, на которой ток выполнил работу 10 кДж при перенесении заряда 10 Кл.
86. Определите напряжение на автомобильной лампе, если для перемещения в ней заряда 100 Кл необходимо выполнить работу 600 Дж.
87. На рисунке 74, *a*, *б*, *в* изображены шкалы трёх вольтметров. Для каждого вольтметра определите границы измерения и цену деления шкалы. Какое напряжение показывает каждый вольтметр?

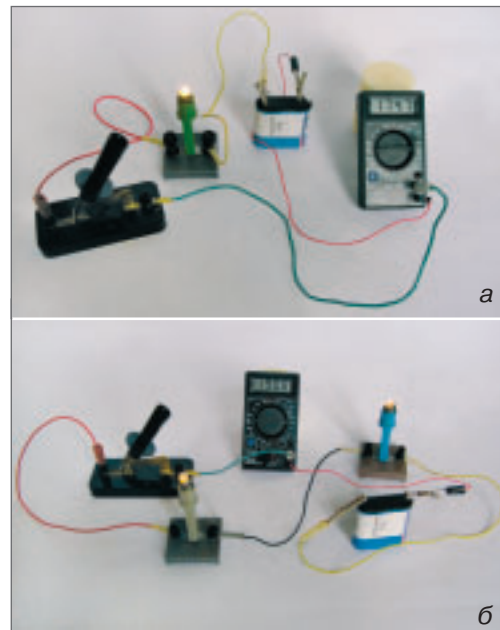
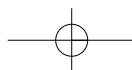


Рис. 73



Рис. 74



88. Один ученик включил вольтметр в электрическую цепь последовательно, а другой — параллельно. Какой вольтметр подключён правильно?
89. Необходимо измерить напряжение электролампы, включённой в осветительную сеть. Какой из двух вольтметров — на 300 или 50 В — должен выбрать ученик? Напряжение в сети 220 В.
90. Измерьте напряжение на выводах гальванического элемента и батареи гальванических элементов. Какие показания вы зафиксировали?
91. На рисунке 75, а показано, как соединить элементы для измерения силы тока в электрической цепи, а на рисунке 75, б — напряжение. В чём отличие между измерением силы тока и напряжения в цепи?
92. Измерьте силу тока в электродвигателе и напряжение, при котором он работает. Начертите схему цепи.
93. В электрической лампе, рассчитанной на напряжение 220 В, сила тока равна 0,5 А. Определите сопротивление нити лампы в рабочем состоянии.
94. Электроплитка рассчитана на напряжение 220 В. Сопротивление её спирали равно 75 Ом. Определите силу тока в ней.
95. Чему равна сила тока в электрической лампочке карманного фонаря, если сопротивление нити накаливания равно 15 Ом и присоединена она к батарее гальванических элементов напряжением 4,5 В?
96. Вольтметр показывает напряжение 120 В. Какое сопротивление вольтметра, если через него проходит ток 10 мА?
97. Определите сопротивление электрической лампы, сила тока в которой равна 0,5 А при напряжении 120 В.
98. При напряжении 1,2 кВ сила тока в цепи одного из блоков телевизора равна 50 мА. Чему равно сопротивление цепи этого блока?
99. Какое напряжение следует приложить к проводнику, сопротивление которого 1000 Ом, чтобы получить в нём силу тока 8 мА?
100. В паспорте амперметра указано, что его сопротивление равно 0,1 Ом. Определите напряжение на зажимах амперметра, если он показывает силу тока 10 А.
101. Определите напряжение на концах проводника, сопротивление которого равно 20 Ом, если сила тока в проводнике равна 0,4 А.

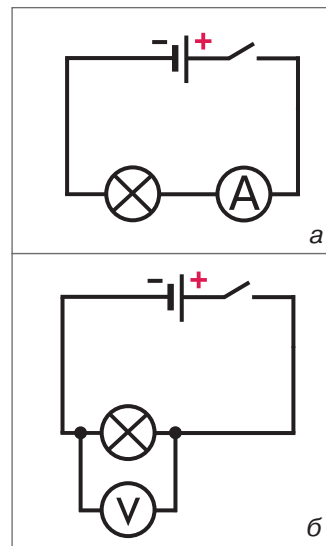


Рис. 75

Уровень Б

102. Через одну электрическую лампу проходит заряд 450 Кл каждые 5 мин, а через другую — 15 Кл за 10 с. В какой лампе сила электрического тока больше?
103. Сколько электронов проходит в секунду через поперечное сечение проводника, если сила тока в нём равна 5 А?

104. Через поперечное сечение проводника в электрической цепи проходит $3,1 \cdot 10^{18}$ электронов в секунду. Определите силу тока в цепи. Сколько электронов проходит через поперечное сечение спирали электрической лампы в этой цепи?
105. На рисунке 76 изображены шкалы измерительных приборов. Как называются эти приборы? Для измерения какой физической величины их применяют? На какое максимальное значение измеренной величины рассчитан каждый прибор? Какова цена деления шкал приборов? Какое значение измеренной величины показывает каждый прибор?
106. Как с помощью вольтметра определить полюса источника постоянного тока?
107. Почему сопротивление — одна из важнейших характеристик проводников?
108. Почему все проводники в определённой степени оказывают сопротивление направлению движения зарядов внутри проводника?
109. Можно ли от батареи аккумуляторов напряжением 12 В получить в проводнике силу тока 140 мА, если сопротивление проводника равно 100 Ом?
110. В электросеть напряжением 220 В включили электрический чайник и настольную лампу. Сопротивление нагревательного элемента чайника равно 22 Ом, сопротивление нити накаливания лампы — 240 Ом. Определите силу тока в каждом приборе.
111. При не прямых измерениях сопротивления резистора сфотографировали амперметр и вольтметр (рис. 77). Определите сопротивление резистора.

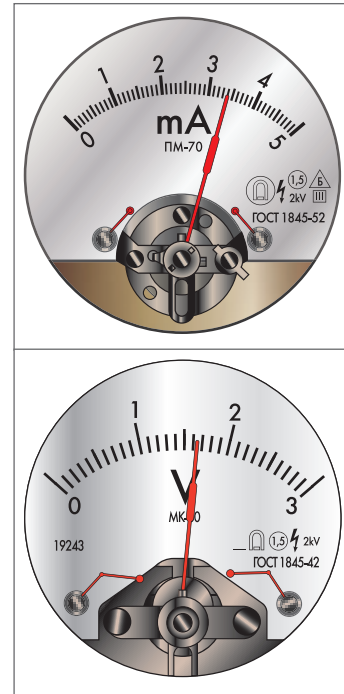


Рис. 76

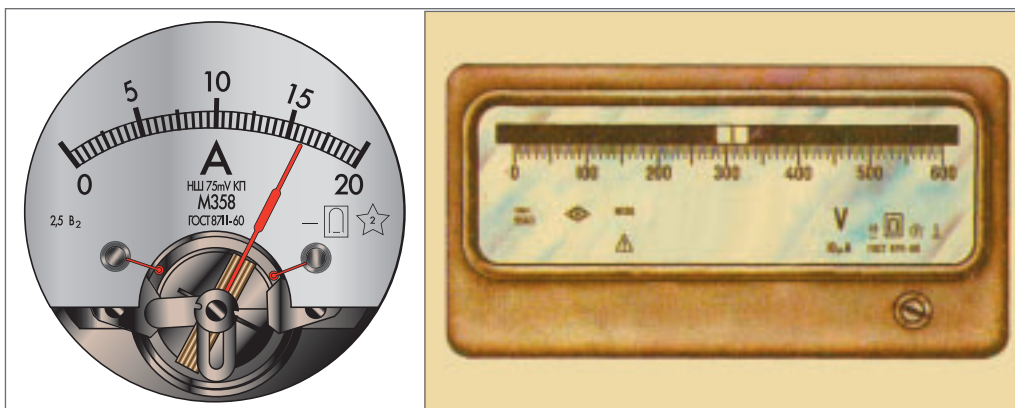


Рис. 77

§ 15 РАСЧЁТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА. УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДНИКА

Причиной электрического сопротивления проводника является взаимодействие свободных электронов с ионами кристаллической решётки металла. Рассмотрим, от чего зависит сопротивление проводника.

● **Опыт 1.** В электрическую цепь (рис. 78) поочерёдно включаем проводники из одного материала, одинакового диаметра, но разной длины. Силу тока измеряем амперметром, а напряжение — вольтметром.

По результатам опытов делаем вывод: **чем длиннее проводник, тем больше его электрическое сопротивление.** Поскольку чем длиннее проводник, тем большее противодействие испытают на своём пути частицы, перемещающиеся направленно.

● **Опыт 2.** Включаем в электрическую цепь поочерёдно проводники, изготовленные из одного материала и одинаковой длины, но с разным поперечным сечением. Измерив силу тока в проводниках и напряжение на их концах, убеждаемся: **чем толще проводник, тем меньше его электрическое сопротивление.** Увеличение толщины проводника равнозначно «расширению русла», по которому перемещаются заряды, поэтому сопротивление проводника уменьшается.

● **Опыт 3.** Включаем в электрическую цепь поочерёдно проводники, изготовленные из разных веществ, но одинаковой длины и поперечного сечения. Оказывается, **что электрическое сопротивление проводника зависит от того, из какого вещества он изготовлен.** Это объясняется тем, что разные металлы имеют разные кристаллические структуры, следовательно, тормозящее действие столкновений ионов и свободных электронов оказывается разным.

Зависимость сопротивления проводника от его размеров и вещества, из которого он изготовлен, впервые установил опытным путём Г. Ом: **сопротивление проводника прямо пропорционально его длине, обратно пропорционально площади поперечного сечения и зависит от вещества, из которого он изготовлен.**

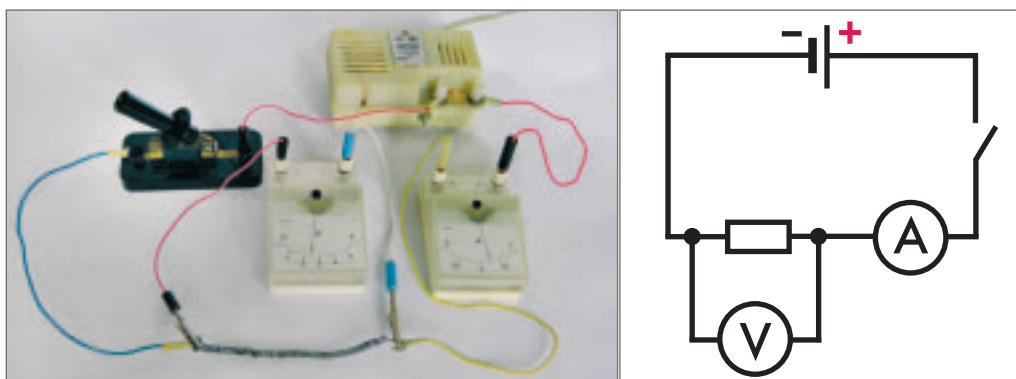


Рис. 78



Зависимость сопротивления проводника от вещества, из которого он изготовлен, характеризуют удельным сопротивлением вещества.

Удельное сопротивление вещества — это физическая величина, численно равная сопротивлению изготовленного из данного вещества проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 м².

Если длину проводника обозначить буквой l , площадь его поперечного сечения — S , удельное сопротивление — ρ , то сопротивление проводника определим по формуле:

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

Из этой формулы можно определить удельное сопротивление вещества:

$$\rho = \frac{RS}{l}.$$

Поскольку единица сопротивления — 1 Ом, единица площади — 1 м², единица длины — 1 м, то единица удельного сопротивления равна:

$$\frac{1 \text{ Ом} \cdot 1 \text{ м}^2}{1 \text{ м}} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

На практике площадь поперечного сечения проводников обычно выражают в квадратных миллиметрах, поэтому единицей удельного сопротивления вещества в этом случае является $1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

В таблице 3 приведены экспериментально полученные значения удельного сопротивления веществ, широко применяемых на практике.

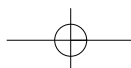
Таблица 3

Удельные сопротивления некоторых веществ
(при $t = 20^\circ\text{C}$)

Вещество	ρ , $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Вещество	ρ , $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Вещество	ρ , $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
Серебро	0,016	Свинец	0,21	Нихром (сплав)	1,1
Медь	0,017	Никелин (сплав)	0,40	Фехраль (сплав)	1,3
Золото	0,024	Манганин (сплав)	0,43	Графит	13
Алюминий	0,028	Константан (сплав)	0,50	Фарфор	10^{19}
Вольфрам	0,050	Ртуть	0,96	Эбонит	10^{20}
Железо	0,100				

Лучшими проводниками электричества являются серебро, медь, золото. Но для практических целей (например, создание электросетей) проводники изготавливают из алюминия, меди и железа. В нагревательных элементах используют нихромовые и фехральевые проводники. Фарфор и эбонит являются очень хорошими изоляторами.

Итак, для разных веществ значения удельного сопротивления изменяются в очень широких пределах, что объясняется их разным внутренним строением.



**ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ**

1. Чем характеризуется электрическое сопротивление, как его обозначают?
2. От чего зависит сопротивление проводника?
3. По какой формуле определяют сопротивление проводника?
4. Что показывает удельное сопротивление? Какой буквой его обозначают?
5. Какие единицы удельного сопротивления вы знаете?
- 6*. Есть два проводника. В каком из них сопротивление больше, если: а) длина и площадь поперечного сечения одинаковы, но один изготовлен из константана, а второй — из фехраля; б) оба изготовлены из одного вещества, имеют одинаковую толщину, но один проводник в два раза длиннее; в) изготовлены из одного вещества, имеют одинаковую длину, но один проводник в два раза тоньше?
- 7*. Проводники, рассмотренные выше, поочерёдно подсоединяют к одному источнику тока. В каком случае сила тока больше, а в каком — меньше?

