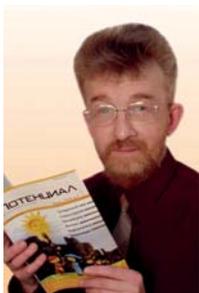




Олимпиадная школа



Лукьянов Андрей Александрович
Кандидат физико-математических наук, доцент,
сотрудник лаборатории по работе с одарёнными
детьми МФТИ.

Мультиметр в школьном лабораторном практикуме

Сегодня – ещё один рассказ о работе Олимпиадной школы при МФТИ по курсу «Экспериментальная физика» (сайт школы www.edu-homelab.ru), в которой автор вёл занятия с восьмиклассниками.

Задачам по электричеству было посвящено несколько лабораторных работ, об одной из которых говорилось в статье [1]. Речь шла о так называемой мостовой схеме (см. также [2]).

В настоящей статье коротко рассказано о нескольких лабораторных работах, объединённых тем, что во всех из них используется **мультиметр** – от слова «мульти», «**multi**» – **много**, т.к. прибор объединяет в себе сразу несколько устройств и «лёгким движением руки» превращается из вольтметра на постоянном токе в вольтметр на переменном токе или в амперметр, омметр – причём во всех случаях в разных (широких) диапазонах измеряемых величин. В конкретном мультиметре могут быть и ещё некоторые другие встроенные приборы, например, почти всегда – прибор для тестирования полупроводниковых диодов и транзисторов, реже – термометр.

Иногда спрашивают, как правильно произносить название прибора (где ставить ударение) – мульт**И**метр или мульти**М**Етр? Автор пытался для себя прояснить этот вопрос. В Интернете он обнаружил две «непримиримые школы» со своей «железной аргументацией». Одни говорят: «*Есть единица измерения длины, микро**М**етр, он же – микро**н**, $1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$, но есть прибор для измерения малых*

*длин, микро**О**метр. Поэтому следует говорить мульт**И**метр» (с ударением НЕ на «МЕтр»). Другие аргументируют противоположное не менее убедительно: «*Есть вольт**М**Етр, ампер**М**Етр, ом**М**Етр, – и толковать не о чем: должен быть мульти**М**Етр».* Автор рад, что нет третьей непримиримой школы. Сам он привык говорить «мульти**М**Етр», но готов исправиться, если убедят в обратном.*

Работа с мультиметром с самого начала приучает школьников к **международным обозначениям единиц измерений**:

Таблица 1

Физическая величина	Русское название единицы	Русское обозначение единицы	Международное обозначение
напряжение	вольт	В	V
сила тока	ампер	А	A
сопротивление	ом	Ом	Ω
мощность	ватт	Вт	W
частота (для переменного тока)	герц	Гц	Hz

На импортных электроприборах вы, разумеется, найдёте международные обозначения.

Учащимся необходимо также знать русские и международные обозначения десятичных долей величин, например:

$$1 \text{ миллиампер} = 1 \text{ мА} = 1 \text{ mA}, \\ 1 \text{ микроампер} = 1 \text{ мкА} = 1 \text{ }\mu\text{A}.$$

Мы сосредоточим своё внимание только на трёх электрических величинах – напряжении, силе тока и сопротивлении.

Напомним закон Ома, куда входят все три величины:

$$U = I \cdot R \quad (1)$$

(или немного в других обозначениях $V = J \cdot r$), и закон Джоуля – Ленца

$$P = I^2 R = U \cdot I = \frac{U^2}{R}, \quad (2a) - (2b)$$

а также правила сложения сопротивлений для последовательного соединения резисторов

$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots, \quad (3a)$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots, \quad (3b)$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots \quad (3b)$$

и параллельного их соединения

$$\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots, \quad (4a)$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots, \quad (4b)$$

$$U_1 = U_2 = U_3 = \dots \quad (4b)$$

Для параллельного соединения резисторов справедлива обратная пропорциональность тока и сопротивления

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}, \quad (5)$$

что есть прямым следствием закона Ома, записанного для каждого из резисторов, и равенства напряжений на каждом из резисторов при параллельном соединении (4в).

На первом занятии перед работой учащихся с мультиметром необходимо провести **инструктаж по технике безопасности**, особенно если вы собираетесь проводить измерение напряжения в сети (с батарейками даже 9 В не так страшно). Следует привести учащимся хотя бы ориентировочные значения не опасных и опасных значений электрического тока.

Грубо говоря, **электрический ток, протекающий через тело человека, оказывает следующее воздействие** (подчеркнём: **действие на человека оказывает именно ток, а не напряжение**):

- ток порядка 1 мА (и меньше) считается безопасным;
- ток менее 10 мА ощущается очень слабо;

- ток в 20 мА вызывает болезненные ощущения; из-за спазма мышц трудно разжать руку, держащую провод;
- ток в 30 мА нарушает дыхание;
- ток в 70 мА сильно затрудняет дыхание;
- при токе в 100 мА = 0,1 А возникает фибрилляция сердца, что нередко приводит к смерти;
- ток более 200 мА вызывает сильный ожог и останавливает дыхание.

