

С.М.Андрюшечкин

Физика в опытах и задачах Факультативный курс

к учебнику
«ФИЗИКА»

8 класс



БААСС

Федеральный государственный образовательный стандарт
Образовательная система «Школа 2100»

С.М. Андрюшечкин

ФИЗИКА В ОПЫТАХ И ЗАДАЧАХ

факультативный курс

8 класс

Москва
БАЛЛАСС
2018

УДК 53(075)
ББК 22.3я7
А65

Федеральный государственный образовательный стандарт
Образовательная система «Школа 2100»
Руководитель издательской программы – доктор пед. наук, проф.,
член-корр. РАО Р.Н. Бунеев

Андрюшечкин, С.М.
А65 Физика в опытах и задачах: факультативный курс к учебнику «Физика». 8 кл.» / С.М. Андрюшечкин. – М. : Баласс, 2018. – 106 с.
(Образовательная система «Школа 2100»)

ISBN 978-5-9500701-1-2

Пособие «Физика в опытах и задачах» предназначено для организации факультативных занятий по физике в 8 классе общеобразовательных учреждений образования, является составной частью учебно-методического комплекса для 8-го класса.

Учебник «Физика» для 8 класса (автор С.М. Андрюшечкин) соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту основного общего образования, является продолжением непрерывного курса физики и составной частью комплекта учебников развивающей образовательной системы «Школа 2100».

УДК 53(075)
ББК 22.3я7

Данное пособие в целом и никакая его часть не могут быть скопированы без разрешения владельца авторских прав

ISBN 978-5-9500701-1-2

© Андрюшечкин С.М., 2018
© ООО «Баласс», 2018

Предисловие

Пособие для факультативных занятий «Физика в опытах и задачах» предназначено для тех учеников 8 класса, кто намерен расширить и углубить свои знания о природе. Это книга для тех, кто не боится браться за сложные задачи, кто не пасует перед затруднениями, возникающими при решении таких задач. Это книга для тех, кто готов работать и «головой», и «руками», кто готов

- самостоятельно выдвигать гипотезы по решению проблемы;
- воплощать задуманное, конструируя экспериментальную установку;
- проводить опыты;
- обдумывать полученные в опыте результаты и даже, если гипотеза не подтвердилась, вновь «штурмовать» проблему.

Это книга для тех, кому доставляет удовольствие задавать вопросы природе и находить на них ответы, кто получает удовольствие от движения к вершинам знаний и от тех новых вершин, вид на которые открывается только тому, кто стремится к ним.

Пособие состоит из трёх частей. В *первой части* изложены сведения и факты, дополняющие учебник, рассмотрены приёмы решения задач, раскрываются некоторые «секреты» экспериментальной работы. Здесь же приведены условия задач¹, которые вам предстоит решать. Материал первой части пособия разбит на отдельные разделы и расположен в соответствии с порядком изложения материала в учебнике «Физика. 8 класс». Во *второй части* пособия содержатся указания по решению некоторых задач. Рекомендуем обращаться к этой части пособия только тогда, когда после многочисленных попыток задача не решена. В *третьей части* пособия приведены решения и ответы. Решив задачу, сравните ваш способ решения с тем, что приведён в пособии, и оцените, какой из способов быстрее, проще и красивее ведёт к цели.

¹ Часть задач составлена автором, а часть заимствована из общеизвестных сборников олимпиадных задач.

Часть 1. Опыты и задачи факультатива

Человек, несомненно, сотворён для того, чтобы думать: в этом и главное его достоинство, и главное дело жизни.

Блез Паскаль (1623–1662), французский философ, писатель, математик и физик

РАЗДЕЛ 1. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 1. Работа газа при его расширении

§ 2. Горение топлива. КПД тепловых двигателей

Задачи по теме «Горение топлива. КПД тепловых двигателей»

Экспериментальная задача «Определение КПД “паровой пушки”»

§ 3. Теплоёмкость вещества

Расчёт количества теплоты при нагревании (охлаждении) вещества

Лабораторная работа «Определение удельной теплоёмкости свинца»

Лабораторная работа «Определение КПД нагревателя – спиртовки»

Лабораторная работа «Оценка удельной теплоты сгорания топлива»

§ 4. Явления плавления и кристаллизации

Задачи на расчёт количества теплоты при кристаллизации и плавлении кристаллического вещества

Лабораторная работа «Определение удельной теплоты растворения поваренной соли в воде»

Экспериментальная задача «Определение процентного содержания воды в мокром снеге (в начале эксперимента)»

Лабораторная работа «Определение удельной теплоты кристаллизации парафина»

§ 5. Процессы испарения, кипения и конденсации жидкости

Задачи на уравнение теплового баланса в случае процессов парообразования и конденсации жидкости

Экспериментальная задача «Определение удельной теплоты парообразования воды»

Экспериментальная задача «Определение удельной теплоты конденсации водяного пара при температуре 100 °С»

Практическая работа «Определение относительной влажности и массы водяного пара в учебном кабинете»

§ 1. РАБОТА ГАЗА ПРИ ЕГО РАСШИРЕНИИ

Пусть газ находится в баллоне, закрытом подвижным поршнем (рис. 1). Молекулы газа, беспорядочно двигаясь, ударяют о стенки баллона и поршень и тем самым создают давление на поршень и стенки баллона. От чего зависит давление газа? Во-первых, оно зависит от числа ударов молекул, ежесекундно приходящихся на единицу площади. Это число ударов тем больше, чем больше плотность газа, а значит, чем меньше объём баллона, заполненного определённой массой газа. Во-вторых, газовое давление зависит от силы удара молекул. Сила удара молекулы о стенку баллона тем больше, чем больше масса молекулы и её скорость. Рост же скорости движения молекул означает увеличение температуры газа.

Поршень под действием силы газового давления может сместиться. Газ при этом увеличит свой объём (расширится), и силой газового давления будет совершена работа (работа газа).

Если теплообмена нет, если из окружающей среды газу не передаётся энергия (количество теплоты), то в этом случае работа совершается газом за счёт уменьшения его внутренней энергии. Действительно, в соответствии с первым законом термодинамики, количество теплоты Q , полученное газом, идёт на изменение его внутренней энергии ΔU и совершение газом работы $A_{\text{газ}}$:

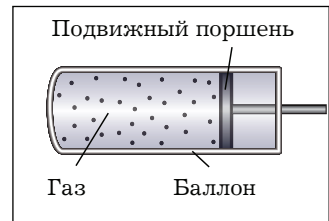


Рис. 1

$$Q = \Delta U + A_{\text{газ}} \quad (1.1)$$

Если

$$Q = 0,$$

то

$$\Delta U + A_{\text{газ}} = 0.$$



1.1. В каком случае силой, действующей на тело, совершается положительная работа?

Так как при расширении газом совершается положительная работа ($A_{\text{газ}} > 0$), то внутренняя энергия газа уменьшается ($\Delta U < 0$).

Такой процесс расширения газа легко пронаблюдать на опыте. На дно толстостенной стеклянной бутылки нальём немного воды, и с помощью насоса будем закачивать воздух в бутылку (рис. 2, а). Спустя некоторое время под действием сжатого воздуха пробка с шумом вылетит из горлышка бутылки вверх. В момент вылета пробки внутри бутылки виден туман, который образуется из водяных паров при понижении температуры (рис. 2, б).

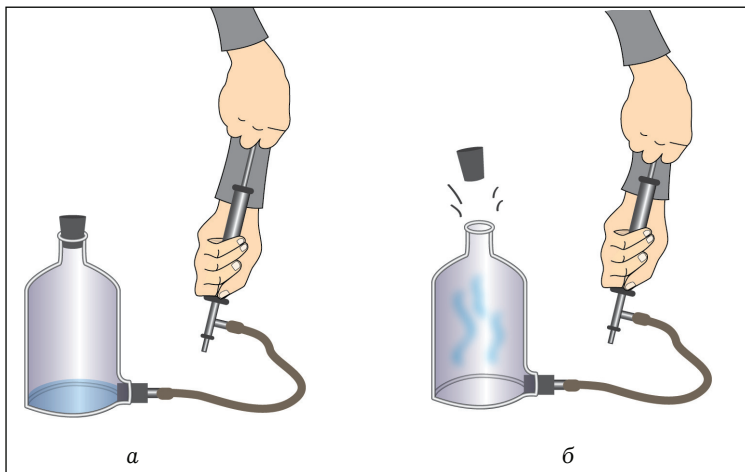


Рис. 2



1.2. Почему при вылете пробки температура воздуха в бутылке понижается?

Подведём итог: *если теплообмена нет, то при расширении газа уменьшается его давление и понижается температура газа.*

Если в процессе расширения передавать газу некоторое количество теплоты, то можно «компенсировать» затраты внутренней энергии газа и добиться того, чтобы температура газа в процессе его расширения не менялась. В случае расширения газа при постоянной температуре внутренняя энергия газа не изменяется ($\Delta U = 0$), и формула первого закона термодинамики (1.1) примет вид:

$$Q = A_{\text{газ}}$$

Что происходит с давлением газа при его расширении при постоянной температуре (при неизменной скорости движения молекул газа)? При расширении плотность газа уменьшается, что приводит к уменьшению его давления.

Подведём итог: если теплообмен организован таким образом, что температура расширяющегося газа поддерживается постоянной, то при расширении газа его давление уменьшается.

Может ли газ расширяться так, чтобы его давление оставалось неизменным? Оказывается, да. Проведём следующий опыт. Возьмём «баллон с газом» – колбу с воздухом и «подвижный поршень» – каплю жидкости, находящуюся в горизонтально расположенной стеклянной трубке, соединённой с колбой (рис. 3).

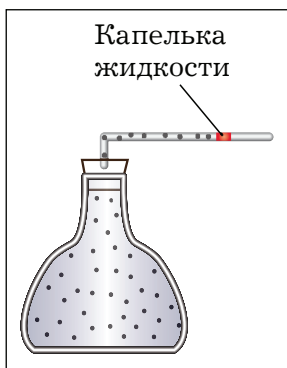


Рис. 3

Нагреем колбу – воздух расширится, капелька жидкости сместится, но давление воздуха в колбе не изменится. Оно по-прежнему будет равно внешнему атмосферному давлению. При расширении газа уменьшается его плотность, что должно было бы привести к уменьшению его давления. Если этого не происходит, следовательно, сила ударов молекул возросла – молекулы стали двигаться быстрее, температура газа увеличилась¹.

Подведём итог: *если газ расширяется при постоянном давлении, то полученное газом количество теплоты идёт и на увеличение внутренней энергии газа, и на совершение газом работы [формула (1.1)].*

Если расширение газа происходит при постоянном давлении, то легко рассчитать работу, совершаемую газом. Действительно, в этом случае газ действует на поршень площадью s с постоянной силой F , равной

$$F = ps, \tag{1.2}$$

где p – давление газа (рис. 4).

Если под действием постоянной силы F поршень переместится на расстояние x , то газом при расширении будет совершена работа $A_{\text{газ}}$, равная

$$A_{\text{газ}} = Fx,$$

или, с учётом формулы (1.2),

$$A_{\text{газ}} = psx. \tag{1.3}$$

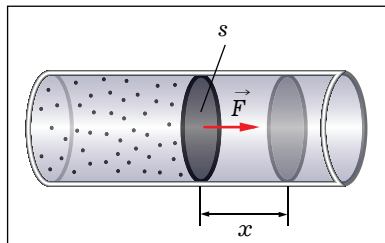


Рис. 4

Внимательно рассмотрим рисунок 4. При расширении газа поршень сместился, объём газа увеличился на ΔV . Из рисунка ясно, что изменение объёма газа ΔV как раз и равно произведению величин s и x :

$$\Delta V = sx. \tag{1.4}$$

Из соотношений (1.3) и (1.4) окончательно имеем:

$$A_{\text{газ}} = p\Delta V. \tag{1.5}$$

● **1.1.** Какая работа была совершена газом, если при расширении объём газа увеличился в 3 раза? Первоначально газ занимал объём 10 л. При расчёте считать, что в процессе расширения давление газа не менялось и составляло 100 кПа.

¹ Рост скорости движения молекул приводит ещё и к тому, что молекулы быстрее долетают от одной стенки баллона до другой, что также вносит свой вклад в увеличение давления газа.

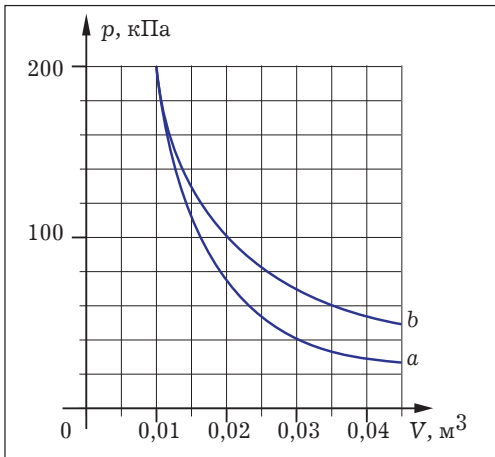


Рис. 5

происходящий при постоянной температуре. Почему график *a* проходит ниже графика *b*? В каком процессе при расширении газа от объёма $V_1 = 0,01 \text{ м}^3$ до объёма $V_2 = 0,03 \text{ м}^3$ совершается большая работа? Оцените, во сколько раз.



1.2. В вашем распоряжении имеется барометр-анероид, жидкостный манометр, колба с пробкой и резиновой трубкой, измерительная линейка. Подсоедините с помощью резиновой трубки колбу к жидкостному манометру и определите, какая работа совершена воздухом, находящимся в колбе, при его расширении после того, как вы некоторое время подержали колбу в ладонях.

1.2. На рисунке 5 изображены графики зависимости давления газа от его объёма при расширении газа. График *a* отражает процесс расширения газа в случае, когда не происходит теплообмен с окружающей средой. График *b* отражает процесс расширения газа,

§ 2. ГОРЕНИЕ ТОПЛИВА. КПД ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Задачи по теме «Горение топлива. КПД тепловых двигателей»

2.1. Из спирта и керосина приготовлена горючая смесь, удельная теплота сгорания которой 41 МДж/кг . Каково процентное содержание (по массе) спирта и керосина в смеси? Удельная теплота сгорания спирта 27 МДж/кг , керосина 43 МДж/кг .

2.2. Первой тепловой машиной, созданной в России, была «огненная машина» изобретателя Ивана Ивановича Ползунова (1728–1766), построенная им в 1766 г. на Барнаульском сереброплавильном заводе. Однако паровая машина Ползунова использовалась непродолжительное время, и его начинание не получило развития.

Самое же широкое применение в промышленности получила универсальная тепловая машина шотландского механика Джеймса Уатта (1736–1819). В 1782 г. Уаттом был получен патент на паровую машину двойного действия, в которой пар поочерёдно выпускался по обе стороны поршня (рис. 6). Это позволило существенно увеличить мощность и КПД паровой машины. Так, например, в 1820 г. на Санкт-Петербургском монетном дворе была установлена машина Уатта российского производства «силой против 60 лошадей».

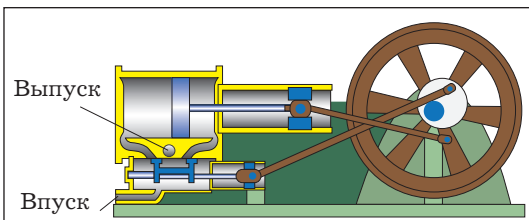


Рис. 6. Модель паровой турбины

Определите, сколько каменного угля расходовалось ежедневно при работе этой паровой машины мощностью 60 л.с. (лошадиных сил), если её КПД составлял 5 %.

● **2.3.** Автомобиль КАМАЗ, двигаясь со средней скоростью 90 км/ч, прошёл 200 км. При этом было израсходовано 70 л дизельного топлива. Чему равен КПД двигателя автомобиля? Средняя мощность, которую развивал двигатель во время движения, составляла 130 кВт. Удельная теплота сгорания дизельного топлива 42,6 МДж/кг, плотность топлива 0,83 г/см³.

● **2.4.** В знаменитой многозарядной системе залпового огня «Катюша» времён Великой Отечественной войны (рис. 7) около 7 % энергии, выделяющейся при сгорании 7 кг нитроглицеринового пороха, шло на разгон снаряда массой 35 кг. Какова максимальная скорость снаряда? Удельная теплота сгорания нитроглицеринового пороха 5,4 МДж/кг.



Рис. 7. Мемориальный комплекс «Катюша» в г. Орше, недалеко от места одного из первых её боевых применений

Экспериментальная задача «Определение КПД «паровой пушки»»

Наполним пробирку небольшим количеством воды и плотно закроем пробирку пробкой. Если нагреть пробирку, доведя воду до кипения, то под действием образовавшегося пара пробка вылетит из пробирки – произойдёт «выстрел» из «паровой пушки».

Оборудование: штатив с лапкой, весы с набором гирь и разновесов, измерительная лента, спиртовка, спички, стакан с водой, пробирка, пробка из картофеля.



Задание 1. Определите КПД «паровой пушки» при «выстреле» – вылете пробки.



Задание 2. Определите скорость пробки в момент её вылета из пробирки.

§ 3. ТЕПЛОЁМКОСТЬ ВЕЩЕСТВА

Расчёт количества теплоты при нагревании (охлаждении) вещества

● **3.1.** Для нагревания на 10 °С стограммового слитка из золота и серебра потребовалось количество теплоты 190 Дж. Каково процентное содержание золота в слитке?

● **3.2.** В термос с водой, имеющей температуру $t = 40$ °С, опускают бутылочку с детским питанием. Бутылочка нагревается до температуры $t_1 = 36$ °С, затем её вынимают, и в термос опускают другую, точно такую же, бутылочку. До какой температуры она нагреется? Перед погружением в термос температура каждой бутылочки $t_0 = 18$ °С.

● **3.3.** Термос до краёв наполнили водой при температуре $t_1 = 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$. В него опустили одну металлическую деталь, нагретую до температуры $t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$. После установления теплового равновесия температура воды в термосе стала $t_1 = 26,2 \text{ }^\circ\text{C}$. Затем такой же эксперимент провели с двумя деталями. В этом случае после установления теплового равновесия температура воды в термосе стала $t_2 = 33,2 \text{ }^\circ\text{C}$. Чему равна удельная теплоёмкость металла? Плотность металла 2700 кг/м^3 , плотность воды 1000 кг/м^3 , её удельная теплоёмкость $4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{ }^\circ\text{C)}$.

● **3.4.** В лаборатории в трёх одинаковых стаканах находилось разное количество одинаковой жидкости при разных температурах (рис. 8, а). После проведения эксперимента, связанного с переливанием и перемешиванием жидкости, в стаканах оказалось другое количество жидкости при иных температурах (рис. 8, б). Сколько жидкости осталось в третьем стакане? при какой температуре? Потерями жидкости и теплообменом с окружающей средой, а также теплоёмкостью стаканов пренебречь.

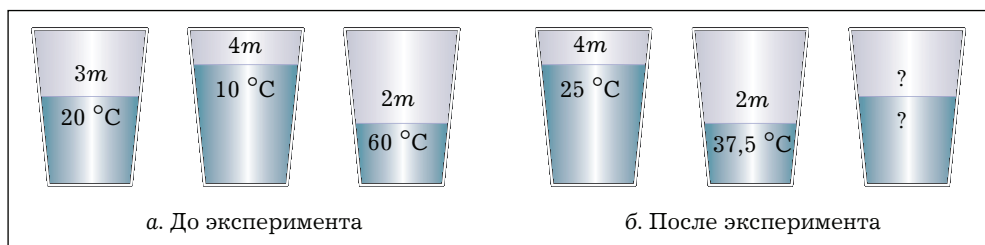


Рис. 8

● **3.5.** Бак с водой нагрели сначала на $10 \text{ }^\circ\text{C}$ с помощью нагревателя мощностью $N_1 = 300 \text{ Вт}$, а затем ещё на $20 \text{ }^\circ\text{C}$ нагревателем мощностью $N_2 = 400 \text{ Вт}$. На весь нагрев было затрачено некоторое время. Какую мощность N должен иметь нагреватель, чтобы с его помощью за такое же время можно было бы нагреть бак на $40 \text{ }^\circ\text{C}$? Потери тепла не учитывать, считая, что вся энергия, выделенная нагревателем, расходуется только на нагрев бака с водой.

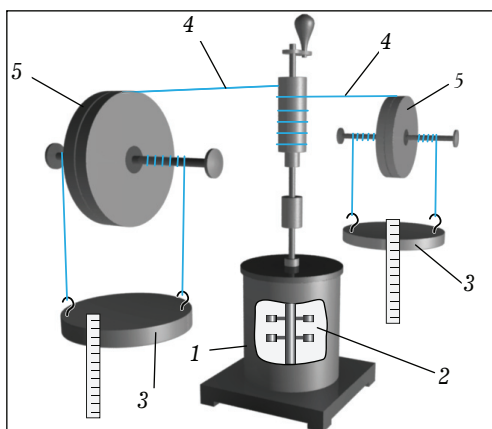


Рис. 9

● **3.6.** Выдающийся английский физик Джеймс Прескотт Джоуль (1818–1884) в своей работе «Об определении механического эквивалента тепла», опубликованной в 1850 г., изложил результаты экспериментов по повышению температуры воды за счёт работы силы трения. Созданная Джоулем экспериментальная установка изображена на рисунке 9. Калориметр 1 наполняли водой. Внутри калориметра находилось гребное колесо 2, снабжённое восьмью рядами вращающихся лопастей, движущихся (для повышения трения) между четырьмя рядами неподвижных лопаток. Грузы 3 опускались вниз, и с помощью нитей 4 и блоков 5 гребное

колесо приводилось во вращение, в результате чего вода нагревалась. Грузы опускали 20 раз и измеряли повышение температуры воды. В результате проведённых экспериментов Джоуль выяснил, что для повышения температуры 1 фунта воды на 1 градус по Фаренгейту (1 °F) необходима механическая работа, совершаемая при опускании 773,64 фунтов на 1 фут.

Какому значению удельной теплоёмкости воды (в $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}}$) соответствуют результаты этих опытов Джоуля?

Лабораторная работа «Определение удельной теплоёмкости свинца»

Оборудование: картонный цилиндр, свинцовая дробь, измерительная линейка, термометр лабораторный.



Задание 1. Используя имеющееся оборудование, определите удельную теплоёмкость свинца.

Лабораторная работа «Определение КПД нагревателя-спиртовки»

Оборудование: весы с разновесами, термометр, мензурка, колба, стакан с водой, штатив лабораторный с муфтой и лапкой, спиртовка, спички.



Задание 1. Определите КПД нагревателя-спиртовки.

Указания по технике безопасности. При нагревании воды её температура не должна превышать 50 °C. *Будьте осторожны с огнём!*

Лабораторная работа «Оценка удельной теплоты сгорания топлива»

Оборудование: весы с разновесами, термометр лабораторный, мензурка, штатив лабораторный с муфтой и лапкой, пробирка, стакан с водой, алюминиевый стакан лабораторного калориметра с небольшим количеством воды, 4–5 спичек.



Задание 1. Определите удельную теплоту сгорания топлива (спичек).

Примечание. При сгорании топлива часть выделяющейся энергии рассеивается в окружающей среде. По этой причине результат, полученный при определении удельной теплоты сгорания топлива, имеет, как правило, оценочный характер.

Указания по технике безопасности. Догорающие остатки спичек отправляйте в алюминиевый стакан лабораторного калориметра. *Будьте осторожны с огнём!*

§ 4. ЯВЛЕНИЯ ПЛАВЛЕНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Задачи на расчёт количества теплоты при кристаллизации и плавлении кристаллического вещества

● **4.1.** В кастрюлю поместили воду и лёд при температуре 0 °C и закрыли её крышкой. Масса воды и масса льда одинаковы. Через время $\tau_1 = 2 \text{ ч } 45 \text{ мин}$ весь лёд растаял. Через какое время τ_2 температура воды повысится на $\Delta t = 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$? Температура воздуха в комнате 25 °C.

● **4.2.** Оцените, какой толщины снежный покров могли бы растопить на экваторе солнечные лучи за один день (12 часов)? Максимальная плотность потока солнечной энергии близка к 1 кВт/м^2 , а коэффициент отражения снега близок к $0,9$.

● **4.3.** В сосуде с водой плавает кусок льда массой 1 кг . Температура воды и льда 1°C . Сколько тёплой воды при температуре $t = 0^\circ\text{C}$ следует добавить в сосуд, чтобы объём выступающей из воды части льда уменьшился в $2,5$ раза?

● **4.4.** В воде, охлаждённой до 0°C , происходит образование кристалликов льда и превращение воды в лёд. Рост кристалликов льда начинается на посторонних частицах (пылинках, примесях) – центрах кристаллизации. Если же вода очищена от примесей, то при отсутствии центров кристаллизации её можно охладить ниже 0°C . Такая вода называется переохлаждённой.

Вода была переохлаждена до температуры $t_1 = -10^\circ\text{C}$. Сколько льда образуется из такой воды массой $m_0 = 1 \text{ кг}$, если в неё бросить кусочек льда и этим вызвать замерзание воды? Удельная теплота плавления льда при температуре -10°C равна $\lambda = 312 \text{ кДж/кг}$; удельная теплоёмкость льда в интервале температур от -10 до 0°C равна $c_{\text{л}} = 2170 \text{ Дж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$; удельная теплоёмкость воды в этом интервале температур равна $c_{\text{в}} = 4170 \text{ Дж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$. Считать, что процесс происходит в теплоизолированной системе.

● **4.5.** В калориметр с горячей водой бросили кубик льда, имеющий температуру 0°C . После установления теплового равновесия температура воды понизилась на 12°C ($\Delta t_1 = -12^\circ\text{C}$). Когда в калориметр бросили второй такой же кубик льда, температура понизилась ещё на 10°C ($\Delta t_2 = -10^\circ\text{C}$). На сколько градусов понизится температура воды, если в калориметр бросить точно такой же третий кубик, который также полностью растает в воде? Теплоёмкостью калориметра и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

Лабораторная работа «Определение удельной теплоты растворения поваренной соли в воде»

При растворении кристаллического вещества затрачивается энергия на разрушение кристаллической решётки вещества. Одновременно взаимодействие молекул растворителя с частицами растворённого вещества приводит к выделению энергии. В итоге растворение кристаллического вещества может происходить как с поглощением энергии (теплота растворения вещества положительна), так и с выделением энергии (теплота растворения отрицательна).

При растворении поваренной соли в воде количество теплоты, затрачиваемое на разрушение кристаллической решётки, больше количества теплоты, выделяющегося при взаимодействии молекул воды с частицами вещества, то есть, теплота растворения поваренной соли в воде положительна.

Удельная теплота растворения поваренной соли в воде d – это физическая величина, равная количеству теплоты, необходимому для растворения 1 кг соли в воде.

Оборудование: весы с разновесами, термометр лабораторный, калориметр, сосуд с водой, поваренная соль.



Задание 1. Определите удельную теплоту растворения поваренной соли в воде.

Экспериментальная задача «Определение процентного содержания воды в мокром снеге (в начале эксперимента)»

Оборудование: весы с разновесами, калориметр, термометр лабораторный, ёмкость с мокрым снегом, сосуд с тёплой водой.



Задание 1. Определите процентное содержание воды в мокром снеге (в начале эксперимента).

Лабораторная работа «Определение удельной теплоты кристаллизации парафина»

При охлаждении расплава кристаллического вещества кинетическая энергия частиц вещества уменьшается и, как следствие, уменьшается температура вещества. Так происходит до тех пор, пока температура не понизится до температуры кристаллизации. При этой температуре начинает восстанавливаться кристаллическая решётка – идёт процесс перехода вещества из жидкого состояния в твёрдое кристаллическое состояние. В процессе кристаллизации уменьшается потенциальная энергия частиц вещества. Кинетическая же энергия частиц, а значит и температура вещества, не меняются до завершения процесса кристаллизации.

После завершения процесса кристаллизации при дальнейшем охлаждении происходит уменьшение кинетической энергии частиц твёрдого вещества, понижается температура кристаллического вещества.

Оборудование: сосуды из металлической фольги (такой сосуд может иметь форму куба, ребро которого 3–3,5 см), расплавленный парафин (выдаётся учителем), термометр лабораторный, секундомер, штатив лабораторный с муфтой и лапкой.



Задание 1. В сосуд из металлической фольги налейте расплавленный парафин. Опустите в парафин термометр, закрепив его в лапке штатива. Изучите зависимость температуры парафина от времени при его охлаждении, построив соответствующий график.

Сделайте вывод – является ли парафин кристаллическим веществом и, если да, то определите из графика температуру кристаллизации парафина.



Задание 2. Если построенный вами график зависимости температуры парафина от времени при его охлаждении свидетельствует о том, что парафин является кристаллическим веществом, то определите удельную теплоту кристаллизации парафина. Учтите, что удельная теплоёмкость жидкого парафина составляет 2100 Дж/(кг·°С).

§ 5. ПРОЦЕССЫ ИСПАРЕНИЯ, КИПЕНИЯ И КОНДЕНСАЦИИ ЖИДКОСТИ

Задачи на уравнение теплового баланса в случае процессов парообразования и конденсации жидкости

● **5.1.** Теплообменник представляет собой трубу, внутри которой находится змеевик (рис. 10). В змеевик за 1 с поступает 1 кг водяного пара (то есть, расход пара

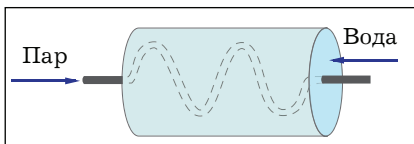


Рис. 10

$k_n = 1$ кг/с) при температуре пара $t_n = 100$ °С. Навстречу пару по трубке движется вода, расход которой $k_g = 10$ кг/с. Определите температуру воды t_2 на выходе из теплообменника, если на входе температура воды $t_1 = 20$ °С. Удельная теплота парообразования воды $L = 2300$ кДж/кг, удельная теплоёмкость воды $c = 4,2$ кДж/(кг·°С).