§ 16 РЕОСТАТЫ. ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

На практике часто приходится изменять силу тока в цепи, то увеличивая её, то уменьшая. Например, изменяя силу тока в электроплитке, мы регулируем температуру её нагревания.

Для регулирования силы тока в электрической цепи применяют специальные приборы — **реостаты**. На рисунке 79 показан внешний вид реостатов (их условное обозначение см. в таблице на с. I форзаца). Такие реостаты называют **ползунковыми**. В них на керамический цилиндр намотан провод, покрытый тонким слоем окислы, поэтому витки провода изолированы один от другого. Над обмоткой размещён металлический стержень, вдоль которого перемещается ползун. От трения ползунка об витки слой окислы под контактами ползунка стирается, и электрический ток в цепи проходит от витков провода к ползунку, а через него — в стержень

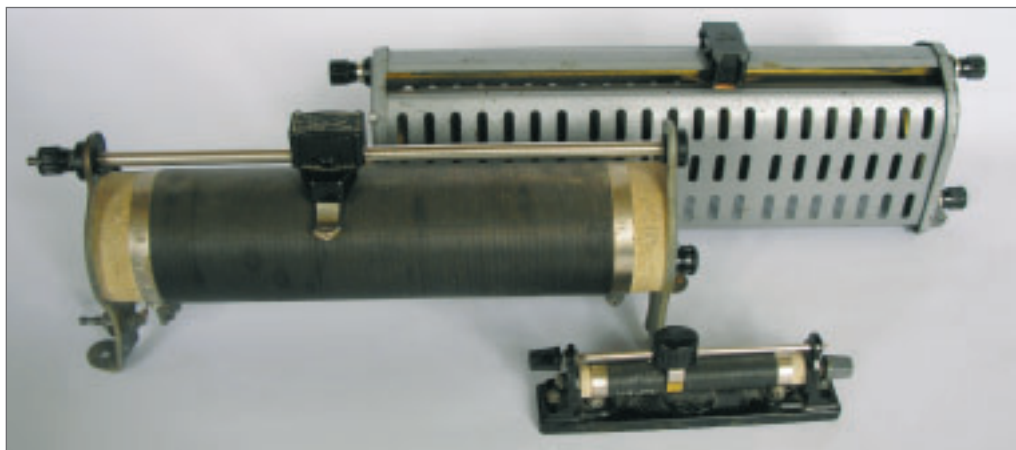


Рис. 79



с зажимом на конце. Реостат включают в цепь с помощью этого зажима и зажима, соединённого с одним из концов обмотки и размещённого на корпусе реостата.

Перемещая ползунок, можно увеличивать либо уменьшать сопротивление включённого в цепь реостата.

На рисунке 80 изображён реостат (а) и магазины сопротивлений (б), позволяющие изменять сопротивление в цепи не плавно, а скачкообразно.

Каждый реостат рассчитан на определённое сопротивление и допустимую силу тока, превышать которую не следует, поскольку обмотка реостата может нагреться и перегореть. Сопротивление реостата и наибольшее допустимое значение силы тока указаны на корпусе реостата.

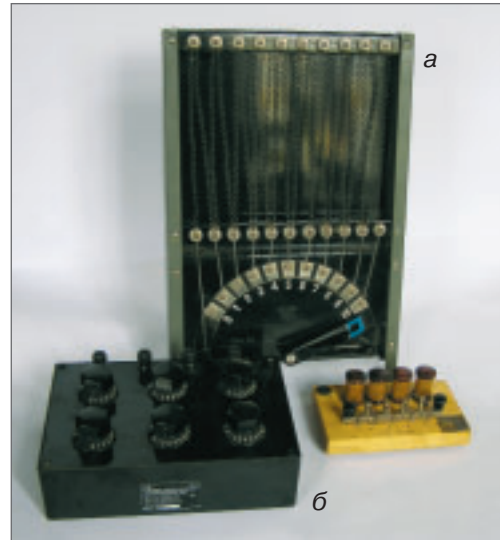


Рис. 80

А зависит ли сопротивление проводника от его состояния, в частности температуры?

● **Опыт 1.** Собираем электрическую цепь из источника тока, стальной спирали, амперметра и ключа (рис. 81). Нагреваем спираль в пламени горелки. Амперметр, включённый в цепь, покажет уменьшение силы тока с повышением температуры.

Следовательно, с изменением температуры сопротивление металлических проводников изменяется: при повышении температуры — увеличивается, при её понижении — уменьшается.

Согласно научным исследованиям в ограниченном диапазоне температур сопротивление металлических проводников возрастает прямо пропорционально температуре (рис. 82), что определяют по формуле:

$$R = R_0(1 + \alpha t),$$

де R — сопротивление проводника при определённой температуре; R_0 — сопротивление проводника при 0°C ; t — температура проводника по шкале Цельсия; α — температурный коэффициент сопротивления.

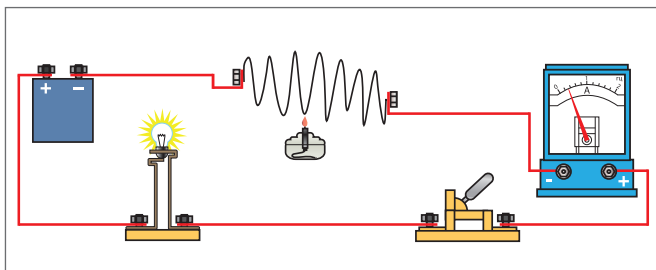


Рис. 81

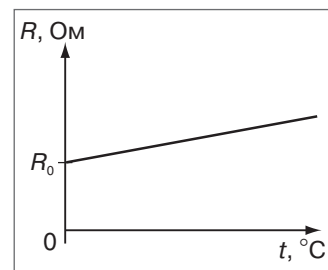
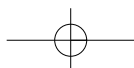


Рис. 82



Температурный коэффициент сопротивления характеризует зависимость сопротивления вещества от температуры и определяется относительным изменением сопротивления проводника при нагревании на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0 t}.$$

У чистых металлов (с минимальными примесями):

$$\alpha \approx \frac{1}{273}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} = 0,00367\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}.$$

Например, сопротивление вольфрамовой нити лампы накаливания возрастает при прохождении по ней тока в 10 раз и более.

Сплав константан (медь с никелем) имеет очень малый температурный коэффициент сопротивления, приблизительно $10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Удельное сопротивление константана большое — $\rho = 10^{-6}\text{ Ом}\cdot\text{м}$. Такие сплавы используют для изготовления эталонных сопротивлений и дополнительных сопротивлений в измерительных приборах, если необходимо, чтобы сопротивление значительно не изменялось при колебаниях температуры.

Зависимость сопротивления металлических проводников от температуры используют в *термометрах сопротивления*, рабочим элементом которых является платиновый провод. Изменения температуры окружающей среды определяют по изменению сопротивления провода. Такими термометрами можно измерять очень низкие и очень высокие температуры среды, когда жидкостные термометры непригодны.

Для измерения сопротивления проводников используют приборы **омметры** разных конструкций. На рисунке 83 для измерения сопротивления резистора к нему присоединили омметр. Цифровой индикатор омметра показывает, что сопротивление проводника равно 39,1 Ом.

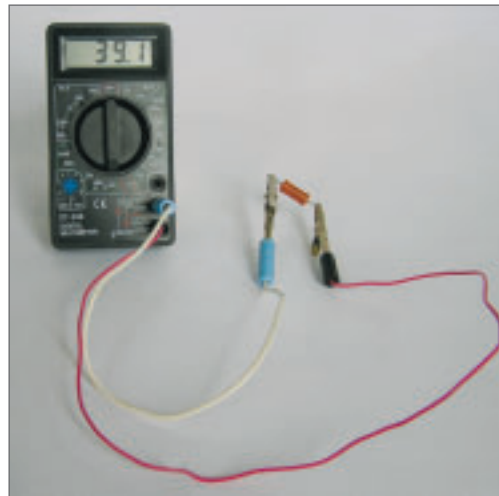


Рис. 83



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие конструкции реостатов вы знаете? Для чего их используют?
2. Как зависит сопротивление металлического проводника от температуры окружающей среды?
3. Приведите формулу для измерения сопротивления проводника при определённой температуре.
4. Что такое температурный коэффициент сопротивления?
- 5*. Перечислите преимущества термометров сопротивления перед жидкостными.
6. Какими приборами измеряют сопротивление проводников?

**ЛАБОРАТОРНАЯ
РАБОТА № 5****ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТ ДЛИНЫ,
ПЛОЩАДИ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ
И МАТЕРИАЛА ПРОВОДНИКА**

- **Цель работы:** на опытах определить зависимость сопротивления металлических проводников от их размеров и материала.
- **Приборы и материалы:** никелиновые и нихромовые провода разной длины и поперечного сечения, источник тока, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.

Ход работы

1. Соберите электрическую цепь по схеме (см. рис. 78), подключив к ней никелиновый провод длиной 40 см. Измерьте силу тока в проводе и напряжение на его концах. Определите сопротивление провода.
2. Уменьшите длину никелинового провода до 20 см. Снова измерьте в нём силу тока и напряжение на концах. Определите сопротивление.
3. Сравните полученные результаты. Сделайте выводы.
4. Соберите электрическую цепь по схеме (см. рис. 78), включив в неё нихромовый провод длиной 40 см. Измерьте силу тока, напряжение на его концах. Определите сопротивление провода.
5. Уменьшите длину нихромового провода до 20 см. Снова измерьте в нём силу тока и напряжение на концах. Определите сопротивление.
6. Сравните полученные результаты. Сделайте выводы.
7. Соберите электрическую цепь по схеме (см. рис. 78), подключив к ней никелиновый провод длиной 40 см, но поперечное сечение которого больше, чем в предыдущем опыте. Измерьте силу тока, напряжение на его концах. Определите сопротивление.

ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ**> Решаем вместе**

1. Сопротивление одной катушки медного провода равно 1,5 Ом, а другой такой же катушки — 6 Ом. Во сколько раз длина провода в первой катушке меньше, чем во второй?

Ответ: Сопротивление проводника прямо пропорционально его длине. Чем короче медный провод, тем меньше его сопротивление. Отсюда, длина медного провода в первой катушке в 4 раза меньше, чем во второй.

2. Реостат изготовлен из никелинового провода длиной 40 м и площадью поперечного сечения $0,5 \text{ мм}^2$. Напряжение на зажимах реостата 80 В. Чему равна сила тока, который проходит в реостате?

Дано:

$l = 40 \text{ м}$

$S = 0,05 \text{ мм}^2$

$U = 80 \text{ В}$

$\rho = 0,40 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

 $I = ?$

Решение

Силу тока определим по закону Ома:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Неизвестное сопротивление никелинового провода определим по

формуле $R = \rho \frac{l}{S}$.

Удельное сопротивление ρ находим по таблице 3 (с. 66). Тогда силу тока можно вычислить по формуле: $I = \frac{US}{\rho l}$. Подставив значения, получим:

$$I = \frac{80 \text{ В} \cdot 0,05 \text{ мм}^2}{0,40 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot 40 \text{ м}} = 2,5 \text{ А}.$$

О т в е т: сила тока в реостате равна 2,5 А.

Уровень А

112. Во сколько раз и как изменится сопротивление проводника, если его длину увеличить в 5 раз?
113. Провод разрезали на три части и сплели в один. Во сколько раз изменилось сопротивление провода? Увеличилось оно или уменьшилось?
114. К зданию подведён кабель с медными жилами общим сечением 100 мм^2 . Длина кабеля равна 80 м. Каково его сопротивление?
115. Определите сопротивление каждого километра трамвайного медного провода, поперечное сечение которого равно 51 мм^2 .
116. Рассмотрите какой-либо реостат. Укажите, на какое сопротивление и на какую допустимую силу тока он рассчитан.
117. На реостате написано «50 Ом; 0,2 А». Что это означает?
118. Надо изготовить реостат на 5 Ом из никелинового провода площадью сечения $0,2 \text{ мм}^2$. Какой длины провод нужен для этого?
119. Моток изолированного медного провода проводит ток 0,05 А при напряжении 8,5 В. Какая длина провода в мотке, если его поперечное сечение равно $0,5 \text{ мм}^2$?

Уровень Б

120. Ученик установил на столе лампочку от карманного фонарика. Батарею гальванических элементов он разместил на полу под столом и соединил её с лампочкой посредством двух тонких алюминиевых проводников. Батарея новая, но лампа светит плохо. Объясните, почему.
121. Никелиновый проводник длиной 5 м и поперечным сечением $0,12 \text{ мм}^2$ пропускает ток силой 1,5 А при напряжении 24 В. Определите удельное сопротивление никелина.
122. Сопротивление проводника равно 20 Ом. На сколько равных частей его необходимо разрезать, чтобы сопротивление сплетённых в один провод частей было равным 5 Ом?



123. Реостат сопротивлением 30 Ом имеет 50 витков. На сколько увеличивается сопротивление в цепи, если включить последовательно 15 витков реостата?
124. Для изготовления спирали электрического нагревателя, рассчитанного на напряжение 120 В и силу тока 5 А, используется манганиновый провод с поперечным сечением 0,3 мм². Определите длину этого проводника ($\rho = 0,45 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$).
125. Сколько надо взять метров медного провода сечением 2 мм², чтобы его сопротивление было таким же, как сопротивление алюминиевого провода сечением 5 мм² и длиной 17 м?
126. Сопротивление спирали лампы в раскалённом состоянии в 10 раз больше, чем в холодном состоянии. Найти сопротивления спирали лампы в раскалённом и холодном состояниях, если при напряжении 220 В сила тока в ней равна 0,44 А.
127. Определите массу медного провода для проведения линии длиной 2 км, если её сопротивление должно быть равным 1,36 Ом.