Сопротивление человека от конца одной руки до конца другой при сухой коже рук $R_{\text{чел}} \approx 15 \text{ кОм} = 1,5 \times 10^4 \text{ Ом}$ (но может быть и значительно больше). Для влажной кожи оно много меньше – до 1 кОм.

Полезно провести оценки:

- *Человек замкнул на себе батарейку карманного фонаря, дающую напряжение 9 В. Какой ток пройдёт по телу человека?*
Решение: $9\text{В}/(1,5 \cdot 10^4 \text{ Ом}) = 0,6 \text{ мА}$ для сухих рук и $9\text{В}/(1 \cdot 10^3 \text{ Ом}) = 9 \text{ мА}$ для влажных рук. По нити накаливания в лампочке карманного фонарика проходит ток значительно больший.
- *Какой ток пройдёт по телу человека, когда он замкнёт на се-*

бе розетку с напряжением 220 В? Оценку провести для а) сухой и б) влажной кожи рук. **Решение:** а) для сухих рук $220\text{В}/(1,5 \cdot 10^4 \text{ Ом}) \approx 15 \text{ мА}$; б) для влажной кожи сила тока достигает очень большой и опасной величины $220\text{В}/1000 \text{ Ом} = 220 \text{ мА}$.

Чтобы формулы (1) – (5) не выглядели как простая игра в буквы, поучительно вспомнить о следующем факте. *Все знают, как опасно для человека прикосновение к электрическим проводам, когда они под напряжением. Между тем, все мы неоднократно наблюдали, что птицы спокойно без всякого для себя ущерба сидят на оголённых проводах с током (трамвайные и троллейбусные провода, несомненно, оголённые; провода ЛЭП тоже). Что защищает птиц?*

Вообще, в процессе проведения лабораторных работ – и до проведения экспериментов, и по ходу, и в качестве домашнего задания, и при сдаче лабораторных работ – учащимся предлагались несложные задачи из области практической физики. Примерный их набор приведён в конце статьи.

Лабораторная работа 1. Знакомство с мультиметром

Необходимо, чтобы каждый учащийся самостоятельно провёл несколько измерений – напряжений, «даваемых батарейками», сопротивлений разных резисторов, токов, а не просто наблюдал, как работает сосед. Только это и может научить работать с мультиметром. Опасаться, что школьник сломает мультиметр, не стоит: сделать это не так просто. Другое дело, что учащихся нужно сразу же приучить к тому,

чтобы мультиметр был в выключенном состоянии (поворотный переключатель в положении «OFF»), когда измерения не проводятся. В мультиметре имеется батарейка, которая, если оставить мультиметр во включённом состоянии, быстро разрядится, даже если измерения не ведутся. Если батарейка уже сильно разрядилась, мультиметр сигнализирует об этом: слева на дисплее высвечивается «BAT».

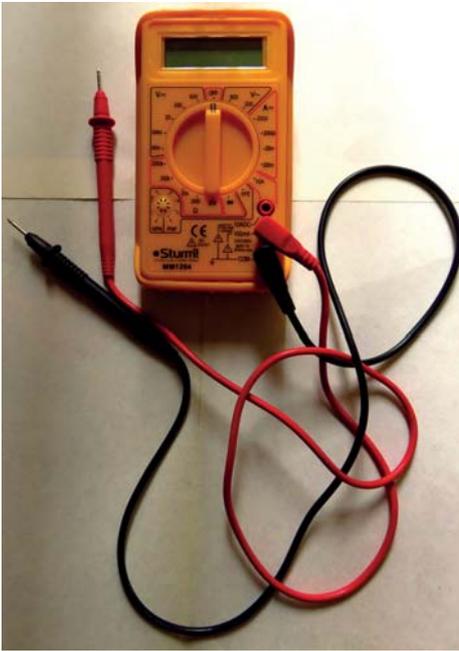


Рис. 1а



Рис. 1б

Общий вид стандартного цифрового мультиметра показан на рис. 1а – 1б. Различия в расположении органов управления в мультиметрах, выпускаемых различными фирмами, незначительные.

В цифровом мультиметре результаты измерений выводятся на жидкокристаллический экран в виде цифровых значений (см. ниже; на рис. 1а – 1б показан мультиметр в выключенном состоянии, поэтому на экране ничего нет).

Выбор измеряемой величины, а также диапазона, в котором, как ожидается, лежит измеряемая величина, осуществляется с помощью поворотного переключателя в центре прибора.

Для нас наиболее интересными будут пять секторов:

- левый нижний сектор, « Ω », для измерения сопротивлений (мультиметр в режиме омметра);

- левый верхний сектор, $V \text{ --- }$, для измерения постоянного напряжения (мультиметр в режиме вольтметра постоянного напряжения);

- правый верхний сектор, $V \sim$, для измерения переменного (синусоидального) напряжения (мультиметр в режиме вольтметра переменного напряжения);

- правый центральный сектор, $A \text{ --- }$, для измерения постоянного тока до 200 мА (мультиметр в режиме амперметра малых токов);

- правый нижний сектор, $10A$, для измерения постоянного тока до 10 А (мультиметр в режиме амперметра больших токов).