● **5.2.** В колбе находится вода при 0 °С. Колбу подсоединили к насосу, и откачиванием пара воду в колбе заморозили¹. Какая часть воды превратилась в лёд?

● **5.3.** При увеличении давления над поверхностью воды её температура кипения повышается. На газовой плите в кастрюле-скороварке медленно кипела вода при температуре 105 °С. Неожиданно произошла разгерметизация кастрюли, и хозяйка сразу же выключила газ. Сколько пара успело образоваться к моменту прекращения кипения, если первоначально в кастрюле было 2 л воды? Удельная теплоёмкость воды $c = 4,2$ кДж/(кг·°С), удельная теплота парообразования $L = 2,3$ МДж/кг.

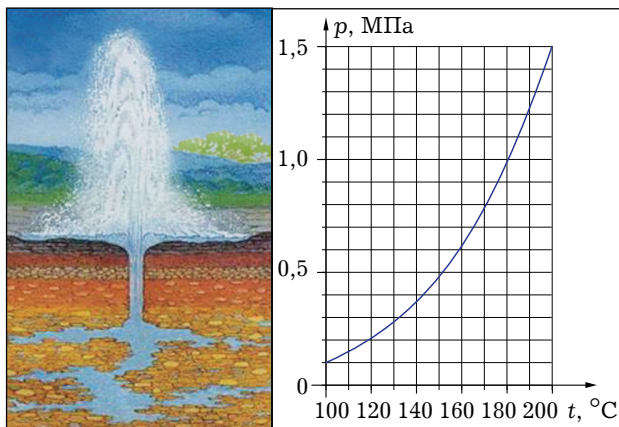


Рис. 11

Рис. 12

● **5.4.** Гейзеры – это источники, периодически выбрасывающие фонтаны горячей воды и пара до высоты 20–40 м и более. Гейзеры располагаются вблизи действующих или сравнительно недавно уснувших вулканов, от которых поступает тепловая энергия, необходимая для нагрева подземных вод, заполняющих гейзер. Гейзер представляет собой подземный резервуар, расположенный на глубине в несколько десятков метров, и узкий вертикальный канал, наполненный водой и выходящий в бассейн на поверхность земли (рис. 11).

Когда в подземном резервуаре вода подогревается до такой степени, что может начать кипеть, то образующийся водяной пар «выбивает» водяную «пробку» из вертикального канала – происходит извержение гейзера.

¹ Рекомендуем посмотреть соответствующий видеосюжет «Заморозание кипящей воды» на YOUTUBE.

Оцените, какую часть воды теряет резервуар гейзера во время одного извержения. Глубина канала $h = 90$ м. Удельная теплота парообразования воды $L = 2,3$ МДж/кг, удельная теплоёмкость воды $c = 4,2$ кДж/(кг·°С). График зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры приведён на рисунке 12.

Экспериментальная задача «Определение удельной теплоты парообразования воды»

Оборудование: весы с разновесами, термометр демонстрационный, штатив лабораторный с муфтой и лапкой, колба плоскодонная, сосуд с водой, электроплитка лабораторная.



Задание 1. Выясните, как изменяется температура воды при её нагревании и в процессе кипения с течением времени. Постройте график зависимости температуры t воды от времени нагревания τ .



Задание 2. Используя полученный график зависимости температуры воды от времени нагревания, определите удельную теплоту парообразования воды. Удельная теплоёмкость воды $c = 4200$ Дж/(кг·°С).

Экспериментальная задача «Определение удельной теплоты конденсации водяного пара при температуре 100 °С»¹

Если впустить некоторое количество пара в воду, находящуюся в калориметре, то за счёт энергии, выделяющейся при конденсации водяного пара и охлаждении образовавшейся при этом стогоградусной воды, температура воды и калориметра повышается. Анализ происходящих при этом тепловых процессов позволяет определить удельную теплоту конденсации воды.

Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 13.

На лабораторной электроплитке 1 установлена плоскодонная колба 2 с водой, закрытая пробкой. Эта колба выполняет роль парообразователя – при нагревании воды образуется пар, который по

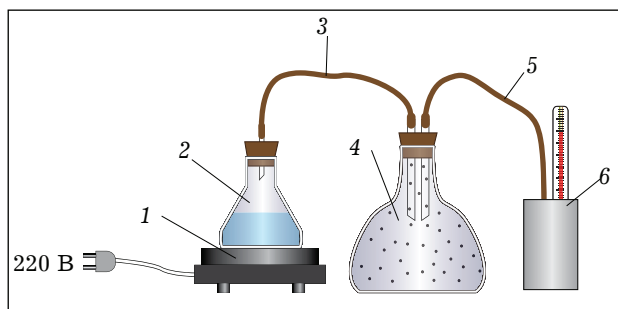


Рис. 13

трубке 3 направляется в сухопарник 4. Сухопарник 4 – закрытая пробкой колба с трубкой 3 для ввода пара и трубкой 5 для вывода пара.

По трубке 3 в колбу-сухопарник 4 поступает пар, в котором имеются микроскопические капельки воды. Эти капельки образуются при конденсации пара, когда он движется из парообразователя в сухопарник. Капельки воды оседают на дно колбы-сухопарника, и далее по трубке 5 в калориметр 6 поступает практически сухой пар.

¹ Необходимые измерения выполняются в демонстрационном варианте учителем.

Оборудование: весы с разновесами, электроплитка лабораторная, парообразователь, сухопарник, термометр лабораторный, калориметр, стакан с водой, соединительные трубки.



Задание 1. Определите удельную теплоту конденсации воды при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Измерьте массу внутреннего металлического стаканчика калориметра m_k . Налейте в стаканчик $70\text{--}80$ мл воды и вновь взвесьте стаканчик калориметра с водой. Это позволит определить массу воды $m_в$ в калориметре.

Включите электроплитку 1, дождитесь, пока вода в парообразователе 2 закипит и из трубки 5 будет выходить сильная струя пара.

Измерьте начальную температуру воды t_1 в калориметре. Поместите конец трубки 5 в воду в калориметре и продолжайте эксперимент до тех пор, пока вода в калориметре не нагреется до $70\text{--}75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Выключите электроплитку, выньте трубку из калориметра и измерьте конечную температуру воды в калориметре t_2 (не забудьте предварительно перемешать воду в калориметре термометром).

Вновь измерьте массу стаканчика калориметра с водой и определите массу пара m_n , сконденсировавшегося в калориметре.

Проведите расчёт удельной теплоты конденсации воды при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Практическая работа «Определение относительной влажности воздуха и массы водяного пара в учебном кабинете»

Оборудование: лабораторный термометр, стакан с водой комнатной температуры, небольшой кусочек марли, психрометрическая таблица, рулетка.

Психрометрическая таблица

Показания сухого тер- мометра, $^{\circ}\text{C}$	Разность показаний сухого и влажного термометров, $^{\circ}\text{C}$										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность, %										
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
18	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33



Задание 1. Определите относительную влажность воздуха в учебном кабинете.



Задание 2. Определите плотность водяного пара в учебном кабинете.

Так как давление газа (водяного пара) зависит от плотности газа, то относительная влажность φ может быть рассчитана по формуле

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{нас}} \cdot 100 \%,$$

где ρ – плотность водяного пара,

$\rho_{нас}$ – плотность насыщенного водяного пара при той же температуре.

Пусть газ (водяной пар) находится в некотором баллоне при определённой температуре. От чего в этом случае зависит давление газа? Давление газа зависит от его плотности. Действительно, чем больше молекул газа в баллоне (чем больше плотность газа), тем большее число ударов производят молекулы, сталкиваясь со стенками баллона, а значит, давление газа больше.

Следовательно, для расчёта относительной влажности воздуха φ можно применить формулу

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{нас}} \cdot 100 \%,$$

где ρ – плотность водяного пара,

$\rho_{нас}$ – плотность насыщенного водяного пара при той же температуре.

Зависимость плотности водяного пара $\rho_{нас}$ от температуры t приведена в таблице 1.

Таблица 1. Зависимость плотности насыщенного водяного пара $\rho_{нас}$ от температуры t

$t, ^\circ\text{C}$	15	16	17	18	19	20	21	22
$\rho_{нас}, \text{г/м}^3$	12,9	13,7	14,5	15,4	16,3	17,3	18,4	19,4
$t, ^\circ\text{C}$	23	24	25	26	27	28	29	30
$\rho_{нас}, \text{г/м}^3$	20,6	21,8	23,1	24,4	25,8	27,3	28,7	30,3



Задание 3. Определите массу водяного пара в учебном кабинете. Сравните массу воздуха и массу водяного пара в кабинете.

РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 6. Электрическое взаимодействие

Задачи на явление электризации

Лабораторная работа «Определение силы электрического взаимодействия»

§ 7. Сила тока. Закон Ома

Задачи по теме «Закон Ома»

Лабораторная работа «Определение электрического заряда конденсатора»

Экспериментальная задача «Определение сопротивления вольтметра»

§ 8. Мультиметр

Измерение силы тока и напряжения мультиметром

Практическая работа «Изготовление модели омметра»

Измерение сопротивления мультиметром

§ 9. Удельное сопротивление

Задачи на расчёт сопротивления проводника

Лабораторная работа «Определение удельного сопротивления проволоки, из которой изготовлена обмотка реостата»

Экспериментальная задача «Определение длины и диаметра медной проволоки»

§ 10. Последовательное и параллельное соединение проводников

§ 11. Делитель напряжения

§ 12. Электрические цепи – «чёрные ящики»

§ 13. Лабораторная работа «Определение сопротивления резистора методом амперметра и вольтметра»

§ 14. Шунты и добавочные сопротивления

Практическая работа «Расчёт и изготовление шунта к амперметру»

§ 15. Мощность и работа тока

Задачи на расчёт мощности и работы тока

Лабораторная работа «Изучение мощности, выделяющейся на резисторе, от силы тока в резисторе»

Экспериментальная задача «Определение сопротивления резистора “тепловым методом”»

§ 16. Лабораторная работа «Установление зависимости величины силы тока, при которой перегорают проводники, от их диаметра»

§ 6. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Задачи на явление электризации

- **6.1.** Пластмассовую воронку закрепили в лапке штатива над шаром электрометра. Если на край воронки сыпать песок, то он будет скатываться по воронке в шар электрометра (рис. 14). Почему при этом стрелка электрометра отклоняется?
- **6.2.** На тонких шёлковых нитях подвешены две одинаковые гильзы из металлической фольги, одна из них заряжена, другая нет. Как определить, какая из них заряжена, если вам не даны никакие приборы и материалы?
- **6.3.** Пусть в вашем распоряжении имеется пластмассовая палочка, которой сообщён отрицательный электрический заряд (рис. 15). Как зарядить электрометр положительным зарядом?

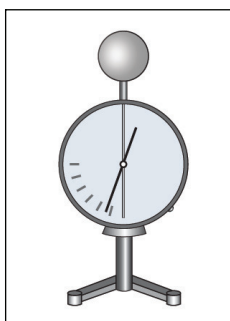


Рис. 14

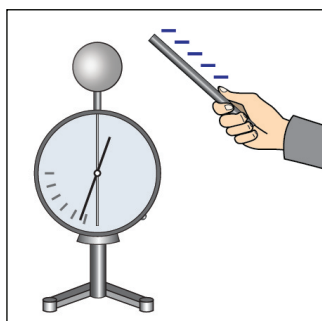


Рис. 15

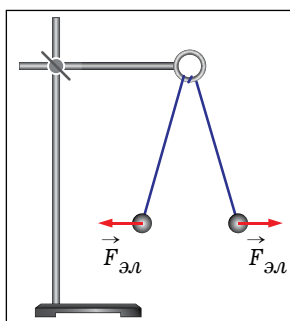


Рис. 16

Лабораторная работа «Определение силы электрического взаимодействия»

Из кусочков фольги можно скатать два одинаковых шарика. Если шарики подвесить на тонких шёлковых нитях и сообщить шарикам одноимённые электрические заряды, то шарики разойдутся (рис. 16). С помощью такой установки оказывается можно измерить силу электрического взаимодействия заряженных шариков $F_{эл}$.

Оборудование: весы с разновесами, измерительная лента, нить длиной 1,5–2 м, два кусочка фольги, стеклянная палочка, кусок ткани, штатив с муфтой и лапкой.



Задание 1. Скатайте из кусочков фольги два одинаковых шарика. Измерьте их массу. Прикрепите шарики к концам нити и перебросьте нить через кольцо штатива. Добейтесь того, чтобы шарики находились на одной высоте и измерьте длину подвеса l шариков.

Наэлектризуйте трением стеклянную палочку. Прикоснитесь палочкой к шарикам, сообщив им электрический заряд. Измерьте расстояние r между заряженными шариками (не касаясь их).

Рассчитайте силу электрического взаимодействия между электрическими зарядами $F_{эл}$.

§ 7. СИЛА ТОКА. ЗАКОН ОМА

Задачи по теме «Закон Ома»



7.1. Включите в электрическую цепь резистор с известным сопротивлением $R = 4$ Ом. Используя вольтметр, измерьте напряжение на резисторе. Проведите расчёт силы тока в цепи. Используя амперметр, проверьте, верно ли вы рассчитали силу тока. Вычислите, какой электрический заряд пройдёт через резистор за 2 мин.

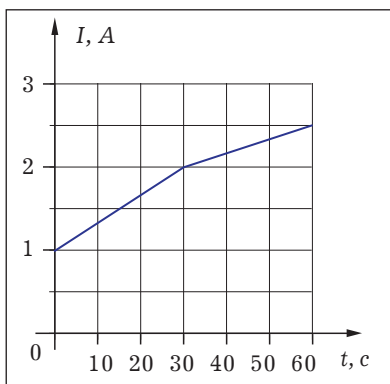


Рис. 17

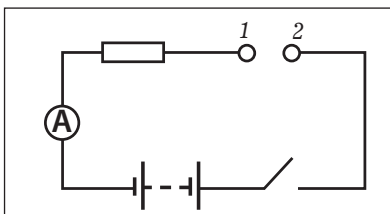


Рис. 18

7.2. В электрическую цепь включён реостат. Уменьшая сопротивление реостата, увеличивают силу тока в цепи. При этом сила тока I изменяется с течением времени t так, как это показано на рисунке 17. Вычислите, какой заряд прошёл по электрической цепи за первые 30 с. Во сколько раз за это время изменилось сопротивление реостата, если напряжение на клеммах источника, питающего электрическую цепь, неизменно? Во сколько раз изменилось сопротивление реостата за всё время (60 с)?

7.3. Экспериментатору необходимо подключить резистор сопротивлением 4 Ом и амперметр к батарее аккумуляторов напряжением 36 В через клеммы 1 и 2 (рис. 18). Однако, экспериментатор обнаруживает, что для замыкания контакта между клеммами 1 и 2 у него нет подходящего проводника. Заглянув в справочную таблицу 2 «Ток плавления различных проводников», он решает использовать тонкую скрепку, изготовленную из железной проволоки диаметром 0,6 мм. Удастся ли экспериментатору провести запланированные опыты?

Таблица 2.

Ток плавления различных проводов

Ток плавления, А	Диаметр провода, мм		
	медь	алюминий	железо
1	0,053	0,066	0,118
2	0,086	0,104	0,325
3	0,112	0,137	0,245
5	0,157	0,193	0,345
7	0,203	0,250	0,45
10	0,250	0,305	0,55
15	0,32	0,40	0,72
20	0,39	0,48	0,87

● **7.4.** Электропроводка сети под напряжением 220 В выполнена медным проводом диаметром 1,2 мм. Можно ли к данной сети подключить электронагревательный прибор сопротивлением 20 Ом? Возможно, вам будет полезна справочная таблица 3 «Допустимые силы тока в изолированных проводах при продолжительной работе (в амперах)».

Таблица 3. Допустимые силы тока в изолированных проводах при продолжительной работе (в амперах)

Материал	Сечение, мм ²					
	1	1,5	2,5	4	6	10
Алюминий	8	11	16	20	24	34
Железо	-	-	8	10	12	17
Медь	11	14	20	25	31	43

Лабораторная работа «Определение электрического заряда конденсатора»

Одним из распространённых элементов, которые встречаются в большинстве электро- и радиотехнических устройств, являются конденсаторы – накопители электрического заряда и энергии (рис. 19). Условное обозначение конденсатора, приведённое на рисунке 20, удачно отражает его устройство: простейший конденсатор – это две плоские металлические пластинки, разделённые слоем изолятора. При зарядке – подключении к источнику напряжения – на одной из пластин накапливается положительный заряд, а на другой – отрицательный заряд. Способность конденсатора накапливать электрический заряд характеризуют физической величиной – электрической ёмкостью. Единица электрической ёмкости – фарад, так она названа в честь великого английского учёного Майкла Фарадея. В технике, чтобы уменьшить размеры конденсатора и увеличить его электрическую ёмкость, пластины конденсатора часто изготавливают из металлической фольги, которую скручивают в рулон и помещают в защитный корпус (рис. 21).

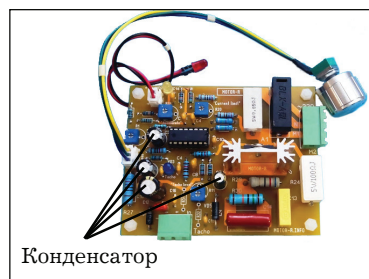


Рис. 19

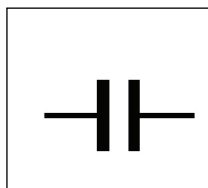


Рис. 20

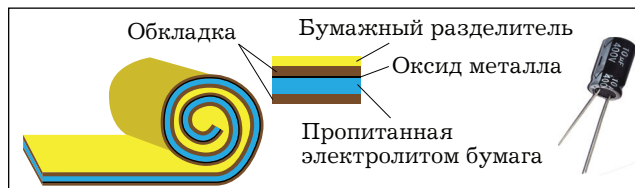


Рис. 21

Оборудование: источник тока, микроамперметр, вольтметр, конденсатор, резистор¹, переключатель двухполюсной, соединительные провода, миллиметровая бумага, ножницы, весы с разновесами.

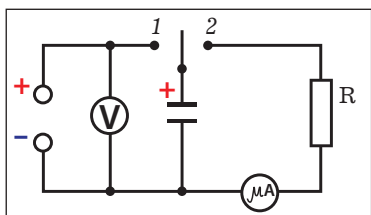


Рис. 22



Задание 1. Соберите электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке 22. (Без проверки учителем цепь не замыкать!).

Переведите ключ в положение 1 и зарядите конденсатор C от источника напряжения. Далее переведите ключ в положение 2 и наблюдайте, как с течением времени уменьшается сила тока в цепи в процессе разрядки конденсатора. Фиксируйте показания микроамперметра через каждые 10–20 с и заносите их в таблицу:

Время t , с									
Сила тока I , мкА									

Постройте график зависимости силы тока I от времени t .



7.1. Почему с течением времени сила тока, протекающего через резистор, уменьшается?

Используя построенный график зависимости силы тока I от времени t , определите, каков был первоначальный заряд конденсатора. (Подсказка. Вы можете воспользоваться весами.)



Задание 2. Выясните, зависит ли заряд, приобретаемый конденсатором при зарядке, от напряжения источника, к которому подключён конденсатор при зарядке.

Экспериментальная задача «Определение сопротивления вольтметра»

Оборудование: источник тока, миллиамперметр (60 мА), вольтметр, соединительные провода, ключ.



Задание 1. Определите сопротивление вольтметра.

§ 8. МУЛЬТИМЕТР

Мультиметром или тэстером, авометром (от ампервольтметр) называют электроизмерительный прибор, который позволяет измерять силу тока, напряжение, сопротивление, а также, в большинстве моделей прибора, и другие электрические величины.

¹ Примечание для учителя. Время разрядки конденсатора определяется произведением ёмкости конденсатора на сопротивление резистора. Из этих соображений следует использовать конденсатор ёмкостью порядка 1000 мкФ и резистора сопротивлением порядка 50 кОм.

Измерение силы тока и напряжения мультиметром

Ознакомьтесь с мультиметром. Выясните, как с его помощью измеряют силу тока и напряжение. Соберите электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке 23. Измерьте, используя мультиметр, силу тока в лампочке, реостате, напряжение на лампочке и на резисторе.

Практическая работа «Изготовление модели омметра»

В простейшем случае для определения сопротивления резистора R его необходимо включить в электрическую цепь. Затем, используя амперметр и вольтметр, измерить силу тока I в резисторе и напряжение U на концах этого резистора (рис. 24).

Тогда, в соответствии с законом Ома,

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

Существуют также специальные приборы – омметры, которые позволяют измерить сопротивление резистора непосредственно. Схема простейшего омметра изображена на рисунке 25. Омметр содержит прибор для измерения силы тока, например, миллиамперметр mA , переменное сопротивление – реостат R , гальванический элемент и два зажима (1 и 2) для подключения измеряемого сопротивления R_x .

Если зажимы 1 и 2 разомкнуты, электрическая цепь не замкнута – тока в цепи нет, и стрелка миллиамперметра находится на нуле. Это положение стрелки будет соответствовать бесконечно большому сопротивлению между зажимами.

Замкнём зажимы 1 и 2 накоротко, так чтобы сопротивление R_x было равно нулю. Постепенно уменьшая сопротивление реостата R , добьёмся того, чтобы стрелка миллиамперметра отклонилась на всю шкалу, до максимально возможного значения силы тока, измеряемого прибором. Отметим на шкале это положение стрелки прибора, которое будет являться нулём омметра.

Теперь, после того, как начало шкалы омметра установлено, необходимо между зажимами 1 и 2 поочередно включать резисторы с известным сопротивлением. (Ясно, что при этом стрелка прибора будет отклоняться меньше, чем на всю шкалу, не доходя до нуля омметра.) Это позволит проградуировать шкалу прибора непосредственно в омах, и омметр будет готов к применению.

С течением времени гальванический элемент в омметре разряжается,

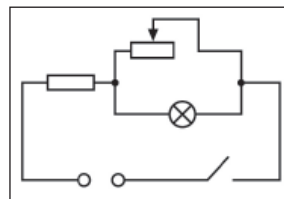


Рис. 23

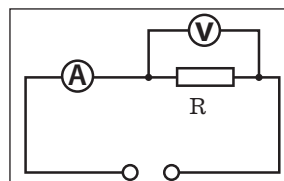


Рис. 24

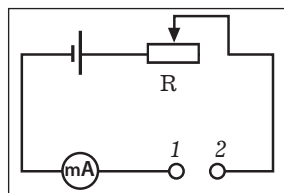


Рис. 25

его напряжение уменьшается. Для того чтобы стрелка прибора вновь отклонялась на всю шкалу, доходя до нуля омметра, проводят регулировку омметра – вновь замыкают зажимы 1 и 2 накоротко и уменьшают величину переменного сопротивления R , пока стрелка прибора не дойдёт до нуля.

Оборудование: источник тока, амперметр, вольтметр, два реостата, резистор с неизвестным электрическим сопротивлением, соединительные провода, ключ, лист бумаги, ножницы, скотч.



Задание 1. Соберите электрическую цепь модели омметра, используя в качестве измерительного прибора амперметр. Из листа бумаги изготовьте шкалу будущего амперметра и закрепите её с помощью скотча на амперметре.



Задание 2. На шкале омметра знаком « ∞ » укажите положение стрелки прибора, которое соответствует бесконечно большому сопротивлению между зажимами омметра. Замкните зажимы омметра накоротко и, уменьшая сопротивление реостата, добейтесь отклонения стрелки на всю шкалу. Укажите положение нуля омметра. Включите между зажимами омметра реостат, параллельно к реостату подключите вольтметр. Измеряя силу тока, проходящего по включённому между зажимами реостату, и напряжение на нём, вы можете определить сопротивление реостата при различных положениях скользящего контакта реостата. Это позволяет проградуировать шкалу омметра.



Задание 3. Используя модель омметра, измерьте сопротивление резистора. Определите сопротивление резистора, используя амперметр и вольтметр. Сравните полученные результаты.

Измерение сопротивления мультиметром

Выясните, как с помощью мультиметра измеряют сопротивление. Измерьте мультиметром сопротивление резистора, лампочки, реостата.

§ 9. УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Задачи на расчёт сопротивления проводника

● **9.1.** Из меди изготавливают проволоку круглого сечения диаметром d и проволоку квадратного сечения со стороной квадрата d . Сравните электрическое сопротивление проволок, если их массы одинаковы.

● **9.2.** В электротехнике часто применяется величина – плотность тока j , которая равна отношению силы тока I , протекающего по проводнику, к площади поперечного сечения проводника s :

$$j = \frac{I}{s}.$$

Плотность тока в нихромовой проволоке, включённой в электрическую цепь, равна $2,0 \text{ А/мм}^2$. К двум точкам проволоки, находящимся на расстоянии 40 см , подключили вольтметр. Определите показание прибора.

● **9.3.** Экспериментатор хочет приготовить слой алюминия толщиной 0,5 мкм, напыляя его в вакууме на чистую поверхность стеклянной пластинки. Сначала он наносит два довольно толстых слоя алюминия, оставляя в центре пластинки полоску чистой поверхности, закрытую маской. Потом, используя другую маску, он напыляет на стекло в поперечном направлении полоску алюминия той же ширины, что и чистая полоска. При этом толстые слои используются как выводы для измерения сопротивления напыляемого слоя. При каком сопротивлении слоя процесс напыления следует остановить, если удельное сопротивление алюминия при комнатной температуре равно 0,028 Ом·мм²/м?

Лабораторная работа «Определение удельного сопротивления проволоки, из которой изготовлена обмотка реостата»

Оборудование: источник тока, амперметр, вольтметр, реостат, соединительные провода, ключ, измерительная линейка.



 **Задание 1.** Определите сопротивление реостата в случае, когда его обмотка полностью включена в электрическую цепь (рис. 26).




Рис. 26

 **Задание 2.** Определите удельное сопротивление проволоки, из которой изготовлена обмотка реостата.

Экспериментальная задача «Определение длины и диаметра медной проволоки»

Оборудование: медная проволока, скрученная в моток, весы с разновесами, источник тока, амперметр, вольтметр, реостат, ключ, соединительные провода.

 **Задание 1.** Используя весы, измерьте массу проволоки. Определите электрическое сопротивление медной проволоки.

 **Задание 2.** Проведите расчёт и определите длину и диаметр проволоки.

§ 10. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

● **10.1.** На рисунке 27 изображены графики зависимости силы тока от напряжения для двух резисторов R_1 и R_2 . Какова будет сила тока в цепи, если эти резисторы соединить последовательно и подключить к источнику тока 12 В? Какова будет сила тока в неразветвлённом участке цепи при параллельном соединении резисторов и подключении их к источнику с таким же напряжением?

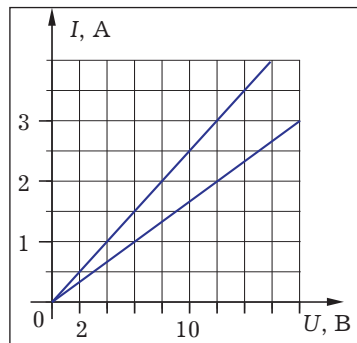


Рис. 27

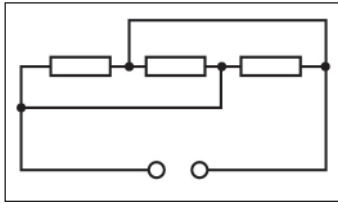


Рис. 28

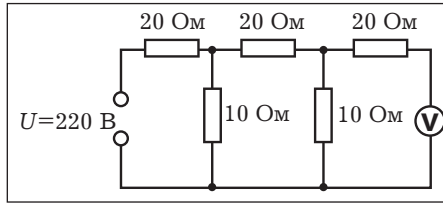


Рис. 29

● **10.2.** Из трёх резисторов собрана электрическая цепь, схема которой изображена на рисунке 28. Чему равно сопротивление электрической цепи, если сопротивление каждого резистора 60 Ом?

● **10.3.** Какое напряжение покажет вольтметр в электрической цепи, схема которой изображена на рисунке 29, если цепь подключена к источнику с напряжением 220 В? Сопротивления резисторов указаны на схеме. Сопротивление вольтметра во много раз больше сопротивления резисторов.

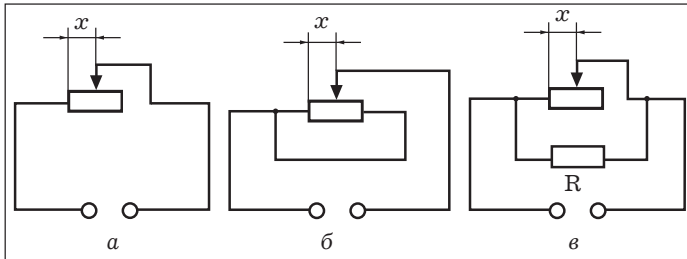


Рис. 30

● **10.4.** Длина обмотки реостата L , его полное сопротивление R . Для каждой из трёх схем включения реостата (рис. 30, а-в) начертите графики зависимости сопротивления цепи $R_{\text{ц}}$ от расстояния x между левой (по рисунку) клеммой реостата и его подвижным контактом ($0 \leq x \leq L$).

