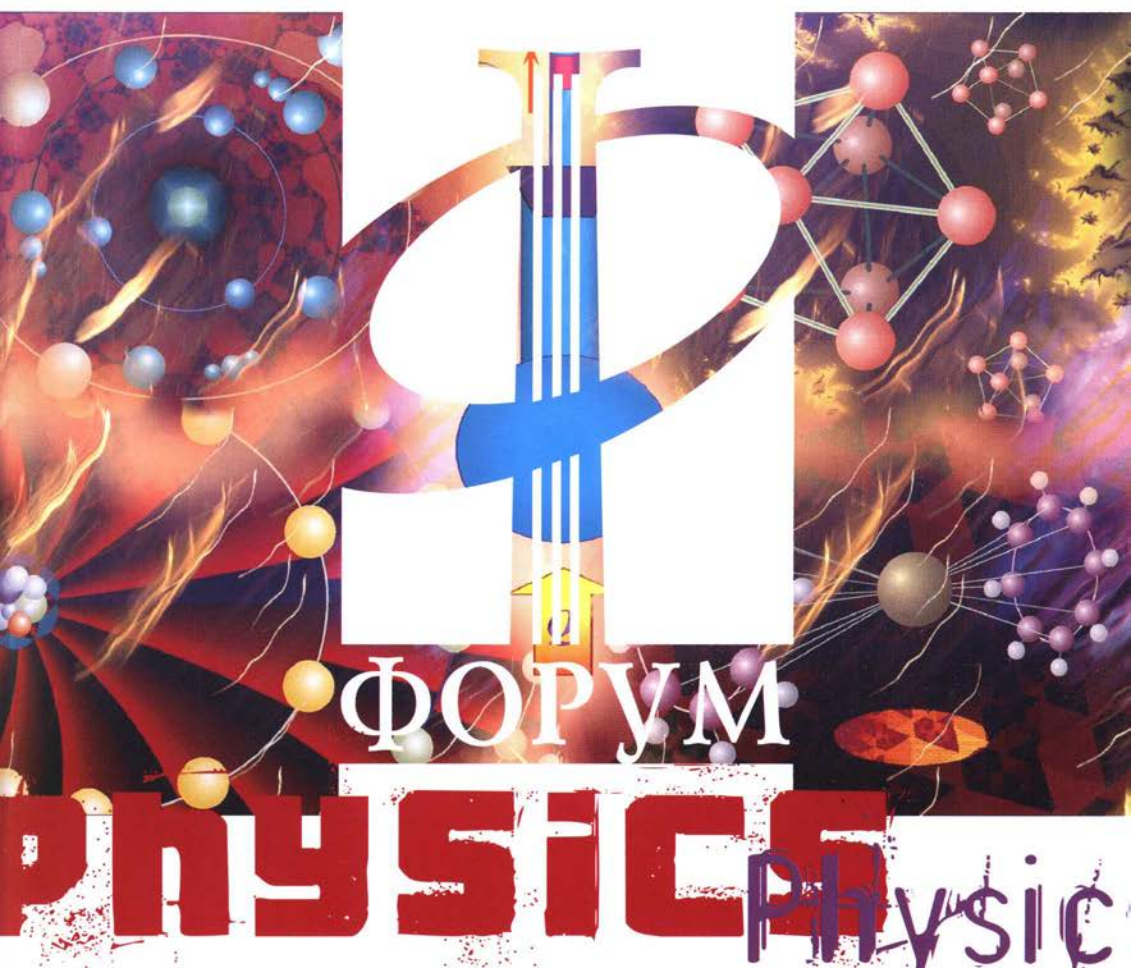


Тарасов О.М.



Лабораторные работы по физике с вопросами и заданиями



УДК 53(075.32)
ББК 22.3 я723
Т19

Рецензенты:

преподаватель Московского экономико-энергетического
колледжа *Р. А. Дондукова*;
инженер кафедры низких температур Московского энергетического
института (ТУ), к. т. н. *Ю. Ю. Пузина*

Тарасов О. М.

Т19 Лабораторные работы по физике с вопросами и заданиями: учебное пособие / О. М. Тарасов. — М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2011. — 96 с. — (Профессиональное образование).

ISBN 978-5-91134-131-2 (ФОРУМ)

ISBN 978-5-16-003036-4 (ИНФРА-М)

В данный сборник включены классические для колледжей лабораторные работы, соответствующие учебным программам. Дается подробное описание методики и порядка проведения работ. К каждой работе предложены теоретические вопросы для ее защиты, которые можно использовать при проведении зачетов.

Пособие можно использовать в качестве тетради для лабораторных работ.