§ 17 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

Электрические цепи на практике состоят из нескольких потребителей, которые могут быть соединены последовательно, параллельно или последовательно и параллельно (смешанное соединение).

При последовательном соединении потребителей (проводников) их соединяют поочерёдно один за другим без разветвлений проводов между ними.

● **Опыт.** К источнику тока присоединим последовательно две лампы (рис. 84, а), начертим схему этой электрической цепи (рис. 84, б). Если выключить одну лампу, то цепь разомкнётся, и вторая лампа погаснет (рис. 84, в).

После выполнения лабораторных работ вам уже известно следующее.

1. При последовательном соединении проводников сила тока в любой части электрической цепи одинакова, то есть

$$I = I_1 = I_2.$$

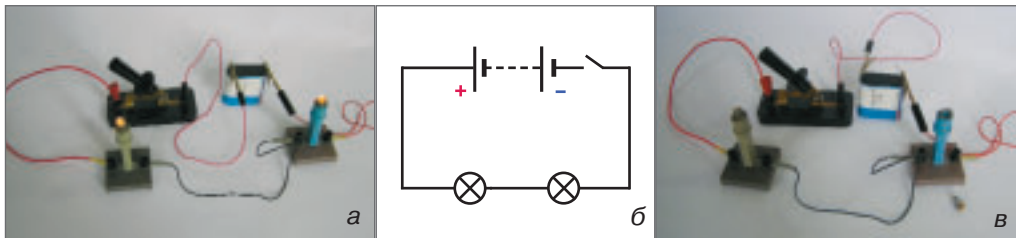
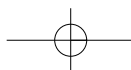


Рис. 84



2. Полное напряжение U в цепи при последовательном соединении, или напряжение на полюсах источника тока, равно сумме напряжений на всех отдельных участках цепи, то есть (в случае двух участков)

$$U = U_1 + U_2.$$

Тогда, по закону Ома, общее сопротивление цепи R при последовательном соединении равно сумме всех сопротивлений отдельных проводников либо отдельных участков цепи, то есть (в случае двух проводников)

$$R = R_1 + R_2.$$

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Почему один из видов соединения проводников называют последовательным?
2. Объясните, почему сила тока при последовательном соединении проводников на всех участках одинакова.
3. Почему при последовательном соединении двух потребителей выполняется формула $R = R_1 + R_2$?
- 4*. Почему для любой пары проводников при последовательном соединении справедливо соотношение: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ПРОВОДНИКОВ

- **Цель работы:** исследовать электрические цепи с последовательным соединением проводников, проверить законы последовательного соединения проводников.
- **Приборы и материалы:** источник тока, набор проволочных резисторов: 1, 2, 4 Ом, лампа на подставке (на 2,5 или 3,6 В), амперметр, вольтметры, реостат лабораторный (6 Ом), ключ, соединительные провода.

Ход работы

1. Определите цену деления шкал амперметра и вольтметра.
2. Начертите схему электрической цепи, состоящей из источника тока, двух резисторов и электрической лампы, соединённых последовательно, амперметра, вольтметров и ключа.
3. Составьте электрическую цепь по данной схеме.

Номер опыта	Сила тока, I , А	Напряжение, В				Сопротивление, Ом			
		U_1 на резисторе R_1	U_2 на резисторе R_2	U_3 на лампе R_3	U на резисторах и лампе R	R_1	R_2	Лампа R_3	Общее сопротивление R

4. Измерьте силу тока в электрической цепи, напряжение на резисторах и электрической лампе. Результаты измерений запишите в таблицу.



5. Определите сопротивления резисторов и электрической лампы, общее сопротивление цепи.
6. Проверьте законы последовательного соединения проводников. Сделайте выводы.

Задание для любознательных

Соедините последовательно три одинаковых по длине и площади поперечного сечения проводника, медный, железный и алюминиевый. С помощью электрической лампочки определите, на концах какого из трёх проводников наибольшее напряжение?

§ 18 ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

Последовательно соединённые приборы отключаются все одновременно при размыкании цепи, что не всегда удобно. Например, при освещении дома или комнаты нет необходимости одновременно включать все лампы. При последовательном соединении, выключая одну из ламп, мы выключаем и остальные. Если же необходимо, чтобы приборы работали в цепи независимо, используют **параллельное соединение**.

При параллельном соединении потребителей (проводников) выводы каждого из них присоединяют к общей для всех паре зажимов (точек или узлов цепи).

На рисунке 85, *а* показано параллельное соединение двух электрических ламп, а на рисунке 85, *б* — схему этого соединения (в точках *A* и *B* — узлы цепи). Если одну лампу выключить, то другая продолжает светить.

Выполнив опыты, убеждаемся, что **напряжение на участке цепи *AB* и на концах всех параллельно соединённых проводников одинаково, то есть**

$$U = U_1 = U_2.$$

В быту и технике удобно применять параллельное соединение потребителей, поскольку они рассчитаны на одинаковое напряжение.

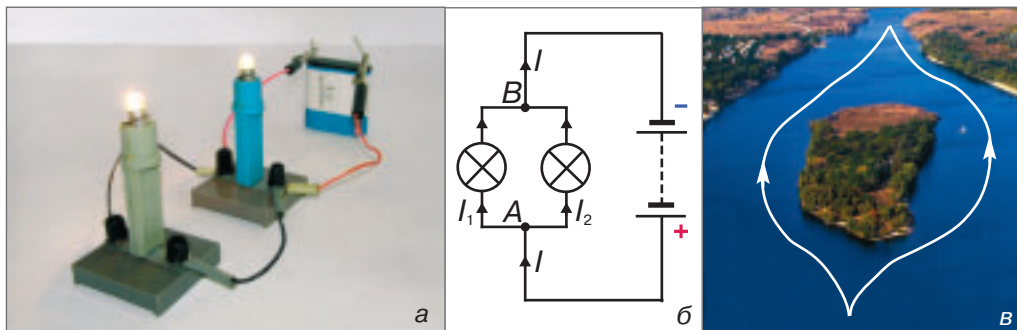
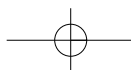


Рис. 85





При параллельном соединении ток I в точке A (рис. 85, б) разветвляется на два тока — I_1 и I_2 , которые сходятся снова в точке B . Так поток воды в реке разделяется на два рукава, потом снова соединяясь (рис. 85, в). Отсюда очевидна связь между значениями силы тока в ветвях параллельной цепи: **сила тока в неразветвлённом участке цепи равна сумме токов в отдельных параллельно соединённых проводниках, то есть**

$$I = I_1 + I_2.$$

При параллельном соединении как бы увеличивается толщина проводника, поэтому общее сопротивление цепи R становится меньше наименьшего из сопротивлений проводников, включённых в цепь. Из закона Ома можно вывести соотношение для определения общего сопротивления цепи при параллельном соединении:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

Если цепь состоит из двух параллельно соединённых одинаковых ламп с сопротивлением $R_{л}$ каждая, то общее сопротивление цепи будет в два раза меньше сопротивления одной лампы: $R = \frac{R_{л}}{2}$.

В электрических цепях часто встречается *смешанное* (или *сложное*) *соединение*. Это комбинация последовательного и параллельного соединений. В случае трёх резисторов возможны два варианта смешанного соединения. В первом случае (рис. 86, а) есть два последовательно соединённых участка, один из них является параллельным соединением. Общее сопротивление цепи в данном случае равно:

$$R = R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Во втором случае (рис. 86, б) вся цепь рассматривается как параллельное соединение, в котором одна ветка сама является последовательным соединением. Общее сопротивление цепи в данном случае равно:

$$R = \frac{R_3(R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3}.$$

При большем количестве резисторов собирают разные, более сложные схемы смешанного соединения.

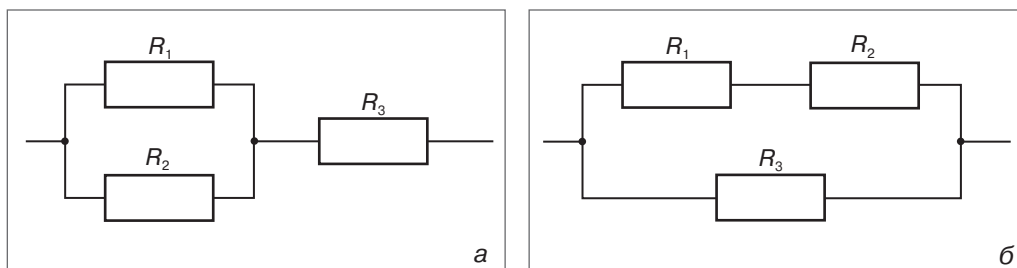
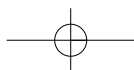


Рис. 86





ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Почему при параллельном соединении двух проводников выполняется формула $I = I_1 + I_2$?
2. Почему на практике чаще применяют параллельное соединение проводников?
- 3*. Объясните, почему формула общего сопротивления для параллельного соединения двух проводников имеет следующий вид:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

- 4*. Докажите, что при параллельном соединении сила тока в каждой из любых пар проводников и их сопротивления связаны соотношением $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$.
- 5*. Когда параллельное соединение проводников экономичнее, чем последовательное?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ПРОВОДНИКОВ

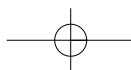
- **Цель работы:** исследовать электрические цепи с параллельным соединением проводников, проверить законы параллельного соединения проводников.
- **Приборы и материалы:** источник тока, набор проволочных резисторов: 1, 2, 4 Ом, лампа на подставке (на 2,5 или 3,5 В), амперметры, вольтметр, реостат лабораторный (6 Ом), ключ, соединительные провода.

Ход работы

1. Определите цену деления шкалы амперметра и вольтметра.
2. Начертите схему электрической цепи, состоящей из источника тока, двух сопротивлений и электрической лампы, соединённых параллельно, амперметров, вольтметра и ключа.
3. Соберите электрическую цепь по начерченной схеме.
4. Измерьте силу тока в электрической цепи, напряжение на сопротивлениях и электрической лампе. Результаты запишите в таблицу.

Номер опыта	Напряжение, U, В	Сила тока, А				Сопротивление, Ом			
		I_1 в резисторе R_1	I_2 в резисторе R_2	I_3 в лампе R_3	I в резисторах и лампе R	R_1	R_2	Лампа R_3	Общее R

5. Определите сопротивления резисторов, электрической лампы и общее сопротивление цепи.
6. Проверьте законы параллельного соединения проводников. Сделайте выводы.





Задание для любознательных

Соберите электрическую цепь из гальванического элемента или батареи гальванических элементов, электрической лампы соответствующего напряжения и трёх выключателей, включённых в цепь таким образом, чтобы при замыкании каждого из них лампа светила. Перед замыканием второго выключателя нужно разомкнуть первый. Начертите схему цепи с использованием указанного способа соединения выключателей.

ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

Решаем вместе

1. Два проводника с сопротивлениями $R_1 = 2 \text{ Ом}$ и $R_2 = 3 \text{ Ом}$ соединены последовательно. Сила тока в цепи равна 1 А . Определите сопротивление цепи и общее напряжение на проводниках.

Дано:
 $R_1 = 2 \text{ Ом}$
 $R_2 = 3 \text{ Ом}$
 $I = 1 \text{ А}$

$R = ? U = ?$

Решение

Сила тока во всех последовательно соединённых проводниках одинакова:
 $I_1 = I_2 = I = 1 \text{ А}$.

Общее сопротивление цепи составляет:
 $R = R_1 + R_2; R = 2 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} = 5 \text{ Ом}$.

По закону Ома: $U = IR, U = 1 \text{ А} \cdot 5 \text{ Ом} = 5 \text{ В}$.

О т в е т: общее сопротивление цепи $R = 5 \text{ Ом}$, напряжение $U = 5 \text{ В}$.

2. В осветительную сеть комнаты включены две одинаковые электрические лампы. Сопротивление каждой лампы равно 440 Ом , напряжение в сети — 220 В . Определите общее сопротивление цепи и силу тока в проводах подводки.

Дано:
 $R_1 = R_2 = 440 \text{ Ом}$
 $R_2 = R_1 = 440 \text{ Ом}$
 $U = 220 \text{ В}$

$R = ? I = ?$

Решение

Если сопротивления ламп одинаковы, то при параллельном соединении

проводников оно равно $R = \frac{R_1}{2}$.

$R = 440 \text{ Ом} : 2 = 220 \text{ Ом}$.

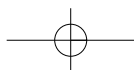
По закону Ома: $I = \frac{U}{R}$.

$I = 220 \text{ В} : 220 \text{ Ом} = 1 \text{ А}$.

О т в е т: общее сопротивление цепи $R = 220 \text{ Ом}$, сила тока $I = 1 \text{ А}$.

Уровень А

128. Для новогодней ёлки нужно изготовить гирлянду из одинаковых 12-вольтных лампочек, чтобы включить её в осветительную сеть 220 В . Сколько необходимо таких лампочек?





129. В сеть 220 В включили последовательно две лампы с одинаковым сопротивлением. Каковы напряжения на каждой лампе?
130. Сопротивление цепи, состоящей из двух последовательно соединённых одинаковых ламп и реостата, равно 1 020 Ом. Каково сопротивление каждой лампы, если сопротивление реостата равно 120 Ом?
131. Начертите схему цепи, состоящей из аккумулятора, электрической лампы, реостата и выключателя, соединённых последовательно.
132. Как изменится сила тока в ёлочной гирлянде, если к ней последовательно присоединить ещё одну лампочку? Как изменится свечение ламп?
133. Какая ёлочная гирлянда практичнее: с последовательным или параллельным соединением? Почему?