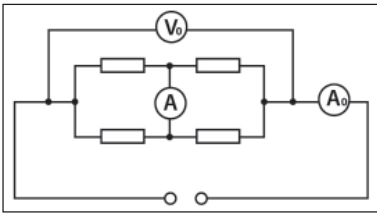


Рис. 31

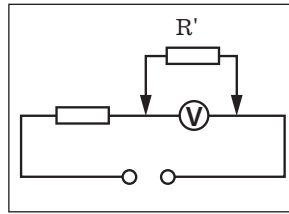


Рис. 32

● **10.5.** Из резисторов с сопротивлением 1, 2, 3 и 4 Ом собрана электрическая цепь, схема которой изображена на рисунке 31. Какой ток течёт через амперметр А, если ток через амперметр A_0

равен 5 А? Вольтметр V_0 показывает 10 В. Измерительные приборы считать идеальными, то есть сопротивление амперметров во много раз меньше сопротивления резисторов, составляющих электрическую цепь, а вольтметр обладает очень большим сопротивлением, в сравнении с сопротивлением резисторов.

● **10.6.** К клеммам электрической цепи, схема которой изображена на рисунке 32, приложено напряжение 9 В. Если к вольтметру подключить параллельно некоторый резистор R' , то показания вольтметра уменьшатся в 2 раза, а сила тока через резистор R увеличится в 2 раза. Какое значение напряжения показывал вольтметр до и после подключения резистора R' ?

● **10.7.** Зависимость силы тока, протекающего через некоторый элемент электрической цепи, от напряжения на этом элементе называют вольт-амперной характеристикой элемента. Лампы накаливания Λ_1 и Λ_2 , имеющие вольт-амперные характеристики, показанные на рисунке 33, соединили последовательно и подключили к источнику с напряжением 12 В. Определите силу тока, протекающего через лампы.

● **10.8.** Что покажет амперметр, включённый в электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке 34? Считать, что сопротивление амперметра во много раз меньше сопротивления резисторов, составляющих электрическую цепь.

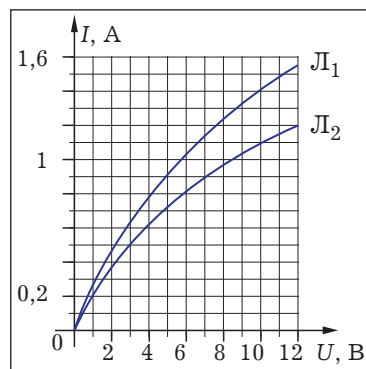


Рис. 33

§ 11. ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ

Рассмотрим способ включения реостата в электрическую цепь, изображённый на рисунке 35.

Подключим верхнюю и нижнюю (по рисунку) клеммы реостата к источнику напряжения $U_{\text{выход}}$. При таком подключении при перемещении скользящего контакта реостата сила тока I в обмотке реостата изменяться не будет. Но будет изменяться величина напряжения между верхней клеммой реостата и скользящим контактом, между скользящим контактом и нижней клеммой (почему?). По этой причине реостат, включённый по такой схеме, часто называют делителем напряжения.

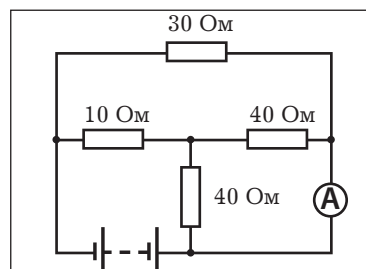


Рис. 34



11.1. Как будет изменяться выходное напряжение $U_{\text{выход}}$ (рис. 36) при перемещении скользящего контакта вверх (по рисунку)?

Лабораторная работа «Определение удельного сопротивления проволоки, из которой изготовлена обмотка реостата»

Оборудование: источник тока, реостат – делитель напряжения, два вольтметра, резистор с известным сопротивлением, ключ, соединительные провода.



Задание 1. Соберите электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке 36. Измерьте входное напряжение, силу тока в обмотке реостата – делителя напряжения. Определите полное сопротивление

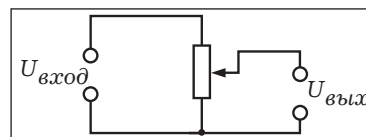


Рис. 35

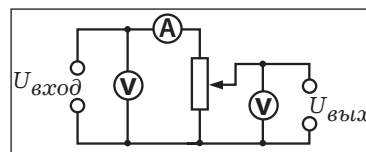


Рис. 36

ние обмотки реостата – делителя напряжения. Выясните, как изменяется выходное напряжение $U_{вых}$ при перемещении скользящего контакта реостата. Проверьте, меняется ли при этом сила тока в обмотке реостата.



Задание 2. Установите выходное напряжение равным половине входного напряжения:

$$U_{вход} = \frac{1}{2} U_{вых}$$

Подключите к выходному напряжению – между скользящим контактом и нижней (по рисунку) клеммой реостата – резистор известного сопротивления. Пронаблюдайте, изменилась ли при этом величина выходного напряжения $U_{вых}$? сила тока I во входной цепи? Если напряжение и сила тока изменились, то объясните, почему.

Зная сопротивление обмотки реостата – делителя напряжения, сопротивление резистора и входное напряжение, вычислите, каким должно быть значение силы тока $I_{расчётн}$ во входной цепи. Сравните это значение $I_{расчётн}$ с показанием амперметра I .

§ 12. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ – «ЧЁРНЫЕ ЯЩИКИ»



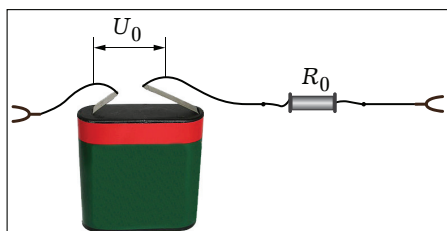
12.1. В «чёрном ящике» с двумя выводами находится электрическая цепь, состоящая из резистора и низковольтной лампы накаливания на подставке (лампа выведена наружу). Выясните, как соединены резистор и лампа. Начертите схему предполагаемой электрической цепи. Чему равно сопротивление резистора и лампы? В вашем распоряжении имеется источник тока, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.



12.2. В «чёрном ящике» с тремя выводами находится электрическая цепь, состоящая из трёх одинаковых резисторов. Известно, что в электрической цепи использована комбинация последовательного и параллельного соединений резисторов; сопротивление между любыми двумя выводами «чёрного ящика» отлично от нуля. Установите электрическую схему «чёрного ящика», определите сопротивление резисторов. В вашем распоряжении имеется источник тока, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.



12.3. В «чёрном ящике» с двумя выводами находится гальванический элемент и резистор R_0 , подсоединённый к одному из полюсов элемента (рис. 37).



Определите напряжение U_0 на гальваническом элементе, считая его постоянным в ходе проведения измерений, и сопротивление R_0 резистора. В вашем распоряжении имеется амперметр, реостат, полное сопротивление обмотки которого известно, ключ, соединительные провода, полоска миллиметровой бумаги.

Рис. 37

§ 13. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗИСТОРА МЕТОДОМ АМПЕРМЕТРА И ВОЛЬТМЕТРА»

Оборудование: источник тока, вольтметр (6 В), миллиамперметр (60 мА), резистор сопротивлением 100–200 Ом, ключ, соединительные провода.



Задание 1. Определите сопротивление R_x резистора, используя для измерения две схемы включения измерительных приборов, как это изображено на рисунке 38, а, б. Сравните полученные результаты. Если они различны, то объясните, почему.

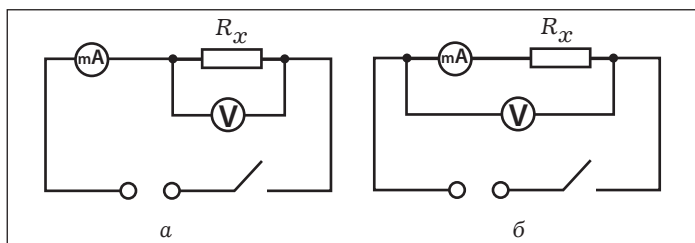


Рис. 38

Оборудование: источник тока, вольтметр (6 В), амперметр (3 А), резистор сопротивлением 0,5–1 Ом, реостат, ключ, соединительные провода.



Задание 2. Определите сопротивление R_x резистора, используя для измерения две схемы включения измерительных приборов, как это изображено на рисунке 39, а, б. Сравните полученные результаты. Если они различны, то объясните, почему.

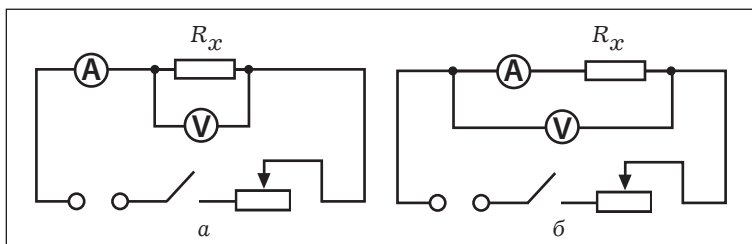


Рис. 39

§ 14. ШУНТЫ И ДОБАВОЧНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Всякий электроизмерительный прибор имеет определённые пределы измерения. Например, максимальная сила тока, которая может быть измерена амперметром, изображённым на рисунке 40, составляет 2 А.



Рис. 40

Как же поступить, если необходимо измерить бóльший ток? Пусть, например, сила тока в цепи достигает 6 А. В таком случае можно параллельно данному амперметру дополнительно подключить ещё два таких же амперметра (рис. 41).

Если сила тока в резисторе R будет составлять 3 А, то каждый из амперметров покажет значение силы тока в 1 А (почему?). При силе тока в резисторе 6 А амперметры покажут по 2 А. Таким образом, мы справимся с задачей измерения силы тока, значение которого превышает предел измерения амперметра. Однако, вряд ли можно признать такое решение рациональным – ведь вместо одного электроизмерительного прибора предлагается использовать несколько¹.

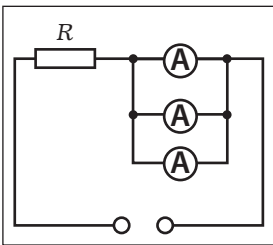


Рис. 41

Упростим решение. Вместо двух нижних (по схеме) дополнительных амперметров (рис. 42) подключим к верхнему амперметру проводник, сопротивление которого в 2 раза меньше сопротивления амперметра. Такой проводник называется *шунтом* (рис. 42).

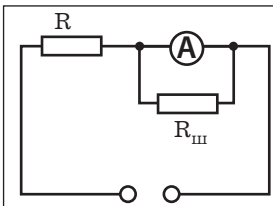


Рис. 42

При подключении к амперметру шунта $R_{ш}$ часть тока будет проходить через амперметр, а часть тока – через шунт. Если в рассматриваемом примере сопротивление шунта в 2 раза меньше сопротивления амперметра, то через шунт будет проходить в 2 раза бóльший ток, чем через амперметр. (Вспомните формулу закона Ома и учтите, что амперметр и шунт находятся под одним напряжением – они соединены параллельно.)

Когда амперметр будет показывать 2 А, через шунт будет проходить ток 4 А, а через резистор – 6 А. Таким образом, с помощью данного шунта *предел измерения амперметра расширен* в 3 раза – с 2 до 6 А.

Шунт с каким электрическим сопротивлением необходимо иметь, чтобы расширить предел измерения амперметра, например, в 10 раз? Ясно, что в этом случае сопротивление шунта должно быть в 9 раз меньше сопротивления амперметра

$$R_{ш} = \frac{R_a}{9},$$

где R_a – сопротивление амперметра.

¹ Например, при необходимости измерения силы тока в 20 А при таком подходе потребуется десять (!) «двухамперных» приборов.

В этом случае через шунт будет идти ток в 9 раз больший, чем через амперметр, а общий ток, проходящий по цепи, будет в 10 раз больше, чем ток, идущий через амперметр.

Теперь можно сформулировать и общее правило подбора шунта к амперметру: если необходимо расширить предел измерения амперметра в n раз, то сопротивление шунта, подключаемого параллельно к амперметру, должно быть в $(n - 1)$ раз меньше сопротивления амперметра:

$$R_{ш} = \frac{R_a}{(n - 1)}.$$

Можно ли расширить предел измерения вольтметра? Вольтметр, как известно, подключается параллельно тому участку цепи, на котором необходимо измерить напряжение (рис. 43). Как быть, если на участке цепи – резисторе R – напряжение больше, чем то, для измерения которого предназначен вольтметр? В этом случае последовательно с вольтметром необходимо включить *добавочное сопротивление* R_d (рис. 44).

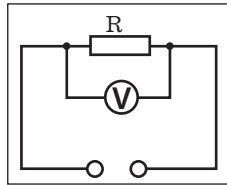


Рис. 43

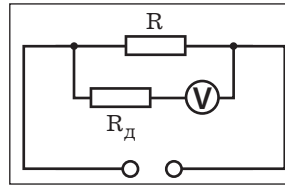


Рис. 44

Какова должна быть величина добавочного сопротивления? Если например, необходимо расширить предел измерения вольтметра в 3 раза, то величина добавочного сопротивления должна быть в 2 раза больше, чем сопротивление вольтметра

$$R_d = 2R_V,$$

где R_V – сопротивление вольтметра.

В таком случае (учтите, что добавочное сопротивление и вольтметр соединены последовательно и вспомните формулу закона Ома) напряжение на добавочном сопротивлении в 2 раза больше напряжения на вольтметре. В результате напряжение на резисторе R (рис. 44) в 3 раза больше напряжения на вольтметре.

Теперь можно сформулировать и общее правило подбора добавочного сопротивления к вольтметру: если необходимо расширить предел измерения вольтметра в n раз, то величина добавочного сопротивления шунта, включаемого последовательно с вольтметром, должна быть в $(n - 1)$ раз больше сопротивления вольтметра:

$$R_d = (n - 1)R_V.$$

Практическая работа «Расчёт и изготовление шунта к амперметру»

Оборудование: источник тока, два амперметра, на одном из которых указано его сопротивление R_a , реостат, микрометр, линейка измерительная, ножницы, медная проволока, соединительные провода, ключ.



Задание 1. Пусть вы решили расширить предел измерения амперметра в $n = 4$ раза. Вычислите сопротивление шунта $R_{ш}$, который вам потребуется. Определите, какова будет цена деления амперметра, снабжённого шунтом.



Задание 2. Измерьте диаметр медной проволоки микрометром и рассчитайте, какой длины проволока вам потребуется для изготовления шунта. Отмерьте с помощью линейки отрезок проволоки, больше рассчитанного на 2–3 см, и отрежьте его. Тщательно зачистите концы проволоки, сделайте петли и подведите их под клеммы амперметра, который необходимо зашунтировать. (Проконтролируйте, чтобы расстояние между петлями точно соответствовало расчётной длине шунта.)

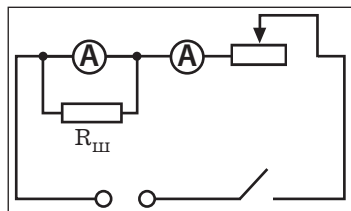


Рис. 45

Соберите электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке 45, включив в неё амперметр, снабжённый шунтом, и контрольный амперметр без шунта. Меняя сопротивление реостата, регулируйте ток в цепи. Занесите показания амперметров в таблицу:

Показание контрольного амперметра, А	0,8	1,2	1,6	2,0
Показание амперметра, снабжённого шунтом, А				

Сделайте вывод – правильно ли вы произвели расчёт шунта.

§ 15. МОЩНОСТЬ И РАБОТА ТОКА

Задачи на расчёт мощности и работы тока

● **15.1.** Для изготовления электронагревателя (включаемого в сеть 220 В) имеется кусок нихромовой проволоки сопротивлением 0,5 кОм. Какой наибольшей мощности нагреватель можно сделать, используя эту проволоку, если максимальная допустимая сила тока в проволоке 2 А?

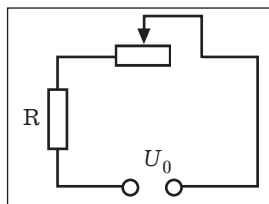


Рис. 46

● **15.2.** Резистор R , сопротивление которого постоянно, и реостат подсоединены к источнику постоянного напряжения U_0 (рис. 46). При силе тока в цепи $I_1 = 2$ А на реостате выделяется мощность $P_1 = 48$ Вт, а при силе тока $I_2 = 5$ А на нём выделяется мощность $P_2 = 30$ Вт. Определите напряжение источника U_0 и сопротивление R резистора. Какая мощность будет выделяться на резисторе R , если подвижный контакт реостата сдвинуть максимально влево (по рисунку)?

● **15.3.** Электрический чайник имеет две нагревательные обмотки. При включении одной из них чайник закипает через 10 минут, при включении другой – через 15 минут. Через сколько времени чайник закипит, если эти обмотки включить вместе: а) параллельно, б) последовательно?

● **15.4.** Если напряжение источника больше напряжения, на которое рассчитана лампа, то для подключения лампы можно использовать одну из электрических цепей, схемы которых изображены на рисунке 47, а, б.

У какой из этих электрических цепей коэффициент полезного действия выше, если в каждом случае лампа горит в нормальном режиме? Напряжение на выходе источника в обоих случаях одинаково.

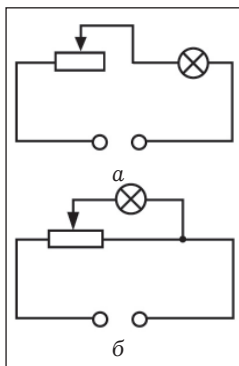


Рис. 47

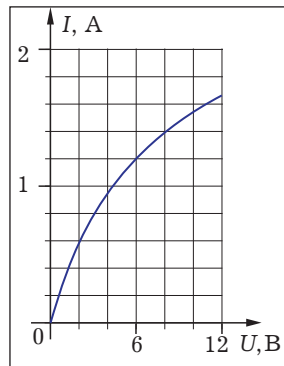



Рис. 48

● **15.5.** На графике (рис. 48) приведена зависимость силы тока, текущего через автомобильную лампочку, от напряжения на ней. Лампочку подключают к источнику постоянного напряжения 12 В последовательно с резистором, имеющим сопротивление 5 Ом. Определите электрическую мощность, выделяющуюся на лампочке.

Лабораторная работа «Изучение зависимости мощности, выделяющейся на резисторе, от силы тока в резисторе»

Оборудование: источник тока, амперметр, вольтметр, реостат, резистор, соединительные провода, ключ.

 **Задание 1.** Соберите электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке 49.

Измерьте силу тока, протекающего через резистор R при различных значениях напряжения на нём. Определите мощность, выделяющуюся на резисторе. Данные занесите в таблицу:

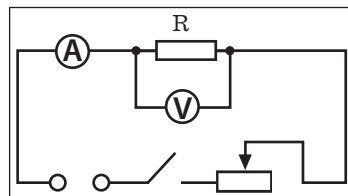


Рис. 49

Напряжение U , В								
Сила тока I , А								
Мощность P , Вт								

Проанализируйте полученные результаты и сделайте вывод – как зависит мощность, выделяющаяся на резисторе, от силы тока, протекающего через резистор.

Экспериментальная задача «Определение сопротивления резистора «тепловым методом»»

Оборудование: источник тока, нагревательная спираль с известным значением сопротивления, проволочный резистор неизвестного сопротивления, калориметр, термометр, часы, сосуд с водой.



Задание 1. Определите сопротивление проволочного резистора.

§ 16. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЕЛИЧИНЫ СИЛЫ ТОКА, ПРИ КОТОРОЙ ПЕРЕГОРАЮТ ПРОВОДНИКИ, ОТ ИХ ДИАМЕТРА»

Оборудование: источник тока, амперметр, реостат, микрометр, набор медных проводников различного диаметра, соединительные провода, ключ.



Задание 1. Измерьте диаметр d образцов медной проволоки без изоляции, имеющихся в вашем распоряжении.



Задание 2. Соберите электрическую цепь, схема которой приведена на рисунке 50.

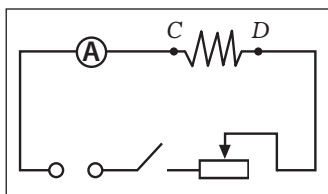


Рис. 50

Между точками C и D в электрическую цепь включите исследуемый образец – кусок медной проволоки без изоляции. Постепенно увеличивая ток в цепи, определите величину силы тока I , при которой проволока плавится – перегорает. Измерения для каждого из образцов определённого диаметра проведите несколько раз. Результаты измерений занесите в таблицу:

Диаметр проволоки d , мм							
Сила тока, при которой перегорает проводник I , А							



Задание 3. Проанализируйте полученные результаты и установите, какова зависимость величины силы тока, при которой перегорают проводники, от их диаметра. Теоретически обоснуйте установленную зависимость.

РАЗДЕЛ 3. ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

§ 17. Ток в металлах и полупроводниках

Лабораторная работа «Снятие вольт-амперной характеристики лампы накаливания»

«Чёрный ящик» с диодом

§ 18. Лабораторная работа «Изучение процесса электролиза»

§ 17. ТОК В МЕТАЛЛАХ И ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Лабораторная работа «Снятие вольт-амперной характеристики лампы накаливания»

Оборудование: источник тока, вольтметр, миллиамперметр или мультиметр, низковольтная лампа накаливания на подставке, реостат, соединительные провода, ключ.



Задание 1. Соберите электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке 51.

Измерьте силу тока, протекающего через спираль лампы при различных значениях напряжения на лампе. Данные занесите в таблицу:

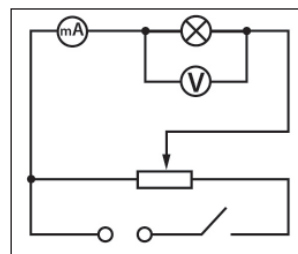


Рис. 51

Напряжение на лампе U , В							
Сила тока в лампе I , мА							

Постройте вольт-амперную характеристику лампы накаливания.



Задание 2. Определите сопротивление спирали лампы накаливания в холодном состоянии.

«Чёрный ящик» с диодом

В «чёрном ящике» с двумя выводами находится электрическая цепь, состоящая из двух резисторов и одного диода. Установите, какова схема электрической цепи. Определите сопротивление резисторов. В вашем распоряжении имеется источник тока, амперметр, вольтметр, реостат, соединительные провода, ключ.

§ 18. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЛИЗА»

Смешаем растворимые соли, кислоты или основания с водой. Под действием молекул воды произойдёт разделение молекул этих веществ на отдельные ионы. В итоге, *электролиты* – водные растворы солей, кислот и оснований – представляют собой «бульон» из положительно и отрицательно заряженных частиц – ионов. Как вы знаете, если в веще-

стве имеются свободные заряженные частицы, то такое вещество является проводником. Таким образом, электролиты – проводники с *ионной проводимостью*.

Особенностью протекания электрического тока в электролитах является то, что направленное (упорядоченное) движение заряженных частиц-ионов приводит к выделению вещества на катоде и аноде электрической цепи. Этот процесс выделения вещества при прохождении тока через электролиты называется *электролизом*.

Оборудование: стеклянный стакан со слабым раствором соляной кислоты, шприц вместимостью 20 мл с обрезанной нижней частью,

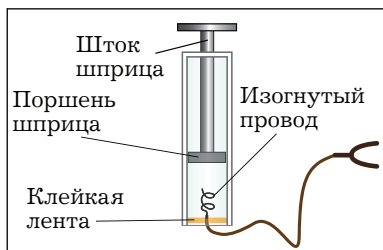


Рис. 52

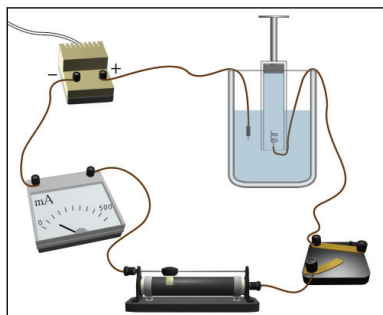


Рис. 53

источник тока, миллиамперметр или мультиметр, реостат, соединительные провода, ключ, штатив с лапкой, секундомер.

К нижней части шприца с помощью клейкой ленты прикрепите провод так, чтобы изогнутая часть провода без изоляции находилась внутри шприца (рис. 52).

Надавив на шток, сместите поршень шприца вниз до нулевой отметки. Поместите шприц в стеклянный стакан со слабым раствором соляной кислоты. Потяните за шток, чтобы поршень шприца сместился до упора вверх и раствор из стакана под действием атмосферного давления заполнил шприц. Закрепите шприц (не вынимая его из раствора) в лапке штатива.

Соберите электрическую цепь, соединив последовательно источник тока, миллиамперметр, реостат, ключ (рис. 53). Провод, идущий от положительного полюса источника тока (анода) опустите непосредственно в стакан с жидкостью. Провод, введённый

внутрь шприца, подключите к отрицательному полюсу источника тока (катоде).

Если замкнуть ключ, то в цепи будет идти ток и на катоде (внутри шприца) начнёт выделяться водород, постепенно вытесняя раствор из шприца. Это позволит экспериментально изучить процесс электролиза раствора соляной кислоты.



Задание 1. Выясните, как масса вещества, выделяющегося при электролизе, зависит от продолжительности процесса электролиза (от времени прохождения тока через электролит).



Задание 2. Выясните, как масса вещества, выделяющегося при электролизе, зависит от силы тока, проходящего через электролит.

РАЗДЕЛ 4. МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 19. Лабораторная работа «Изучение взаимодействия керамических магнитов»

§ 20. Лабораторная работа «Изучение зависимости силы взаимодействия проводника с током с дугообразным магнитом от силы тока в проводнике»

§ 21. Практическая работа «Изготовление и градуирование амперметра»

§ 19. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МАГНИТОВ»

Оборудование: комплект керамических магнитов, алюминиевые, медные или свинцовые пластины, весы с разновесами, динамометр демонстрационный, полоска миллиметровой бумаги.

Если на пластмассовый стержень 1 (рис. 54) надеть керамические магниты 2, обратив их одноимёнными полюсами навстречу друг другу, и расположить стержень с магнитами вертикально, то верхний магнит будет находиться в равновесии, поскольку действующая на него сила тяжести скомпенсирована силой отталкивания магнитов. Утяжелим верхний магнит медной, свинцовой или алюминиевой шайбой 3 (масса шайбы 20–25 г). Тогда расстояние между магнитами уменьшится и это приведёт к увеличению силы отталкивания, которая вновь уравновесит возросшую силу тяжести.

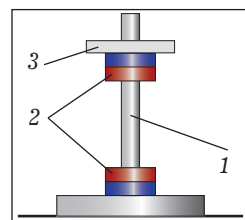



Рис. 54

 19.1. Почему для утяжеления верхнего магнита предложено использовать медные, свинцовые или алюминиевые шайбы?

 19.2. Как изменяется потенциальная энергия взаимодействия магнитов при их сближении?



Задание 1. Определите массу верхнего магнита и массу каждой шайбы. Постепенно нагружая верхний магнит шайбами, измерьте в каждом случае расстояние h между магнитами. Полученные данные занесите в таблицу:

Число шайб	0	1	2	3	4	5	6
Общая масса верхнего магнита и шайб m , г							
Сила отталкивания магнитов F , мН							
Расстояние между магнитами h , мм							

Постройте график зависимости силы отталкивания магнитов от расстояния между ними.



Задание 2. Изучите зависимость силы притяжения магнитов от расстояния между ними.

§ 20. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СИЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОВОДНИКА С ТОКОМ С ДУГООБРАЗНЫМ МАГНИТОМ ОТ СИЛЫ ТОКА В ПРОВОДНИКЕ»

Оборудование: источник тока, реостат, амперметр, постоянный дугообразный магнит, ключ, соединительные провода, штатив с лапкой, П-образная рамка из медной проволоки, весы с разновесами, линейка измерительная.

Закрепите в лапке штатива наконечники двух соединительных проводов и подвесьте к ним П-образную рамку из медной проволоки так, чтобы она свободно могла совершать колебательное движение в вертикальной плоскости. Включите рамку в электрическую цепь и расположите рядом с горизонтальным проводником рамки постоянный дугообразный магнит (рис. 55). Под действие силы $F_{\text{магн}}$, действующей на проводник с током со стороны магнитного поля, рамка повернётся на некоторый угол вокруг оси вращения O и сместится на расстояние x от вертикали (рис. 56). (Помимо силы $F_{\text{магн}}$ на рамку действует сила тяжести $F_{\text{тяж}}$ и сила $F_{\text{опор}}$ со стороны опоры – оси вращения O . Эти силы также показаны на рисунке 56.)

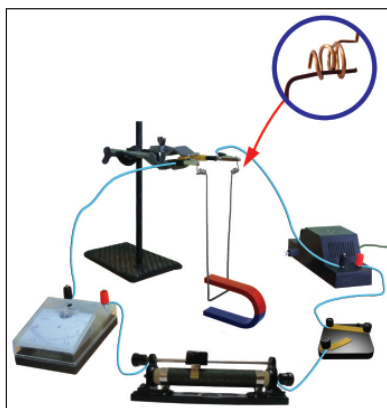


Рис. 55

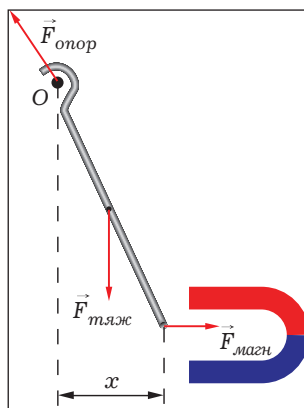


Рис. 56



Задание 1. Измерьте отклонение рамки от вертикали x при различных значениях силы тока I в рамке.