Измерения проводятся с помощью двух **испытательных наконечников (щупов)**. Щупы представляют

собой металлические стержни с изолированными ручками; именно щупы обеспечивают контакт между точками электрической цепи и мультиметром. С прибором они соединяются изолированными **проводами красного или чёрного цвета**, которые подключаются к мультиметру в своих разъёмах (гнездах).

К **чёрному гнезду** с названием **COM** подсоединяется **провод чёрного** (отрицательного) щупа.

К **красному разъёму** с названием **VΩmA** подключается **провод красного** (положительного) щупа, если производится измерение 1) сопротивления, 2) – 3) напряжения (постоянного или переменного) и 4) тока до 200 мА; при этом положение поворотного переключателя находится в

одном из секторов Ω , $V \text{ ---}$, $V \sim$ или $A \text{ ---}$.

К **красному гнезду** **10ADC** подключается **провод красного щупа**, если производится измерение постоянных токов большой величины (до 10 ампер); при этом положение поворотного переключателя находится в секторе **10A**.

Иногда пользователи забывают поставить поворотный переключатель на нужную величину или нужный диапазон. В некоторых случаях это происходит без серьёзных последствий. Например, вы измеряете сопротивление порядка 1 МОм = 10^6 Ом, но выбрали шкалу омметра «20k» (20×10^3 Ом). При этом дисплей просто покажет «1» («разрыв цепи»;

сопротивление больше наибольшего в выбранном диапазоне).

Бывают, однако, случаи совсем не безобидные. Например, собираются измерить напряжение в сети, но мультиметр включен в режиме амперметра. Амперметр обладает очень маленьким сопротивлением, поэтому его подключение к сетевой розетке эквивалентно короткому замыканию. Не удивляйтесь, если у вас в квартире при этом «выбьет пробку» и даже оплавятся металлические стержни щупов. Имея в виду такие неприятности, мы не предлагали своим учащимся лабораторные работы с сетевым напряжением.

В первой лабораторной работе предлагается сделать несколько простых измерений.

1. Измерение напряжений

1.1. Измерение «напряжений, даваемых батарейками».

1.2. Измерение «напряжения, даваемого» двумя последовательно соединёнными батарейками типа «Кроны».

1.3. Измерение переменного напряжения в сети (в розетке).

2. Измерение сопротивлений

2.1. Измерение сопротивлений различных резисторов.

2.2. Измерение сопротивления кипятильника в холодном состоянии.

2.3. Измерение сопротивления электрической лампы накаливания в холодном состоянии.

3. Измерение силы тока короткого замыкания батарейки в течение очень короткого времени (нескольких секунд). Убедиться, что батарейка быстро разряжается.

Вопросы на понимание и дополнительные задания

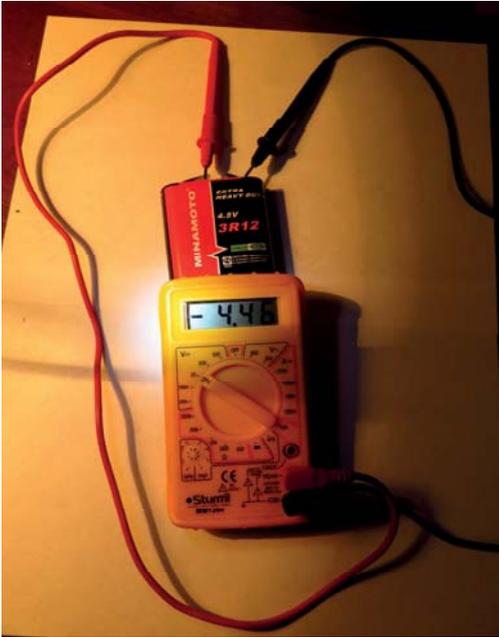


Рис. 2

1. При измерении «напряжения, даваемого батарейкой» (см. рис. 2), измеряем ли мы ЭДС батарейки \mathcal{E}

или напряжение на каком-то резисторе? На каком?

2. С помощью мультиметра оценить внутреннее сопротивление батарейки r . Предлагается два метода измерения:

- Измерение тока короткого замыкания $I_{\text{кз}}$ и далее по формуле

$$r = \frac{\mathcal{E}}{I_{\text{кз}}}, \quad (1)$$

считая, что сопротивление R_A мультиметра в режиме амперметра мало: $R_A \ll r$;

- Измерение напряжения U на резисторе с сопротивлением R с последующим пересчётом по формуле

$$r = \left(\frac{\mathcal{E}}{U} - 1 \right) R, \quad (2)$$

считая, что сопротивление R_V мультиметра в режиме вольтметра велико: $R_V \gg R, r$.

3. Вывести формулу (2).