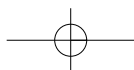
Уровень Б

134. В осветительную сеть включили последовательно две лампы с разным сопротивлением. Какая из них будет светить ярче? Почему?
135. Как включить для освещения трамвайного вагона электрические лампы на 120 В, если напряжение в контактной сети трамвая составляет 600 В?
136. Салон троллейбуса освещается 14 плафонами, в каждом из них одна лампа рассчитана на напряжение 120 В. Такая же лампа освещает номер маршрута. Начертите схему включения всех ламп в контактную сеть троллейбуса, напряжение в которой составляет 600 В.
137. Составьте простейшую схему пожарной сигнализации с 5 ключами в разных пунктах, источником тока и одним звонком.
138. Один из учеников считает, что шнур, соединённый с электроплиткой, — это два параллельно соединённых проводника, а второй доказывает, что эти проводники последовательно соединены с электроплиткой. Кто из них прав и почему?
139. Гирлянда комнатной ёлки состоит из 24 лампочек. Если одна перегорит, то остальные гаснут. А если одна из лампочек гирлянды школьной ёлки перегорит, то остальные продолжают светить. Объясните, почему.
140. В осветительную сеть с напряжением 220 В надо включить 4 одинаковых лампы, дающих полный накал при напряжении 110 В. Как соединить лампы, чтобы они не перегорели при включении в сеть?

§ 19 РАБОТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Все известные вам электрические приборы действуют за счёт электрической энергии, которую поставляет источник электрического тока. В результате получаем свет, тепло, звук, механическое движение и т. д., то есть разнообразные виды энергии.

Работа электрического тока — это физическая величина, характеризующая преобразование электрической энергии в другие виды энергии.



Вы уже знаете, что напряжение — это физическая величина, характеризующая электрическое поле, которое перемещает свободные заряды, создавая ток. Напряжение на концах определённого участка цепи определяется отношением работы A электрического тока на этом участке к электрическому заряду q , прошедшему по ней, то есть:

$$U = \frac{A}{q}.$$

Из приведённого соотношения получаем формулу для определения работы электрического тока на участке цепи:

$$A = Uq.$$

Чтобы определить работу электрического тока на участке цепи, необходимо напряжение на концах этого участка умножить на электрический заряд, прошедший по ней.

За время t ток силой I переносит в цепи электрический заряд $q = It$. Тогда формула для работы A электрического тока имеет такой вид:

$$A = UIt,$$

где U — напряжение на концах участка; I — сила тока в цепи; t — время выполнения работы.

Чтобы определить работу электрического тока на участке цепи, напряжение на концах этого участка умножаем на силу тока в ней и время, в течение которого выполнялась работа.

Единицей работы электрического тока, как и механической работы, является 1 Дж. Из формулы для работы электрического тока следует: $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$.

Чтобы измерить работу электрического тока в цепи, необходимо иметь вольтметр, амперметр и часы.

● **Опыт.** Собираем электрическую цепь (рис. 87). С помощью вольтметра определяем напряжение, прилагаемое к электрической лампе, а с помощью амперметра — силу тока в спирали лампы. Итак, вольтметр показывает напряжение 2,3 В, амперметр — силу тока 1,2 А.

Для определения работы тока в течение 10 мин, или 600 с, используем формулу $A = UIt$. Подставим значения:

$$\begin{aligned} A &= 2,3 \text{ В} \cdot 1,2 \text{ А} \cdot 600 \text{ с} = \\ &= 1656 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с} = 1656 \text{ Дж} = \\ &= 1,656 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

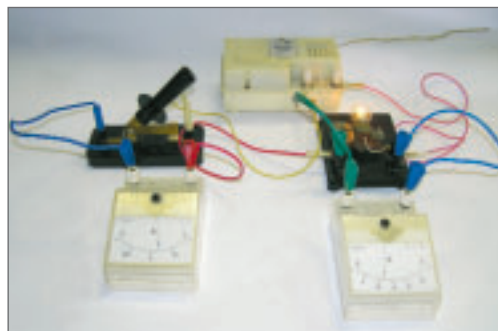


Рис. 87



Следовательно, работа силы тока равна 132 кДж. На практике работу электрического тока также измеряют специальным прибором — электрическим счётчиком, внешний вид которого вы видите на рисунке 88. Счётчик электрической энергии есть в каждом доме или квартире. Его конструкция объединяет свойства всех ранее перечисленных приборов.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что называют работой электрического тока?
2. Как определить работу электрического тока?
3. Назовите единицы работы электрического тока в СИ.
4. Как на практике измеряют работу электрического тока?
- 5*. Пользуясь формулой для вычисления работы электрического тока, покажите, как единицу работы — 1 джоуль — можно выразить через другие единицы.



Рис. 88

§ 20 МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

На баллоне или цоколе электрической лампы, корпусе многих бытовых электроприборов, в инструкциях к ним обязательно имеются надписи: «220 В; 60 Вт», «мощность электрического утюга 1,2 кВт» и т. д. Вы уже знаете из механики, что в ваттах измеряют мощность, следовательно, здесь речь идёт о **мощности электрического тока**.

Мощность электрического тока — физическая величина, характеризующая способность электрического тока выполнять определённую работу за единицу времени.

Мощность электрического тока обозначают большой латинской буквой P . Если работа электрического тока A выполнена за время t , то мощность электрического тока P определяется по формуле:

$$P = \frac{A}{t}.$$

Используя известное вам соотношение $A = UIt$, формулу мощности электрического тока представим в следующем виде:

$$P = UI.$$

Мощность электрического тока определяется произведением напряжения на концах участка цепи и силы тока на этом участке.

Единицей мощности электрического тока является один ватт (1 Вт). Из формулы мощности следует, что $1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}$.

Используют также кратные единицы мощности: гектоватт (гВт), киловатт (кВт), мегаватт (МВт), гигаватт (ГВт).

- 1 гВт = 100 Вт;
- 1 кВт = 1 000 Вт;
- 1 МВт = 1 000 000 Вт;
- 1 ГВт = 1 000 000 000 Вт.

Для измерения мощности электрического тока в цепи применяют вольтметр и амперметр. Есть специальный прибор — **ваттметр**, которым мощность электрического тока можно измерять непосредственно в цепи.

На рисунке 89 вы видите шкалу такого прибора.

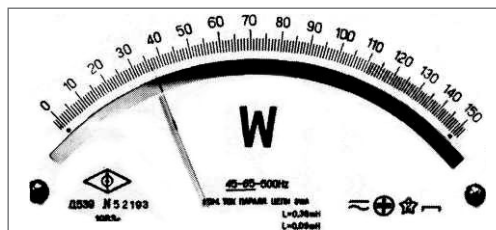


Рис. 89

В таблице 4 приведены значения мощности некоторых потребителей электрического тока.

Таблица 4

Мощность некоторых электрических приборов

Название прибора	Мощность, Вт
Лампочка карманного фонарика	1,0
Лампы осветительные (бытовые)	$(1,1 - 1,6) \cdot 10^2$
Холодильник бытовой	$(0,15 - 2,0) \cdot 10^2$
Электрический уют	$(0,3 - 1,0) \cdot 10^3$
Стиральная машина	$(0,35 - 2,0) \cdot 10^3$
Электрическая плитка	$(6 - 8) \cdot 10^2$; $(1,0 - 1,2) \cdot 10^3$
Электропылесос	$(0,1 - 1,2) \cdot 10^3$
Двигатель трамвая	$(45 - 50) \cdot 10^3$
Двигатель электровоза	$650 \cdot 10^3$
Электродвигатель прокатного стана	$(6 - 9) \cdot 10^6$

Большинство бытовых приборов рассчитано на напряжение 220 В, но разную силу тока. Следовательно, мощность потребителей электроэнергии разная, поэтому одну и ту же работу они выполняют за разное время.

Из определения мощности электрического тока получаем формулу для расчёта электрической энергии, или работы A :

$$A = Pt,$$

где P — мощность электрического тока; t — время прохождения тока.

Работа электрического тока определяется произведением мощности электрического тока и времени его потребления.

Из этой формулы получаем ещё одно выражение для единицы работы электрического тока: $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Вт} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ Вт} \cdot \text{с}$.



Если электрическая лампа мощностью 100 Вт будет светить в течение 10 ч, то работа электрического тока будет равна:

$$P = 100 \text{ Вт} \cdot 36\,000 \text{ с} = 3\,600\,000 \text{ Дж} = 3\,600 \text{ кДж} = 3,6 \text{ МДж.}$$

Такое значение работы электрического тока называют **киловатт-часом**; обозначают **1 кВт · ч**.

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3\,600\,000 \text{ Дж} = 3\,600 \text{ кДж} = 3,6 \text{ МДж.}$$

Показания электрического счётчика, которым измеряет количество электрической энергии (работу электрического тока), потребляемой приборами в квартире, выражаются именно в киловатт-часах. Механическую работу 3 600 кДж человек может выполнить, если, например, мешок массой 50 кг поднимет по ступенькам на высоту более 7 км. На тепловой электростанции, чтобы выработать 1 кВт · ч, нужно сжечь всего 330 г угля.

В таблице на с. III форзаца приведены виды работ, на выполнение каждой из них затрачивается 1 кВт · ч энергии.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Почему наряду с понятием «работа электрического тока» большое значение имеет понятие «мощность электрического тока»?
- 2*. Для определения мощности электрического тока с помощью закона Ома можно получить три эквивалентных формулы: $P = UI$, $P = \frac{U^2}{R}$ и $P = I^2R$. При каких условиях для решения задачи удобно использовать одну из этих формул?
- 3*. Поясните, почему уменьшается мощность лампы накаливания, если её спираль в результате испарения становится тоньше?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

- **Цель работы:** научиться измерять мощность потребителей электрического тока.
- **Приборы и материалы:** источник тока, низковольтная лампа на подставке, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.

Ход работы

1. Соберите электрическую цепь из источника тока, лампы на подставке, амперметра и ключа, соединив их последовательно.
2. Измерьте вольтметром напряжение на лампе, амперметром — силу тока, протекающего по спирали лампы.
3. По формуле $P = UI$ определите мощность лампы.
4. По надписям на цоколе лампы определите её мощность и сравните с предыдущим значением. Сделайте выводы.
5. Ознакомьтесь с инструкцией какого-либо бытового электроприбора. Какова мощность этого прибора? На какое напряжение и силу тока он рассчитан? Для чего используется?

§ 21 ЗАКОН ДЖОУЛЯ—ЛЕНЦА

Электрический ток нагревает проводник. Это явление вам хорошо известно. Объясняется оно тем, что заряженные частицы, перемещаясь под влиянием электрического поля, взаимодействуют с атомами вещества проводника и передают им свою энергию. В результате работы электрического тока внутренняя энергия проводника увеличивается.

Английский физик *Д. Джоуль* и российский физик *Э. Ленц* показали на опыте, что в неподвижных металлических проводниках вся работа электрического тока затрачивается на увеличение их внутренней энергии. Нагретый проводник отдаёт полученную энергию окружающим его телам вследствие теплообмена. Учёные установили, что количество теплоты, которое выделяется проводником с током, определяется произведением квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени прохождения тока.

Этот закон получил название закона Джоуля—Ленца:

$$Q = I^2 R t,$$

где Q — количество теплоты, выделяемой проводником с током; I — сила тока в проводнике; R — сопротивление проводника; t — время прохождения тока.

При параллельном соединении проводников напряжения на них одинаковы и количество теплоты удобно определять по формуле:

$$Q = \frac{U^2 t}{R}.$$

▶ Согласно закону сохранения энергии количество теплоты, которая передаётся окружающей среде, равно работе электрического тока:

$$Q = A = I^2 R t = \frac{U^2 t}{R} = U I t.$$



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Почему именно формула $Q = I^2 R t$, которую используют для расчёта количества теплоты, выражает сущность закона Джоуля—Ленца?
- 2*. Если в цепь параллельно включить медный и стальной провода, длина и площадь поперечного сечения которых одинаковы, то в медном проводнике за одно и то же время выделится больше теплоты. Почему?
- 3*. При последовательном соединении сильнее всего нагревается проводник с наибольшим сопротивлением. Докажите это.

§ 22 ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

До середины XIX в. для освещения использовались факелы, свечи, керосиновые лампы и газовые горелки. И только в 1878 г. некоторые улицы и площади Парижа начали освещать электрическими свечами — лампами

с электрической дугой (рис. 90, а). Электрическую свечу создал российский изобретатель **Павел Яблочков**, поэтому её называют «свечой Яблочкова».

В 1870 г. другой российский электротехник **Александр Лодыгин** сконструировал электрическую лампу накаливания. Лампа Лодыгина состояла из стеклянного баллона, в котором размещался тонкий угольный стержень, закреплённый между двумя медными проводниками (рис. 90, б). Угольный стержень при работе лампы раскалялся и становился источником света, но быстро перегорал (за 30—40 мин). Когда А. Лодыгин откачал из баллона воздух, то время работы лампы увеличилось.

В 1879 г. американский изобретатель **Томас Эдисон** изобрёл способ получения тонких угольных нитей, используя их в конструкции электрической лампы (рис. 91). Он также предложил удобный способ включения лампы в электросеть с помощью винтового цоколя и патрона. Тем самым Т. Эдисон ускорил распространение электрического освещения.

В начале XX в. создают более экономичные лампы с металлической зигзагообразной нитью (рис. 92).

Один из недостатков этих электроламп — испарение материала нити при её накаливании, поэтому время работы ламп сокращалось. Кроме того, материал, испаряясь, осаждался на стенках стеклянного баллона и затемнял его.

В 1906 г. А. Лодыгин конструирует лампу с нитью из вольфрама. Вольфрам — тугоплавкий металл, он плавится при температуре $3380\text{ }^{\circ}\text{C}$. Чтобы уменьшить испарение вольфрама, баллон лампы начали наполнять инертными газами — аргоном (с примесью азота), криптоном.

Для уменьшения тепловых потерь вольфрамовую нить в лампе делают в виде спирали (рис. 93). На рисунке 94 показаны современные лампы накаливания.