Задание 2. Выясните, как зависит сила взаимодействия $F_{\text{магн}}$ проводника с током с дугообразным магнитом от силы тока I в проводнике.

§ 21. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ГРАДУИРОВАНИЕ АМПЕРМЕТРА»

Оборудование: источник тока, реостат, амперметр лабораторный, вольтметр лабораторный, резистор неизвестного сопротивления, катушка-моток, компас, ключ, соединительные провода, деревянная или пластмассовая линейка измерительная, штатив с муфтой и лапкой, кусочки ластика.

Закрепите горизонтально на небольшой высоте в лапке штатива линейку. С помощью кусочков ластика укрепите на линейке в вертикальной плоскости катушку-моток и рядом с катушкой поставьте компас (рис. 57).



Рис. 57

Расположите компас так, чтобы первоначально стрелка компаса была ориентирована вдоль плоскости катушки – по направлению горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.

Подключите катушку-моток к источнику тока вместе с амперметром, реостатом и ключом. Если замкнуть цепь, то по катушке будет проходить ток и вокруг катушки возникнет магнитное поле. В результате стрелка компаса отклонится от первоначального положения на некоторый угол.



Задание 1. Измерьте угол отклонения α стрелки компаса при различных значениях силы тока I в катушке. Данные занесите в таблицу:

Сила тока в катушке I , А							
Угол отклонения стрелки компаса α , °							

Постройте график зависимости угла отклонения α стрелки компаса от силы тока I в катушке. Располагая графиком, вы можете использовать данную экспериментальную установку в качестве прибора для измерения силы тока в цепи.



Задание 2. Определите сопротивление резистора. (При выполнении этого задания лабораторный амперметр использовать нельзя!)

Часть 2. Указания

Мы ничего не раздаём с такой щедростью, как советы.

*Франсуа де Ларошфуко (1613–1680),
французский писатель-моралист*

К 1.1. Воспользуйтесь формулой (1.5).

К 1.2. Подумайте, можно ли данный процесс считать процессом, происходящим при постоянном давлении.

К 1.3. Расширение газа при постоянной температуре может осуществляться, если в процессе расширения газу передавать некоторое количество теплоты. Вспомните, каков метод расчёта работы переменной силы (см. § 12 пособия «Физика в опытах и задачах» для 7 класса¹).

К 2.1. Вспомните, как вычисляется количество теплоты, выделяющееся при сгорании топлива.

К 2.2. 1 л. с. = 735,5 Вт.

К 2.3. КПД двигателя равен отношению механической работы, совершенной двигателем, к количеству теплоты, выделившемуся при сгорании топлива, выраженному в процентах.

К 2.4. Кинетическая энергия тела E_k массой m , движущегося со скоростью v , рассчитывается по формуле

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

К экспериментальной задаче «Определение КПД “паровой пушки”».

1. Если расположить пробирку вертикально, то при выстреле пробка поднимется на некоторую высоту.

2. Кинетическая энергия тела E_k массой m , движущегося со скоростью v , рассчитывается по формуле

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

К 3.2. Количество теплоты Q , необходимое для повышения температуры тела массой m при его нагревании на Δt , рассчитывается, как известно, по формуле

$$Q = mc\Delta t,$$

где c – удельная теплоёмкость вещества тела.

¹ Андрюшечкин, С.М. Физика в опытах и задачах: факультативный курс к учебнику «Физика». 7 кл. / С.М. Андрюшечкин. – М. : Баласс, 2018. – 96 с.

При решении задач удобно также использовать понятие теплоёмкости тела C :

$$C = mc.$$

Тогда

$$Q = C\Delta t.$$

К 3.3. Учтите, что при опускании детали в термос, до краёв наполненный водой, часть воды выльется из термоса.

К 3.4. Ясно, что в основу решения задачи должен быть положен закон сохранения энергии. Вода, находящаяся в каком-либо калориметре, может отдать или получить некоторое количество теплоты, но общее количество теплоты равно нулю.

К 3.5. Время нагрева определяется мощностью нагревателя и тем количеством теплоты, которое необходимо передать баку с водой, чтобы его температура повысилась на определённую величину.

К 3.6. При проведении расчётов учтите, что 1 фунт (английский) равен 0,454 кг, 1 фут (английский) равен 0,3048 м. Пересчёт температуры из градусов Фаренгейта в градусы Цельсия производится по формуле

$$t\text{ }^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(t\text{ }^{\circ}\text{F} - 32).$$

К лабораторной работе «Определение удельной теплоёмкости свинца». Насыпьте в картонный цилиндр свинцовую дробь, закройте цилиндр. Расположите цилиндр вертикально, а затем резко поверните вокруг горизонтальной оси на 180° . Изменится ли при этом температура свинца? Если да, то почему? От чего будет зависеть величина изменения температуры свинца?

К лабораторной работе «Определение КПД нагревателя-спиртовки». КПД нагревателя-спиртовки равен отношению количества теплоты, полученного водой при нагревании, к количеству теплоты, выделившемуся при сгорании топлива, выраженному в процентах.

К лабораторной работе «Оценка удельной теплоты сгорания топлива». Для определения удельной теплоты сгорания топлива необходимо знать массу топлива и количество теплоты, выделившееся при сгорании топлива.

К 4.1. В течение времени τ_1 разность температур между воздухом в комнате и кастрюлей была постоянна и составляла 25°C . В течение времени τ_2 (так как вода в кастрюле нагревается только на 1°C) разность температур между воздухом в комнате и кастрюлей также практически постоянна. Поэтому мы вправе считать, что за счёт теплообмена кастрюле и её содержимому в течение всего эксперимента ежесекундно передаётся одинаковое количество теплоты.

К 4.2. Плотность потока солнечной энергии (измеряется в кВт/м²) показывает, какая мощность световой энергии приходится на единицу площади. Так как коэффициент отражения снега близок к 0,9, то только 10 % падающей световой энергии поглощается снегом.

К 4.3. Если не весь лёд растаял при добавлении тёплой воды, значит, вода, добавленная в сосуд, остынет до 0 °С. Учтите также, что на лёд действует архимедова сила.

К 4.4. Как только в переохлаждённой воде начнётся процесс кристаллизации – будет происходить выделение энергии. Эта энергия пойдёт как на нагревание образовавшегося льда от температуры – 10 °С до температуры 0 °С, так и на нагревание оставшейся воды до 0 °С.

К 4.5. При составлении уравнения теплового баланса необходимо учесть, что количество теплоты, отданное горячей водой, идёт не только на плавление кубика льда, но и на нагревание образовавшейся «ледяной» воды до температуры теплового равновесия.

К лабораторной работе «Определение удельной теплоты растворения поваренной соли в воде». Необходимо составить уравнение теплового баланса.

К экспериментальной задаче «Определение процентного содержания воды в мокром снеге (в начале эксперимента)». Необходимо проанализировать, какие тепловые процессы протекают в данном случае, и составить уравнение теплового баланса.

К лабораторной работе «Определение удельной теплоты кристаллизации парафина». Из графика зависимости температуры парафина от времени при его охлаждении можно определить – на сколько градусов понижается температура жидкого парафина каждую секунду. Так как удельная теплоёмкость жидкого парафина известна, то можно определить, какое количество теплоты расплавленный парафин выделяет в окружающую среду в единицу времени.

К 5.1. Рассмотрим, какие тепловые процессы происходят в теплообменнике:

- водяной пар, идущий по змеевику, конденсируется;
- вода, образовавшаяся при конденсации пара, охлаждается;
- вода, проходящая по трубе теплообменника, нагревается.

К 5.2. При образовании льда выделяется энергия, которая расходуется на процесс парообразования. При быстром откачивании пара теплообменником с окружающей средой можно пренебречь.

К 5.3. Вода будет кипеть, и будет образовываться пар до тех пор, пока температура воды не понизится до 100 °С (температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении).

К 5.4. Процесс кипения воды начинается тогда, когда давление насыщенного водяного пара в пузырьке превышает внешнее давление. Очевидно, что первоначально температура кипения воды в подземном резервуаре гейзера больше 100 °С.

К экспериментальной задаче «Определение удельной теплоты конденсации водяного пара при температуре 100 °С». Рассмотрим, какие тепловые процессы происходят в ходе эксперимента:

- вода, находящаяся в калориметре, нагревается;
- металлический стаканчик калориметра нагревается;
- водяной пар конденсируется;
- вода, образовавшаяся при конденсации пара, охлаждается.

К практической работе «Определение относительной влажности воздуха и массы водяного пара в учебном кабинете». Вспомните, каково устройство психрометра и как с его помощью определяют относительную влажность.

К 6.2. Даже если из двух металлических гильз заряжена только одна, а вторая электрически нейтральна, то гильзы будут взаимодействовать.

К 6.3. Если поместить металлический предмет в электрическое поле, то в металле произойдёт перераспределение свободных зарядов.

К лабораторной работе «Определение силы электрического взаимодействия». Напомним условие равновесия рычага: рычаг находится в равновесии, если произведение модуля силы, вращающей рычаг по часовой стрелке, на плечо силы равно произведению модуля силы, вращающей рычаг против часовой стрелки, на плечо этой силы. (Плечо силы – это расстояние от оси вращения до линии действия силы.)

К 7.1. Заряд, прошедший по цепи, может быть рассчитан, исходя из формулы, определяющей силу тока.

К 7.2. Напомним метод расчёта пути при неравномерном движении: «Путь, пройденный телом, численно равен площади геометрической фигуры под графиком скорости тела за время его движения».

К 7.4. Площадь круга s рассчитывается по формуле

$$s = \frac{\pi d^2}{4},$$

где d – диаметр окружности.

К 9.1. Электрическое сопротивление медного проводника зависит от его длины и площади поперечного сечения проводника.

К 9.2. Необходимо воспользоваться формулой закона Ома и учесть, что сопротивление нихромовой проволоки зависит от её длины и площади поперечного сечения проволоки.

К лабораторной работе «Определение удельного сопротивления проволоки, из которой изготовлена обмотка реостата». Как известно, сопротивление проводника зависит от его длины, площади поперечного сечения проводника и удельного сопротивления вещества, из которого изготовлен проводник. Таким образом, основной проблемой при определении удельного сопротивления проволоки, из которой изготовлена обмотка реостата, является проблема определения длины проволоки, а также её диаметра.

К экспериментальной задаче «Определение длины и диаметра медной проволоки». Масса проволоки зависит от её плотности и объёма. Сопротивление проволоки определяется её удельным сопротивлением, длиной и площадью поперечного сечения.

К 10.1. Определите сопротивление резисторов, используя графики зависимости силы тока от напряжения (рис. 27). Примените формулы для расчёта сопротивления при последовательном и параллельном соединении проводников и формулу закона Ома.

К 10.2. Необходимо выяснить, как – последовательно или параллельно – соединены резисторы.

К 10.3. Если сопротивление вольтметра во много раз больше сопротивления резисторов, то через вольтметр будет протекать пренебрежимо малый ток. Подумайте, как этот факт можно использовать при расчёте сопротивления электрической цепи.

К 10.4. Используйте формулы для расчёта сопротивления электрической цепи при последовательном и параллельном соединении проводников.

К 10.5. Для того чтобы определить показания амперметра A , необходимо установить, какие токи текут через резисторы. Обдумайте, как соединены резисторы, составляющие электрическую цепь.

К 10.6. Необходимо использовать соотношения между силой тока и напряжением для последовательного и параллельного соединения проводников.

К 10.7. Учтите, что при последовательном соединении ламп сила тока в лампах одинакова, а сумма напряжений на лампах равна 12 В.

К 10.8. Так как сопротивление амперметра во много раз меньше сопротивления резисторов, то при расчёте сопротивления электрической цепи его можно не учитывать.

К 12.1. Элементы электрической цепи могут быть соединены последовательно или параллельно. Вспомните, каковы основные закономерности последовательного и параллельного соединения проводников.

К 12.2. Начертите электрические схемы всех возможных вариантов соединения трёх резисторов. Проведите теоретический расчёт сопротивления между отдельными выводами «чёрного ящика» для различных вариантов соединения резисторов.

К 12.3. Если к выводам «чёрного ящика» подключить реостат и амперметр, то резистор, реостат и амперметр будут соединены последовательно, а сумма напряжений на резисторе и на реостате будет равна напряжению U_0 гальванического элемента.

К лабораторной работе «Определение сопротивления резистора методом амперметра и вольтметра». При анализе результатов лабораторной работы учтите, что электроизмерительные приборы обладают некоторым сопротивлением, по обмоткам приборов проходит ток.

К 15.1. Рассчитайте, каково должно быть сопротивление нагревателя, чтобы сила тока не превышала 2 А.

К 15.2. Так как резистор и реостат соединены последовательно, то при решении задачи следует использовать известные вам соотношения для силы тока и напряжения, выполняющиеся в случае последовательного соединения проводников.

К 15.3. Воспользуйтесь формулой закона Джоуля и Ленца и примените формулы для расчёта сопротивления при параллельном и последовательном соединении проводников.

К 15.4. КПД данных электрических цепей можно определить как отношение полезной электрической мощности, выделяющейся на лампе, к полной электрической мощности, выделяющейся во всех элементах электрической цепи.

К 15.5. Постройте график зависимости силы тока, протекающего через резистор, от напряжения на резисторе. Учтите, что при последовательном соединении лампочки и резистора сумма напряжений на лампочке и на резисторе равна напряжению источника, а через лампочку и резистор протекает одинаковый ток.

К лабораторной работе «Изучение зависимости мощности, выделяющейся на резисторе, от силы тока в резисторе». Одним из приёмов анализа экспериментальных результатов является построение графика зависимости одной физической величины от другой.

К лабораторной работе «Установление зависимости величины силы тока, при которой перегорают проводники, от их диаметра». При прохождении тока по проводнику его температура повышается, возникает теплообмен с окружающей средой. Количество теплоты, передаваемое проводником в окружающую среду за единицу времени, очевидно, опре-

деляется площадью поверхности проводника. Мощность тока, в свою очередь, зависит от квадрата силы тока.

К лабораторной работе «Снятие вольт-амперной характеристики лампы накаливания». При повышении напряжения, подаваемого на лампу, увеличивается ток в спирали, что ведёт к повышению её температуры. С ростом температуры возрастает и сопротивление спирали лампы, так как удельное сопротивление металлов зависит от температуры.

К заданию «Чёрный ящик» с диодом». Учтите, что диод обладает односторонней проводимостью.

К лабораторной работе «Изучение процесса электролиза». Масса водорода, выделяющегося при электролизе раствора соляной кислоты, может быть определена по объёму газа, скапливающегося в шприце.

К лабораторной работе «Изучение зависимости силы взаимодействия проводника с током с дугообразным магнитом от силы тока в проводнике». Напомним условие равновесия рычага: рычаг находится в равновесии, если произведение модуля силы, вращающей рычаг по часовой стрелке, на плечо силы равно произведению модуля силы, вращающей рычаг против часовой стрелки, на плечо этой силы. (Плечо силы – это расстояние от оси вращения до линии действия силы.)

Часть 3. Решения и ответы¹

Наука есть не только знание, но и сознание, то есть умение пользоваться знанием как следует.

*Василий Осипович Ключевский (1841–1911),
русский историк*

1.1. Объём газа при расширении увеличился в 3 раза, значит,

$$V_2 = 3V_1,$$

где V_1 – первоначальный объём газа,

V_2 – объём газа по завершении расширения.

Изменение объёма газа ΔV равно

$$\Delta V = V_2 - V_1,$$

$$\Delta V = 2V_1.$$

Так как расширение газа происходило при постоянном давлении, то работа газа $A_{газ}$ равна

$$A_{газ} = p\Delta V.$$

$$A_{газ} = 2pV_1.$$

$$A_{газ} = 2 \text{ кДж.}$$

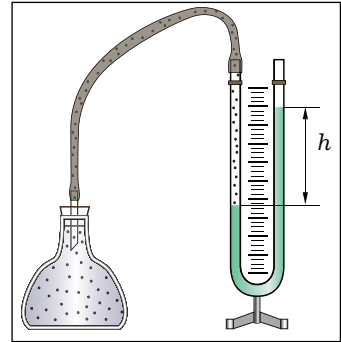


Рис. 58

1.2. Давление столба жидкости p рассчитывается по формуле:

$$p = \rho gh,$$

где ρ – плотность жидкости, для воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$,

$g = 9,8 \text{ Н/кг}$,

h – разность высот жидкости в коленах жидкостного манометра (рис. 58).

Пусть, например, $h = 10 \text{ см}$, тогда $p = 1 \text{ кПа}$. Таким образом, давление воздуха в колбе больше атмосферного давления всего на 1%. Следовательно, можно считать, что при расширении давление воздуха в колбе практически неизменно и для расчёта работы газа $A_{газ}$ мы вправе использовать формулу (1.5):

$$A_{газ} = p\Delta V,$$

где p – величина атмосферного давления, определяемая по барометру-анероиду,

ΔV – изменение объёма воздуха, которое определяется смещением жидкости $\frac{h}{2}$ в левом колене жидкостного манометра и площадью поперечного сечения s трубки манометра.

¹ При анализе выполнения лабораторных работ и решения экспериментальных задач вопросы, связанные с определением абсолютной погрешности измерений, с расчётом относительной погрешности измерений, специально не обсуждаются. При необходимости вы можете обратиться к справочным таблицам, расположенным в конце пособия.

$$\Delta V = s \frac{h}{2}.$$

Площадь поперечного сечения s трубки манометра несложно определить, измерив внутренний диаметр d трубки манометра:

$$s = \frac{\pi d^2}{4}.$$

1.3. Если расширение газа происходит без теплообмена с окружающей средой, то работа совершается газом за счёт его внутренней энергии. Вследствие этого температура газа уменьшается. Поэтому на рисунке 5 график *a* проходит ниже графика *б* – ведь при более низкой температуре давление газа уменьшается.

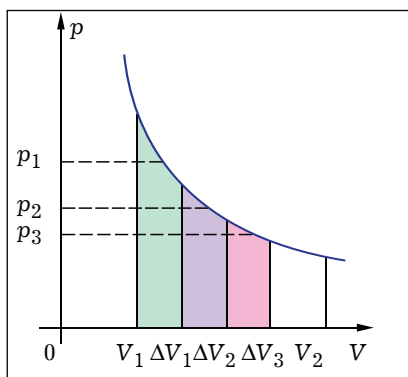


Рис. 59

В обоих случаях (рис. 5, *a*, *б*) расширение газа происходит не при постоянном давлении. Значит, для расчёта работы газа мы не можем воспользоваться формулой (1.5)

$$A_{газ} = p\Delta V$$

при расширении газа от объёма V_1 до объёма V_2 (рис. 59).

Для расчёта работы газа поступим следующим образом:

1. Разделим всё изменение объёма газа от V_1 до V_2 на *очень малые изменения объёма* $\Delta V_1, \Delta V_2, \Delta V_3$ и так далее (рис. 59).

2. Так как при очень малом изменении

объёма газа ΔV_1 его давление p_1 неизменно, то для расчёта работы газа $A_{газ1}$, совершаемой им *при очень малом изменении объёма* ΔV_1 , воспользуемся формулой (1.5):

$$A_{газ1} = p_1\Delta V_1.$$

Аналогично

$$A_{газ2} = p_2\Delta V_2,$$

$$A_{газ3} = p_3\Delta V_3$$

и так далее.

3. Для расчёта работы газа $A_{газ}$ при его расширении от объёма V_1 до объёма V_2 просуммируем работы $A_{газ1}, A_{газ2}, A_{газ3}$ и так далее:

$$A_{газ} = A_{газ1} + A_{газ2} + A_{газ3} + \dots$$

Из рисунка 59 видно, что работа $A_{газ1}$ численно равна площади прямоугольника со сторонами p_1 и ΔV_1 , работа $A_{газ2}$ численно равна площади прямоугольника со сторонами p_2 и ΔV_2 и так далее. Обобщая наши рассуждения, мы приходим к методу расчёта работы, совершаемой газом при его расширении.

Работа, совершаемая газом при его расширении, численно равна площади геометрической фигуры под графиком зависимости давления газа от его объёма (от начального до конечного значения объёма газа).

Таким образом, чтобы оценить, во сколько раз работа газа при его расширении при постоянной температуре (рис. 5, б) больше работы газа в процессе его расширения без теплообмена с окружающей средой (рис. 5, а), необходимо сравнить площади соответствующих геометрических фигур. Для сравнения площадей фигур можно заняться подсчётом числа клеток, составляющих фигуры, либо (что интереснее) вырезать эти геометрические фигуры и взвесить их.

2.1. Пусть для приготовления m килограммов горючей смеси было использовано m_c килограммов спирта и m_k килограммов керосина. Очевидно, что

$$m = m_c + m_k. \quad (1)$$

Если удельная теплота сгорания горючей смеси, спирта и керосина равна соответственно q , q_c , q_k , то

$$qm = q_c m_c + q_k m_k. \quad (2)$$

Из соотношений (1) и (2) имеем:

$$\frac{m_c}{m} = \frac{q_k - q}{q_k - q_c}.$$
$$\frac{m_c}{m} = 0,125.$$

Таким образом, горючая смесь содержит (по массе) 12,5 % спирта и 87,5 % керосина. (Так как плотность спирта и керосина одинаковы, то для приготовления горючей смеси к 1 объёмной доле спирта следует добавить 7 объёмных долей керосина.)

Ответ: горючая смесь содержит (по массе) 12,5 % спирта и 87,5 % керосина.

2.2. Как известно, КПД теплового двигателя рассчитывается по формуле

$$\text{КПД} = \frac{A}{Q_1} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где A – механическая работа, совершённая двигателем,

Q_1 – количество теплоты, выделившееся при сгорании топлива.

$$A = Nt, \quad (2)$$

где N – мощность двигателя,

t – время работы двигателя.

$$Q_1 = qm, \quad (3)$$

где q – удельная теплота сгорания топлива,

m – масса топлива.

Из соотношений (1) – (3) получим:

$$m = \frac{Nt100 \%}{q\text{КПД}} .$$
$$m = 2,8 \text{ т.}$$

Ответ: $m = 2,8 \text{ т.}$

2.3. КПД двигателя равен:

$$\text{КПД} = \frac{A}{Q_1} \cdot 100 \% , \quad (1)$$

$$A = Nt, \quad (2)$$

Время движения автомобиля t легко определить:

$$t = \frac{s}{v} , \quad (3)$$

где s – путь, пройденный автомобилем,

v – средняя скорость движения автомобиля.

$$Q_1 = qm. \quad (4)$$

Массу топлива m , израсходованного за время движения автомобиля, не составляет труда определить:

$$m = \rho V, \quad (5)$$

где ρ – плотность топлива,

V – объём израсходованного топлива.

Из соотношений (1) – (5) получим:

$$\text{КПД} = \frac{Ns}{q\rho Vv} 100 \% .$$

$$\text{КПД} = 19 \% .$$

Ответ: КПД = 19 %.

2.4. Количество теплоты Q , выделяющееся при сгорании пороха, определяется удельной теплотой сгорания пороха q и его массой m_n :

$$Q = qm_n, \quad (1)$$

Кинетическая энергия E_k снаряда массой m_c , движущегося со скоростью v , равна:

$$E_k = \frac{m_c v^2}{2}. \quad (2)$$

По условию задачи на разгон снаряда расходуется 5 % энергии, выделяющейся при сгорании пороха. Составим пропорцию:

$$Q - 100 \% ,$$

$$E_k - 5 \% .$$

Из данной пропорции с учётом соотношений (1) и (2) получим:

$$v = \sqrt{\frac{0,1qm_n}{m_c}} .$$

$$v = 300 \text{ м/с.}$$

Ответ: $v = 300 \text{ м/с.}$

Экспериментальная задача «Определение КПД «паровой пушки»». В процессе нагревания воды в пробирке образуется водяной пар, который, расширяясь, совершит работу. Часть этой работы (назовём её полезной работой $A_{\text{полезн}}$) будет затрачена на сообщение пробке кинетической энергии E_k .

$$A_{\text{полезн}} = E_k. \quad (1)$$

При движении пробки вертикально вверх её кинетическая энергия в верхней точке траектории будет равна нулю, но в этот момент пробка обладает потенциальной энергией E_n . Очевидно, что в соответствии с законом сохранения энергии

$$E_k = E_n. \quad (2)$$

КПД «паровой пушки» при «выстреле» определим как отношение полезной работы $A_{\text{полезн}}$, совершённой паром в процессе его расширения, к количеству теплоты Q_1 , выделившемуся при сгорании спирта, выраженному в процентах:

$$\text{КПД} = \frac{A_{\text{полезн}}}{Q_1} 100 \%. \quad (3)$$

С учётом соотношений (1) и (2) выражение (3) запишем в виде

$$\text{КПД} = \frac{E_n}{Q_1} 100 \%. \quad (4)$$

Потенциальная энергия E_n пробки массой $m_{\text{пр}}$ в верхней точке траектории на высоте h равна:

$$E_n = m_{\text{пр}} gh. \quad (5)$$

Количество теплоты, выделившееся при сгорании спирта, определим по известной формуле:

$$Q = qt. \quad (6)$$

Соотношения (1) – (6) позволяют записать выражение (4) в окончательном виде:

$$\text{КПД} = \frac{m_{\text{пр}} gh}{qt} 100 \%.$$

Высоту подъёма пробки h , её массу $m_{\text{пр}}$ нетрудно измерить. Также можно определить и массу сгоревшего спирта t , измерив массу спиртовки перед началом опыта и по его окончании (после вылета пробки).

Кинетическая энергия пробки E_k в момент её вылета из пробирки равна:

$$E_k = \frac{m_{\text{пр}} v^2}{2}, \quad (7)$$

где v – скорость вылета пробки из пробирки.

Применив закон сохранения энергии [соотношение (2)], а также выражения (5) и (7), мы легко определим скорость вылета пробки из пробирки:

$$v = \sqrt{2gh}.$$

3.2. Используя понятие теплоёмкости тела, запишем уравнения теплового баланса (закон сохранения энергии) для процесса нагревания первой и второй бутылочек соответственно:

$$C_m (t_1 - t) + C_б (t_1 - t_0) = 0, \quad (1)$$

$$C_m (t_x - t_1) + C_б (t_x - t_0) = 0, \quad (2)$$

где C_m и $C_б$ – теплоёмкости термоса и бутылочки соответственно,

t_x – температура, до которой нагреется вторая бутылочка.

Из соотношений (1) и (2) имеем:

$$C_б (t_1 - t_0) = C_m (t - t_1), \quad (3)$$

$$C_б (t_x - t_0) = C_m (t_1 - t_x). \quad (4)$$

Разделив почленно уравнение (4) на уравнение (3), имеем:

$$\frac{t_x - t_0}{t_1 - t_0} = \frac{t_1 - t_x}{t - t_1}. \quad (5)$$

Отсюда

$$t_x = \frac{t_1^2 - 2t_0t_1 + t_0t}{t - t_0}.$$

$$t_x \approx 33 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Примечание. Если затруднительно вести решение задачи «в общем виде», то подставьте в соотношение (5) численные значения температур, указанные в условии задачи

$$\frac{t_x - 18}{18} = \frac{36 - t_x}{4}$$

и решите данное уравнение.

Ответ: $t_x \approx 33 \text{ } ^\circ\text{C}$.