Разброс внутренних сопротивлений батареек даже одного класса оказывается весьма значительным. При $R = 100 \text{ Ом}$ имеем

Батарейка	ЭДС \mathcal{E} , В	U , В	r , Ом (по формуле (2))	$I_{\text{кз}}$, А	r , Ом (по формуле (1))
квадратная «Minamoto»	4,76	4,67	$\approx 1,9$	≈ 4	≈ 1
«Космос» (типа «Кроны»)	9,72	8,60	≈ 13	≈ 1	≈ 10
«Energizer» (типа «Кроны»)	8,88	8,75	$\approx 1,5$	$\approx 5,1$	$\approx 1,7$
«Kodak» (типа «Кроны»; батарейка заметно разряженная)	7,08	1,45	≈ 380	$\approx 0,02$	≈ 350

К вычислениям по формуле (1) нужно относиться просто как к оценкам, т.к. при измерении тока короткого замыкания (в течение очень короткого времени) этот ток непрерывно изменяется (уменьшается): батарейка на глазах разряжается.

4. Экспериментально оцените сопротивление мультиметра, включённого в режиме:

- вольтметра,
- амперметра.

(Указание, которое делалось учащимся НЕ СРАЗУ: воспользоваться двумя мультиметрами, один из которых включить как омметр (жёлтый), а другой (чёрный) как вольтметр (рис. 3), а затем как амперметр (рис. 4)).

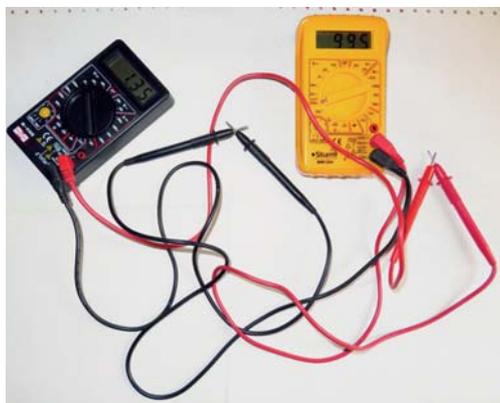


Рис. 3

Жёлтый мультиметр включён в режиме омметра в диапазоне сопротивлений от нуля до 2000 кОм, чёрный – в режиме вольтметра в диапазоне от нуля до 20 В.

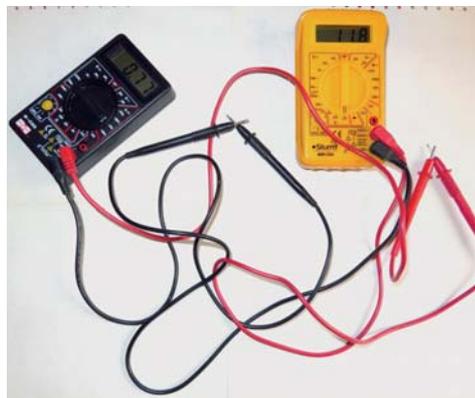


Рис. 4

Жёлтый мультиметр включён в режиме омметра в диапазоне сопротивлений от нуля до 200 Ом, чёрный – в режиме амперметра в диапазоне от нуля до 20 мА.

Кроме нюанса с двумя мультиметрами возник ещё один. Работая с мультиметром в безопасных обстоятельствах, руки сами тянутся прижать щупы пальцами рук, например, к полюсам батарейки или к подводящим проводам резисторов, делая контакт контролируемо надёжным (предполагается, что резистор не включён в сеть с высоким напряжением). Часто это бывает и безопасно, и не искажает измерений, хотя при этом в цепь включается человеческое тело между двумя руками. Его сопротивление $R_{ч}$ может варьироваться в широких пределах в зависимости от состояния рук (в частности, от влажности рук). Главное, однако, состоит в том, что сопротивление это очень большое, поэтому на человека ответвляется очень небольшая часть тока, который есть в цепи. Ситуация здесь такая же, как в случае с птицей, севшей на оголённый провод с током.

В случае измерения сопротивления мультиметра в режиме вольт-

метра учащиеся, однако, столкнулись со следующей неприятностью. Учащийся пальцами одной руки прижимал друг к другу отрицательные металлические щупы (к ним ведут чёрные провода), а пальцами другой – положительные щупы (с красными проводами). При этом мультиметр, который был включён в режиме омметра, показывал странные колебания сопротивления вокруг примерно 550 кОм; размах колебаний был порядка десятков кОм. Ясно, что сопротивление мультиметра, включённого как вольтметр, не могло «гулять» так сильно. Дело было в руках. Сопротивление тела человека $R_{ч}$ большое, но велико и сопротивление вольтметра R_{V} . Включены были эти два сопротивления параллельно друг другу, поэтому омметр измерил не R_{V} и не

$R_{ч}$, а сопротивление $\frac{R_{ч}R_{V}}{R_{ч} + R_{V}}$. Оно

сильно «гуляло», так как сильно «гуляло» сопротивление человека: кроме

влажности рук, оно зависело от силы, с которой сжимались щупы пальцами рук. После того как пальцы рук перестали сжимать щупы (в этом, в сущности, не было нужды; см. рис. 3 – 4), омметр показал сопротивление вольтметра (см. рис. 3)

$R_v = 995 \text{ кОм} \approx 1000 \text{ кОм} = 1 \text{ МОм}$, которое практически не «гуляло». Отсюда нетрудно было оценить сопротивление человеческого тела между двумя ладонями: нужно было решить уравнение

$$\frac{R_{\text{ч}} \cdot 1000 \text{ кОм}}{R_{\text{ч}} + 1000 \text{ кОм}} \approx 550 \text{ кОм},$$

откуда легко получаем $R_{\text{ч}} \approx 1200 \text{ кОм}$.