Учебное пособие предназначено для студентов колледжей, учащихся 9—11 классов общеобразовательных школ.

УДК 22.3 я723
ББК 22.3 я723

ISBN 978-5-91134-131-2 (ФОРУМ)
ISBN 978-5-16-003036-4 (ИНФРА-М)

© Тарасов О. М., 2007
© Издательство «ФОРУМ», 2007

Лабораторные работы этого сборника составлены с учетом реального уровня подготовки сегодняшних студентов. Он, к сожалению, невысок. Поэтому в сборнике дается подробное описание методики и порядка проведения каждой работы. В отличие от других аналогичных пособий в лабораторных работах данного сборника все математические выкладки (в том числе и формулы для расчета погрешностей) даны в готовом виде. В большинстве работ предложен простейший (вполне приемлемый для колледжа) метод оценки погрешности: сравнение значения измеренной величины с ее табличным значением, взятым из справочника. Наиболее сильные студенты смогут самостоятельно провести детальный расчет погрешностей, ознакомившись с методикой их вычисления (с. 86).

К каждой работе предложены вопросы для ее защиты. Это теоретические вопросы, которые охватывают тему лабораторной работы или несколько тем, смежных с ней. (Представленные вопросы преподаватель может также использовать для проведения текущих зачетных занятий, семинаров.) К каждому вопросу написан подробный план ответа, что, безусловно, поможет студенту построить осмысленный и последовательный ответ. Ведь именно это часто и вызывает затруднения!

К лабораторным работам составлены экспериментальные задания — 40 миниработ. Эти задания в основном предназначены для сильных студентов, которые смогут предложить метод проведения работы. Понимается, что экспериментальное задание выполнимо с указанным к нему набором оборудования; все необходимые табличные данные считаются известными. (Экспериментальные задания преподаватель может предложить в качестве домашних опытов.)

В данный сборник включены по преимуществу классические для колледжей (и школ) лабораторные работы, соответствующие учебным программам. Важно отметить, что из всего многообразия лабораторных работ, обычно предлагаемых по курсу физики, в сборник вошли только такие, которые потребуют использования стандартного оборудования.

Особенности данного сборника:

- учтен реальный (невысокий) уровень подготовки современных студентов;
- предложенные вопросы к защите лабораторных работ имеют подробные планы ответов;
- разработаны экспериментальные задания (40 миниопытов) для наиболее сильных студентов;
- учтено реальное состояние лабораторного комплекса в учебных заведениях.

1. ИЗМЕРЕНИЕ МАССЫ ТЕЛА МЕТОДОМ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ

Оборудование: штатив, пружина, линейка, мензурка, цилиндрическое тело неизвестной массы, сосуд с водой.

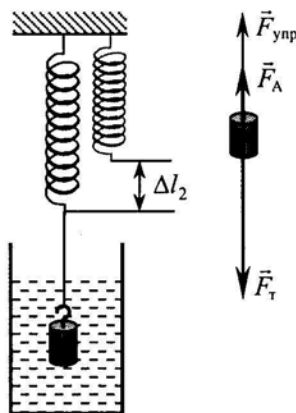
Метод выполнения работы

Трудность определения массы тела заключается в том, что пружина, которая используется в работе, не имеет градуировки. Однако массу можно определить иным методом. Измеряют удлинения пружины в воздухе и в воде, а затем на основании условия равновесия тела получают уравнение для расчета массы.

На груз в воздухе действуют сила тяжести $\vec{F}_T$ и сила упругости $\vec{F}_{\text{упр}}$. Условие равновесия груза: $F_T = F_{\text{упр}}$. Используя закон Гука, это равенство запишем так:

$$mg = k\Delta l_1, \quad (1)$$

где k — жесткость пружины (она неизвестна); Δl_1 — удлинение пружины в воздухе; m — масса груза; g — ускорение свободного падения.



В воде действует еще и архимедова сила

$$F_A = \rho_{\text{ж}} Vg,$$

где $\rho_{\text{ж}}$ — плотность воды; V — объем тела.

Условие равновесия в воде:

$$mg = k\Delta l_2 + \rho_{\text{ж}} Vg, \quad (2)$$

где Δl_2 — удлинение пружины в воде.