3.3. Пусть первоначально объём воды в термосе равен $V_в$. Если объём металлической детали равен $V_м$, то после опускания одной детали в термос часть воды из него выльется и в термосе останется объём воды $V_в'$:

$$V_в' = V_в - V_м. \quad (1)$$

При проведении эксперимента с двумя деталями в термосе останется объём воды $V_в''$:

$$V_в'' = V_в - 2V_м. \quad (2)$$

Если $\rho_м$ и $\rho_в$ – плотность металла и плотность воды соответственно, то масса металлической детали $m_м$, масса воды $m_в'$, оставшейся в термосе после опускания одной детали, и масса воды $m_в''$, оставшейся в термосе после опускания двух деталей, могут быть определены следующим образом:

$$m_м = \rho_м V_м, \quad (3)$$

$$m_в' = \rho_в V_в', \quad (4)$$

$$m_в'' = \rho_в V_в''. \quad (5)$$

Будем считать, что при опускании детали в термос количество теплоты, выделяющееся при охлаждении детали, идёт только на нагревание воды, оставшейся в термосе. Тогда уравнение теплового баланса (закон сохранения энергии) для рассматриваемых экспериментов можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} m_{\text{в}}'c_{\text{в}}(t_1 - t_0) + m_{\text{м}}c_{\text{м}}(t_1 - t) &= 0, \\ m_{\text{в}}''c_{\text{в}}(t_2 - t_0) + 2m_{\text{м}}c_{\text{м}}(t_2 - t) &= 0. \end{aligned}$$

или

$$m_{\text{в}}'c_{\text{в}}(t_1 - t_0) = m_{\text{м}}c_{\text{м}}(t - t_1), \quad (6)$$

$$m_{\text{в}}''c_{\text{в}}(t_2 - t_0) = 2m_{\text{м}}c_{\text{м}}(t - t_2). \quad (7)$$

С учётом соотношений (1) – (5) выражения (6) и (7) примут вид:

$$\rho_{\text{в}}(V_{\text{в}} - V_{\text{м}})c_{\text{в}}(t_1 - t_0) = \rho_{\text{м}}V_{\text{м}}c_{\text{м}}(t - t_1), \quad (8)$$

$$\rho_{\text{в}}(V_{\text{в}} - 2V_{\text{м}})c_{\text{в}}(t_2 - t_0) = 2\rho_{\text{м}}V_{\text{м}}c_{\text{м}}(t - t_2). \quad (9)$$

Уравнение (8) или уравнение (9) позволило бы определить удельную теплоёмкость металла, если бы были известны объём воды $V_{\text{в}}$ и объём металла $V_{\text{м}}$. Но ни вместимость термоса $V_{\text{в}}$, ни объём детали $V_{\text{м}}$ не указаны. Для преодоления этого затруднения попробуем определить – во сколько объём воды $V_{\text{в}}$ больше объёма металла $V_{\text{м}}$. Для этого разделим почленно уравнение (8) на уравнение (9). Тогда

$$\frac{(V_{\text{в}} - V_{\text{м}})(t_1 - t_0)}{(V_{\text{в}} - 2V_{\text{м}})(t_2 - t_0)} = \frac{(t - t_1)}{2(t - t_2)}.$$

Для упрощения дальнейшего хода решения подставим в последнее выражение численные значения температур t , t_2 , t_0 , t :

$$\frac{V_{\text{в}} - V_{\text{м}}}{V_{\text{в}} - 2V_{\text{м}}} = 1,176.$$

Отсюда

$$V_{\text{в}} = 7,68 V_{\text{м}}.$$

Подставим полученный результат в уравнение (8) и определим удельную теплоёмкость металла:

$$c_{\text{м}} = \frac{6,68\rho_{\text{в}}C_{\text{в}}(t_1 - t_0)}{\rho_{\text{м}}(t - t_1)}.$$

$$c_{\text{м}} = 870 \text{ Дж}/(\text{кг}^{\circ}\text{С}).$$

Возможен также иной вариант получения ответа задачи. Уравнение (9) преобразуем следующим образом:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{в}}(V_{\text{в}} - V_{\text{м}})c_{\text{в}}(t_2 - t_0) - \rho_{\text{в}}V_{\text{м}}c_{\text{в}}(t_2 - t_0) &= 2\rho_{\text{м}}V_{\text{м}}c_{\text{м}}(t - t_2). \\ \rho_{\text{в}}(V_{\text{в}} - V_{\text{м}})c_{\text{в}}(t_2 - t_0) &= 2\rho_{\text{м}}V_{\text{м}}c_{\text{м}}(t - t_2) + \rho_{\text{в}}V_{\text{м}}c_{\text{в}}(t_2 - t_0). \\ \rho_{\text{в}}(V_{\text{в}} - V_{\text{м}})c_{\text{в}}(t_2 - t_0) &= V_{\text{м}}[2\rho_{\text{м}}c_{\text{м}}(t - t_2) + \rho_{\text{в}}c_{\text{в}}(t_2 - t_0)]. \end{aligned} \quad (10)$$

Если теперь разделить уравнение (8) на уравнение (10), то получим:

$$\frac{t_1 - t_0}{t_2 - t_0} = \frac{\rho_m c_m (t - t_1)}{2\rho_m c_m (t - t_2) + \rho_g c_g (t_2 - t_0)}.$$

Как видим, последнее уравнение содержит только одно неизвестное – теплоёмкость металла c_m , и не составит большого труда решить это уравнение и определить c_m .

Ответ: $c_m = 870$ Дж/(кг $^{\circ}$ С).

3.4. Массу жидкости в третьем стакане определить легко, она равна $3m$. Пусть удельная теплоёмкость жидкости равна c . Вычислим, какое количество теплоты выделилось бы, если жидкость во всех трёх стаканах охладилась бы до 0° С.

$$Q = 3mc(20^{\circ}\text{С} - 0^{\circ}\text{С}) + 4mc(10^{\circ}\text{С} - 0^{\circ}\text{С}) + 2mc(60^{\circ}\text{С} - 0^{\circ}\text{С}).$$

$$Q = mc220^{\circ}\text{С}. \quad (1)$$

Теперь перераспределим это же количество теплоты между водой в трёх стаканах. В первом стакане вода нагреется до 25° С, во втором – до 30° С, а в третьем – до неизвестной температуры t .

$$Q = 4mc(25^{\circ}\text{С} - 0^{\circ}\text{С}) + 2mc(37,5^{\circ}\text{С} - 0^{\circ}\text{С}) + 3mc(t - 0^{\circ}\text{С}).$$

$$Q = mc175^{\circ}\text{С} + 3mct. \quad (2)$$

Сравнивая правые части уравнений (1) и (2), определим температуру t :

$$t = 15^{\circ}\text{С}.$$

Ответ: $t = 15^{\circ}$ С.

3.5. Обозначим количество теплоты, которое необходимо передать баку с водой для повышения его температуры на 10° С, как Q . Тогда количество теплоты, необходимое для нагревания на 20° С и 40° С, составит $2Q$ и $4Q$ соответственно.

Обозначим также время нагрева бака на 10° С, 20° С и 40° С как τ_1 , τ_2 и τ соответственно (τ – буква греческого алфавита, читается: тау). Время нагрева связано с мощностью нагревателя и количеством теплоты соотношением:

$$\tau_1 = \frac{Q}{N_1}, \quad (1)$$

$$\tau_2 = \frac{2Q}{N_2}, \quad (2)$$

$$\tau = \frac{4Q}{N}. \quad (3)$$

По условию задачи

$$\tau = \tau_1 + \tau_2.$$

Подставив соотношения (1) – (3) в последнее выражение, получим:

$$\frac{4Q}{N} = \frac{Q}{N_1} + \frac{2Q}{N_2}.$$

Отсюда

$$N = \frac{4N_1N_2}{2N_1 + N_2}.$$

$$N = 480 \text{ Вт.}$$

Примечание. Обратите внимание, что успех решения задачи обусловлен тем, что задача решалась «в общем виде»:

- количество теплоты, необходимое для нагревания бака с водой на 10°C , обозначили через некое Q ;

- выразили время нагрева τ_1 , τ_2 и τ через количество теплоты Q и мощность N_1 , N_2 , N соответственно;

- составили определённое алгебраическое соотношение, в котором количество теплоты Q входило и в левую, и в правую часть соотношения, что позволило сократить количество теплоты Q ;

- провели алгебраические преобразования и выразили неизвестную мощность N через известные значения мощности N_1 и N_2 .

Ответ: $N = 480 \text{ Вт.}$

3.5. Потенциальная энергия E_n тела массой m , поднятого на высоту h , рассчитывается по формуле

$$E_n = mgh. \quad (1)$$

Количество теплоты Q , необходимое для нагревания воды массой m_g , рассчитывается по формуле

$$Q = m_g c_g \Delta t, \quad (2)$$

где c_g – теплоёмкость воды,

Δt – изменение температуры воды (в градусах Цельсия). Изменение температуры в градусах Цельсия (Δt , $^\circ\text{C}$) связано с изменением температуры в градусах Фаренгейта (Δt , $^\circ\text{F}$) соотношением

$$\Delta t (^\circ\text{C}) = \frac{5}{9} \Delta t (^\circ\text{F}).$$

В опытах Джоуля нагревание воды происходило за счёт работы силы трения. Так как механическая работа силы трения равна убыли опускающихся грузов, то

$$Q = E_n,$$

или с учётом соотношений (1) и (2)

$$m_g c_g \Delta t = mgh.$$

Отсюда

$$c_{\text{с}} = \frac{mgh}{m_{\text{с}}\Delta t}.$$

Проведём вычисления:

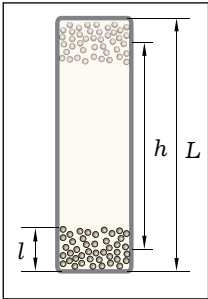
$$c_{\text{с}} = \frac{773,64 \cdot 0,454 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,3048 \text{ м}}{0,454 \text{ кг} \cdot \frac{5}{9} \text{ }^{\circ}\text{C}}.$$

$$c_{\text{с}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}}.$$

Ответ: $c_{\text{с}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}}.$

Лабораторная работа «Определение удельной теплоёмкости свинца».

При повороте вертикально расположенного картонного цилиндра на 180° свинцовая дробь, находящаяся в цилиндре, падает с некоторой высоты h (рис. 60).



$$h = L - l, \tag{1}$$

где L – длина цилиндра,
 l – высота столба дроби в цилиндре.

При падении дроби её потенциальная энергия переходит в кинетическую энергию, а при ударе о дно цилиндра и столкновениях кинетическая энергия дроби превращается во внутреннюю энергию свинца. Потенциальная энергия дроби E_n равна

$$E_n = mgh, \tag{2}$$

Рис. 60

где m – масса дроби,
 $g = 9,8 \text{ Н/кг}.$

Быстро и многократно (50–60 раз) проведём переворачивание дроби. Так как опыт длится не долго, теплоёмкость картонного цилиндра невелика, то можно считать, что потенциальная энергия поднятой дроби полностью идёт на увеличение её внутренней энергии:

$$\Delta U = NE_n, \tag{3}$$

где N – число переворотов цилиндра.

В соответствии с первым законом термодинамики количество теплоты Q , требуемое на нагревание тела, равно сумме изменения внутренней энергии тела ΔU и работы, совершённой телом $A_{\text{мел}}$:

$$Q = \Delta U + A_{\text{мел}}.$$

Так как в процессе нагревания свинцовых дробинок их объём изменяется крайне незначительно, то работой, совершённой свинцом при его тепловом расширении, очевидно, можно пренебречь.

Тогда последнее соотношение запишется в виде

$$Q = \Delta U,$$

или с учётом соотношений (1) – (3):

$$Q = Nmg(L - l). \quad (4)$$

С другой стороны, количество теплоты Q , необходимое для нагревания вещества, рассчитывается по формуле:

$$Q = mc\Delta t, \quad (5)$$

где m – масса вещества,

c – удельная теплоёмкость вещества,

Δt – изменение температуры вещества.

Сравнивая соотношения (4) и (5), получим итоговое выражение для расчёта удельной теплоёмкости свинца:

$$c = \frac{Ng(L - l)}{\Delta t}.$$

Так, например, в одном из опытов после 60 переворотов в цилиндре длиной 60 см при высоте столба дроби в цилиндре 5 см свинцовая дробь нагрелась на $2,5^\circ\text{C}$. Вычисленное по результатам этого опыта значение удельной теплоёмкости свинца оказалось равным

$$c = 130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}},$$

что согласуется с табличными данными.

Примечание. Необходимо отметить, что рассмотренный метод определения удельной теплоёмкости свинца с использованием предложенных приборов не отличается высокой точностью. Так, если абсолютная погрешность измерения повышения температуры свинца составляет $0,5^\circ\text{C}$, то относительная погрешность ε_t измерения повышения температуры составит:

$$\varepsilon_t = \frac{0,5^\circ\text{C}}{2,5^\circ\text{C}} \cdot 100 \%,$$

$$\varepsilon_t = 20 \%.$$

Но, несмотря на это, данный метод важен, так как позволяет определить удельную теплоёмкость вещества *независимо* от того, известна ли нам или нет удельная теплоёмкость какого-нибудь другого вещества (например, воды).

Лабораторная работа «Определение КПД нагревателя-спиртовки». Отмерьте с помощью мензурки 70–80 мл воды и перелейте её в колбу. Колбу закрепите в лапке штатива. Измерьте температуру холодной воды.

Взвесьте спиртовку со спиртом. С помощью спиртовки нагрейте воду. Измерьте температуру горячей воды.

Взвесьте спиртовку повторно и определите массу спирта, затраченного на нагревание воды.

Вычислите КПД нагревателя-спиртовки по формуле

$$\text{КПД} = \frac{m_в c_в (t_2 - t_1)}{qm_{сн}} \cdot 100 \%,$$

где $m_в$ – масса воды в колбе,

$c_в$ – удельная теплоёмкость воды,

t_1 – температура холодной воды,

t_2 – температура горячей воды,

q – удельная теплота сгорания спирта,

$m_{сн}$ – масса спирта, затраченного на нагревание воды.

Лабораторная работа «Оценка удельной теплоты сгорания топлива».

Количество теплоты Q , выделившееся при сгорании топлива массой m , рассчитывается по формуле

$$Q = qm,$$

где q – удельная теплота сгорания топлива.

Отсюда

$$q = \frac{Q}{m}. \quad (1)$$

Массу топлива (спичек) m легко определить взвешиванием. Для повышения точности измерения следует измерить массу большего числа (40–50) спичек.

С помощью спичек можно нагреть небольшой (10–15 мл) объём воды, налитой в пробирку. Количество теплоты $Q_в$, необходимое для нагревания воды, равно:

$$Q_в = m_в c_в (t_2 - t_1), \quad (2)$$

где $m_в$ – масса воды в пробирке (её нетрудно определить),

$c_в$ – удельная теплоёмкость воды,

t_1 – начальная температура воды,

t_2 – конечная температура воды.

Помимо воды нагревается и стекло пробирки, на что требуется количество теплоты $Q_{см}$, равное

$$Q_{см} = m_{см} c_{см} (t_2 - t_1), \quad (3)$$

где $m_{см}$ – масса пробирки (её определяют взвешиванием),

$c_{см}$ – удельная теплоёмкость стекла.

Будем исходить из того, что большая часть энергии, выделившейся при сгорании спичек, идёт именно на нагрев воды и пробирки.

$$Q \approx Q_{\text{г}} + Q_{\text{см}},$$

или, с учётом соотношений (2) и (3), имеем:

$$Q \approx (m_{\text{г}}c_{\text{г}} + m_{\text{см}}c_{\text{см}})(t_2 - t_1).$$

Последнее выражение и формула (1) позволяют оценить удельную теплоту сгорания топлива (спичек):

$$q \approx \frac{(m_{\text{г}}c_{\text{г}} + m_{\text{см}}c_{\text{см}})(t_2 - t_1)}{m}.$$

4.1. Пусть каждую секунду за счёт теплообмена кастрюле и её содержимому передаётся количество теплоты N . Тогда за время τ_1 кастрюля получит количество теплоты Q_1 , равное

$$Q_1 = N\tau_1,$$

которое будет затрачено на плавление льда.

Значит,

$$N\tau_1 = \lambda m, \quad (1)$$

где m – масса льда,

λ – удельная теплота плавления льда.

За время τ_2 кастрюля получит количество теплоты Q_2 , равное

$$Q_2 = N\tau_2,$$

которое пойдёт на повышение температуры воды на $\Delta t = 1$ °С (не забывайте, что после плавления льда масса воды в кастрюле составляет $2m$).

$$N\tau_2 = 2mc\Delta t, \quad (2)$$

где c – удельная теплоёмкость воды.

При записи уравнения (2) мы не учитывали количество теплоты, затраченное на нагревание самой кастрюли, считая его малым в сравнении с количеством теплоты, затраченным непосредственно на нагревание воды.

Разделив почленно уравнение (2) на уравнение (1), получим:

$$\frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{2c\Delta t}{\lambda}.$$

Отсюда

$$\tau_2 = \frac{2c\Delta t}{\lambda} \cdot \tau_1.$$

$$\tau_2 = 4,2 \text{ мин.}$$

Дополнительно подумайте, столько ли времени потребуется для нагревания воды от 20 до 21 °С или же время нагревания будет иным.

Ответ: $\tau_2 = 4,2$ мин.

4.2. Пусть I – плотность потока солнечной радиации¹. Тогда на поверхность снежного покрова площадью S за время τ падает энергия, равная $IS\tau$.

Так как коэффициент отражения снега составляет k ($k = 0,9$), то количество теплоты Q , полученное снегом за время τ , составит:

$$Q = (1 - k)IS\tau. \quad (1)$$

Будем считать, что это количество теплоты идёт только на плавление снега.

Тогда

$$Q = \lambda m, \quad (2)$$

где m – масса льда.

$$m = \rho V, \quad (3)$$

где ρ – плотность снега (плотность снега изменяется в широких пределах, при дальнейших расчётах примем $\rho = 150 \text{ кг/м}^3$),

V – объём растаявшего снега.

$$V = Sh, \quad (4)$$

где h – толщина растаявшего снежного покрова.

Используя соотношения (1) – (4), получим:

$$h = \frac{(1 - k)I\tau}{\lambda\rho}.$$

$$h = 9 \text{ мм.}$$

Примечание. На состояние снежного покрова помимо процесса плавления снега также существенное влияние оказывает процесс сублимации (возгонки) – переход от твёрдого состояния непосредственно к газообразному.

Ответ: $h = 9 \text{ мм.}$

4.3. Пусть первоначально масса льда была равна $m_{\text{л}}$, а объём льда, погружённого в воду, составлял $V_{\text{погр}}$. Тогда из условия равновесия (равенства силы тяжести и архимедовой силы) следует, что

$$m_{\text{л}}g = \rho_{\text{в}}gV_{\text{погр}},$$

где $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды.

Отсюда

$$V_{\text{погр}} = \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{в}}}. \quad (1)$$

Весь объём льда $V_{\text{л}}$ равен:

$$V_{\text{л}} = \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{л}}}, \quad (2)$$

где $\rho_{\text{л}}$ – плотность льда.

¹ Плотность потока солнечной радиации – величина, равная солнечной энергии, поступающей на единицу площади поверхности в единицу времени.

Над водой находится объём льда V , равный

$$V = V_{\text{л}} - V_{\text{погр}},$$

или с учётом соотношений (1) и (2):

$$V = \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{л}}} - \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{в}}}.$$

$$V = \frac{m_{\text{л}}(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}})}{\rho_{\text{в}}\rho_{\text{л}}}. \quad (3)$$

Из уравнения (3) следует, что объём выступающей из воды части льда уменьшится в 2,5 раза при уменьшении массы льда во столько же раз.

Таким образом, в сосуде остался кусок льда массой $m_{\text{л}}'$, равный

$$m_{\text{л}}' = \frac{m_{\text{л}}}{2,5},$$

и масса растаявшего льда $m_{\text{раст}}$ равна

$$m_{\text{раст}} = m_{\text{л}} - m_{\text{л}}'.$$

С учётом условия задачи

$$m_{\text{раст}} = 0,6 \text{ кг.}$$

Теперь не составляет труда определить, сколько воды необходимо долить, чтобы при её охлаждении от температуры $t = 30^\circ\text{C}$ до температуры 0°C выделилось количество теплоты, достаточное для плавления льда массой $m_{\text{раст}} = 0,6 \text{ кг}$. Из уравнения теплового баланса следует, что

$$m_{\text{в}}c_{\text{в}}(t - 0^\circ\text{C}) = \lambda m_{\text{раст}},$$

где $m_{\text{в}}$ – искомая масса воды.

$$m_{\text{в}} = \frac{\lambda m_{\text{раст}}}{c_{\text{в}}t}.$$

$$m_{\text{в}} = 1,2 \text{ кг.}$$

Ответ: $m_{\text{в}} = 1,2 \text{ кг}$.

4.4. Пусть образовался лёд массой $m_{\text{л}}$. Тогда масса оставшейся воды $m_{\text{в}}$ равна:

$$m_{\text{в}} = m_0 - m_{\text{л}}. \quad (1)$$

Количество теплоты Q_1 , выделяющееся при образовании льда, равно:

$$Q_1 = -\lambda m_{\text{л}}, \quad (2)$$

где λ – удельная теплота плавления льда.

Количество теплоты Q_2 , затраченное на нагревание льда от температуры t_1 до температуры $t_2 = 0^\circ\text{C}$, равно:

$$Q_2 = m_{\text{л}}c_{\text{л}}(t_2 - t_1), \quad (3)$$

где $c_{\text{л}}$ – удельная теплоёмкость льда.

Количество теплоты Q_3 , затраченное на нагревание воды от температуры t_1 до температуры $t_2 = 0^\circ\text{C}$, равно:

$$Q_3 = m_6 c_6 (t_2 - t_1), \quad (3)$$

где c_6 – удельная теплоёмкость воды.

В соответствии с законом сохранения энергии

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0.$$

С учётом соотношений (1) – (4) имеем:

$$-\lambda m_n + m_n c_n (t_2 - t_1) + (m_0 - m_n) c_6 (t_2 - t_1) = 0.$$

Отсюда

$$m_n = \frac{m_0 c_6 (t_2 - t_1)}{\lambda m_n + (c_6 - c_n)(t_2 - t_1)}.$$

$$m_n = 0,13 \text{ кг.}$$

Ответ: $m_n = 0,13$ кг.

4.4. Введём следующие обозначения:

t – первоначальная температура воды в калориметре,

m_6 – масса воды в калориметре,

m_n – масса кубика льда,

c_6 – удельная теплоёмкость воды,

λ – удельная теплота плавления льда.

После того как первый кубик льда бросили в горячую воду, в калориметре происходят следующие тепловые процессы:

- горячая вода остывает, она отдаёт количество теплоты, равное

$$m_6 c_6 \Delta t_1;$$

- лёд плавится, получая количество теплоты, равное λm_n ;

- «ледяная вода» нагревается от 0°C до температуры $t + \Delta t_1$, получая количество теплоты, равное

$$m_n c_6 (t + \Delta t_1 - 0^\circ\text{C}).$$

Запишем уравнение теплового баланса:

$$m_6 c_6 \Delta t_1 + \lambda m_n + m_n c_6 (t + \Delta t_1) = 0. \quad (1)$$

После того как второй кубик льда бросили в воду, в калориметре происходят аналогичные процессы. Необходимо только учесть, что перед бросанием второго кубика в воду масса воды в калориметре теперь составляет $m_6 + m_n$, а её температура $t + \Delta t_1$. Запишем уравнение теплового баланса для второго случая:

$$(m_6 + m_n) c_6 \Delta t_2 + \lambda m_n + m_n c_6 (t + \Delta t_1 + \Delta t_2) = 0. \quad (2)$$

Вычтем из уравнения (2) уравнение (1):

$$m_6 c_6 (\Delta t_2 - \Delta t_1) + 2m_n c_6 \Delta t_2 = 0.$$

Отсюда

$$m_6 = \frac{2m_{\text{л}}\Delta t_2}{\Delta t_1 - \Delta t_2}.$$

Подставив численные значения, получим:

$$m_6 = 10m_{\text{л}}.$$

Таким образом, первоначально в калориметр была налита горячая вода, масса которой в 10 раз больше массы кубика льда.

Используя полученное соотношение масс воды и льда, из уравнения (1) или (2) можно определить и значение первоначальной температуры воды t в калориметре.

После того как в воду бросят третий кубик льда, температура воды в калориметре понизится на Δt_3 . В этом случае уравнение теплового баланса будет выглядеть следующим образом:

$$(m_6 + 2m_{\text{л}})c_6\Delta t_3 + \lambda m_{\text{л}} + m_{\text{л}}c_6(t + \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3) = 0. \quad (3)$$

Вычтем из уравнения (3) уравнение (2):

$$(m_6 + 3m_{\text{л}})c_6\Delta t_3 - (m_6 + m_{\text{л}})c_6\Delta t_2 = 0.$$

Отсюда

$$\Delta t_3 = \frac{(m_6 + \lambda m_{\text{л}})\Delta t_2}{m_6 + 3m_{\text{л}}}.$$

Учтём, что $m_6 = 10m_{\text{л}}$ и $\Delta t_3 = -10$ °С.

Тогда

$$\Delta t_3 = -8,5$$
 °С.

Ответ: $\Delta t_3 = -8,5$ °С.

Лабораторная работа «Определение удельной теплоты растворения поваренной соли в воде». Пусть температура воды равна температуре воздуха. Тогда в процессе растворения соли в воде вся энергия, выделяющаяся при охлаждении воды, будет расходоваться только на процесс растворения соли (так как первоначально температура воды и соли одинаковы).

Обозначим массу воды как m_6 , массу соли как m_c . Тогда уравнение теплового баланса запишется в виде:

$$dm_c + m_6c_6(t_2 - t_1) = 0,$$

где d – удельная теплота растворения соли в воде,

c_6 – удельная теплоёмкость воды,

t_1 – начальная температура воды в калориметре,

t_2 – конечная температура воды в калориметре.

Из соотношения (1) имеем:

$$d = \frac{m_6c_6(t_1 - t_2)}{m_c}.$$

Измерить массу соли перед её растворением в воде, а также массу воды, налитой во внутренний стаканчик калориметра, не составляет труда. Также несложно измерить и температуру воды перед растворением в ней соли и после растворения соли в воде.

Примечание. При написании уравнения теплового баланса (1) не учтено количество теплоты, выделяющееся при охлаждении внутреннего стаканчика калориметра в процессе растворения соли в воде. Проведите необходимые измерения и расчёты и сделайте вывод о необходимости уточнения уравнения теплового баланса.

Экспериментальная задача «Определение процентного содержания воды в мокром снеге (в начале эксперимента)». Измерим массу внутреннего стаканчика калориметра, пусть она равна m_k . Налейём в стаканчик некоторое количество тёплой воды и вновь взвесим стаканчик. Так мы сможем определить массу тёплой воды $m_г$ в калориметре.

Поставим стаканчик с водой во внешний стаканчик калориметра и измерим начальную температуру воды t_1 в калориметре. Если теперь в воду опустить мокрый снег, то температура воды в калориметре понизится до температуры t_2 . Измерим эту температуру. Также измерим вновь массу внутреннего стаканчика вместе с его содержимым и определим массу мокрого снега m .

Пусть доля воды в мокром снеге равна k . Тогда масса льда $m_л$ в мокром снеге равна:

$$m_л = (1 - k)m. \quad (1)$$

Рассмотрим, какие тепловые процессы протекали в ходе данного эксперимента:

- плавление льда, содержащегося в мокром снеге. На это потребовалось количество теплоты Q_1 , равное

$$Q_1 = \lambda m_л, \quad (2)$$

где λ — удельная теплота плавления льда;

- нагревание воды, содержащейся в мокром снеге, и воды, образовавшейся при плавлении льда. На это потребовалось количество теплоты Q_2 , равное

$$Q_2 = mc_г(t_2 - 0), \quad (3)$$

где $c_г$ — удельная теплоёмкость воды;

- охлаждение тёплой воды. При этом выделилось количество теплоты Q_3 , равное

$$Q_3 = m_г c_г (t_2 - t_1); \quad (4)$$

- охлаждение внутреннего стаканчика калориметра. При этом выделилось количество теплоты Q_4 , равное

$$Q_4 = m_k c_k (t_2 - t_1), \quad (5)$$

где c_{κ} – удельная теплоёмкость металла, из которого изготовлен внутренний стаканчик калориметра.

В соответствии с законом сохранения энергии

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0. \quad (6)$$

С учётом соотношений (1) – (5) уравнение теплового баланса (6) запишется в виде

$$\lambda(1 - k)m + mc_{\varepsilon}t_2 + m_{\varepsilon}c_{\varepsilon}(t_2 - t_1) + m_{\kappa}c_{\kappa}(t_2 - t_1) = 0.$$

Отсюда

$$k = 1 - \frac{(m_{\varepsilon}c_{\varepsilon} + m_{\kappa}c_{\kappa})(t_1 - t_2) - mc_{\varepsilon}t_2}{\lambda m}.$$

Лабораторная работа «Определение удельной теплоты кристаллизации парафина». Пусть за промежуток времени τ_1 расплавленный парафин охлаждается на Δt . Если масса парафина m , то мощность теплообмена N (количество теплоты, которое отдаётся окружающей среде расплавленным парафином за единицу времени) составит:

$$N = \frac{mc\Delta t}{\tau_1}, \quad (1)$$

где c – удельная теплоёмкость жидкого парафина.

Условия теплообмена с окружающей средой в процессе кристаллизации парафина существенно не отличаются от условий теплообмена при охлаждении жидкого парафина. По этой причине можно считать мощность теплообмена постоянной и выразить её через количество теплоты, выделяющееся в процессе кристаллизации парафина, и продолжительность процесса кристаллизации следующим образом:

$$N = \frac{\lambda m}{\tau_2}, \quad (2)$$

где λ – удельная теплота кристаллизации парафина,

τ_2 – время кристаллизации парафина.

Из соотношений (1) и (2) имеем:

$$\lambda = \frac{c\Delta t\tau_2}{\tau_1}.$$

5.1. За время τ по трубе теплообменника пройдёт вода массой m_{ε} :

$$m_{\varepsilon} = k_{\varepsilon}\tau. \quad (1)$$

При нагревании от начальной температуры t_1 до конечной температуры t_2 эта вода получит количество теплоты Q_1 , равное

$$Q_1 = m_{\varepsilon}c_{\varepsilon}(t_2 - t_1),$$

где c_{ε} – удельная теплоёмкость воды.

С учётом соотношения (1):

$$Q_1 = k_g \tau c_g (t_2 - t_1). \quad (2)$$

За то же время τ по змеевику пройдёт пар, масса m_n которого равна

$$m_n = k_n \tau. \quad (3)$$

При конденсации пара выделится количество теплоты Q_2 , равное

$$Q_2 = - L m_n,$$

где L – удельная теплота конденсации водяного пара.