При измерении сопротивления мультиметра в режиме амперметра этих сложностей, естественно, не возникло, т.к. сопротивление амперметра значительно меньше сопротивления человека. Сопротивление мультиметра в режиме амперметра оказалось равным примерно 12 Ом (см. рис. 4).

Лабораторная работа 2. Измерение и вычисление сопротивлений бытовых электроприборов¹

Учащимся были выданы мультиметры, кипятильник, какой обычно брали в командировки (рассчитанный на получение стакана кипятка), и несколько электрических лампочек разной мощности.

Задания

1. Записать значения мощности P кипятильника и электрических лампочек, а также значений напряжений U , при которых они работают, и вычислить их сопротивления по формуле

$$R = U^2 / P. \quad (1)$$

2. Сравнить вычисленные значения сопротивлений с измеренными с помощью мультиметра.

3. Вычисленные и измеренные мультиметром значения сопротивлений электрических ламп занести в таблицу.

4. Дать объяснение возможному расхождению вычисленных и измеренных значений сопротивлений электрических ламп.

О следующем задании СРАЗУ НЕ ГОВОРИЛОСЬ!

По измеренным с помощью мультиметра значениям сопротивлений

ламп накаливания в холодном состоянии $R(t_{\text{к}})$ (при комнатной температуре $t_{\text{к}}$ (тоже измеренной)) и вычисленным значениям сопротивлений ламп в рабочем (горячем) состоянии $R(t)$ определить температуры нитей t в рабочем состоянии.

Воспользоваться экспериментальным фактом, что удельное сопротивление металлов $\rho(t)$ в широком диапазоне температур линейно зависит от температуры

$$\rho(t) = \rho(0)(1 + \alpha \cdot t), \quad (2)$$

где для вольфрама (нить в лампе вольфрамовая) $\alpha = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/градус}$; $\rho(0)$ – удельное сопротивление при $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$. Сравнить найденную температуру с температурой плавления вольфрама $t_{\text{пл}} = 3416 \text{ }^\circ\text{C}$.

¹ Нумерация формул в разных лабораторных работах независима.

Выполнение лабораторной работы

Наиболее простая часть работы – измерение и вычисление *сопротивления кипятильника*. Учащимся был выдан кипятильник, на котором они могли прочесть «220 – 240V, 60Hz, 500W». Маленькая ловушка для учащихся состояла в следующем: как можно согласовать возможный разброс напряжения в сети с отсутствием разброса мощности, имея в виду, что две величины связаны соотношением $P = U^2 / R$ (1)? Трудно себе представить, что сопротивление кипятильника «подстраивается» под напряжение в сети аккуратно таким образом, чтобы выполнялась формула (1). Просто кипятильник – не научный, а бытовой электроприбор, и номиналы в нём указаны ориентировочные.

Измерение мультиметром напряжения в сети дало значение $U = 230$ В. Вычисления по формуле $P = U^2 / R$ тогда дают значение сопро-

тивления $R = \frac{230^2}{500} \approx 106$ Ом, т.е. порядка 100 Ом. Примерно такое же значение даёт и измерение сопротивления мультиметром $R_{\text{мульт}} \approx 95$ Ом.

Сюрприз поджидал учащихся при сравнении измеренных и вычисленных значений *сопротивлений электрических ламп*. Драматизм ситуации был на самом деле весьма велик, так как учащихся не предупредили, что им предстоит вычислить температуру нити накала ламп и о зависимости $\rho(t) = \rho(0)(1 + \alpha \cdot t)$ речь ещё не шла. Просто учащиеся произвели некие измерения мультиметром, что-то вычислили по известной формуле и заполнили таблицу, ... которая обескураживала: отношение измеренных мультиметром значений сопротивлений ламп были в 13 – 14 раз меньше вычисленных по формуле $R = U^2 / P$.

Мощность лампы P , Вт	Напряжение в сети U , В	Вычисленное значение $R = U^2 / P$, Ом	Измеренное мультиметром значение $R_{\text{мульт}}$, Ом	Отношение $\frac{R}{R_{\text{мульт}}}$
40	230	1300	100	13
60	230	880	64	14
75	230	710	54	13
95	230	560	40	14

Разумеется, в группе учащихся всегда находился кто-то, кто уже знал о росте сопротивления металлов с ростом температуры и даже знал о зависимости (2). Поэтому быстро находилось объяснение расхождения в вычисленных и измеренных R , и вскоре начиналось рутинное вычисление температуры нити накаливания в лампе.

Имея в виду известную школьникам формулу

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (3)$$

хочется сразу сказать, что зависимость сопротивления от температуры даётся формулой

$$R(t) = R(0)(1 + \alpha \cdot t). \quad (4)$$

Правда, возникает **вопрос**, *следует ли при расчёте сопротивления проводов, температура которых отлична от 0 °С, принимать во внимание изменение их геометрических размеров при нагревании?* **Ответ** на него прост, но

вряд ли очевиден для школьников: не следует, т.к. температурный коэффициент сопротивления порядка 10^{-3} 1/град, а коэффициент линейного расширения порядка 10^{-5} 1/град (на два порядка меньше).