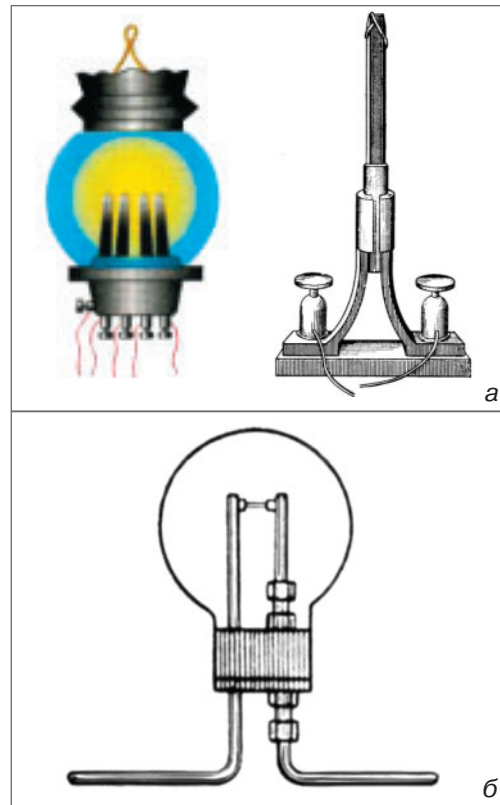


Рис. 90

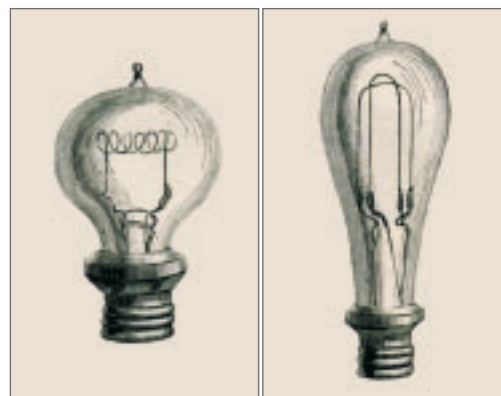


Рис. 91

Рис. 92

Для освещения в быту и часто на производстве применяют электрические лампы накаливания, рассчитанные на напряжение 220 В, мощностью от 15 до 150—200 Вт; для освещения железнодорожных вагонов используют лампы, рассчитанные на напряжение 50 В, автомобилей — 12 и 6 В, в карманных фонариках — 6,3; 3,5; 2,5 и 1 В. Для специальных потребностей изготавливают лампы накаливания большой мощности. На рисунке 95 вы видите лампу, мощность которой 500 Вт. Лампы такой большой мощности охлаждаются специальными вентиляторами.

Время работы электрической лампы накаливания составляет 1 000 ч. В значительной степени это зависит от напряжения, которое подаётся на лампу. Например, если на лампу, рассчитанную на 220 В, подавать напряжение 222 В, то время её работы сократится на 130 ч.

Кроме ламп накаливания человек использует газоразрядные лампы дневного света (их также называют люминесцентными). Эти лампы представляют собой длинную (от 10 до 120 см) стеклянную запаянную трубку (рис. 96). Воздух из трубки выкачивают, вводят каплю ртути и немного газа — аргона, криптона, неона и т. д. Внутри поверхность прозрачного стекла покрывают веществом, светящимся под действием ультрафиолетового излучения, которое сопровождает электрический разряд в газовой смеси. Подбирая состав этого вещества, можно получить свет любого цвета. При свечении ламп дневного света температура в них не превышает 50 °С.

Лампы дневного света экономичнее ламп накаливания в 5—7 раз, а продолжительность их работы в 2—3 раза больше. Тепловое действие тока используют в различных электронагревательных приборах и установках. В быту широко применяют электрические плиты, утюги, чайники, кипятильники, водонагреватели и электрорадиаторы (рис. 97), в промышленности выплавляют специальные сорта стали и другие металлы, сваривают их (рис. 98), а в сельском хозяйстве обогревают теплицы, инкубаторы, сушат зерно и т. д.

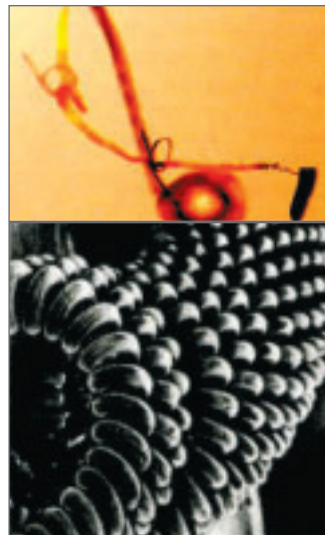


Рис. 93



Рис. 94



Рис. 95

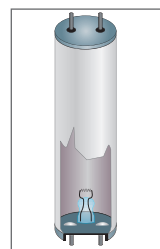


Рис. 96



Рис. 97

Основной частью нагревательного электрического прибора является **нагревательный элемент**. Это проводник с большим сопротивлением, способный выдерживать, не разрушаясь, нагревание до высоких температур (1000—1200 °С).

Для изготовления нагревательных элементов применяют преимущественно сплав никеля, железа, хрома и марганца — *нихром*. Благодаря большому сопротивлению нихрома из него делают очень удобные и компактные нагревательные элементы. В нагревательном элементе проводник в виде провода, ленты или спирали наматывают на каркас либо прикрепляют к арматуре из жаропрочного материала: слюды, керамики. В электрическом утюге (рис. 99) нагревательный элемент (нихромовая лента или спираль) нагревает нижнюю часть (подошву) утюга.



Рис. 98

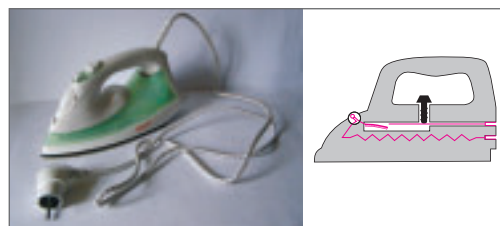


Рис. 99



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Назовите имена изобретателей ламп накаливания.
2. Какие электрические лампы используют на практике?
- 3*. Оцените (приблизительно) КПД электрической лампы накаливания.
4. Какие электронагревательные приборы вы знаете?
5. Что такое нагревательный элемент?

ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

➤ Решаем вместе

1. Амперметр показывает силу тока в цепи 15 А, вольтметр — напряжение на участке 24 В. Какую работу выполняет электрический ток за 20 мин?

Дано:
 $I = 15 \text{ А}$
 $U = 24 \text{ В}$
 $t = 20 \text{ мин} = 1200 \text{ с}$

 $A = ?$

Решение
 Чтобы вычислить работу электрического тока, используем формулу: $A = UIt$. Подставив значения, получим:

$$A = 24 \text{ В} \cdot 15 \text{ А} \cdot 1200 \text{ с} = 432\,000 \text{ Дж} = 432 \text{ кДж}.$$

Ответ: электрический ток выполнил работу $A = 432 \text{ кДж}$.

2. Какую мощность должен иметь электрический двигатель, чтобы за 20 мин выполнить работу 100 кДж?

Дано:
 $A = 100 \text{ кДж} = 100\,000 \text{ Дж}$
 $t = 20 \text{ мин} = 1200 \text{ с}$

 $P = ?$

Решение
 Для определения мощности электродвигателя, работу электрического тока разделим на время его работы:

$$P = \frac{A}{t}.$$

Подставив значения, получим: $P = 100\,000 \text{ Дж} : 1200 \text{ с} = 100 \text{ Вт}$.

Ответ: мощность электрического двигателя $P = 100 \text{ Вт}$.

3. Две электрические лампы мощностью 60 Вт и 100 Вт включены в сеть 220 В параллельно. Какая из них светит ярче?

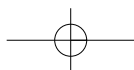
Ответ: лампа мощностью 100 Вт.

Уровень А

141. Вычислите работу тока в электрической лампе за 10 мин, если сила тока в ней составляет 0,2 А при напряжении 220 В?
142. Сопротивление электрической плиты равно 80 Ом. Напряжение в электросети 220 В. На какую мощность рассчитана плита?
143. Вычислите мощность тока в электрической лампе, если при напряжении 220 В сила тока в ней равна 0,25 А.
144. Электрическая лампа включена в осветительную сеть 220 В. Вычислите силу тока в ней и сопротивление, если мощность лампы равна 100 Вт.
145. Чтобы проверить правильность показаний счётчика, ученик включил на 6 мин несколько потребителей энергии, рассчитанных на общую мощность 1 кВт, и определил, что за это время счётчик сделал 120 оборотов (1 кВт · ч соответствует 1200 оборотам). Правильно ли измеряет потреблённую энергию счётчик? Чему равна работа тока за данное время?
146. Какая сила тока в электроплитке, если она рассчитана на напряжение 220 В и мощность 600 Вт?
147. Определите количество теплоты, выделяющееся в проводнике сопротивлением 120 Ом, если по нему в течение 40 мин проходил ток 1,5 А.

**Уровень Б**

148. Пользуясь законом Ома, выразите работу тока через силу тока, сопротивление и время; через напряжение, сопротивление и время.
149. На две электролампочки мощностью 100 и 25 Вт, соединённые параллельно, подаётся напряжение 220 В. Какова сила тока в каждой лампе? В какой из них больше сопротивление нити накаливания?
150. Что означают надписи на электросчётчике: 220 V (220 В), $5\text{--}17\text{ А}$, $1\text{ kW}\cdot\text{h}$ ($1\text{ кВт}\cdot\text{час}$) = 1200 оборотам диска? На какую наибольшую мощность рассчитан счётчик? Сколько ламп по 100 Вт можно включить в электросеть? Сколько оборотов сделал диск, если в течение 2 ч был включён электроутюг мощностью 1 кВт?
151. Счётчик зафиксировал значение работы тока, равное $7\,500,4\text{ кВт}\cdot\text{ч}$. Что покажет счётчик, если в доме в течение 10 ч были включены 10 электрических ламп мощностью 100 Вт? Сколько денег нужно заплатить, если стоимость $1\text{ кВт}\cdot\text{ч}$ равна $0,2436$ коп.?
152. Две лампы мощностью по 100 Вт каждая рассчитаны на напряжение 120 В и включены последовательно в электросеть 220 В. Определите силу тока в цепи и напряжение каждой лампы.
153. Две электрические лампы сопротивлением 80 и 160 Ом включены в цепь последовательно. В какой из них выделится больше теплоты за одно и то же время?
154. Две электрические лампы сопротивлением 80 и 160 Ом включены в цепь параллельно. В какой из них выделится больше теплоты за одно и то же время?
155. На электрическом чайнике надпись: $1,2\text{ кВт}$, 220 В . Что она означает? Какой ток возникает в нагревательном элементе чайника при нормальном режиме работы? Какое количество теплоты выделяется в нагревательном элементе за 3 мин? Достаточно ли этой теплоты, чтобы нагреть до кипения 1,5 л воды при температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$?
156. Две лампы мощностью 40 и 100 Вт, рассчитанные на напряжение 110 В, включены в сеть 220 В последовательно. Какая из них будет светить ярче? Долго ли смогут светить лампы в этих условиях?
157. Из хромалево́й проволоки сечением $0,5\text{ мм}^2$ нужно изготовить спираль для нагревателя мощностью 700 Вт, работающую при напряжении 220 В. Определите длину проволоки, если удельное сопротивление хромаля равно $1,4\frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{м}}$.
158. Какое количество теплоты выделится за 20 мин в электрическом чайнике с сопротивлением 100 Ом, если его включить в сеть напряжением 220 В? Какова масса воды в чайнике, если она нагрелась за это время с $20\text{ }^\circ\text{C}$ до кипения?
159. Электроплита сопротивлением 80 Ом работает при напряжении 220 В. Сколько нужно времени, чтобы закипел чайник, в котором 3 л воды? Исходная температура воды равна $10\text{ }^\circ\text{C}$. КПД нагревательного элемента плиты — 60 %. Теплоёмкостью чайника можно пренебречь.



§ 23 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАСТВОРАХ И РАСПЛАВАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Мы уже знаем закономерности прохождения электрического тока в металлах и как велико практическое значение этого явления. *А существуют ли проводники электричества из неметаллов?*

Далее изучая явления электрического тока в разных средах, убедимся, что кроме металлов он может существовать в жидкостях, газах и даже вакууме. В этих случаях будем рассматривать замкнутую цепь, в которой определённый участок проводника состоит из вещества в жидком или газообразном состоянии, либо является вакуумным промежутком. Проводники, подводящие напряжение (ток) к этому участку, называют **электродами**. Электрод, соединённый с положительным полюсом источника тока, называют **анодом**, а с отрицательным — **катодом**. При прохождении тока к аноду притягиваются свободные электроны и отрицательные ионы (**анионы**), а к катоду — положительные ионы (**катионы**).

Для существования электрического тока в веществе, помещённом в электрическое поле, необходимым является наличие свободных электрических зарядов, которые в веществе могут перемещаться под действием электрического поля на расстояния, ограниченные только размерами образца. В металлических проводниках носителями тока являются свободные электроны, а ионы металла жёстко связаны в узлах кристаллической решётки и могут осуществлять лишь колебательные движения.

В подобном связанном состоянии находятся ионы в ионных кристаллах, например в поваренной соли (NaCl). Электроны, которые отдают атомы металла (Na^+), образуют отрицательные ионы галогена (Cl^-), в результате возникает химическая связь. Поскольку свободных носителей электричества в ионных кристаллах нет, то при невысоких температурах они являются хорошими изоляторами. Если попытаться образовать электрическую цепь, погрузив в колбу с кристаллами сухой поваренной соли два проводника, присоединённых последовательно с микроамперметром к источнику тока, то никакого тока не зарегистрируем. При расплавлении кристаллов ионы приобретают подвижность, и поваренная соль становится проводником тока. Расплавы солей и других соединений проводят ток. Проводниками являются также водные и другие растворы солей кислот и щелочей.