С учётом соотношения (3)6

$$Q_2 = - L k_n \tau. \quad (4)$$

Одновременно вода, образовавшаяся в результате конденсации пара, охлаждается от температуры кипения $t_{кип} = 100$ °С до температуры теплового равновесия t_2 . При этом выделится количество теплоты Q_3 , равное

$$Q_3 = m_n c_g (t_2 - t_{кип}).$$

С учётом соотношения (3):

$$Q_3 = k_n \tau c_g (t_2 - t_{кип}). \quad (5)$$

Запишем уравнение теплового баланса

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$$

или с учётом соотношений (2), (3) и (5):

$$k_g \tau c_g (t_2 - t_1) - L k_n \tau + k_n \tau c_g (t_2 - t_{кип}) = 0.$$

Отсюда

$$t_2 = \frac{k_g c_g t_1 + k_n (c_g t_{кип} + L)}{(k_g + k_n) c_g}.$$

$$t_2 = 77 \text{ °С.}$$

Ответ: $t_2 = 77$ °С.

5.2. Пусть масса воды в колбе, масса откачанного водяного пара и масса образовавшегося льда равны соответственно m , m_n , m_l .

Очевидно, что

$$m = m_n + m_l. \quad (1)$$

Количество теплоты Q_1 , которое выделится при образовании льда, равно

$$Q_1 = - \lambda m_l, \quad (2)$$

где λ – удельная теплота кристаллизации льда, она равна: $\lambda = 330$ кДж/кг.

Количество теплоты Q_2 , которое будет затрачено на процесс парообразования, равно:

$$Q_2 = L m_n, \quad (3)$$

где L – удельная теплота парообразования воды при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, она равна:
 $L = 2500\text{ кДж/кг}$.

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_2 = 0,$$

или с учётом соотношений (2) и (3):

$$\begin{aligned} -\lambda m_{\text{л}} + Lm_{\text{н}} &= 0, \\ \lambda m_{\text{л}} &= Lm_{\text{н}}. \end{aligned} \tag{4}$$

Из уравнений (1) и (4) определим отношение $\frac{m_{\text{л}}}{m}$:

$$\begin{aligned} \frac{m_{\text{л}}}{m} &= \frac{L}{L+\lambda}. \\ \frac{m_{\text{л}}}{m} &= 0,88. \end{aligned}$$

Таким образом, 88 % воды превратится в лёд.

Ответ: 88 % воды превратится в лёд.

5.3. Энергия, выделяющаяся при понижении температуры воды в кастрюле-скороварке на $\Delta t = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$, идёт на образование пара. Пусть масса воды в кастрюле-скороварке m , а масса образовавшегося пара $m_{\text{н}}$. Тогда уравнение теплового баланса запишется следующим образом:

$$Lm_{\text{н}} + mc_{\text{в}}\Delta t = 0. \tag{1}$$

Массу воды в кастрюле-скороварке легко определить:

$$m = \rho V. \tag{2}$$

Из соотношений (1) и (2) получим:

$$m_{\text{н}} = \frac{-\rho V c_{\text{в}} \Delta t}{L}.$$

$$m_{\text{н}} = 18\text{ г}.$$

Ответ: $m_{\text{н}} = 18\text{ г}$.

5.4. На воду в подземном резервуаре гейзера помимо атмосферного давления p_a ($p_a = 101\text{ кПа}$) действует дополнительно давление, создаваемое столбом воды в вертикальном канале гейзера высотой $h = 90\text{ м}$.

Вода в подземном резервуаре гейзера начнёт кипеть тогда, когда давление насыщенного водяного пара p превысит сумму атмосферного давления p_a и давления столба жидкости высотой h :

$$p = p_a + \rho gh,$$

$$p = 980\text{ кПа},$$

$$p = 0,98\text{ МПа}.$$

Из графика (рис. 12) видно, что таким давлением насыщенный водяной пар обладает при температуре $t_1 = 180^\circ\text{C}$. Именно при этой температуре вода в подземном резервуаре гейзера начнёт кипеть. Образовавшийся пар выдавит воду из вертикального канала, и процесс кипения воды и образования водяного пара будет продолжаться до тех пор, пока температура перегретой воды не понизится до температуры $t_2 = 100^\circ\text{C}$ – температуры кипения воды при нормальном атмосферном давлении.

Итак, температура воды понизится от температуры t_1 до температуры t_2 и энергия, выделившаяся при охлаждении воды, пойдёт на образование водяного пара. Если масса воды в резервуаре $m_в$, а масса образовавшегося пара $m_п$, то уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Lm_п + m_в c_в (t_2 - t_1) = 0.$$

Отсюда

$$\frac{m_п}{m_в} = \frac{c_в (t_1 - t_2)}{L}.$$
$$\frac{m_п}{m_в} = 0,15.$$

Таким образом, при извержении гейзер теряет 15 % воды.

Ответ: при извержении гейзера 15 % воды превращается в пар.

Экспериментальная задача «Определение удельной теплоты парообразования воды». Измерим массу колбы, напомним её водой и вновь взвесим на лабораторных весах. Это позволит определить массу воды в колбе $m_в$.

Поместим колбу с водой на лабораторную электроплитку. Используя штатив с лапкой, закрепим термометр так, чтобы он находился в воде и не касался стенок колбы. Включим электроплитку и наблюдаем, как изменяется температура воды при нагревании, записывая значения температуры через определённые промежутки времени. Заметим, в какой момент времени начнётся процесс кипения, при котором температура воды уже не изменяется.

Подождём некоторое время, чтобы часть воды выкипела. Выключим электроплитку. Выждав некоторое время, дав возможность воде остыть, повторно произведём взвешивание колбы. Это позволит определить массу образовавшегося пара $m_п$.

Удельную теплоту парообразования воды L можно определить по формуле

$$L = \frac{Q}{m_п}, \quad (1)$$

где Q – количество теплоты, которое потребовалось сообщить воде для образования пара массой $m_п$. (Для определения массы пара $m_п$ необходимо провести повторное взвешивание колбы с оставшейся водой.)

Количество теплоты Q можно рассчитать по формуле

$$Q = N\tau_{\text{кин}}, \quad (2)$$

где N – полезная тепловая мощность электроплитки,

$\tau_{\text{кин}}$ – время, в течение которого кипела вода.

Для определения полезной тепловой мощности электроплитки N поступим следующим образом. Используя график зависимости температуры воды от времени нагревания, выясним – сколько времени $\tau_{\text{нагр}}$ длился процесс нагревания воды, например, от 95 до 100 °С. В выбранном интервале температур температура воды близка к 100 °С – температуре кипения воды. Так как условия теплообмена воды с окружающей средой в процессе нагревания и в процессе кипения практически одинаковы, то по этой причине полезная тепловая мощность и при нагревании (в интервале температур 95–100 °С), и при кипении будет одинаковой. Она может быть рассчитана по формуле

$$N = \frac{m_{\text{в}}c_{\text{в}}\Delta t}{\tau_{\text{нагр}}}, \quad (3)$$

где $c_{\text{в}}$ – удельная теплоёмкость воды,

$$\Delta t = 5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Из соотношений (1) – (3) получим:

$$L = \frac{m_{\text{в}}c_{\text{в}}\Delta t\tau_{\text{кин}}}{m_{\text{в}}\tau_{\text{нагр}}}.$$

Экспериментальная задача «Определение удельной теплоты конденсации водяного пара при температуре 100 °С». На нагревание воды в калориметре затрачивается количество теплоты Q_1 , равное

$$Q_1 = m_{\text{в}}c_{\text{в}}(t_2 - t_1), \quad (1)$$

где $c_{\text{в}}$ – удельная теплоёмкость воды.

На нагревание металлического стаканчика калориметра затрачивается количество теплоты Q_2 , равное

$$Q_2 = m_{\text{к}}c_{\text{к}}(t_2 - t_1), \quad (2)$$

где $c_{\text{к}}$ – удельная теплоёмкость металла, из которого изготовлен внутренний стаканчик калориметра.

При конденсации пара выделяется количество теплоты Q_3 , равное

$$Q_3 = -Lm_{\text{п}}, \quad (3)$$

где L – удельная теплота конденсации воды при температуре 100 °С.

При охлаждении воды, образовавшейся при конденсации пара, её температура понижается от температуры кипения $t_{\text{кин}} = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$ до тем-

пературы теплового равновесия t_2 . При этом выделяется количество теплоты Q_4 , равное:

$$Q_4 = m_n c_{\theta}(t_2 - t_{kun}). \quad (4)$$

Запишем уравнение теплового баланса

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0,$$

или, с учётом соотношений (1) – (4),

$$m_{\theta} c_{\theta}(t_2 - t_1) + m_{\kappa} c_{\kappa}(t_2 - t_1) - L m_n + m_n c_{\theta}(t_2 - t_{kun}) = 0.$$

Отсюда

$$L = \frac{(m_{\theta} c_{\theta} + m_{\kappa} c_{\kappa})(t_2 - t_1) + m_n c_{\theta}(t_2 - t_{kun})}{m_n}.$$

Практическая работа «Определение относительной влажности воздуха и массы водяного пара в учебном кабинете».

Задание 1. Измерьте температуру воздуха t в учебном кабинете. Изготовьте психрометр. Определите показания увлажнённого термометра $t_{\text{влаж}}$. Используя психрометрическую таблицу, определите относительную влажность воздуха φ в кабинете.

Задание 2. Для определения плотности водяного пара в учебном кабинете используйте формулу расчёта относительной влажности φ :

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{нас}}} \cdot 100 \%,$$

где ρ – плотность водяного пара,

$\rho_{\text{нас}}$ – плотность насыщенного водяного пара при той же температуре, которая может быть определена из таблицы зависимости плотности водяного пара $\rho_{\text{нас}}$ от температуры t .

Тогда

$$\rho = \frac{\varphi \rho_{\text{нас}}}{100 \%}.$$

Задание 3. Измерьте длину a , ширину b и высоту h учебного кабинета. Вычислите объём кабинета V :

$$V = abh.$$

Вычислите массу водяного пара m_n в учебном кабинете:

$$m_n = \rho V.$$

Вычислите массу воздуха $m_{\text{вх}}$ в учебном кабинете:

$$m_{\text{вх}} = \rho_{\text{вх}} V,$$

где $\rho_{\text{вх}}$ – плотность воздуха (примите плотность воздуха равной $1,2 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$ и нормальном атмосферном давлении).

6.1. Происходит электризация трением при движении песчинок по поверхности пластмассовой воронки.

6.2. Пусть для определённости заряженная гильза обладает положительным зарядом. Под действием электрического поля положительного заряда на электрически нейтральной гильзе-проводнике произойдёт *перераспределение заряда* так, как это показано на рисунке 61. При этом отрицательные заряженные электроны сместятся «поближе» к положительно заряженной гильзе, и «дальний край» нейтральной гильзы по этой причине приобретёт положительный заряд. В результате, нейтральная гильза будет притягиваться к положительно заряженной гильзе (почему?)

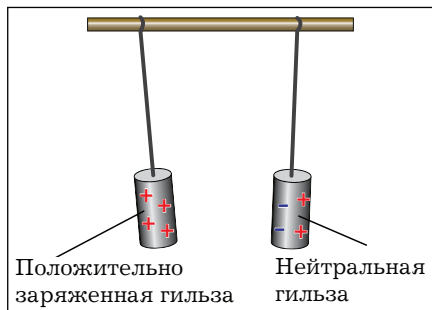


Рис. 61

Рассмотрите, какое перераспределение зарядов произойдёт в случае, если рядом с нейтральной гильзой-проводником расположат отрицательно заряженную гильзу. Обоснуйте, что в этом случае гильзы также будут взаимодействовать, притягиваясь друг к другу.

Теперь легко предложить два способа определения того, какая из гильз заряжена:

- *способ 1.* Прикоснёмся рукой к одной из гильз. Если после этого гильзы перестали притягиваться друг к другу, значит, мы прикоснулись к заряженной гильзе;

- *способ 2.* Поднесём (не прикасаясь) ладонь к гильзе. Если гильза притягивается к ладони, значит, она заряжена, а если нет – то электрически нейтральна.

6.3. Алгоритм зарядки электрометра изображён на рисунке 62, а – г.

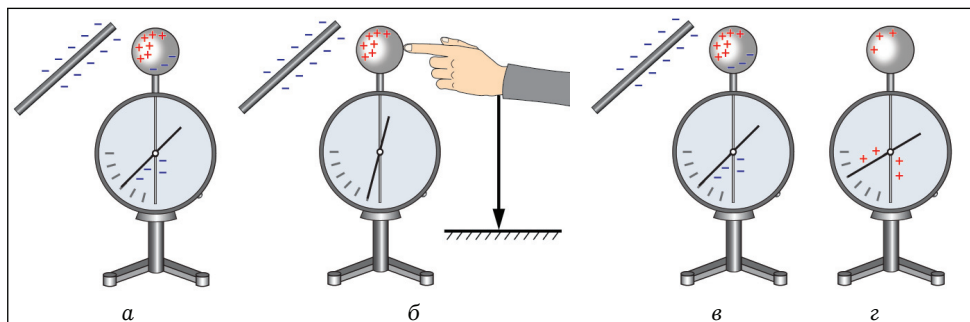
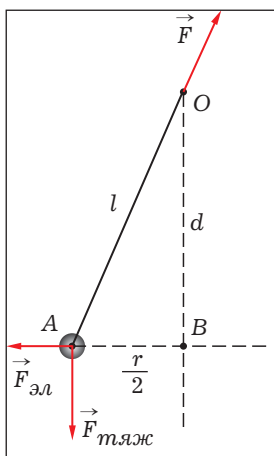


Рис. 62

Лабораторная работа «Определение силы электрического взаимодействия». Рассмотрим шарик, подвешенный на нити, как рычаг OA , который может поворачиваться вокруг точки подвеса – точки O (рис. 63).



На этот «рычаг» действуют три внешние силы – сила тяжести $F_{тяж}$, сила электрического взаимодействия $F_{эл}$, сила реакции F со стороны оси в точке подвеса O .

Как бы ни была направлена сила реакции F , линия действия этой силы проходит через ось вращения O , поэтому плечо данной силы равно нулю – сила не создаёт вращательного действия. Сила $F_{эл}$ вращает рычаг по часовой стрелке, плечо силы $F_{эл}$ равно OB (на рисунке 63 расстояние OB обозначено через d). Плечо силы тяжести $F_{тяж}$, вращающей рычаг против часовой стрелки, равно $r/2$ (напомним, что r – расстояние между заряженными шариками).

Из условия равновесия рычага

Рис. 63

$$F_{эл} \frac{r}{2} = F_{тяж} d.$$

Отсюда

$$F_{эл} = \frac{2F_{тяж} d}{r}.$$

Силу тяжести легко определить:

$$F_{тяж} = mg.$$

Из треугольника OAB (рис. 63) определим d :

$$d = \sqrt{l^2 - \left(\frac{r}{2}\right)^2},$$

где l – длина нити подвеса.

Тогда окончательно получим:

$$F_{эл} = \frac{2mg \sqrt{l^2 - \left(\frac{r}{2}\right)^2}}{r}.$$

7.1. Сила тока I может быть определена из закона Ома:

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

Сила тока определяется величиной электрического заряда, протекающего через поперечное сечение проводника в единицу времени. Если за время t через поперечное сечение проводника проходит заряд q , то

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

Отсюда $q = It$.

7.2. Пусть сила ток в цепи постоянна. Тогда заряд q , прошедший по электрической цепи за время t , может быть определён по формуле

$$q = It.$$

В случае же, если сила тока в цепи переменна, поступим следующим образом: разделим всё время t на малые интервалы времени $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$ и так далее. За каждый интервал времени по цепи пройдёт заряд $\Delta q_1, \Delta q_2, \Delta q_3$, равный

$$\Delta q_1 = I_1 \Delta t_1,$$

$$\Delta q_2 = I_2 \Delta t_2,$$

$$\Delta q_3 = I_3 \Delta t_3,$$

..... и так далее.

(I_1, I_2, I_3 и так далее – сила тока в соответствующие моменты времени.)

Тогда заряд q , прошедший по электрической цепи за время t , будет равен

$$q = \Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3 + \dots \text{ и так далее}$$

или

$$q = I_1 \Delta t_1 + I_2 \Delta t_2 + I_3 \Delta t_3 + \dots \text{ и так далее.}$$

Как видно из рисунка 64, на котором изображён некий график зависимости силы тока I от времени t , заряд Δq_1 численно равен площади прямоугольника со сторонами I_1 и Δt_1 . Заряд Δq_2 численно равен площади прямоугольника со сторонами I_2 и Δt_2 . Таким образом, общий заряд q , прошедший по электрической цепи за время t , численно равен площади фигуры под графиком зависимости силы тока I от времени t .

Проведём соответствующие вычисления (рис. 17):

$$q = \frac{1 \text{ А} + 2 \text{ А}}{2 \cdot 30 \text{ с}},$$

$$q = 45 \text{ Кл.}$$

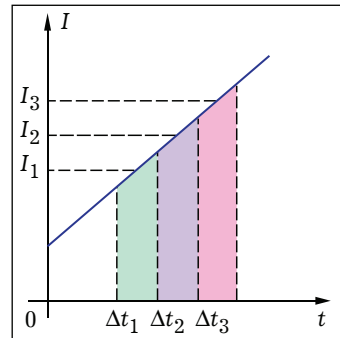


Рис. 64

При неизменном напряжении на реостате за первые 30 с сила тока в цепи возросла в 2 раза, следовательно, сопротивление реостата уменьшилось в 2 раза. За всё время опыта (60 с) сила тока возросла в 2,5 раза – от 1 до 2,5 А, следовательно, сопротивление реостата за это время уменьшилось в 2,5 раза.

Ответ: $q = 45$ Кл; сопротивление реостата уменьшилось в 2,5 раза.

7.3. Считая сопротивление железной проволоки и сопротивление амперметра малыми в сравнении с сопротивлением резистора, определим силу тока I в цепи:

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

где U – напряжение батареи аккумуляторов,
 R – сопротивление резистора.

$$I = 9 \text{ А.}$$

Из справочной таблицы, приведённой в условии задачи, видно, что для плавления железной проволоки диаметром 0,55 мм требуется сила тока 10 А. Значит, используемая экспериментатором железная проволока диаметром 0,6 мм не расплавится при силе тока 9 А и он сможет провести запланированные опыты.

Ответ: экспериментатор сможет провести запланированные опыты.

7.4. Вычислим площадь поперечного сечения s провода электропроводки:

$$s = \frac{\pi d^2}{4},$$

где d – диаметр провода.

$$s = 1,1 \text{ мм}^2.$$

Определим, какова будет сила тока I в сети при подключении к ней электронагревательного прибора сопротивлением R :

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

где U – напряжение сети.

$$I = 11 \text{ А.}$$

Из справочной таблицы, приведённой в условии задачи, видно, что при силе тока 11 А необходимо использовать провод сечением 1 мм². Площадь же поперечного сечения провода, использованного для электропроводки, больше – 1,1 мм². Значит, подключение к данной сети электронагревательного прибора сопротивлением 20 Ом допустимо.

Ответ: подключение электронагревательного прибора сопротивлением 20 Ом допустимо.

Лабораторная работа «Определение электрического заряда конденсатора». Для определения заряда конденсатора q (который, очевидно, равен заряду, прошедшему по электрической цепи) необходимо определить площадь фигуры под графиком зависимости силы тока I от времени t . Для этого можно воспользоваться весами:

- вырежьте из бумаги, на которой строился график, квадрат со стороной 4–5 см и взвесьте его;
- вырежьте фигуру, ограниченную графиком зависимости силы тока I от времени t и координатными осями, и взвесьте её;

- площадь фигуры, очевидно, будет во столько раз больше (или меньше) площади квадрата, во сколько раз масса фигуры больше (или меньше) массы квадрата.

После этого останется только определить, учитывая масштаб построения графика, какому заряду соответствует площадь в 1 см^2 .

Проведя опыт при другом напряжении источника, нетрудно убедиться, что заряд конденсатора тем больше, чем больше напряжение источника, к которому подключают конденсатор при зарядке.

Экспериментальная задача «Определение сопротивления вольтметра». Соберите электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке 65. Измерьте силу тока I в цепи и напряжение U на вольтметре.

Сопротивление вольтметра R_v определите, исходя из закона Ома:

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

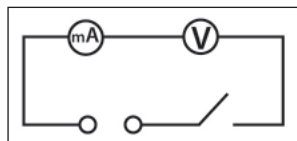


Рис. 65

9.1. Электрическое сопротивление R медного проводника длиной l и площадью поперечного сечения s равно:

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

где ρ – удельное сопротивление меди.

Объём проволоки V связан с её длиной l и площадью поперечного сечения s очевидным соотношением:

$$V = sl. \quad (2)$$

Из (1) и (2) имеем:

$$R = \frac{\rho V}{s^2}.$$

Обозначим сопротивление проволоки круглого сечения и сопротивление проволоки квадратного сечения как $R_{\text{круг}}$ и $R_{\text{квадр}}$ соответственно, а площади поперечного сечения этих проволок как $s_{\text{круг}}$ и $s_{\text{квадр}}$. Так как масса, а значит, и объём проволок одинаковы, то

$$\frac{R_{\text{круг}}}{R_{\text{квадр}}} = \frac{s_{\text{квадр}}}{s_{\text{круг}}}. \quad (3)$$

Площади поперечного сечения легко определить:

$$s_{\text{квадр}} = d^2,$$

$$s_{\text{круг}} = \frac{\pi d^2}{4}.$$

С учётом последних выражений соотношение (3) примет вид:

$$\frac{R_{\text{круг}}}{R_{\text{квадр}}} = 16/\pi^2,$$

$$\frac{R_{\text{круг}}}{R_{\text{квадр}}} = 1,6.$$

Ответ: $\frac{R_{\text{круг}}}{R_{\text{квадр}}} = 1,6.$

9.2. Из формулы закона Ома следует, что

$$U = IR, \quad (1)$$

где U – напряжение, значение которого покажет вольтметр,

I – сила тока в проволоке,

R – сопротивление нихромовой проволоки между точками подключения вольтметра.

$$R = \rho \frac{l}{s}, \quad (2)$$

где ρ – удельное сопротивление нихрома.

l – расстояние между точками подключения вольтметра,

s – площадь поперечного сечения проволоки.

Из соотношений (1) и (2) имеем:

$$U = \frac{I\rho l}{s}. \quad (3)$$

По определению плотность тока j равна:

$$j = \frac{I}{s}. \quad (4)$$

С учётом соотношения (4) выражение (3) примет вид:

$$U = j\rho l.$$

$$U = 0,88 \text{ В.}$$

Ответ: $U = 0,88 \text{ В.}$

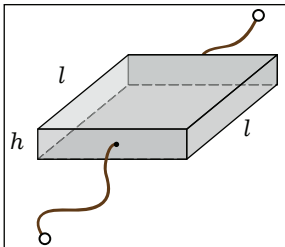


Рис. 66

9.3. Пусть толщина слоя алюминия h , а длина полоски алюминия l . Исходя из описания способа напыления полоски, приведённого в условии задачи, ясно, что ширина полоски алюминия также равна l (рис. 66).

Площадь поперечного сечения s полоски, через которую проходит ток, равна:

$$s = hl. \quad (1)$$

Электрическое сопротивление R полоски вычисляется по формуле:

$$R = \rho \frac{l}{s}, \quad (2)$$

где ρ – удельное сопротивление алюминия.

С учётом соотношения (1) выражение (2) примет вид:

$$R = \frac{\rho}{h},$$

$$R = \frac{0,028 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}}{0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}},$$

$$R = \frac{0,028 \frac{\text{Ом}}{\text{м}} \cdot 10^{-6} \text{ м}^2}{0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}},$$

$$R = 0,056 \text{ Ом}.$$

Ответ: $R = 0,056 \text{ Ом}$.

Лабораторная работа «Определение удельного сопротивления проволоки, из которой изготовлена обмотка реостата». Располагая источником тока, амперметром, вольтметром, соединительными проводами и ключом, несложно собрать соответствующую электрическую схему и измерить силу тока I через обмотку реостата и напряжение U на реостате. Тогда сопротивление проволоки R , из которой изготовлена обмотка реостата, равно:

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

Сопротивление проводника R зависит от его длины l , площади поперечного сечения s проводника и удельного сопротивления вещества ρ , из которого изготовлен проводник:

Отсюда

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

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

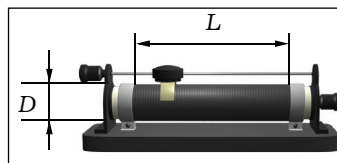


Рис. 67

Площадь поперечного сечения s не составляет труда определить, если известен диаметр проводника d :

$$s = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (2)$$

Чтобы определить диаметр проводника, из которого изготовлена обмотка реостата, поступим следующим образом: измерим число витков N в обмотке реостата и длину обмотки реостата L (рис. 67).

Очевидно, что

$$d = \frac{L}{N}. \quad (3)$$

Теперь осталось определить длину проволоки l в обмотке реостата. Она равна:

$$l = l_1 N, \quad (4)$$

где l_1 – длина одного витка проволоки реостата.

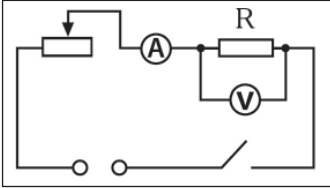
Измерим диаметр обмотки реостата D . Очевидно, что

$$l_1 = \pi D. \quad (5)$$

Из соотношений (1) – (5) окончательно получим:

$$\rho = \frac{RL^2}{DN^3}.$$

Экспериментальная задача «Определение длины и диаметра медной проволоки». Используя весы, можно измерить массу проволоки m . Если собрать электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке 68, то не представляет труда определить электрическое сопротивление проволоки R . (Проволока изображена на схеме как резистор R .)



Массу проволоки m можно выразить через её плотность ρ_0 и объём V :

Рис. 68

$$m = \rho_0 V. \quad (1)$$

Объём медной проволоки легко рассчитать как объём цилиндра высотой l (длина проволоки), имеющего площадь основания s (площадь поперечного сечения проволоки):

$$V = ls. \quad (2)$$

Объединив соотношения (1) и (2), получим:

$$m = \rho_0 ls. \quad (3)$$

Сопротивление проволоки R рассчитывается по формуле

$$R = \rho \frac{l}{s}, \quad (4)$$

где ρ – удельное сопротивление меди.

Решая систему уравнений (3) и (4), получим:

$$l = \sqrt{\frac{mR}{\rho_0 \rho}},$$

$$s = \sqrt{\frac{\rho m}{\rho_0 R}}.$$

Если известна площадь поперечного сечения проволоки s , то не составляет труда определить и её диаметр d .

$$s = \frac{\pi d^2}{4}.$$

Отсюда

$$d = \sqrt{\frac{4s}{\pi}}.$$

10.1. Используя графики зависимости силы тока от напряжения (рис. 27), определим сопротивление R_1 и R_2 обоих резисторов.

$$R_1 = 4 \text{ Ом},$$

$$R_2 = 6 \text{ Ом}.$$

При последовательном соединении резисторов сопротивление цепи $R_{\text{послед}}$ равно:

$$R_{\text{послед}} = R_1 + R_2,$$

$$R_{\text{послед}} = 10 \text{ Ом}.$$

Сила тока I в этой цепи равна:

$$I = \frac{U}{R_{\text{послед}}},$$

где U – напряжение источника.

$$I = 1,2 \text{ А}.$$

При параллельном соединении резисторов сопротивление цепи $R_{\text{парал}}$ и сопротивление R_1 и R_2 резисторов связаны соотношением:

$$\frac{1}{R_{\text{парал}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2},$$

$$R_{\text{парал}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2},$$

$$R_{\text{парал}} = 2,4 \text{ Ом}.$$

Сила тока I' в этой цепи равна:

$$I' = \frac{U}{R_{\text{парал}}},$$

$$I' = 5 \text{ А}.$$

Ответ: $I = 1,2 \text{ А}$, $I' = 5 \text{ А}$.

10.2. Обозначим резисторы в схеме электрической цепи как R_1 , R_2 , R_3 и точки, между которыми они подключены, как C и D (рис. 69).

К точке C подключены все три резистора R_1 , R_2 , R_3 , к точке D подключены также

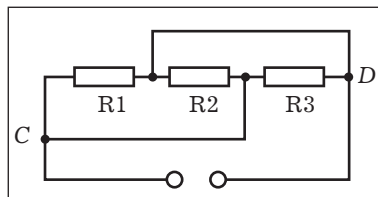


Рис. 69

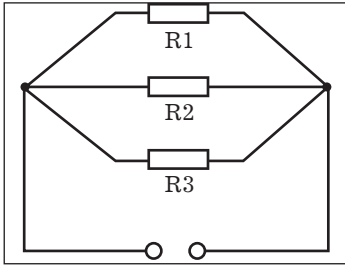


Рис. 70

все три резистора R_1 , R_2 , R_3 . Таким образом, резисторы соединены параллельно (рис. 70).

Теперь можно легко рассчитать сопротивление R этой электрической цепи:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{60} + \frac{1}{60} + \frac{1}{60}.$$

$$R = 20 \text{ Ом.}$$

Ответ: $R = 20 \text{ Ом.}$

10.3. Обозначим резисторы в схеме электрической цепи как R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 (рис. 71).