Дальше – алгебра: нужно решить систему двух уравнений. Измеренное мультиметром значение сопротивления есть сопротивление при температуре в комнате (например, $t_K = 24$ °C), поэтому

$$R_{\text{мульт}} = R(0)(1 + \alpha \cdot t_K). \quad (5)$$

Из системы уравнений (3) – (4) находим

$$t = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R(t)}{R_{\text{мульт}}} (1 + \alpha \cdot t_K) - 1 \right). \quad (6)$$

Это и есть окончательная расчётная формула для вычисления температуры нити накаливания в лампе в рабочем состоянии (когда она светит). Вычисления по этой формуле дают для разных ламп близкие значения $t = (2800 - 3000)$ °C. Оставляя в ответе большее число значащих цифр, разумеется, нет смысла: мощности ламп заданы, в лучшем случае, с двумя значащими цифрами.

Дополнительные вопросы для обсуждения

Вопрос. Почему в металлах в широком диапазоне температур удельное сопротивление увеличивается с ростом температуры?

Ответ. С ростом температуры растёт интенсивность колебаний атомов кристаллической решётки. Именно колебания атомов «сбивают с прямого пути» электроны проводимо-

сти в металлах, когда по проводнику течёт электрический ток.

Вопрос. Знаете ли вы примеры материалов, в которых удельное сопротивление не растёт с увеличением температуры, а падает?

Ответ. Полупроводники (Ge, Si и другие), а также диэлектрики.

Лабораторная работа 3.

Измерение удельного сопротивления металлов и сплавов

Оборудование: проволока (нихромовая и медная), мультиметр, линейка, штангенциркуль.

Задания

1) С помощью мультиметра определить сопротивление R куска нихромовой проволоки.

2) Сложить проволоку вдвое и найти сопротивление сложённой вдвое проволоки.

3) Сложить проволоку ещё вдвое и найти сопротивление сложённой вчетверо проволоки.

4) Объяснить полученный результат теоретически.

5) Вычислить удельное сопротивление нихромовой проволоки, изме-

рив линейкой длину l и штангенциркулем диаметр проволоки d . Расчётная формула (вывести ее):

$$\rho = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot l} R. \quad (1)$$

6) С помощью мультиметра попытаться измерить сопротивление медной проволоки.

7) Оценить удельное сопротивление меди.

Нихром представляет собой сплав никеля (55 – 78%), хрома (15 – 23%) с добавками марганца, кремния, железа и алюминия. Делать лабораторную работу с нихромовой проволокой значительно легче, чем

с медной, так как удельное сопротивление нихрома

$$\rho_{\text{нихрома}} = (1,05 - 1,4) \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

(в зависимости от марки сплава) почти на два порядка больше, чем у меди ($\rho_{\text{Cu}} = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$). Поэтому измерение сопротивлений нихромовых проволочек с помощью мультиметра не представляет никаких трудностей. Чтобы учащиеся оценили сложности в измерении удельного сопротивления меди, им предлагались п.п. 6 и 7 **Задания**.

Впрочем, главное достоинство нихрома с точки зрения его применений на практике не в том, что у него высокое удельное сопротивление, а в том, что оно слабо зависит от температуры. При увеличении температуры от 20°C до 1150°C удельное сопротивление нихрома увеличивается всего на 6%. При таком же изменении температуры удельное сопротивление вольфрама увеличивается почти в 5 раз [3].

При работе с нихромовой проволокой учащиеся должны отдавать себе отчёт в том, что проволока **НЕ** изолированная. Поэтому возможные неконтролируемые перехлёсты проволоки сами с собой могут привести к неверно трактуемым результатам. Чтобы учащиеся делали всё сознательно, предусмотрены п.п. 2 и 3 **Задания**. Они же должны помочь школьникам сообразить, что работать с длинной проволокой неудобно (трудно избежать неконтролируемых перехлёстов проволоки). Тогда лучше самим устроить «перехлёсты» – сложить проволоку вдвое или даже вчетверо.

Задача. При работе с неизолированной проволокой единственный

перехлёт находился в точке на расстоянии $1/4$ длины от одного конца проволоки и $1/2$ длины от другого конца. Сопротивление проволоки без перехлёста равно 40 Ом. Определите сопротивление проволоки с перехлёстом.

Ответ. 30 Ом.