Приравниваем правые части уравнений (1) и (2):

$$k\Delta l_2 + \rho_{\text{ж}} Vg = k\Delta l_1;$$

$$\rho_{\text{ж}} Vg = k(\Delta l_1 - \Delta l_2);$$

$$k = \frac{\rho_{\text{ж}} Vg}{\Delta l_1 - \Delta l_2}.$$

Подставляем это выражение в (1) и получаем формулу для расчета массы груза:

$$m = \frac{\rho_{\text{ж}} V \Delta l_1}{\Delta l_1 - \Delta l_2}. \quad (3)$$

Ход работы

1. Записать в таблицу плотность воды $\rho_{\text{ж}}$, ускорение свободного падения g , цену деления линейки $c_{\text{лин}}$ и мензурки $c_{\text{менз}}$.
2. Измерить объем тела V , опустив его в мензурку с водой.
3. Закрепить пружину и линейку (в вертикальном положении) в лапке штатива.
4. Подвесить к пружине груз и измерить ее удлинение в воздухе Δl_1 .
5. Опустить груз в сосуд с водой и измерить удлинение пружины в воде Δl_2 .
6. Рассчитать значение массы по формуле (3):

$$m = \frac{\rho_{\text{ж}} V \Delta l_1}{\Delta l_1 - \Delta l_2} =$$

7. Расчет погрешности измерений

1. Относительную погрешность измерения массы можно найти так:

$$\varepsilon_m = \varepsilon_{\Delta l_1} + \varepsilon_{\Delta l_2} + \varepsilon_V = 2 \frac{c_{\text{лин}}}{\Delta l_2} + \frac{c_{\text{менз}}}{V}.$$

 $\varepsilon_m =$

2. Абсолютная погрешность измерения массы

 $\Delta m = \varepsilon_m \cdot m =$

Постоянные величины	$\rho_{\text{ж}}, \text{кг/м}^3$	$g, \text{м/с}^2$	$c_{\text{лин}}, \text{м}$	$c_{\text{менз}}, \text{м}^3$
Измеренные величины	$V, \text{м}^3$	$\Delta l_1, \text{м}$	$\Delta l_2, \text{м}$	
Рассчитанные величины	$m, \text{кг}$	$\varepsilon_m \cdot 100, \%$	$\Delta m, \text{кг}$	

2. ИЗУЧЕНИЕ ОДНОГО ИЗ ИЗОПРОЦЕССОВ

Оборудование: сосуды с водой, прозрачная резиновая трубка (закрытая с одного конца), термометр, линейка, электроплитка.

Метод выполнения работы

В работе проверяют справедливость закона Гей-Люссака, т. е. над газом проводят изобарный процесс и измеряют его начальные и конечные параметры.

Вначале трубку с воздухом помещают в сосуд с горячей водой. При нагревании газ расширяется и часть его выходит наружу. Затем открытый конец трубки затыкают и переносят трубку в холодную воду. Газ охлаждается и сжимается, и под действием атмосферного давления вода поступает в трубку.

Масса воздуха, оставшегося в трубке, остается постоянной; давление в трубке поддерживается равным атмосферному (давлением воды над трубкой по сравнению с атмосферным можно пренебречь). Таким образом, условия изобарного процесса выполнены: $m = \text{const}$ и $p = \text{const}$.

Необходимо проверить справедливость соотношения

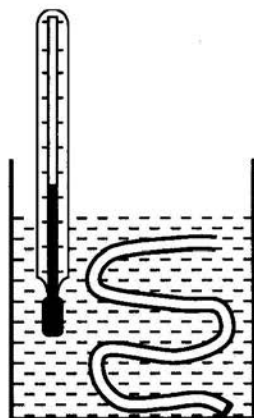
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}, \quad (1)$$

где V_1 , T_1 — объем и абсолютная температура воздуха в горячей воде, V_2 , T_2 — в холодной.

Поскольку $V = Sl$, S — сечение трубки, l — высота столба воздуха в ней, то пропорцию (1) можно записать так:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{T_1}{T_2}, \quad (2)$$

где l_1 — начальная высота столба воздуха (равна длине трубки); l_2 — конечная (меньше длины трубки на длину столба залившейся воды).



Ход работы

1. На электроплитке нагреть воду в одном сосуде до 70—80 °С.
2. Опустить в сосуд с горячей водой трубку и термометр на несколько минут до установления теплового равновесия. (При этом из открытого конца трубки перестанут выходить пузыри воздуха.) По термометру снять показание температуры t_1 .
3. Закрыв открытый конец трубки, перенести ее и термометр в сосуд с холодной водой. Снять показание температуры t_2 , когда трубка перестанет заполняться водой.
4. Вынув трубку, измерить линейкой ее длину l_1 и высоту столба воздуха l_2 .
5. Рассчитать значения T_1 и T_2 :

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = t_1 + 273 = \\ T_2 = t_2 + 273 = \end{array} \right\}$$

6. Рассчитать отношения

$$\left. \begin{array}{l} C_l = \frac{l_1}{l_2} = \\ C_T = \frac{T_1}{T_2} = \end{array} \right\}$$

и сравнить их.