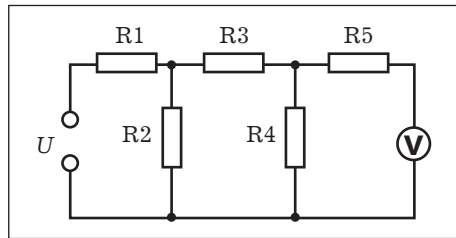


Рис. 71

Ввиду очень большого сопротивления вольтметра через резистор R_5 протекает пренебрежимо малый электрический ток, и при расчёте сопротивления цепи будем представлять вольтметр как разрыв электрической цепи. Тогда схему цепи можно изобразить так, как это показано на рисунке 72:

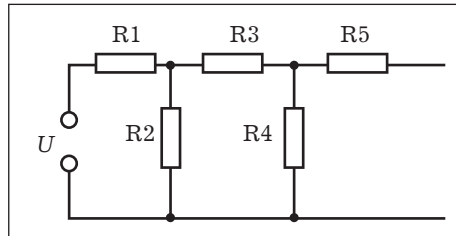


Рис. 72

Резисторы R_3 и R_4 соединены последовательно, сопротивление R_{34} этого участка цепи равно:

$$R_{34} = R_3 + R_4,$$

$$R_{34} = 30 \text{ Ом.}$$

Резистор R_2 и участок цепи R_{34} соединены параллельно (рис. 73).

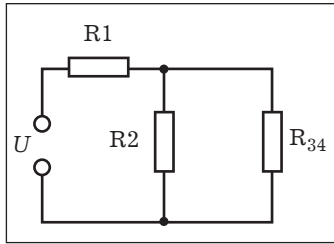


Рис. 73

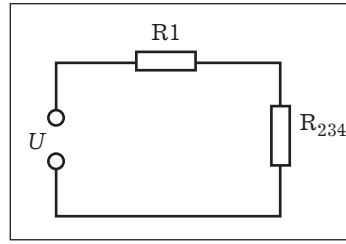


Рис. 74

Сопротивление R_{234} этого участка цепи составит:

$$R_{234} = \frac{10 \text{ Ом} \cdot 30 \text{ Ом}}{10 \text{ Ом} + 30 \text{ Ом}},$$

$$R_{234} = 7,5 \text{ Ом}.$$

Резистор $R1$ и участок цепи R_{234} соединены последовательно (рис. 74). Таким образом, сопротивление R всей электрической цепи равно:

$$R = 20 \text{ Ом} + 7,5 \text{ Ом}.$$

$$R = 27,5 \text{ Ом}.$$

Применяя формулу закона Ома, легко рассчитать силу тока и напряжение на отдельных участках цепи:

- сила тока, протекающего через резистор $R1$, будет равна 8 А;
- напряжение на резисторе $R1$ будет равно 160 В;
- напряжение на резисторе $R2$ и на участке R_{34} будет равно 60 В;
- сила тока, протекающего через резистор $R2$, будет равна 6 А;
- сила тока, протекающего через резисторы $R3$ и $R4$, будет равна 2 А;
- напряжение на резисторе $R4$ будет равно 20 В.

Если напряжение на резисторе $R4$ равно 20 В, то сумма напряжений на резисторе $R5$ и вольтметре также равна 20 В. Но сопротивление вольтметра во много раз больше сопротивления резистора $R5$, значит и напряжение на вольтметре во много раз больше напряжения на резисторе $R5$. Следовательно, вольтметр покажет напряжение 20 В.

Ответ: 20 В.

10.4. Обозначим сопротивление левой (по рисунку 30, $a - в$) части реостата как $R_{лев}$, а сопротивление правой (по рисунку 30, $a - в$) части реостата как $R_{прав}$.

Из пропорции

$$\frac{R - L}{R_{лев}} = x$$

выразим сопротивление левой части реостата:

$$R_{лев} = \frac{R \cdot x}{L}. \quad (1)$$

Из пропорции

$$\frac{R - L}{R_{прав} - (L - x)}$$

выразим сопротивление правой части реостата:

$$R_{лев} = \frac{R \cdot (L - x)}{L}. \quad (2)$$

Перечертим схемы включения реостата (рис. 30, а – в) с учётом введённых нами обозначений $R_{лев}$ и $R_{прав}$ (рис. 75, а – в).

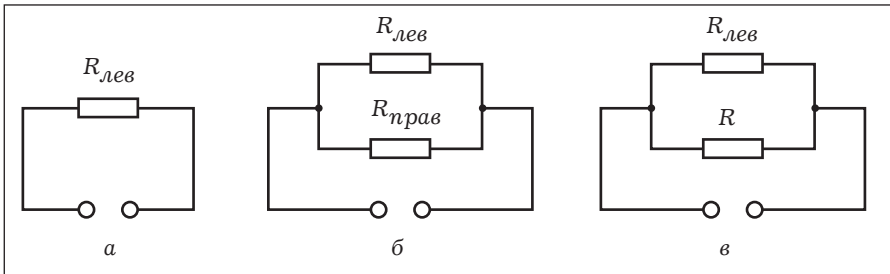


Рис. 75

Проведём расчёт сопротивления цепи $R_{ц}$ для каждого из трёх случаев а – в.

Случай а.

$$R_{ц} = R_{лев},$$

или с учётом соотношения (1):

$$R_{ц} = \frac{R \cdot x}{L}. \quad (3)$$

Случай б.

$$\frac{1}{R_{ц}} = \frac{1}{R_{лев}} + \frac{1}{R_{прав}},$$

$$R_{ц} = \frac{R_{лев} \cdot R_{прав}}{R_{лев} + R_{прав}},$$

или с учётом соотношений (1) и (2):

$$R_{ц} = \frac{R \cdot x \cdot (L - x)}{L^2}. \quad (4)$$

Случай в.

$$\frac{1}{R_{ц}} = \frac{1}{R_{лев}} + \frac{1}{R},$$

$$R_{ц} = \frac{R_{лев} \cdot R}{R_{лев} + R},$$

или с учётом соотношений (1) и (2):

$$R_y = \frac{R \cdot x}{L + x} \quad (5)$$

Используя выражения (3) – (5), построим графики зависимости сопротивления цепи R_y от расстояния x между левой (по рисунку) клеммой реостата и его подвижным контактом (рис. 76).

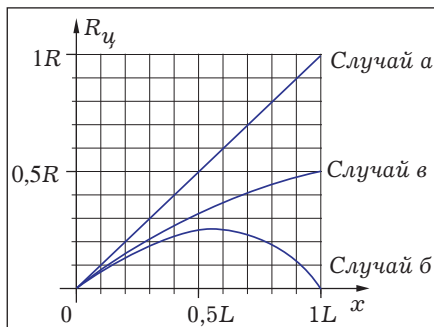


Рис. 76

10.5. Нам известны показания амперметра A_0 и вольтметра V_0 , следовательно, можно определить сопротивление всей электрической цепи. Оно равно 2 Ом.

Так как амперметр A идеальный (его сопротивление пренебрежимо мало), то точки C и D (рис. 77) будем считать соединёнными друг с другом накоротко. Тогда данную электрическую цепь можно представить следующим образом (рис. 78):

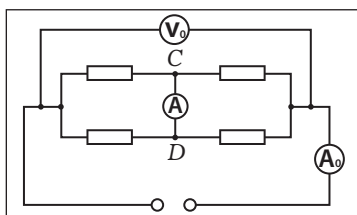


Рис. 77

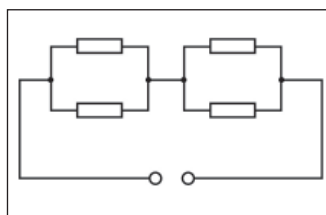


Рис. 78

Перебирая различные варианты, можно убедиться, что сопротивление всей электрической цепи равно 2 Ом, если резисторы включены в цепь так, как это показано на рисунке 79, а, б. (Номер резистора, указанный на рисунке 79, а, б, совпадает со значением сопротивления резистора, выраженным в омах.)

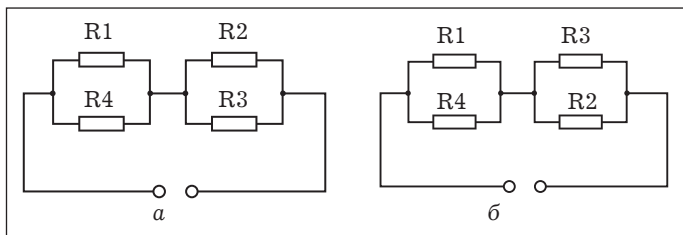


Рис. 79

Зная сопротивление участка цепи, состоящего из параллельно соединённых резисторов R_1 и R_4 , несложно определить напряжение на данном участке цепи. Аналогично можно определить и напряжение на участке цепи, состоящем из параллельно соединённых резисторов R_2 и R_3 . Это позволяет рассчитать силу тока, протекающего через каждый из резисторов. Результаты таких расчётов приведены на рисунке 80, а, б.

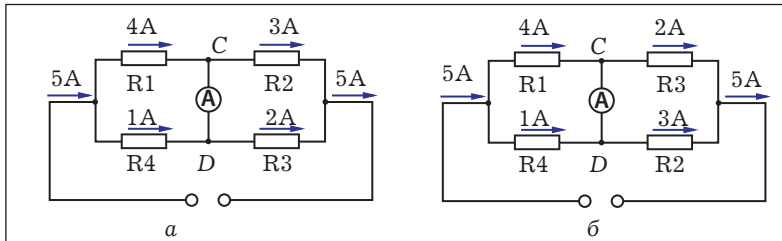


Рис. 80

Будем исходить из очевидного условия, что какой ток «втекает» в узел C или узел D , то такой же ток «вытекает» из узла¹. Это позволит определить ток, текущий через амперметр: сила тока будет равна или 1 А (рис. 80, а) или 2 А (рис. 80, б).

Ответ: 1 А, 2 А.

10.6. Первоначально резистор R и вольтметр V включены в электрическую цепь последовательно, и сопротивление электрической цепи равно сумме сопротивления R резистора и сопротивления R_V вольтметра. При подключении к вольтметру параллельно резистора R' сопротивление этого участка цепи уменьшается, а значит, уменьшается и сопротивление всей электрической цепи. Это приводит к увеличению силы тока в цепи, изменению напряжения на резисторе и вольтметре.

Обозначим напряжение, приложенное к клеммам электрической цепи, первоначальное (до подключения резистора) напряжение на резисторе и напряжение на вольтметре как U_0 , U_R , U_V соответственно. Тогда

$$U_0 = U_R + U_V. \text{ (Почему?)} \quad (1)$$

Пусть после подключения резистора R' напряжение на резисторе R и напряжение на вольтметре V стало равным U'_R , U'_V соответственно. Тогда

$$U_0 = U'_R + U'_V. \text{ (Почему?)} \quad (2)$$

Так как по условию задачи после подключения резистора R' сила тока через резистор R увеличилась в 2 раза, то

$$U'_R = 2U_R. \text{ (Почему?)} \quad (3)$$

¹ Узел – точка электрической цепи, в которой соединяются три и более проводника.

Также по условию задачи

$$U'_V = \frac{1}{2}U_V. \quad (4)$$

С учётом соотношений (3) и (4) выражение (2) примет вид:

$$U_0 = 2U_R + \frac{1}{2}U_V. \quad (5)$$

Решая систему уравнений (1) и (5), получим:

$$U_V = 6 \text{ В.}$$

Значит,

$$U'_V = 3 \text{ В.}$$

Ответ: $U_V = 6 \text{ В}$, $U'_V = 3 \text{ В}$.

10.6. Пусть напряжение на лампе Л1 и лампе Л2 равно соответственно U_1 и U_2 , а сила тока, протекающего через лампы, I_1 и I_2 соответственно. Так как лампы соединены последовательно, то

$$U_1 + U_2 = U_0. \quad (1)$$

$$I_1 = I_2 = I, \quad (2)$$

где U_0 – напряжение источника, к которому подключены лампы,

I – сила тока, протекающего через лампы.

Эти соотношения позволяют решить задачу графически: построим вольт-амперную характеристику лампы Л2, откладывая значения напряжения «в обратную сторону» – от $U_0 = 12 \text{ В}$ к 0 В (рис. 81).

Вольт-амперные характеристики первой лампы и второй лампы пересекутся в некоторой точке. В этой точке условия (1) и (2) выполняются: сумма напряжений на лампе Л1 и лампе Л2 равна напряжению источника, сила тока в лампах одинакова. Таким образом, точка пересечения вольтамперных характеристик позволяет определить силу тока через лампу:

$$I = 0,9 \text{ А.}$$

Ответ: $I = 0,9 \text{ А}$.

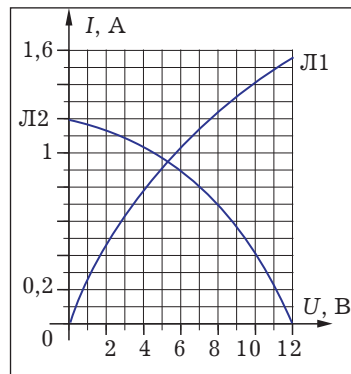


Рис. 81

10.8. Мысленно исключим из электрической цепи амперметр, заменив его проводником. Тогда становится очевидным, что резисторы сопротивлением 40 Ом соединены параллельно (рис. 82). Не составляет труда рассчитать и силу тока, протекающего через каждый резистор. Результаты таких расчётов приведены на рисунке 83.

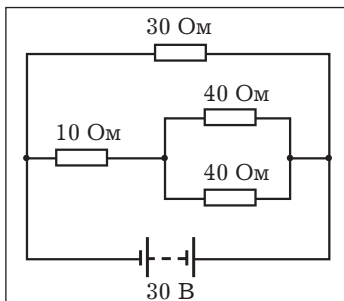


Рис. 82

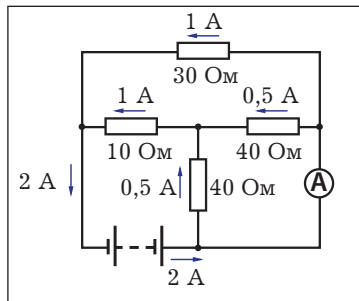


Рис. 83

Таким образом, видно, что сила тока, протекающего через амперметр, составляет 1,5 А.

Ответ: 1,5 А.

12.1. Включим «чёрный ящик» в электрическую цепь. Измерим силу тока, протекающего через «ящик», и напряжение на его клеммах. Это позволяет определить сопротивление $R_{я}$ «чёрного ящика».

Выкрутим лампу. Если ток в цепи прекратится, то это свидетельствует о том, что резистор и лампа в «чёрном ящике» соединены последовательно. В этом случае определить сопротивление R_p резистора и сопротивление R_l по отдельности не представляется возможным.

Если же после удаления лампы ток не прекращается, но сила тока уменьшается, то это свидетельствует о том, что резистор и лампа в «чёрном ящике» были соединены параллельно. Вновь измерим силу тока и напряжение и определим сопротивление резистора R_p . Сопротивление же лампы в этом случае рассчитаем следующим образом. При параллельном соединении лампы и резистора выполняется следующее соотношение:

$$\frac{1}{R_{я}} = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_l}.$$

Отсюда

$$R_l = \frac{R_{я} \cdot R_p}{R_p - R_{я}}.$$

12.2. Допустимые по условию задачи варианты соединения трёх одинаковых резисторов приведены на рисунке 84.

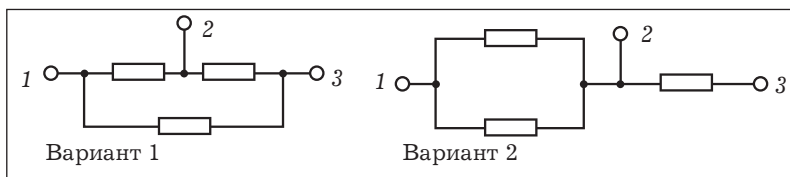


Рис. 84

Пусть сопротивление резистора равно R . Сопротивление между отдельными выводами 1, 2, 3 «чёрного ящика» обозначим как R_{12} , R_{23} , R_{31} соответственно. Тогда для указанных на рисунке 84 вариантов соединения резисторов значения этих сопротивлений будут равны:

$$\text{вариант 1: } R_{12} = R, R_{23} = R, R_{31} = \frac{2}{3}R;$$

$$\text{вариант 2: } R_{12} = \frac{1}{2}R, R_{23} = R, R_{31} = \frac{3}{2}R.$$

Таким образом, отношение сопротивлений между отдельными выводами «чёрного ящика» составляет:

для варианта 1: 3 : 3 : 2;

для варианта 2: 1 : 2 : 3.

Имея в своём распоряжении источник тока, амперметр, вольтметр, соединительные провода и ключ, не составит труда определить сопротивление между отдельными выводами «чёрного ящика» и установить отношение этих сопротивлений. После этого можно определить, как именно соединены резисторы в «чёрном ящике» и каково сопротивление R резистора.

12.3. Подключим к выводам «чёрного ящика» амперметр и реостат. Измерим силу тока в цепи дважды при двух различных положениях подвижного контакта реостата.

Так как резистор и реостат соединены последовательно, то сумма напряжений на резисторе и на реостате равна напряжению U_0 гальванического элемента:

$$U_0 = U + U_p, \quad (1)$$

где U – напряжение на резисторе,

U_p – напряжение на реостате.

Если сила тока, протекающего по цепи, равна I , то

$$U = IR_0 \quad (2)$$

и

$$U_p = IR_p, \quad (3)$$

где R_0 – сопротивление резистора,

R_p – сопротивление части обмотки реостата, по которой протекает ток.

С учётом соотношений (2) и (3) выражение (1) примет вид:

$$U_0 = IR_0 + IR_p. \quad (4)$$

Запишем выражение (4) дважды для двух различных положений подвижного контакта реостата, когда сопротивление обмотки реостата, включённой в электрическую цепь, составляет R_1 и R_2 , а сила тока I_1 и I_2 соответственно.

$$U_0 = I_1 R_0 + I_1 R_1 \quad (5)$$

и

$$U_0 = I_2 R_0 + I_2 R_2. \quad (6)$$

Из соотношений (5) и (6) выразим сопротивление резистора R_0 :

$$R_0 = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2}. \quad (7)$$

Сила тока I_1 и I_2 измерена, необходимо определить ещё сопротивление R_1 и R_2 . Это можно сделать следующим образом: измерим длину L всей обмотки реостата, используя полоску миллиметровой бумаги. Измерим длину a той части реостата, которая включена в электрическую цепь, когда сила тока в цепи равна I_1 , и измерим длину b обмотки реостата, включённой в электрическую цепь, при силе тока I_2 . Обозначим сопротивление всей обмотки реостата через $R_{обм}$ (оно известно) и для определения сопротивления R_1 и R_2 составим следующие пропорции:

$$\frac{R_{обм} - L}{R_1 - a}$$

и

$$\frac{R_{обм} - L}{R_2 - b}.$$

Тогда

$$R_1 = \frac{R_{обм} a}{L}$$

и

$$R_2 = \frac{R_{обм} b}{L}.$$

Подставив полученные соотношения в выражение (7), получим:

$$R_0 = \frac{R_{обм}(I_2 b - I_1 a)}{I_1 - I_2}.$$

Итак, сопротивление R_0 может быть определено.

Далее, используя соотношение (5) или соотношение (6), можно определить и напряжение U_0 .

Лабораторная работа «Определение сопротивления резистора методом амперметра и вольтметра». Рассмотрим схемы измерения сопротивления (рис. 85, а, б).

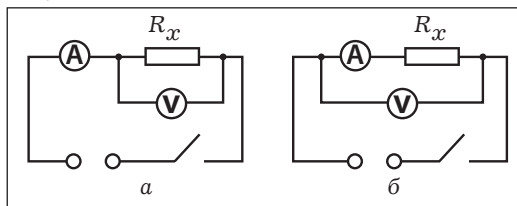


Рис. 85

В соответствии с законом Ома сопротивление резистора R_x может быть определено по формуле:

$$R_x = \frac{U_x}{I_x}, \quad (1)$$

где U_x – напряжение на резисторе,

I_x – сила тока, протекающего через резистор.

Если применять для измерения сопротивления электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке 85, а, то в этом случае

$$U_x = U_V, \quad (2)$$

где U_V – показание вольтметра.

Но

$$I_x \neq I_A,$$

где I_A – показание амперметра.

Действительно, после амперметра часть тока идёт через резистор, а часть тока – через катушку вольтметра.

$$I_A = I_x + I_V,$$

где I_V – сила тока, проходящего через катушку вольтметра.

$$I_x = I_A - I_V. \quad (3)$$

Из соотношений (1) – (3) имеем:

$$R_x = \frac{U_V}{I_A - I_V}. \quad (4)$$

Если сопротивление вольтметра во много раз больше сопротивления резистора, то через вольтметр будет протекать очень малый ток в сравнении с током, протекающим через резистор, то есть, $I_V \ll I_x$. (Математический знак “ \ll ” означает: “во много раз меньше”.) В этом случае мы не допустим большой ошибки, если проведём расчёт сопротивления не по формуле (4), а по приближённой формуле:

$$R_x = \frac{U_V}{I_A}.$$

Подведём итог: схему измерения, изображённую на рисунке 85, а, следует применять тогда, когда известно, что сопротивление вольтметра во много раз больше, чем сопротивление резистора.

Теперь рассмотрим схему измерения, изображённую на рисунке 85, б. В этом случае

$$R_x = \frac{U_x}{I_x}. \quad (5)$$

$$U_x = U_V - U_A, \quad (6)$$

где U_A – напряжение на амперметре.

$$I_x = I_A. \quad (7)$$

Из соотношений (5) – (7) имеем:

$$R_x = \frac{U_V - U_A}{I_A}. \quad (8)$$

Если сопротивление амперметра во много раз меньше сопротивления резистора, то напряжение на амперметре будет очень мало в сравнении с напряжением на резисторе, то есть $U_A \ll U_x$. В этом случае мы не допустим большой ошибки, если проведём расчёт сопротивления не по формуле (8), а по приближённой формуле:

$$R_x = \frac{U_V}{I_A}.$$

Подведём итог: схему измерения, изображённую на рисунке 85, б, следует применять тогда, когда известно, что сопротивление амперметра во много раз меньше, чем сопротивление резистора.

15.1. Чтобы сила тока в проволоке нагревателя не превышала 2А, сопротивление R нагревателя должно быть

$$R = \frac{220 \text{ В}}{2 \text{ А}},$$
$$R = 110 \text{ Ом}.$$

Так как сопротивление куска нихромовой проволоки 500 Ом, то из такой проволоки удастся изготовить 4 нагревателя. (Оставшийся кусок проволоки использовать не удастся, так как сила тока в нём будет превышать 2 А.)

Мощность P одного нагревателя составит:

$$P = 220 \text{ В} \cdot 2 \text{ А} = 440 \text{ Вт}.$$

Суммарная мощность всех четырёх нагревателей составит 1760 Вт.

Ответ: 1760 Вт.

15.2. Мощность, выделяющаяся на реостате, определяется силой тока в обмотке реостата и величиной напряжения на реостате. Пусть при силе тока I_1 напряжение на реостате равно U_1 , а при силе тока I_2 напряжение на реостате равно U_2 . Тогда

$$P_1 = U_1 I_1, \quad (1)$$

$$P_2 = U_2 I_2. \quad (2)$$

Так как резистор R и реостат соединены последовательно, то

$$U_0 = I_1 R + U_1, \quad (3)$$

$$U_0 = I_2 R + U_2, \quad (4)$$

где первое слагаемое в уравнении (3) и уравнении (4) определяет напряжение на резисторе.

Решая систему уравнений (3) и (4), определим сопротивление R резистора:

$$R = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2},$$

или, с учётом соотношений (10 и (2),

$$R = \frac{\frac{P_2}{I_2} - \frac{P_1}{I_1}}{I_1 - I_2},$$

$$R = 6 \text{ Ом.}$$

Используя полученный результат и соотношение (1) – (4), определим напряжение источника U_0 .

$$U_0 = 36 \text{ В.}$$

Если подвижный контакт реостата сдвинуть максимально влево (по рисунку 46), то сопротивление реостата будет равно нулю. В этом случае мощность будет выделяться только на резисторе, и она равна:

$$P = \frac{U_0^2}{R}.$$

$$P = 220 \text{ Вт}^1.$$

Обратите внимание, в рассматриваемой электрической цепи *на реостате* может выделяться различная мощность (по условию задачи это 48 Вт и 30 Вт, а при нулевом сопротивлении реостата, когда подвижный контакт реостата сдвинут максимально влево, мощность и вовсе равна 0).

Выясним дополнительно, каким должно быть сопротивление реостата R_p , чтобы в данной электрической цепи на реостате выделилась *максимально возможная мощность*.

Так как резистор сопротивлением R и реостат сопротивлением R_p соединены последовательно, то по обмотке реостата будет протекать ток I , равный:

$$I = \frac{U_0}{R + R_p}. \quad (5)$$

При этом на реостате будет выделяться мощность P_p , равная

$$P_p = I^2 R_p,$$

или, учётом соотношения (5),

$$P_p = \frac{U_0^2 \cdot R_p}{(R_p + R)^2}. \quad (6)$$

Преобразуем выражение (6) следующим образом:

$$P_p = \frac{U_0^2 \cdot R_p}{(R_p - R)^2 + 4R_p R},$$

¹ Подумайте, почему указано значение мощности 220 Вт, а не 216 Вт.

$$P_p = \frac{U_0^2}{\frac{(R_p - R)^2}{R_p} + 4R}.$$

Данное выражение максимально при минимальном значении знаменателя, то есть, при условии:

$$\begin{aligned} R_p &= R, \\ R_p &= 6 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

В этом случае максимальная мощность составит

$$P_p = 54 \text{ Вт}.$$

При силе тока $I_1 = 2 \text{ А}$ на реостате по условию задачи выделяется мощность $P_1 = 48 \text{ Вт}$, то есть, в этом случае напряжение на реостате составляет 24 В и сопротивление той обмотки реостата, что включена в электрическую цепь, равно 12 Ом . Таким образом, ясно, что сопротивление реостата может принимать значение 6 Ом и, следовательно, выделение максимальной мощности в 54 Вт возможно.

Ответ: $U_0 = 36 \text{ В}$, $R = 6 \text{ Ом}$.

15.3. Пусть сопротивление обмотки, при включении которой чайник закипает через время $t_1 = 10 \text{ мин}$, равно R_1 . Будем также считать, что всё количество теплоты, выделяющееся при прохождении тока по обмотке, идёт исключительно на нагревание воды до температуры, равной температуре кипения. Пусть это количество теплоты равно Q . Тогда в соответствии с законом Джоуля и Ленца:

$$Q = I_1^2 R t_1,$$

где I_1 – сила тока в нагревательной обмотке.

Если чайник подключен к сети с напряжением U , то

$$I_1 = \frac{U}{R_1}$$

и формула закона Джоуля и Ленца может быть записана в виде:

$$Q = \frac{U^2}{R_1 \cdot t_1}. \quad (1)$$

Аналогичным образом для другой обмотки сопротивлением R_2 , при включении которой чайник закипает через время $t_2 = 15 \text{ мин}$, получим:

$$Q = \frac{U^2}{R_2 \cdot t_2}. \quad (2)$$

Если обмотки сопротивлением R_1 и R_2 соединены параллельно, сопротивление электрической цепи в случае такого соединения $R_{\text{парал}}$ равно

$$R_{\text{парал}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

и тогда формула для расчёта количества теплоты Q будет иметь вид

$$Q = \frac{U^2 (R_1 + R_2)}{R_1 R_2} t_{\text{парал}}, \quad (3)$$

где $t_{\text{парал}}$ – время, через которое закипит чайник, если его нагревательные обмотки соединены параллельно.

При последовательном соединении нагревательных обмоток сопротивление электрической цепи $R_{\text{послед}}$ равно

$$R_{\text{послед}} = R_1 + R_2,$$

и тогда формула для расчёта количества теплоты Q будет иметь вид:

$$Q = \frac{U^2}{(R_1 + R_2)} t_{\text{послед}}, \quad (4)$$

где $t_{\text{послед}}$ – время, через которое закипит чайник, если его нагревательные обмотки соединены параллельно.

Используем полученные выражения (1) – (4) для вычисления времени $t_{\text{парал}}$ и $t_{\text{послед}}$.

Вычисление $t_{\text{парал}}$.

Сравнивая выражения (3) и (1), получим:

$$\begin{aligned} \frac{(R_1 + R_2)}{R_2} t_{\text{парал}} &= t_1, \\ (R_1 + R_2) t_{\text{парал}} &= t_1 \cdot R_2, \\ \frac{t_{\text{парал}}}{t_1} &= \frac{R_2}{R_1 + R_2}. \end{aligned} \quad (5)$$

Сравнивая выражения (3) и (2), получим:

$$\frac{t_{\text{парал}}}{t_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}. \quad (6)$$

Теперь осталось только сложить выражения (5) и (6):

$$\frac{t_{\text{парал}}}{t_1} + \frac{t_{\text{парал}}}{t_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_1}{R_1 + R_2},$$

$$t_{\text{парал}} \left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} \right) = 1.$$

$$t_{\text{парал}} \left(\frac{t_1 + t_2}{t_1 t_2} \right) = 1,$$

$$t_{\text{парал}} = \frac{t_1 t_2}{t_1 + t_2}.$$

$$t_{\text{парал}} = 6 \text{ мин.}$$

Вычисление $t_{носл}$

Сравнивая выражения (1) и (4), получим:

$$\frac{t_1}{R_1} = \frac{t_{носл}}{R_1 + R_2},$$

$$t_1 = \frac{t_{носл} R_1}{R_1 + R_2}. \quad (7)$$

Сравнивая выражения (2) и (4), получим:

$$t_2 = \frac{t_{носл} R_2}{R_1 + R_2}. \quad (8)$$

Теперь осталось только сложить выражения (7) и (8):

$$t_1 + t_2 = \frac{t_{носл} R_1}{R_1 + R_2} + \frac{t_{носл} R_2}{R_1 + R_2},$$

$$t_1 + t_2 = t_{носл} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right),$$

$$t_{носл} = t_1 + t_2.$$

$$t_{носл} = 25 \text{ мин.}$$

15.4. Начертим схемы электрических цепей в упрощённом виде (рис. 86, а, б) и укажем ток и напряжение на каждом участке цепи, используя следующие обозначения:

U_0 – напряжение источника;

$U_{л}$ – напряжение на лампе;

I_0 – сила тока в неразветвлённом участке цепи;

$I_{л}$ – сила тока в лампе.