Дистиллированная вода — прекрасный изолятор, поскольку не содержит свободных электрических зарядов.

Вещества, водные растворы или расплавы которых проводят электрический ток, называют электролитами.

● **Опыт.** Соберём электрическую цепь (см. рис. 47 на с. 42), нальём в банку дистиллированную воду. Лампа не светится; амперметр показывает отсутствие электрического тока в цепи.

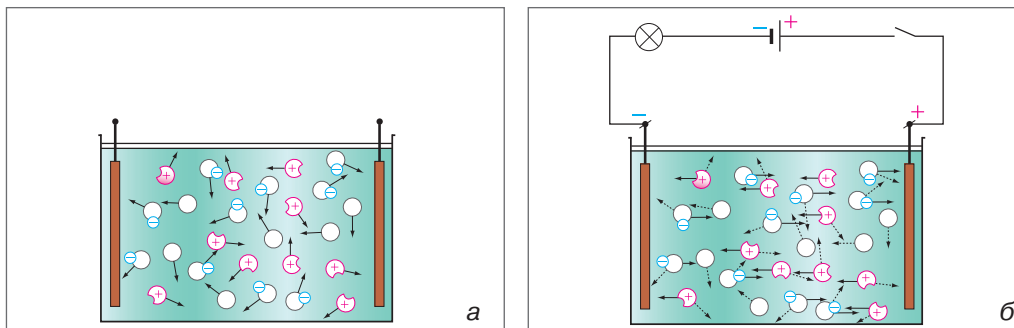


Рис. 100

Но если растворить в воде какую-либо соль, кристаллы которой имеют ионную структуру, например поваренную соль (NaCl) или медный купорос (CuSO_4), то в цепи возникнет ток, и лампа будет светиться.

Молекула воды полярна, её можно представить как объект удлинённой формы, на концах которого сосредоточены электрические заряды противоположных знаков. Поэтому электрическое поле молекул воды способствует распаду ионной кристаллической решётки на свободные ионы (рис. 100, а). Кристаллическая решётка разрушается также при плавлении солей, в результате образуется жидкость, состоящая из свободных ионов.

Расщепление электролита на ионы в водном растворе или расплаве называют электролитической диссоциацией.

Типичные электролиты — это соли, кислоты и щёлочи, многие органические соединения.

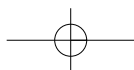
Что произойдёт, если в растворе электролита создать электрическое поле (рис. 100, б)? Положительные ионы (катионы) начнут перемещаться к отрицательному электроду — катоду, а отрицательные ионы (анионы) — к положительному электроду (аноду). В цепи возникает электрический ток, обусловленный направленным движением ионов обоих знаков.

Таким образом, **электрический ток в растворах электролитов — это упорядоченное движение ионов.**

Если ток протекает в растворе медного купороса, то вскоре на катоде образуется тонкий слой меди. Следовательно, в растворе под действием электрического поля к катоду перемещаются положительные ионы Cu^{2+} , при контакте с катодом они присоединяют недостающие электроны и в виде нейтральных атомов осаждаются на электроде. В отличие от металлов ток в электролите сопровождается переносом вещества.

Процесс выделения вещества на электродах при протекании электрического тока в растворах или расплавах электролитов называют электролизом.

В 1833—1834 гг. *Майкл Фарадей* опытным путём установил количественные соотношения для описания явления электролиза. **Первый закон**





Фарадея для электролиза позволяет рассчитать массу вещества, выделившегося на электроде.

Масса вещества, выделившегося на электроде при электролизе, прямо пропорциональна силе тока и времени его прохождения.

$$m = kIt,$$

где m — масса выделившегося на электроде вещества; k — коэффициент пропорциональности — **электрохимический эквивалент** данного вещества; I — сила тока в цепи; t — время прохождения тока.

Из первого закона Фарадея можно экспериментально определить значение электрохимического эквивалента данного вещества.

Электрохимический эквивалент определяется отношением массы вещества, выделившегося на электроде при электролизе, к электрическому заряду, прошедшему через электролит.

Единица электрохимического эквивалента в СИ — **один килограмм на кулон** ($1 \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$).

Электролиз широко применяется в промышленности. Используют электролиз (**гальваностегию**) для покрытия металлических изделий тонким слоем другого металла (никелирование, хромирование).

Пропуская электрический ток через расплавы некоторых солей, можно выделять металлы в чистом виде. Так получают алюминий, рафинированную (сверхчистую) медь и другие металлы.

Посредством электролиза очищают металлы от примесей, например неочищенную медь, добытую из руды. Её отливают в форме толстых листов, которые потом помещают в ванну как аноды. При этом медь анода растворяется, примеси, содержащие ценные и редкие металлы, осаждаются, а на катоде остаётся чистая медь.

В 1836 г. **Б. Якоби** предложил процесс получения отслаиваемых покрытий (**гальванопластику**) и применил его для изготовления полых фигур, украсивших Исаакиевский собор в Санкт-Петербурге.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Охарактеризуйте явление электролитической диссоциации.
2. Почему кристаллы с ионной связью являются электролитами?
3. Объясните механизм возникновения тока в электролитах.
4. Перечислите различия в прохождении электрического тока в металлах и растворах, а также расплавах электролитов.
5. Расскажите, что такое электролиз и где его применяют.
6. Какова единица электрохимического эквивалента? Что показывает значение электрохимического эквивалента определённого вещества?
- 7*. Каково практическое значение первого закона электролиза Фарадея?

**ЛАБОРАТОРНАЯ
РАБОТА № 9****ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИЗА**

- **Цель работы:** исследовать явление электролиза, определить массу вещества, выделившегося на электроде.
- **Приборы и материалы:** электролитическая ванна с электродами, источник тока, поваренная соль, весы, набор гирь, дистиллированная вода, раствор медного купороса, бумажные салфетки, низковольтная лампа на подставке, амперметр, ключ, соединительные провода.

Ход работы

1. Соедините последовательно электроды электролитической ванны, низковольтную лампу, амперметр, источник тока, ключ. Налейте в ванну дистиллированной воды. Что вы наблюдаете? Что показывает амперметр? Светится ли лампа?
2. В электролитическую ванну с дистиллированной водой насыпьте поваренной соли. Снова замкните ключ. Что вы наблюдаете? Сделайте выводы.
3. Вылейте раствор поваренной соли и налейте в электролитическую ванну раствор медного купороса.
4. Высушите бумажной салфеткой электрод (катод) и взвесьте его.
5. Соберите электрическую цепь, как в предыдущих опытах. Замкните цепь ключом на 20 мин. Зафиксируйте силу тока в электрической цепи.
6. Высушите катод, снова взвесьте его.
7. По формуле $m = kIt$ определите массу вещества, выделившегося на электроде (для Cu^{2+} $k = 0,33 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$).
8. Сравните результаты. Сделайте выводы.

Задание для любознательных

Возьмите слабый раствор поваренной соли и опустите в него два медных провода, соединённых с полюсами батареи гальванических элементов. Определите, на каком проводе раньше появляются пузырьки газа и выделяется в большем количестве газ. С каким полюсом соединён этот провод? Определите полюса батареи гальванических элементов.

§ 24 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ПОЛУПРОВОДНИКАХ. ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Изучая электрические явления, мы в основном пользовались материалами и приборами, изготовленными из веществ, которые были либо изоляторами (стекло, бумага, воздух, пластмасса и др.), либо проводниками (медь, алюминий, сталь, уголь, электролиты и др.). Однако большинство из известных веществ по их электрическим свойствам нельзя отнести ни к проводникам, ни к диэлектрикам. Этот обширный класс веществ, которые по своему удельному сопротивлению занимают промежуточное место между проводниками и диэлектриками, называют полупроводниками.

К полупроводникам относятся 12 химических элементов (B, C, Si, Ge, Sn, P, As, Sb, S, Se, Te, I), соединения элементов III и V групп (InSb, GaAs и др.), соединения элементов II и VI групп (CdS, ZnO и др.), ряд других соединений, некоторые органические вещества. Наибольшее применение в науке и технике имеют полупроводники германий (Ge) и кремний (Si).

Чем полупроводники отличаются от проводников?

Способность любого вещества проводить электрический ток под действием электрического поля называют *электрической проводимостью, электропроводностью*, или просто *проводимостью*. Тип проводимости обусловлен видом носителей тока. Металлы имеют *электронную проводимость*. В электролитах носители тока — свободные положительные и отрицательные ионы, поэтому они имеют *ионную проводимость*. Чем меньше электрическое сопротивление проводника, тем больше его проводимость, и наоборот. Электрическое сопротивление металлов с повышением температуры возрастает прямо пропорционально (см. рис. 82 на с. 68).

По результатам научных исследований, полупроводники обладают такими основными свойствами.

1. Электропроводность полупроводников в значительной степени зависит от состояния вещества (температура, освещение, наличие примесей и т. д.).

2. С повышением температуры электрическое сопротивление полупроводников в отличие от металлов резко падает.

3. Прохождение тока в полупроводнике не связано с переносом вещества, то есть ток в полупроводниках обусловлен направленным движением электронов, а не ионов.

Рассмотрим подробнее свойства полупроводников.

● **Опыт.** Включаем в электрическую цепь полупроводниковый элемент (рис. 101). При его нагревании стрелка гальванометра показывает возрастание силы тока в цепи. Следовательно, **сопротивление полупроводника, а значит, и удельное сопротивление**



Рис. 101

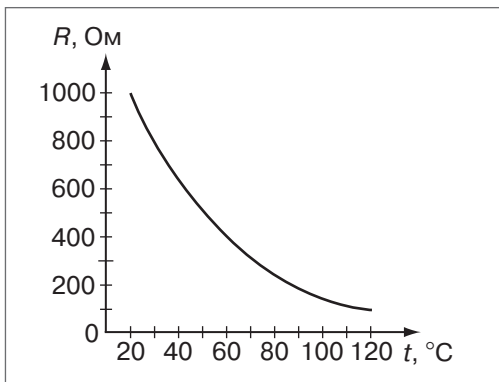


Рис. 102

тивление, уменьшаются с повышением его температуры.

На рисунке 102 изображён график зависимости сопротивления полупроводникового элемента от его температуры. Видим, что сопротивление полупроводника резко уменьшается с повышением температуры.

Если нагревание полупроводника прекратить, то стрелка гальванометра вернётся в прежнее положение. Полупроводник охлаждается, его сопротивление возрастает.

Электрическое сопротивление полупроводников зависит также от степени их освещения. На рис. 103, а полупроводниковый фотоприёмник закрыт заслонкой, ток в цепи очень мал. При освещении полупроводника (рис. 103, б) сила тока в цепи заметно возрастает. Это говорит об уменьшении сопротивления полупроводника под действием света.

Зависимость сопротивления полупроводников от освещения и нагревания связана с внутренним строением этих материалов.

Один из типичных полупроводников — германий с порядковым номером 32. Его четыре электронные оболочки имеют 32 электрона. На первой оболочке находятся 2, на второй — 8, на третьей — 18, на четвёртой — 4 электрона (рис. 104, а). Электроны трёх внутренних оболочек не участвуют в химических реакциях. Электроны внешней оболочки слабо связаны с ядром атома. Их называют *внешними*, или *валентными электронами*, поскольку они определяют валентность данного элемента — способность его атомов вступать в химическую связь с определённым количеством других атомов. Валентность германия, атом которого имеет на внешней оболочке 4 электрона, равна четырём.

При сближении двух атомов их валентные электроны вследствие слабой связи со своими ядрами легко взаимодействуют, образуя устойчивую химическую связь, которую называют *ковалентной*.

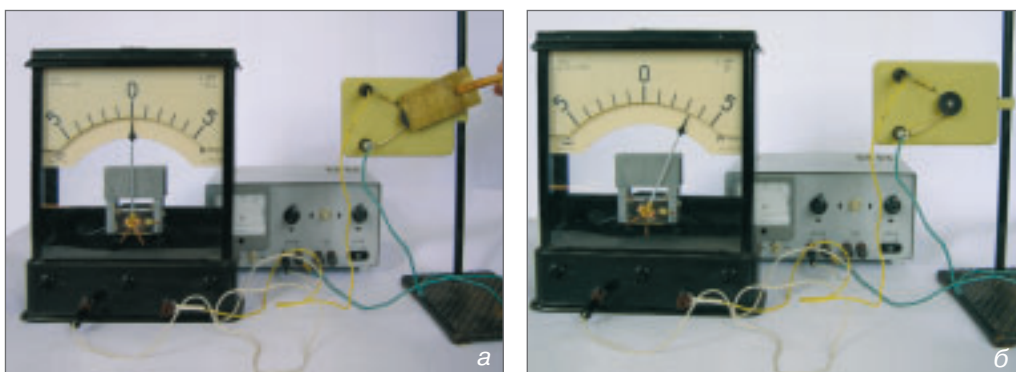


Рис. 103

В твёрдом состоянии атомы германия расположены в узлах кристаллической решётки. У каждого атома есть четыре равноудалённых соседа, с которыми его объединяют парноэлектронные (ковалентные) связи. На рис. 104, б изображена условная плоская схема структуры связей в кристалле германия (аналогичная схема у кремния, который также находится в IV группе и обладает подобными химическими и физическими свойствами). При низких температурах все валентные электроны атомов заняты в этих связях и не являются свободными. За неимением свободных электронов полупроводники при низких температурах ведут себя как диэлектрики. Для того чтобы полупроводник проводил ток, надо разорвать парноэлектронные связи, то есть освободить электроны.

При нагревании либо освещении кристалла некоторые электроны получают избыточную энергию и становятся свободными. Чем больше нагревается или освещается полупроводник, тем больше в нём появляется свободных электронов и тем меньше его электрическое сопротивление. Освободившийся электрон покидает своё место в системе связей между атомами — появляется **вакансия** — незаполненная электронная связь, которую называют **дыркой**. Количество таких дырок тем больше, чем больше электронов освобождается в кристалле при нагревании или освещении.