При работе с медной проволокой длиной $l \approx 4,3 \text{ м}$ и диаметром $d \approx 1,5 \text{ мм}$ (площадь поперечного сечения провода $S \approx 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$) мультиметр показал сопротивление примерно $R \approx (0,4 - 0,5) \text{ Ом} \approx 0,45 \text{ Ом}$ (можно сказать, на пределе точности мультиметра). Тогда по формуле (1) получилось значение удельного сопротивления меди $\rho_{\text{Cu}} \approx 2 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, что, грубо говоря, в 10 раз больше табличного значения. Причина столь большого расхождения состояла в том, что нужно было из показаний мультиметра ($\approx 0,45 \text{ Ом}$) вычесть сопротивление его соединительных проводов (0,4 Ом; см. рис. 4). То есть сопротивление собственно медного провода равнялось примерно 0,05 Ом; тогда для удельного сопротивления получается правильное значение $\rho_{\text{Cu}} \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. На самом деле сопротивление «соединительных проводов» мультиметра не было равно точно 0,4 Ом; мультиметр показывал то 0,3 Ом, то 0,4 («примерно» 0,35 Ом). В результате мы могли приписать собственно медному проводу сопротивление примерно 0,1 Ом; тогда по формуле (1) получили бы не очень хорошее согласие с табличным значением (вдвое большее). Вывод: погрешность измерений мультиметром сопротивлений медных (или алюминиевых) проводов весьма велика.

Задачи из практической физики ко всем лабораторным работам

1. При ударе молнии средней величины на землю за малый промежуток времени порядка 1 мс проходит заряд примерно 20 Кл. Через нить накаливания в лампочке карманного фонаря проходит ток 0,3 ампера. Какой заряд пройдёт по нити за 1 минуту?

Решение. $0,3\text{А} \cdot 60\text{ с} = 18\text{ Кл}$.

2. Продолжительность молнии примерно $\Delta t = 0,001\text{ с}$. Разность потенциалов между ее концами $U = 10^9\text{ В}$, а средняя сила тока $J = 2 \times 10^4\text{ А}$ (заряд молнии $Q = J \Delta t = 20\text{ Кл}$). Какая энергия W выделяется при ударе молнии?

Решение. $W = (1/2) \cdot U \cdot J \cdot t$, откуда $W = 10^{10}\text{ Дж}$. Заряд 20 Кл прошёл огромную ускоряющую разность потенциалов 10^9 В . В карманном фонарике порядки величин совсем другие: ЭДС батарейки, например, 4,5 В. Энергии $18\text{ Кл} \times 4,5\text{ В} \approx 80\text{ Дж}$ хватит лишь на то, чтобы нагреть стакан воды (250 г) на 0,1 градуса!

3. Неизолированную проволоку сложили вдвое и скрутили. Во сколько раз сопротивление скрученной таким образом проволоки отличается от сопротивления исходной проволоки?

Ответ. Уменьшилось в 4 раза.

4. Рассчитать сопротивление трамвайного медного провода диаметром 1 см длиной 5 км. Удельное сопротивление меди $\rho = 1,7 \times 10^{-8}\text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Ответ. $\approx 1\text{ Ом}$.

5. Имеется катушка медного провода диаметром $d = 1\text{ мм}$. Масса всей проволоки $m = 1\text{ кг}$. Определить сопротивление проволоки. Удельное сопротивление меди $\rho = 1,7 \times 10^{-8}\text{ Ом} \cdot \text{м}$, плотность меди $\rho' = 8,96 \times 10^3\text{ кг/м}^3$.

Ответ. $\approx 3\text{ Ом}$.

6. Считается, что все электроприборы в квартире включены параллельно друг другу. Это обеспечивается малостью сопротивлений проводов, а потому малым падением напряжения на соединительных проводах. Пусть напряжение в розетке равно $U = 220\text{ В}$ и пусть электрокамин с сопротивлением $R_{\text{к}} = 48,4\text{ Ом}$ включён не прямо в розетку, а с помощью удлинителя длиной $L = 5\text{ м}$. В удлинителе используется медный провод диаметром $d = 1\text{ мм}$. Какое напряжение U' реально приложено к электрокамину с учётом падения напряжения на проводе удлинителя? (Задача могла быть переформулирована и для удалённой розетки.) Удельное сопротивление меди $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}\text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Ответ. $\approx 219\text{ В}$.

7. Домашний пробочный предохранитель рассчитан на максимальный ток $J_{\text{max}} = 10\text{ ампер}$. Каким может быть минимальное сопротивление всех одновременно включённых приборов в квартире, чтобы ещё не выбивало пробку? Напряжение в сети равно $U = 220\text{ вольт}$.

Ответ.

$$R_{\text{min}} = U / J_{\text{max}} = 220\text{ В} / 10\text{ А} = 22\text{ Ом}.$$

8. Сколько лапочек с одинаковым сопротивлением нужно соединить последовательно для изготовления ёлочной гирлянды, если каждая лампочка рассчитана на напряжение 6 В, а гирлянда будет включена в сеть с напряжением 220 В?

Ответ. 37.

9. При питании лампочки от элемента с ЭДС $\mathcal{E} = 1,5\text{ В}$ с внутренним сопротивлением $r = 0,5\text{ Ом}$ сила тока в цепи $J = 0,2\text{ А}$. Чему равно сопротивление лампочки? **Ответ:** $\mathcal{E} / J - r = 7\text{ Ом}$.

10. При питании лампочки от элемента с ЭДС $\mathcal{E} = 1,5$ В с внутренним сопротивлением $r = 0,5$ Ом сила тока в цепи $J = 0,2$ А. Найти напряжение на лампочке.

Ответ. $\mathcal{E} - Jr = 1,4$ В.