Определим КПД в первом случае (рис. 86, а) и во втором случае (рис. 86, б).

В первом случае электрическая мощность, выделяющаяся на лампе, равна $U_{л} I_{л}$, а мощность, потребляемая всей электрической цепью, – $U_0 I_0$. Коэффициент полезного действия КПД₁ будет равен:

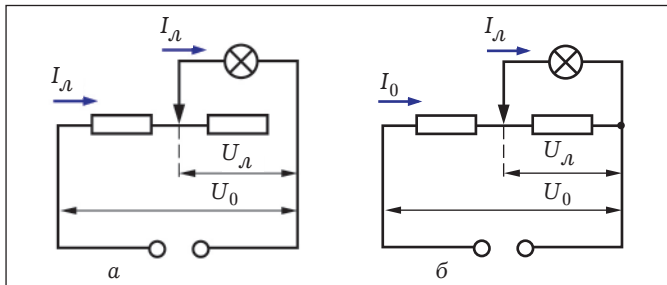


Рис. 86

$$\begin{aligned} \text{КПД}_1 &= \frac{U_{\text{л}} I_{\text{л}}}{U_0 I}, \\ \text{КПД}_1 &= \frac{U_{\text{л}}}{U_0}. \end{aligned} \quad (1)$$

Во втором случае электрическая мощность, выделяющаяся на лампе, вновь равна $U_{\text{л}} I_{\text{л}}$, а мощность, потребляемая всей электрической цепью, — $U_0 I_0$. Тогда коэффициент полезного действия КПД_2 равен:

$$\text{КПД}_2 = \frac{U_{\text{л}} I_{\text{л}}}{U_0 I_0}. \quad (2)$$

Сравним КПД_1 и КПД_2 , используя соотношения (1) и (2):

$$\frac{\text{КПД}_1}{\text{КПД}_2} = \frac{I_0}{I_{\text{л}}}.$$

Так как очевидно, что

$$I_0 > I_{\text{л}},$$

то

$$\text{КПД}_1 > \text{КПД}_2.$$

Ответ: КПД больше для электрической цепи, схема которой изображена на рисунке 47, а (рис. 86, а).

15.5. Рассмотрим электрическую цепь, в которой лампочка и резистор соединены последовательно (рис. 87).

Пусть I — сила тока в цепи, U_0 , U , U_R — напряжение источника, напряжение на лампочке, напряжение на резисторе соответственно.

Очевидно, что

$$U_0 = U + U_R. \quad (1) \quad \text{Рис. 87}$$

В соответствии с законом Ома

$$I = \frac{U_R}{R},$$

где R — сопротивление резистора.

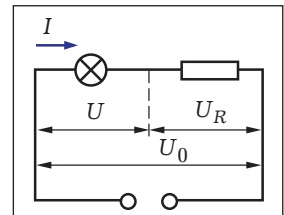
С учётом соотношения (1) имеем:

$$I = \frac{U_0 - U}{R}.$$

По условию задачи $U_0 = 12$ В, $R = 5$ Ом, тогда

$$I = \frac{12 - U}{5}. \quad (2)$$

В условии задачи на рисунке 48 приведён график зависимости силы тока, протекающего через лампочку, от напряжения на лампочке. На этом же рисунке построим график зависимости силы тока I , протекающего через резистор, от напряжения U на лампочке, используя зависи-



мость (2). Результаты выполненного построения приведены на рисунке 88.

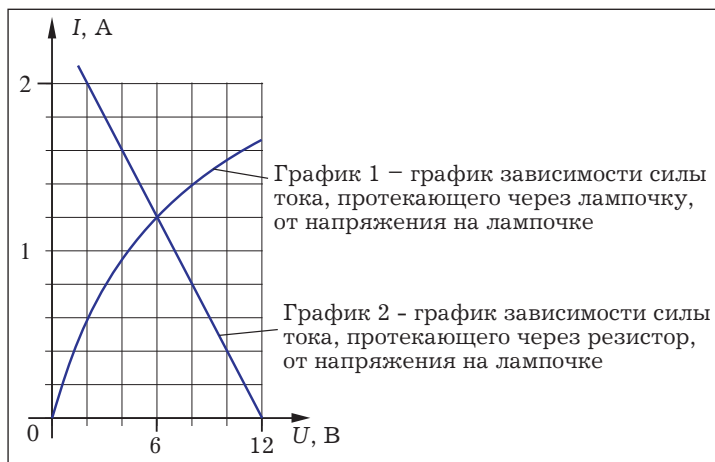


Рис. 88

Лампочка и резистор в данном случае соединены последовательно, значит, сила тока в них должна быть одинакова. Как видно из рисунка 88, графики 1 и 2 пересекаются (сила тока одинакова) в точке, которая соответствует напряжению на лампочке $U = 6$ В. При этом сила тока в лампе $I = 1,2$ А.

Теперь очень просто определить электрическую мощность P , выделяющуюся на лампочке:

$$P = UI.$$

$$P = 7,2 \text{ Вт.}$$

Ответ: $P = 7,2$ Вт.

Лабораторная работа «Изучение зависимости мощности, выделяющейся на резисторе, от силы тока в резисторе». Если построить график зависимости электрической мощности P , выделяющейся на резисторе, от силы тока I в резисторе, то есть, график $P = f(I)$, то можно сделать вывод, что мощность тем больше, чем больше сила тока. Построив график зависимости электрической мощности P , выделяющейся на резисторе, от *квадрата силы тока* I^2 в резисторе – график $P = f(I^2)$, можно сделать вывод, что мощность прямо пропорциональна квадрату силы тока.

Экспериментальная задача «Определение сопротивления резистора «тепловым методом». Налейте в внутренний стаканчик калориметра воду и измерим с помощью термометра начальную температуру воды.

Если в стаканчик с водой опустить нагревательную спираль сопротивлением R , подключённую к источнику тока, то за некоторое время τ вода нагреется на Δt градусов. Пренебрежём потерями тепла, нагреванием внутреннего стаканчика калориметра и будем считать, что всё количество теплоты, выделяющееся при прохождении тока по спирали, расходуется исключительно на нагревание воды. Это позволяет записать следующее соотношение

$$\frac{U^2}{R} \tau = mc\Delta t, \quad (1)$$

где U – напряжение источника,
 m – масса воды в калориметре,
 c – удельная теплоёмкость воды.

Если заменить спираль, подключив к источнику тока резистор с неизвестным сопротивлением R_x , и вновь нагреть воду, то можно записать аналогичное соотношение:

$$\frac{U^2}{R_x} \cdot \tau_x = mc\Delta t_x, \quad (2)$$

где τ_x – время нагревания воды, в течение которого её температура повышается на Δt_x градусов.

Разделив почленно уравнение (1) на уравнение (2), получим

$$\frac{\tau R_x}{\tau_x R} = \frac{\Delta t}{\Delta t_x},$$

отсюда

$$R_x = R \frac{\Delta t \tau_x}{\Delta t_x \tau}.$$

Лабораторная работа «Установление зависимости величины силы тока, при которой перегорают проводники, от их диаметра». Используя результаты проведённых измерений, построим график зависимости

$$I^2 = f(d^3),$$

где I – величина силы тока, при достижении которой плавится проволока,
 d – диаметр проволоки.

Построенный график представляет собой отрезок прямой линии, проходящей через начало координат. Это свидетельствует о том, что

$$I^2 \sim d^3,$$

или

$$I \sim \sqrt{d^3}.$$

Обоснуем эту зависимость теоретически. Мощность электрического тока P_1 , протекающего по проводнику, равна:

$$P_1 = I^2 R, \quad (1)$$

где I – сила тока,

R – сопротивление проволоки.

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

где ρ – удельное сопротивление меди (при температуре, близкой к температуре плавления меди),

l – длина проволоки,
 s – площадь поперечного сечения проволоки,

$$s = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (3)$$

Из соотношений (1) – (3) имеем:

$$P_1 = \frac{4I^2\rho l}{\pi d^2}. \quad (4)$$

Выделяющаяся в проводнике мощность отводится из проводника в окружающую среду через его боковую поверхность. Мощность теплообмена (энергия, отводимая из проводника за единицу времени) через единицу площади боковой поверхности проводника тем больше, чем больше разность температур между проводником и окружающей средой.

Если увеличить силу тока в проводнике, то выделяющаяся в проводнике мощность возрастёт, и её успешный своевременный отвод в окружающую среду требует, естественно, увеличения мощности теплообмена, то есть большей разности температур «проводник – окружающая среда». Таким образом, увеличение силы тока в проводнике ведёт к повышению температуры проводника и за счёт более интенсивного теплообмена проводник «избавляется» от тепловой энергии. Но «возможности проводника» не безграничны – температура проводника не может быть больше температуры плавления вещества проводника. Как только температура проводника повысится до температуры плавления, проводник «перегорает» – плавится.

Рассмотрим ситуацию «перегорания» медного проводника. Пусть P_2 – это максимально возможная мощность теплообмена, выделяющаяся в окружающую среду медным проводником, нагретым до температуры, близкой к температуре плавления меди. Максимально возможная мощность теплообмена P_2 определяется площадью боковой поверхности проволоки $S_{\text{поверх}}$, через которую эта мощность отводится в окружающую среду,

$$P_2 = kS_{\text{поверх}}, \quad (5)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Из рисунка 89 видно, что боковая поверхность проволоки представляет собой прямоугольник, длина одной стороны которого равна длине проволоки l , а длина другой стороны прямоугольника равна длине окружности πd . Таким образом

$$S_{\text{поверх}} = l\pi d. \quad (6)$$

Из соотношений (5) и (6) имеем:

$$P_2 = k l \pi d. \quad (7)$$

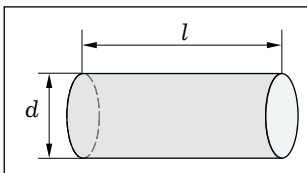


Рис. 89

Из соотношений (4) и (7), сравнивая мощность электрического тока P_1 и мощность теплообмена P_2 , имеем:

$$\frac{4I^2\rho l}{\pi d^2} = kl\pi d.$$

Значит

$$I^2 \sim d^3$$

или

$$I \sim \sqrt{d^3}.$$

Лабораторная работа «Снятие вольт-амперной характеристики лампы накаливания». Вольт-амперная характеристика лампы накаливания является нелинейной (рис. 90). Это подтверждает зависимость удельного сопротивления металла (вольфрамовой нити накаливания) от температуры и, как следствие, увеличение электрического сопротивления лампы с ростом температуры спирали лампы.

Если бы сопротивление спирали лампы было неизменным, то график зависимости силы тока от напряжения представлял бы прямую линию (почему?), как это представлено на рисунке 91.

В этом случае

$$I = \frac{U}{R}. \quad (1)$$

Считая сопротивление участка цепи постоянным, запишем формулу закона Ома (1) дважды

$$I_1 = \frac{U_1}{R}, \quad (2)$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R} \quad (3)$$

и вычтем из уравнения (3) уравнение (2).

Тогда

$$I_2 - I_1 = \frac{U_2 - U_1}{R},$$

отсюда

$$R = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1},$$

или

$$R = \frac{\Delta U}{\Delta I}, \quad (4)$$

где $\Delta U = U_2 - U_1$,

$$\Delta I = I_2 - I_1.$$

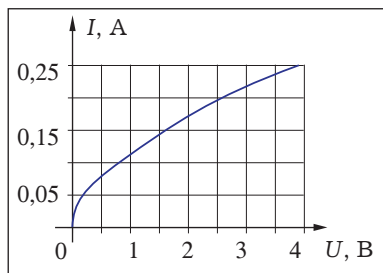


Рис. 90

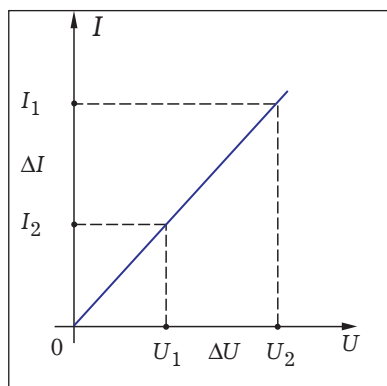


Рис. 91

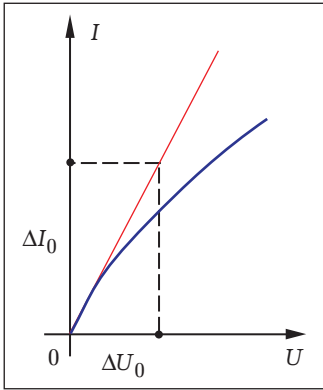


Рис. 92

Чем определяется угол наклона графика зависимости $I = f(U)$ к горизонтальной оси (оси U)? Он определяется сопротивлением R участка цепи – чем больше сопротивление, тем медленнее растёт сила тока при увеличении напряжения, тем меньше угол наклона графика. Величина же сопротивления может быть рассчитана по формуле (4).

Для определения сопротивления спирали лампы в холодном состоянии проведём касательную к вольт-амперной характеристике лампы через начальную точку графика (рис. 92). Ясно, что наклон касательной определяется сопротивлением R_0 спирали лампы в холодном состоянии (при $U = 0, I = 0$).

Воспользуемся формулой (4) и рассчитаем это сопротивление:

$$R_0 = \frac{\Delta U_0}{\Delta I_0}.$$

«Чёрный ящик» с диодом. Предположим, что резисторы R_1, R_2 и диод соединены в «чёрном ящике» по схеме, изображённой на рисунке 93, а, б.

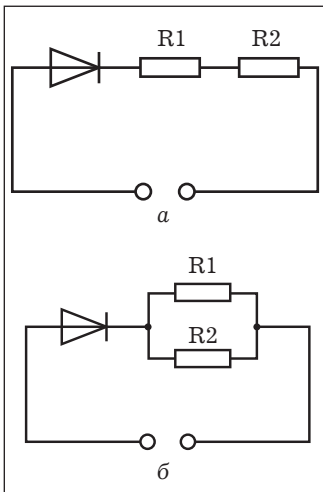


Рис. 93

При изменении полярности подключения источника сила тока в цепи будет изменяться от некоторого значения (диод включён в «прямом» направлении) до нуля (диод включён в «обратном» направлении). Используя амперметр и вольтметр, можно измерить силу тока и напряжение на «чёрном ящике». Это позволит определить его сопротивление, но сопротивление каждого резистора по отдельности установить в этом случае не представляется возможным.

Резисторы и диод также могут быть соединены в «чёрном ящике» по схемам, изображённым на рисунке 94, а, б.

В этом случае при изменении полярности подключения источника диод может оказаться включённым в «прямом» направлении, и тогда сопротивление «чёрного ящика» будет практически равно нулю¹. Если же диод окажется

¹ Чтобы сила тока в цепи не оказалась бы чрезмерно большой, нужно последовательно с «чёрным ящиком» включать реостат.

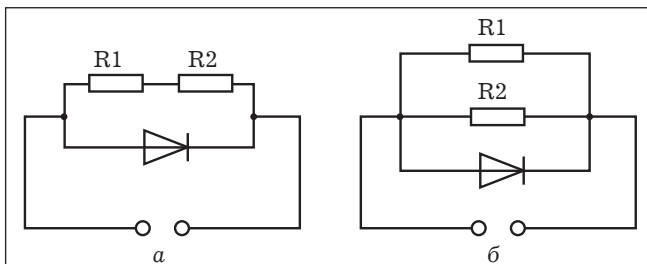


Рис. 94

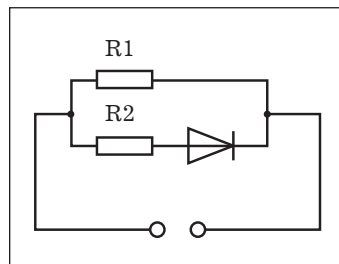


Рис. 95

включённым в «обратном» направлении, то вновь можно будет определить сопротивление «чёрного ящика», но не сопротивление каждого из резисторов по отдельности.

Наиболее интересным представляется случай, когда резисторы и диод соединены в «чёрном ящике» по схеме, изображённой на рисунке 95. Этот вариант соединения можно распознать, если при изменении полярности подключения источника сопротивление «чёрного ящика» принимает два различных значения (каждое из которых не равно ни нулю, ни бесконечности).

Пусть, например, полярность подключения источника такова, что диод включён в «прямом направлении». Тогда ток проходит и через резистор сопротивлением R_1 , и через резистор сопротивлением R_2 . При параллельном соединении резисторов сопротивление R «чёрного ящика» составит:

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

При изменении полярности источника диод будет включён в «обратном» направлении, и сопротивление «чёрного ящика» станет *больше* – оно будет равно сопротивлению R_1 одного резистора.

Измерив силу тока и напряжение в обоих случаях, можно легко определить сопротивление R_1 одного резистора, а также сопротивление R «чёрного ящика» при параллельном соединении резисторов. После этого останется только выразить сопротивление R_2 из формулы (1):

$$R_2 = \frac{R_1 R}{R_1 - R}$$

и провести расчёт сопротивления R_2 .

Лабораторная работа «Изучение процесса электролиза». При выполнении задания 1 лабораторной работы необходимо поддерживать в цепи постоянное значение силы тока, например, 100 мА. В ходе выполнения задания измеряют время, за которое в шприце собирается определённый объём водорода. Данные можно занести в таблицу:

Время прохождения тока через электролит t , с							
Объём водорода V , мл	2	4	6	8	12	14	16

При выполнении задания 2 лабораторной работы необходимо определить, какой объём водорода выделяется при электролизе за определённый интервал времени, например 5 минут, при различных значениях силы тока в цепи. В ходе выполнения задания измеряют время, за которое в шприце собирается определённый объём водорода. Данные можно занести в таблицу:

Сила тока I , при которой происходит электролиз, мА	50	75	100	125	150
Объём водорода V , выделяющийся за определённое время, мл					

По полученным данным следует построить:

– график зависимости объёма водорода, выделяющегося при электролизе, от времени прохождения тока через электролит (при неизменной силе тока в цепи);

– график зависимости объёма водорода, выделяющегося при электролизе за определённое время, от силы тока в цепи.

Анализ построенных графиков позволяет сформулировать закон электролиза, установленный в своё время великим английским физиком Майклом Фарадеем:

масса m выделившегося на электроде вещества, пропорциональна времени t прохождения тока через электролит и силе тока I .

$$m = kIt,$$

где k – коэффициент пропорциональности, который зависит от химической природы электролита.

Лабораторная работа «Изучение зависимости силы взаимодействия проводника с током с дугообразным магнитом от силы тока в проводнике». Пусть при силе тока I в рамке сила $F_{\text{магн}}$, действующая на проводник с током со стороны магнитного поля, повернёт рамку на некоторый угол вокруг оси вращения O и сместит её на расстояние x от вертикали (рис 56). Измерим смещение рамки x при различных значениях силы тока I в рамке¹. Данные можно занести в таблицу, заполнив первые две верхние строки:

¹ Для повышения качества выполняемой работы каждое измерение следует провести несколько раз.

Сила тока I в рамке, А						
Смещение рамки от вертикали x , мм						
Сила $F_{\text{магн}}$, действующая на проводник с током со стороны магнитного поля, мН						

Рассмотрим, какие силы действуют на рамку, определим плечо каждой из сил относительно оси вращения O и запишем соответствующие математические соотношения, определяющие условие равновесия рамки (рис. 96).

На рамку действует сила $F_{\text{магн}}$, сила тяжести $F_{\text{тяж}}$ и сила $F_{\text{опор}}$ со стороны опоры – оси вращения O . Плечо силы $F_{\text{магн}}$ относительно оси вращения O – это отрезок OA . Обозначим его как $d_{\text{магн}}$:

$$d_{\text{магн}} = \sqrt{L^2 - x^2}, \quad (1)$$

где L – длина рамки.

Пусть сила тяжести $F_{\text{тяж}}$ приложена к рамке в точке D (рис. 96). Тогда плечо силы $F_{\text{тяж}}$ относительно оси вращения O – это отрезок OE . Обозначим его как $d_{\text{тяж}}$, а отрезок OD обозначим как l . Тогда из подобия треугольников ODE и OAC имеем:

$$\frac{d_{\text{тяж}}}{x} = \frac{l}{L}.$$

Отсюда

$$d_{\text{тяж}} = \frac{l \cdot x}{L}. \quad (2)$$

Плечо силы $F_{\text{опор}}$, действующей на рамку со стороны опоры, относительно оси вращения O , очевидно, равно нулю, и эта сила не оказывает вращающего действия на рамку, в отличие от двух других сил – силы $F_{\text{магн}}$ и силы тяжести $F_{\text{тяж}}$.

Применим условие равновесия рычага для рассматриваемого случая равновесия рамки: рамка массой m находится в равновесии, если произведение силы $F_{\text{магн}}$ на плечо силы $d_{\text{магн}}$ равно произведению силы тяжести $F_{\text{тяж}}$ на плечо силы тяжести $d_{\text{тяж}}$:

$$F_{\text{магн}} d_{\text{магн}} = F_{\text{тяж}} d_{\text{тяж}},$$

или

$$F_{\text{магн}} = \frac{F_{\text{тяж}} d_{\text{тяж}}}{d_{\text{магн}}}.$$

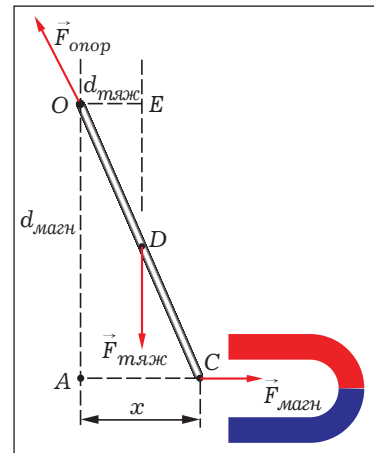


Рис. 96

С учётом выражений (1) и (2), а также известного выражения для расчёта силы тяжести имеем

$$F_{\text{магн}} = \frac{mgl}{L} \cdot \frac{x}{\sqrt{L^2 - x^2}}.$$

Теперь необходимо:

- измерить массу рамки m ;
- измерить длину рамки L ;
- уравновесить рамку на ребре линейки и определить точку приложения силы тяжести, а затем измерить расстояние l от оси вращения рамки до точки приложения силы тяжести.

Располагая этими данными, мы можем провести расчёты силы $F_{\text{магн}}$, заполнить последнюю нижнюю строку таблицы, построить график зависимости $F_{\text{магн}} = f(I)$ и сделать вывод, какова зависимость силы взаимодействия проводника с током с дугообразным магнитом $F_{\text{магн}}$ от силы тока I в проводнике.

Оглавление

Предисловие.....	3
Часть 1. Опыты и задачи факультатива	4
Раздел 1. Тепловые явления	
§ 1. Работа газа при его расширении.....	5
§ 2. Горение топлива. Кпд тепловых двигателей.....	8
§ 3. Теплоёмкость вещества.....	9
§ 4. Явления плавления и кристаллизации.....	11
§ 5. Процессы испарения, кипения и конденсации жидкости.....	14
Раздел 2. Электрические явления	
§ 6. Электрическое взаимодействие.....	19
§ 7. Сила тока. Закон Ома.....	20
§ 8. Мультиметр.....	22
§ 9. Удельное сопротивление.....	24
§ 10. Последовательное и параллельное соединение проводников.....	25
§ 11. Делитель напряжения.....	27
§ 12. Электрические цепи – «чёрные ящики».....	28
§ 13. Лабораторная работа «Определение сопротивления резистора методом амперметра и вольтметра».....	29
§ 14. Шунты и добавочные сопротивления.....	29
§ 15. Мощность и работа тока.....	32
§ 16. Лабораторная работа «Установление зависимости величины силы тока, при которой перегорают проводники, от их диаметра».....	34
Раздел 3. Ток в различных средах	
§ 17. Ток в металлах и полупроводниках.....	35
§ 18. Лабораторная работа «изучение процесса электролиза».....	35
Раздел 4. Магнитные явления	
§ 19. Лабораторная работа «Изучение взаимодействия керамических магнитов».....	37
§ 20. Лабораторная работа «Изучение зависимости силы взаимодействия проводника с током с дугообразным магнитом от силы тока в проводнике».....	38
§ 21. Практическая работа «Изготовление и градуирование амперметра».....	39
Часть 2. Указания	40
Часть 3. Решения и ответы.....	47

*Эксперимент никогда не обманывает,
обманчивы наши суждения.*

Леонардо да Винчи

Формула, связывающая физическую величину с другими	Формула расчета относительной погрешности
$A = B + C$	$\varepsilon_A = \frac{\Delta B + \Delta C}{B + C}$
$A = B - C$	$\varepsilon_A = \frac{\Delta B + \Delta C}{B - C}$
$A = \sqrt{B}$	$\varepsilon_A = \frac{1}{2} \varepsilon_B$

ИЗМЕРЕНИЕ - определение значения физической величины опытным путем при помощи измерительных приборов.

Формула, связывающая физическую величину с другими	Формула расчета относительной погрешности
$A = B \cdot C$	$\varepsilon_A = \varepsilon_B + \varepsilon_C$
$A = \frac{B}{C}$	$\varepsilon_A = \varepsilon_B + \varepsilon_C$
$A = B^2$	$\varepsilon_A = 2 \cdot \varepsilon_B$

ПРИБЛИЖЁННЫЕ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

- **Значащие цифры.** Значащими цифрами числа называют все его цифры, кроме нулей, стоящих левее первой, отличной от нуля цифры, и нулей, стоящих в конце числа, если они стоят взамен неизвестных или отброшенных цифр.

Пример. В числе 0,00706 – три значащие цифры (0,00706);
В числе 0,040 - две значащие цифры (0,040).

- **Верные цифры.** Если абсолютная погрешность приближённого числа не превышает единицы последнего разряда, то все значащие цифры приближённого числа называют верными.

Пример. Результат измерения массы $m = (75,3 \pm 0,1)$ г, цифры 7,5 и 3 – верные (последний разряд – разряд десятых, абсолютная погрешность не превосходит единицы последнего разряда – 0,1).
Результат измерения массы $m = (75,3 \pm 0,2)$ г, верными являются цифры 7 и 5.

В справочных таблицах числа записаны с точностью до половины единицы последнего разряда, то есть табличные данные содержат только верные цифры.

- **Сомнительные цифры.** Если в приближённом числе все значащие цифры, кроме последней, являются верными, но абсолютная погрешность числа превышает единицу последнего разряда, то цифру этого разряда называют сомнительной.

Пример. Результат измерения массы $m = (75,3 \pm 0,2)$ г, цифра 3 является сомнительной.

ВЫЧИСЛЕНИЯ

ПРАВИЛО ЗАПИСИ ПРИБЛИЖЁННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЧИСЛА

В приближённых значениях чисел, полученных в результате измерения или вычисления, сохраняют все верные цифры и одну сомнительную. Цифры числа, следующие за верными и одной сомнительной, не пишут. Погрешность округляют до одной значащей цифры.

Пример. Результат измерения времени $t = (46,38 \pm 0,36)$ с, округляем погрешность измерения времени до одной значащей цифры ($\pm 0,4$ с), округляем приближённое значение времени до десятых (46,4 с) и записываем результат измерения следующим образом: $t = (46,4 \pm 0,4)$ с.

ПРАВИЛА ПРИБЛИЖЁННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Правило 1. При умножении и делении приближённых значений чисел следует сохранять в результате столько значащих цифр, сколько их имеет приближённое данное с наименьшим числом верных значащих цифр.

Пример. Длина прямоугольника $a = (108,4 \pm 0,1)$ см, ширина прямоугольника $b = (52,3 \pm 0,4)$ см. Определите площадь фигуры.

$$\begin{aligned}S &= ab, \\S &= 108,4 \text{ см} \cdot 52,3 \text{ см}, \\S &= 5669,32 \text{ см}^2, \\S &= 5670 \text{ см}^2.\end{aligned}$$

Правило 2. При сложении и вычитании приближённых значений чисел, в записи которых все цифры верные, в результате следует сохранять столько десятичных знаков, сколько их имеет приближённое данное с наименьшим числом десятичных знаков.

Пример. $7,432 + 8,24 + 5,112 = 20,784 = 20,78$.

Андрюшечкин Сергей Михайлович
ФИЗИКА В ОПЫТАХ И ЗАДАЧАХ
факультативный курс
8 класс

Подписано в печать 15.04.2018. Формат 84x108/16. Печать офсетная.
Гарнитура JournalC.

Бумага офсетная. Объём 6,63 п.л. Тираж 200 экз. Заказ №

Общероссийский классификатор продукции ОК-005-93, том 2; 953005 – литература учебная

Издательство «Баласс». 111123 Москва, 1-я Владимирская ул., 9
Почтовый адрес: 111123 Москва, а/я 2, «Баласс»
Телефоны для справок: (495) 368-70-54, 672-23-12, 672-23-34
<http://www.school2100.ru> E-mail: balass.izd@mtu-net.ru

Отпечатано в ООО «Полиграфический центр «Татьяна»
64410, г. Омск, ул. Жукова, дом 78, офис 14П
тел.: (3812) 95-65-45, 46-21-15