Дырка ведёт себя как положительный заряд. Дело в том, что недостаток отрицательного заряда в системе электронной связи равносителен наличию в этом месте положительного заряда. Заряд дырки равен по значению заряду электрона. Дырка может захватывать электрон от соседней связи, в результате там появляется новая дырка, а первичная — исчезает. Это эквивалентно перемещению дырки в пространстве, поэтому она может перемещаться в кристалле как свободный электрон.

Свободные электроны и дырки в кристалле полупроводника находятся в состоянии хаотического теплового движения, но характер их движения существенно изменится, если к кристаллу приложить напряжение. Электрическое поле упорядочит движение как свободных электронов, так и дырок. Положительные дырки под действием электрического поля перемещаются к отрицательному полюсу источника — катоду, а свободные электроны к положительному полюсу — аноду. В кристалле полупроводника возникает электрический ток, обусловленный движением носителей двух типов. Говорят, что в полупроводнике имеются **дырочная** и **электронная проводимости**.

Проводимость химически чистых полупроводников, возникающая при их нагревании или освещении, называется **собственной проводимостью**.

Собственная проводимость полупроводников при комнатной температуре небольшая. Оказывается, чтобы значительно увеличить электрическую проводимость полупроводника (то есть уменьшить его электрическое сопротивление),

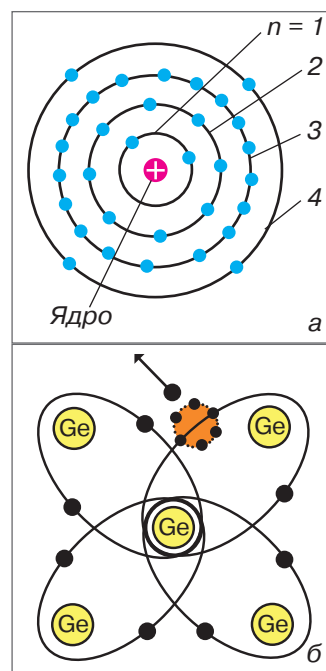


Рис. 104



в чистый полупроводник необходимо внести специальные примеси. Проводимость полупроводников, обусловленную наличием примесных атомов, называют **примесной проводимостью**. Различают **электронную примесную проводимость** и **дырочную примесную проводимость**.

Электронная примесная проводимость возникает при замещении некоторых атомов германия или кремния атомами другого вещества с пятью валентными электронами, например мышьяка (As) или сурьмы (Sb). Тогда четыре электрона сурьмы обеспечивают ковалентные связи с соседними атомами, а пятый электрон, слабо связанный с атомом примеси, становится свободным. В веществе объёмом 1 см^3 содержится до 10^{22} атомов. Замещение одного атома германия из миллиона на атом сурьмы или мышьяка приводит к тому, что в каждом кубическом сантиметре полупроводника появляются почти 10^{16} свободных электронов. Именно эта способность даёт возможность полупроводнику проводить электрический ток. Примеси, которые легко отдают электроны и, следовательно, увеличивают количество свободных носителей, называют **донорными примесями**, или **донорами**.

Итак, за счёт вкрапления в германий или кремний атомов пятивалентного элемента получаем полупроводники с примесной электронной проводимостью (рис. 105, а). Их называют **полупроводниками *n*-типа** (от латинского слова *negativus* — отрицательный).

Дырочная примесная проводимость возникает, если в полупроводниковом кристалле некоторые атомы замещаются другими атомами, имеющими три валентных электрона, например атомами индия (In). В этом случае для образования ковалентной связи с соседними атомами примесному атому необходим ещё один электрон (рис. 105, б). Поэтому в том месте, куда попадает атом примеси, образуется дырка (дефицит электрона). Если заменить один из миллиона атомов основного вещества атомом трёхвалентной примеси, то в каждом кубическом сантиметре полупроводника образуются до 10^{16} дырок.

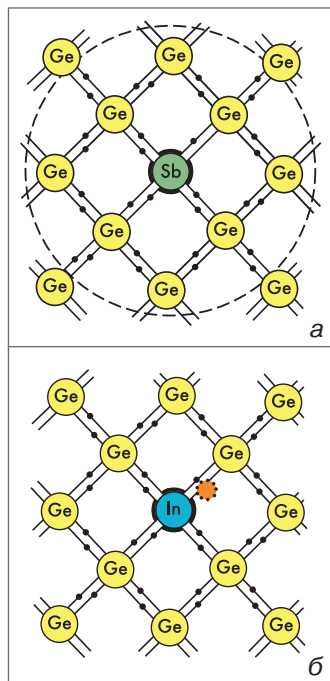
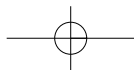


Рис. 105

Примеси этого типа называют **акцепторными** (приёмными), или **акцепторами**. Такой полупроводниковый кристалл обеспечивает электрический ток благодаря дрейфу дырок, которые переносят положительный электрический заряд.

Итак, при вкраплении в германий или кремний атомов трёхвалентного вещества получаем полупроводники с примесной дырочной проводимостью. Их называют **полупроводниками *p*-типа** (от латинского *positivus* — положительный).

Как уже отмечалось, электрическое сопротивление полупроводников зависит от его температуры. Это свойство полупроводников используют для измерения температуры окружающей среды (в диапазонах от -269 до -193 °С; от -103 до $+297$ °С; свыше $+1000$ °С) по силе тока в цепи с



полупроводником. Такие приборы называют **термисторами**, или **терморезисторами**. Их изготавливают в виде стержней, трубок, дисков, шайб, бусин размером от нескольких микрометров до нескольких сантиметров и применяют для дистанционного измерения температуры, противопожарной сигнализации и пр.

Электрическая проводимость полупроводника возрастает при разрушении связей и образовании свободных электронов и дырок за счёт энергии света, падающего на полупроводник. Это явление называют **внутренним фотоэлектрическим эффектом**; используют в полупроводниковых приборах — **фоторезисторах**. С помощью фоторезисторов определяют качество поверхностей, контролируют размеры изделий и т. д.

Позднее вы будете изучать устройство и работу различных полупроводниковых приборов: *диодов, транзисторов, электронных интегральных схем*. Именно благодаря им электронная аппаратура стала малогабаритной, экономичной и надёжной: первые компьютеры размещались в огромных залах, а современные — помещаются на ладони, музыкальный плеер не стоит на столе, а висит на шнурке. Полупроводниковый лазер даёт возможность записать данные на CD- или DVD-дисках, а флеш-накопитель — переносить и хранить гигантские объёмы информации.

Большой вклад в развитие физики полупроводников, внесли украинские учёные **К. Д. Товстюк (1922–2004)** и **В. Е. Лошкарёв (1903–1974)**, создавший научную школу специалистов по физике полупроводников.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Почему некоторые вещества называют полупроводниками?
2. Почему полупроводники при низкой температуре имеют свойства диэлектрика?
3. Объясните, почему с повышением температуры проводимость полупроводников возрастает.
4. Каковы причины появления электронов проводимости и дырок?
5. Какие полупроводники называют полупроводниками *n*-типа?
6. Почему полупроводники с дырочной проводимостью называют полупроводниками *p*-типа?
- 7*. Почему резисторы и термисторы имеют разные свойства?
- 8*. Почему проводимость полупроводников увеличивается при их освещении?

§ 25

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ГАЗАХ. САМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ И НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ РАЗРЯДЫ

Газы являются хорошими изоляторами, поскольку в обычных условиях — при низких температурах и отсутствии внешнего облучения (ультрафиолетового, рентгеновского, радиоактивного) — они состоят из нейтральных атомов или молекул. У них нет свободных электрических зарядов, упорядоченное перемещение которых создаёт электрический ток. Но при определённых условиях можно получить электрический ток и в газах.

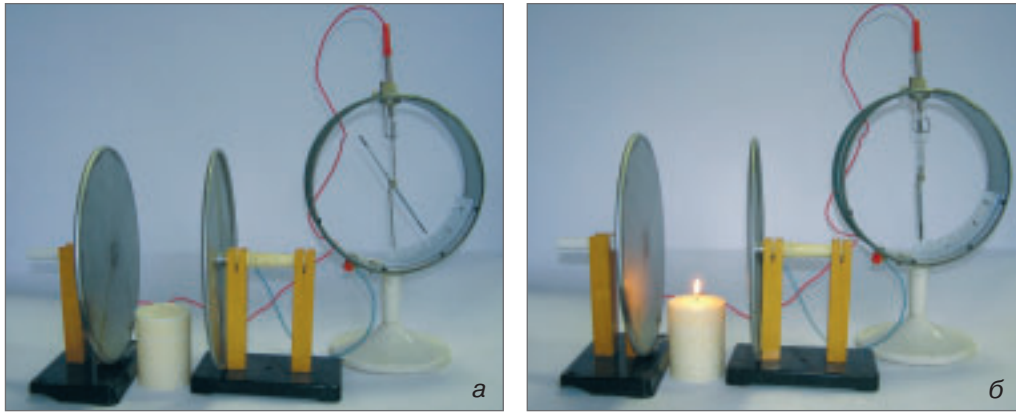


Рис. 106

● **Опыт 1.** Зарядим (например, от электрофорной машины) алюминиевые диски, соединённые проводниками с выводами электрометра (рис. 106, а). Видим, что отклонение стрелки электрометра остаётся постоянным, поскольку электрическая проводимость воздуха в условиях комнатной температуры и сухого воздуха очень мала, и пластины практически не разряжаются.

Внесём в пространство между дисками пламя спички или свечи (рис. 106, б). Наблюдаем быстрый разряд электрометра. Следовательно, воздух вследствие значительного повышения температуры уже обладает проводимостью и замыкает цепь, то есть в нагретом газе проходит электрический ток.

▶ **Процесс прохождения электрического тока в газах называют газовым разрядом.**

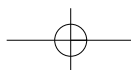
При нагревании или излучении часть атомов газа ионизируется — распадается на положительно заряженные ионы и электроны. В газе образуются также отрицательно заряженные ионы.

Ионизация газов при нагревании объясняется тем, что некоторые молекулы перемещаются так быстро, что часть из них при столкновении распадается, превращаясь в ионы. Чем выше температура газа, тем больше образуется ионов. В нашем опыте пламя свечи исполняет роль *ионизатора*, то есть источника ионов.

▶ **Явление, вызывающее ионизацию газа и дальнейшее развитие газового разряда, называют ионизатором.**

Как ионизатор действуют *рентгеновские лучи*, а также *радиоактивное излучение* (его вы будете изучать позднее). При нормальных условиях окружающий воздух всегда в определённой степени ионизирован под воздействием солнечных лучей и *космического излучения* (поток быстрых заряженных частиц, поступающих на Землю из глубин Космоса).

Механизмы проводимости газов, растворов и расплавов электролитов аналогичны. Различие в том, что в газах отрицательный заряд переносится преимущественно не отрицательными ионами, а свободными электронами.





Таким образом, в газах сочетаются электронная проводимость, подобная проводимости металлов, с ионной проводимостью, которая аналогична проводимости водных растворов и расплавов электролитов.

Если мы прекращаем нагревать либо облучать газ, то он снова становится диэлектриком. Ток прекращается тогда, когда все ионы и электроны достигают электродов. Кроме того, при сближении электрона и положительно заряженного иона снова образуется нейтральный атом. Этот процесс называют **рекомбинацией** заряженных частиц.

Если же внешнего электрического поля нет, то заряженные частицы исчезают только при рекомбинации, и газ становится диэлектриком.

В газах разряд можно наблюдать без нагревания и облучения. Иногда он может поддерживать себя самостоятельно. *При каких условиях это возможно?*

● **Опыт 2.** Возьмём запаянную и наполненную воздухом стеклянную трубку с двумя металлическими электродами, к которым прикладываем напряжение, собрав цепь, изображённую на рисунке 107. Предположим, что на газ в трубке действует какой-либо ионизатор. Если напряжение между электродами трубки малое, то положительно заряженные ионы перемещаются к отрицательному электроду, а электроны и отрицательно заряженные ионы — к положительному. В результате в трубке возникает электрический ток, то есть происходит газовый разряд.

Поскольку в пространстве между электродами одновременно происходит процесс рекомбинации, то не все образованные электроны и ионы достигают электродов трубки.

С увеличением напряжения между электродами сила тока в цепи возрастает. Потом наступает момент, когда сила тока не изменяется. Ток достигает **насыщения** (рис. 108). Если действие **ионизатора** (нагревание, облучение) прекращается, то прекращается и разряд, поскольку другие источники ионов отсутствуют. Такой разряд называют **несамостоятельным разрядом**.

А что же происходит с разрядом в газе, если увеличивать напряжение на электродах трубки?

Опыт показывает, что в газе с увеличением напряжения на электродах трубки сила тока с определённого значения снова увеличивается (рис. 109). Причина в том, что в газе дополнительно происходит **ионизация электронным ударом** при столкновении электронов, ускоренных электрическим полем, с атомами газа. При этом образуется значительно больше ионов, чем в результате действия ионизатора. Сила тока возрастает в тысячи раз, а количество ионов может стать таким, что отпадает потребность во внешнем ионизаторе.

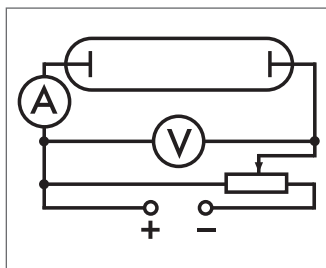


Рис. 107

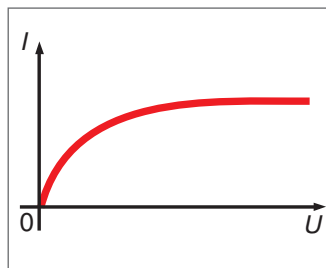


Рис. 108

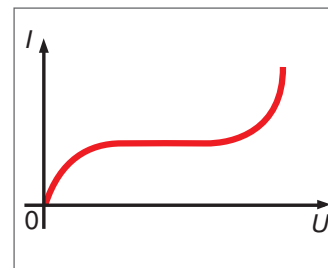
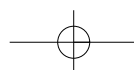


Рис. 109





Поскольку такой разряд не требует для своего поддержания внешнего ионизатора, его называют **самостоятельным разрядом**.