11. При подключении лампочки к источнику с $\mathcal{E} = 4,5$ В напряжение на лампочке $U = 4$ В, а ток в ней $J = 0,25$ А. Каково внутреннее сопротивление источника?

Ответ. 2 Ом.

12. Гальванический элемент с ЭДС $\mathcal{E} = 1,5$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,5$ Ом замкнут коротко. Определить силу тока короткого замыкания.

Ответ. $\mathcal{E}/r = 3$ А.

13. Сколькими батарейками с ЭДС $\mathcal{E} = 1,5$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,5$ Ом, включёнными последовательно, нужно питать лампу мощностью $P = 100$ Вт, рассчитанную на напряжение в сети $U = 220$ В, чтобы лампа работала в нормальном режиме?

Решение. $n = U/(\mathcal{E} - P \cdot r/U) \approx 173$. Наивное решение $n = U/\mathcal{E} \approx 147$ не верно!

14. В электрокаmine перегорела спираль, развалившись на две примерно равные половинки. Не имея под рукой запасной исправной спирали, перегоревшую спираль решают заменить временно на одну из её половинок. Сильнее и слабее будет греть после этого электрокамин?

Ответ. Сильнее.

15. Что больше – сопротивление в рабочем состоянии 100-ваттной или 40-ваттной лампочки, рассчитанных на одно и то же напряжение 220 В, и во сколько раз?

Ответ. $R_{40}/R_{100} = 100/40 = 2,5$.

16. Что больше – сопротивление в рабочем состоянии электрокамина мощностью 1 кВт или лампочки

карманного фонарика также в рабочем состоянии? При работе с батарейкой в 4,5 В по лампочке протекает ток 0,3 А.

Ответ. Сопротивление электрокамина равно 48,4 Ом, сопротивление лампочки карманного фонарика равно 15 Ом.

17. Что больше – сопротивление в рабочем состоянии электрокамина мощностью 1 кВт или 40-ваттной лампочки также в рабочем состоянии?

Ответ. Сопротивление электрокамина равно 48,4 Ом, сопротивление 40-ваттной лампочки равно 1210 Ом.

18. В люстре одновременно светят 3 лампочки – 100-ваттная, 75-ваттная и 40-ваттная. Какие токи текут в лампах?

Решение. $J = P/U$, поэтому $J_{100} = 100\text{Вт}/220\text{В} \approx 0,45$ А, $J_{75} = 75/220 \approx 0,34$ А, $J_{40} = 40/220 \approx 0,18$ А.

19. Домашний пробочный предохранитель рассчитан на максимальный ток $I = 15$ ампер. Желая скорее прогреть квартиру, хотя одновременно включить несколько электрокаминов мощностью 1 кВт. Какое наибольшее число электрических каминов можно включить сразу, чтобы ещё не выбило пробку? Напряжение в сети $U = 220$ В. Как изменится оценка, если в квартире установлена пробка, рассчитанная на 10 А?

Ответ. Не более 3-х электрокаминов; 2 электрокамина.

20. Считается, что все электроприборы в квартире включены параллельно друг другу. Это обеспечивается малостью сопротивлений проводов, а потому малым падением напряжения на соединительных проводах. Пусть напряжение в розетке равно $U = 220$ В и пусть электрокамин мощностью $P = 1$ кВт

включен не прямо в розетку, а с помощью удлинителя длиной $L = 5$ м. В удлинителе используется медный провод диаметром $d = 1$ мм. Какую мощность P' реально даёт электрокамин с учётом падения на-

пряжения на проводе удлинителя? (Задача могла быть переформулирована и для удалённой розетки.)

Удельное сопротивление меди $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом \cdot м.

Ответ. $P' = 991$ Вт.

Литература

1. Лукьянов А.А. Мостовая схема // Потенциал, 2016, № 5, с. 65 – 73.
2. Лукьянов А.А. Ещё о мостовой схеме // Потенциал, 2016, № 9, с. 67 – 77.
3. Варламов С. Д., Зильберман А. Р., Зинковский В. И. Экспериментальные задачи на уроках физики и физических олимпиадах. – М.: МЦНМО, 2009. – с. 184.

Юмор Юмор Юмор Юмор Юмор Юмор

Вот так появился ученик

Прогуливаясь по улицам Берлина, знаменитый композитор Рихард Вагнер встретил шарманщика, который исполнял увертюру к его опере. Он остановился, послушал и заметил:

– Вы исполняете чуть быстрее, чем нужно.

Шарманщик узнал его и поблагодарил за замечание. На следующий день композитор, проходя по той же улице, увидел шарманщика на прежнем месте. Тот исполнял увертюру в правильном темпе, а над его головой висел плакат: «Ученик Рихарда Вагнера».

Вежливый компьютер

В компьютер, который должен был участвовать в запуске космического корабля к Луне, англичане ввели два вопроса: 1) достигнет ли корабль Луны? и 2) вернётся ли он на Землю? Компьютер ответил: «да». Но к какому вопросу относилось это «да» было не ясно. Поэтому ввели третий вопрос: что «да»? Был получен вежливый ответ: «да, сэр!»