В зависимости от свойств и состояния газа, характера и размещения электродов, приложенного к электродам напряжения возникают различные виды самостоятельного разряда.

Т л е ю щ и й р а з р я д наблюдается при низких давлениях (десятые и сотые доли миллиметра ртутного столба) и напряжении между электродами в несколько сотен вольт.

Тлеющий разряд используют в рекламных трубках (рис. 110). Если трубка наполнена неоном, то возникает красное свечение, если аргоном — синевато-зелёное. В лампах дневного света используют разряд в парах ртути.



Рис. 110

Э л е к т р и ч е с к а я д у г а — это явление возникновения яркого светящегося столба газа между двумя угольными электродами при низком напряжении.

Электрическую дугу «зажигают» так. Сначала сближают и вводят в контакт угольные электроды, замыкая цепь. В результате теплового действия тока, протекающего в точечных контактах с большим электрическим сопротивлением, концы электродов накаляются до свечения. С поверхности электродов при этом с огромной скоростью вылетают электроны и при столкновении ионизируют газ в прилегающем пространстве (о явлении *термоэлектронной эмиссии* читайте на с. 103). Если теперь развести электроды в разные стороны, то электрический ток в цепи не прекращается, он проходит через ионизированный газ, что сопровождается его накаливанием и ярким свечением.

Сила тока в малой дуге достигает нескольких ампер, а в мощных дугах — нескольких сотен ампер при напряжении около 50 В.



Рис. 111

Во время горения дуги воздух в промежутке между угольными электродами нагревается до нескольких тысяч градусов и, поднимаясь вверх в результате конвекции, изгибает светящийся столб в виде дуги, чем и объясняется название этого вида газового разряда (рис. 111).

Дуговой разряд — мощный источник света. Его используют в прожекторах, проекционных аппаратах и киноаппаратах. В металлургии применяют электропечи, в которых источником тепла является дуговой разряд. Используют его также для сварки металлов.

▶ При коронном разряде светящаяся область напоминает корону, он образуется при атмосферном давлении вблизи острых частей проводника с большим электрическим зарядом.

Газ в этом случае ионизируется ударом электроны, ускоренные сильным электрическим полем, возникающим возле острых заряженных проводников.

Перед грозой или во время грозы часто на вершинах и острых углах высоких предметов возникает кистеобразное свечение, например на корабельных мачтах (рис. 112). Издавна это свечение называют огнями святого Эльма, иногда оно наблюдается даже на кончиках ружейных штыков.

Коронный разряд может возникнуть на проводах высоковольтных линий, что приводит к потерям электроэнергии. Чем выше напряжение в линии, тем толще провод следует использовать для предотвращения коронного разряда.

▶ Искровой разряд возникает при высоком напряжении между электродами в воздухе (рис. 113, а) и имеет вид пучка ярких зигзагообразных полос, ответвляющихся от тонкого канала.

При искровом разряде газ ионизируется ударом ускоренных сильным электрическим полем электронов, возникающих в некоторых местах между электродами вследствие природной ионизации воздуха.

С помощью искрового разряда можно обрабатывать детали из тугоплавких металлов, поскольку большая энергия этого разряда выделяется в небольшом объёме за очень малый промежуток времени. При отсутствии теплообмена с окружающей средой в месте разряда температура металла резко повышается, происходит его испарение.

Примером мощного искрового разряда является молния (рис. 113, б). Изучением этого явления природы занимались многие учёные, в частности *Б. Франклин*, *М. В. Ломоносов*, *Г. В. Рихман*. В 1753 г., исследуя атмосферное электричество, Г. В. Рихман погиб от удара молнии.

Многолетними исследованиями установлено, что при движениях воздуха за счёт конвекции воздушные потоки и облака в результате столкновений



Рис. 112

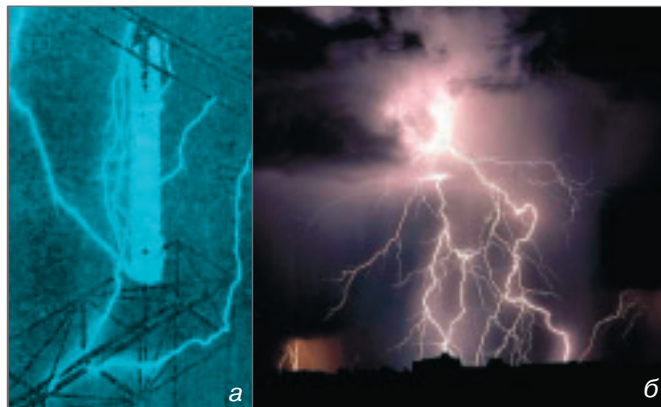


Рис. 113

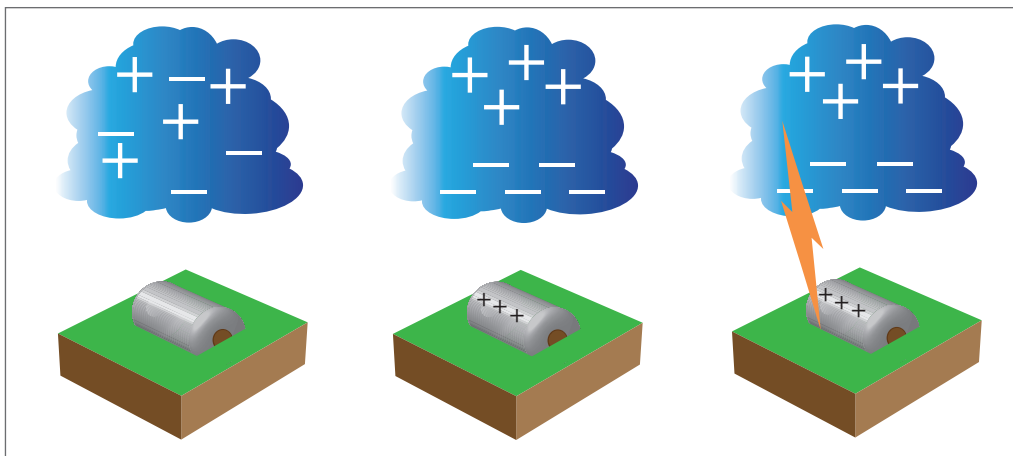


Рис. 114



Рис. 115

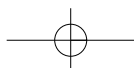
электризуются. При этом часть облака (например, верхняя) электризуется положительно, а часть — отрицательно.

Напряжение между двумя облаками или между облаком и Землёй достигает десятков миллионов вольт. В результате между облаками или между облаком и Землёй возникает гигантская искра — **молния** (рис. 114). Длина молнии достигает нескольких километров, а диаметр её канала иногда превышает 6 м. Сила тока в канале молнии огромная: от 1—2 до 200 кА. Продолжительность разряда небольшая — тысячные доли секунды. Поэтому общий заряд, протекающий при одной вспышке молнии, не превышает десятков или сотен кулонов.

Для защиты сооружений (зданий, опор линий электропередачи и т. д.) поблизости устанавливают мачту с заострённым металлическим стержнем, который надёжно соединяют толстым проводом с закопанным глубоко в землю металлическим предметом, то есть **заземляют** (рис. 115). Это устройство называют **молниеотводом** (часто — **громоотводом**).

Поясним упрощённо принцип действия молниеотвода. Грозовое облако своим электрическим полем наводит в молниеотводе электрический заряд, противоположный по знаку заряду облака. Этот заряд создаёт около острия молниеотвода сильное электрическое поле, в котором начинается «тихий» коронный разряд, забирающий на себя энергию взаимодействия наведённого облаком электрического заряда, чем уменьшает вероятность развития молнии. Размеры территории, защищённой молниеотводом на поверхности Земли, определяются высотой молниеотвода.

Электрический ток в вакууме. Если из стеклянной трубки в опыте 2 на с. 99 (см. рис. 107) с помощью специального насоса откачать воздух, то в ней



образуется *вакуум*, то есть безвоздушное пространство. При этом измерительный прибор показывает, что в цепи трубки тока нет. Этот факт можно объяснить: хотя в промежутке между электродами существует электрическое поле, но свободные носители электрического заряда отсутствуют, поэтому вакуумный промежуток является хорошим изолятором.

И все же в такой *вакуумной трубке* возможен электрический ток. Если рядом с катодом трубки поместить миниатюрный электронагреватель (нить накала), который нагреет катод до температуры видимого свечения (900—1500 °С), то с его поверхности начнут «испаряться» электроны, образующие электронное «облако», то есть появляются свободные носители электричества. Под действием электрического поля электроны будут перемещаться к аноду и замкнут цепь — измерительный прибор покажет наличие тока. Явление «испарения электронов», названное *термоэлектронной эмиссией*, в 1883 г. впервые наблюдал Т. Эдисон (эффект Эдисона).

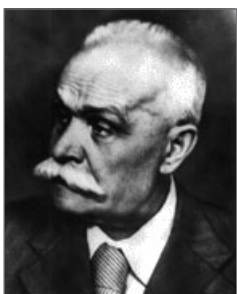
Описанный вакуумный прибор имеет важную особенность — *одностороннюю проводимость*. Если полярность источника тока, соединённого с трубкой, поменять на противоположную (катод соединить с положительным полюсом источника, а анод — с отрицательным), то ток в цепи исчезнет. В этом случае положительный катод «не отпускает» отрицательные электроны, а отрицательный анод, в свою очередь, отталкивает их назад, то есть цепь не замыкается. Позднее на основе этого свойства были созданы *выпрямители переменных* (периодически изменяющих направление) *токов*, а также *электронно-лучевые трубки*, которые широко применяли в телевизорах и мониторах компьютеров.

▶ ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

- Молния — достаточно частое явление на Земле. Учёные подсчитали, что ежедневно на земном шаре бывает почти 44 000 гроз (приблизительно одна гроза каждые 2 с). Грозы преобладают во второй половине дня. Их продолжительность — приблизительно 1 ч. Но в тропиках и горах они иногда продолжаются по 12—13 ч.
- Вольтов столб и батарея открыли возможности для широких экспериментов с сильным электрическим током. В 1802 г. профессор Петербургской медико-хирургической академии **В. В. Петров** (1761–1834) сконструировал самую мощную для того времени батарею. Она состояла из 4 200 медных и цинковых кружков, помещённых в четыре деревянных ящика. Присоединив медным проводом к полюсам батареи два угольных стержня (электроды), учёный приблизил их один к другому и увидел, что между ними вдруг вспыхнула яркая дуга. Она осветила лабораторию, куски металла в ней очень быстро плавилась. Так была открыта **электрическая дуга**.
- **Способ сварки металлов с помощью электрической дуги** в 1881 г. предложил уроженец с. Мостовое Николаевской области, изобретатель **Николай Николаевич Бенардос** (1842–1905). Он запатентовал почти 100 изобретений в сфере транспорта и энергетики. Н. Бенардос сконструировал угольные электроды разных форм и комбинированные электроды: один из электродов — угольный, а другим служит свариваемый металлический предмет; предложил специальное приспособ-



Николай Бенардос



Евгений Патон

стали, что позволило создать поточное механизированное производство бронетанковых корпусов. С помощью автоматической сварки под флюсом было налажено производство авиабомб, артиллерийских снарядов. Довоенный и военный периоды деятельности Института, которому в 1945 г. было присвоено имя Е. О. Патона, можно рассматривать как становление новой научной школы (В. В. Шеверницкий, А. А. Казимиров, Г. В. Раевский, А. М. Макара, Б. Е. Патон, В. И. Медовар, Д. М. Рабкин, И. И. Фруммин). Именем Е. О. Патона назван сконструированный им мост через Днепр в Киеве (1953 г.). Позднее дело отца продолжил сын — Б. Е. Патон, возглавивший Институт электросварки имени Е. О. Патона в 1953 г.

• **Борис Евгеньевич Патон** — выдающийся учёный в области сварки, металлургии и технологии металлов, организатор науки, государственный и общественный деятель. Президент Национальной академии наук Украины с 1962 г. Возглавляемый Б. Е. Патоном Институт электросварки вырос в мощный научно-технический комплекс, в структуре которого научно-исследовательский институт, конструкторско-технологические и экспериментальные подразделения, три исследовательских завода, а также инновационные организации, научно-инженерные и аттестационные центры. Под его руководством и при непосредственном участии в Институте проведены глубокие исследования и получены важные результаты по разработке прогрессивных технологий неразъёмного соединения,



Борис Патон

собрание для сварки в вертикальном положении; впервые использовал электромагнит для закрепления свариваемых деталей в заданном положении; создал несколько конструкций сварочных полуавтоматов и автоматов; разработал способы подводного сваривания и резания металлов, сварки в газовой струе, точечной и шовной контактной сварки.

• Славные традиции достижений украинских учёных в исследовании проблем сварки металлов продолжил **Евгений Оскарович Патон** (1870–1953) — основатель отечественной школы сварки. По его инициативе при прежней АН УССР организовали лабораторию (1929 г.), которая в 1934 г. была преобразована в Институт электросварки, директором и научным руководителем которого был Е. О. Патон. Основные труды учёного посвящены научным и технологическим основам дугового сварочного процесса и проблемам его автоматизации; созданию электросварочной аппаратуры.

• В Институте электросварки АН УССР непосредственно под руководством Е. О. Патона в 1939–1940 гг. была завершена разработка метода высокопродуктивной автоматической сварки под флюсом. Институт разработал технологию сварки бронированной