7. Расчет погрешности измерений

Относительное различие правой и левой частей равенства (2):

$$\left. \varepsilon = \frac{|C_l - C_T|}{0,5(C_l + C_T)} = \right\}$$

Измеренные величины	t_1 , °С	t_2 , °С	l_1 , м	l_2 , м	
Рассчитанные величины	T_1 , К	T_2 , К	C_l	C_T	$\varepsilon \cdot 100$, %

3. ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

Оборудование: психрометр (прилагается психрометрическая таблица и таблица зависимости давления насыщенного пара от температуры).

Метод выполнения работы

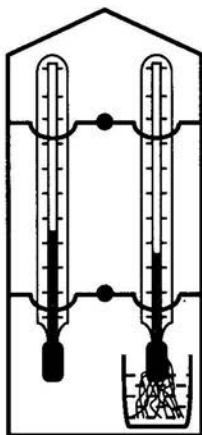
В работе измеряют относительную и абсолютную влажность воздуха с помощью психрометра. Психрометр Августа состоит из двух термометров, конец одного из них обернут полоской влажной ткани. Сухой термометр показывает температуру воздуха $t_{\text{сух}}$. За счет испарения воды с ткани второй термометр охлаждается. При этом чем меньше водяных паров в воздухе (низкая влажность), тем интенсивнее испарение, а значит, ниже температура влажного термометра $t_{\text{вл}}$. Используя психрометрическую таблицу можно по значениям температур $t_{\text{сух}}$ и $t_{\text{вл}}$ определить относительную влажность φ .

По определению

$$\varphi = \frac{p}{p_n} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где p — давление водяного пара в воздухе; p_n — давление насыщенного водяного пара при температуре $t_{\text{сух}}$ (определяется по таблице).

Из формулы (1) находим абсолютную влажность p .



Ход работы

1. Смочить полоску ткани термометра водой и выждать установления температуры 15–20 мин.
2. Снять показания термометров $t_{\text{сух}}$ и $t_{\text{вл}}$.
3. Вычислить разность показаний термометров

$$\Delta t = t_{\text{сух}} - t_{\text{вл}} =$$

4. Используя психрометрическую таблицу, определить относительную влажность φ .
5. Используя таблицу зависимости давления насыщенного пара от температуры, определить p_n .
6. Используя формулу (1), рассчитать абсолютную влажность p :

$$p = \frac{\varphi \cdot p_n}{100 \%} =$$

Измеренные величины	$t_{\text{сух}}, ^\circ\text{C}$		$t_{\text{вл}}, ^\circ\text{C}$	
Рассчитанные величины	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$	$p_n, \text{Па}$	$p, \text{Па}$

4. ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ВОДЫ

Оборудование: весы и разновесы, стаканчик для сбора воды, пипетка, линейка.

Метод выполнения работы

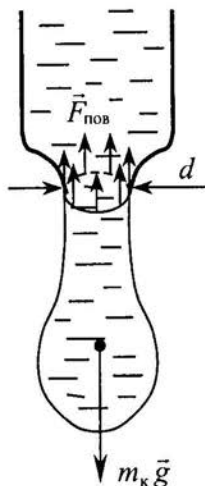
Коэффициент поверхностного натяжения σ может быть определен по формуле

$$\sigma = \frac{F_{\text{пов}}}{l}, \quad (1)$$

где $F_{\text{пов}}$ — сила поверхностного натяжения, l — длина границы контакта твердого тела и жидкости. В работе используется явление отрыва водяной капли от шейки пипетки. Отрыв происходит в момент, когда сила тяжести и сила поверхностного натяжения, действующие на каплю, равны по модулю. Границей контакта в данном случае является окружность — отверстие пипетки. Поэтому формула (1) запишется так:

$$\sigma = \frac{m_k g}{\pi d}, \quad (2)$$

где m_k — масса капли; d — диаметр шейки пипетки.

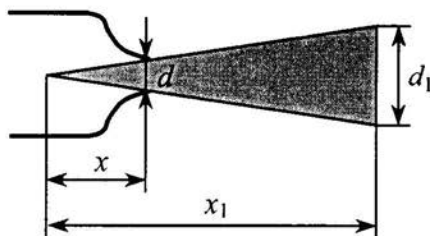


Массу капли можно найти путем взвешивания N капель. Их общая масса составит m , значит, $m_k = \frac{m}{N}$. Тогда формула (2) принимает вид

$$\sigma = \frac{mg}{N\pi d}. \quad (3)$$

Внутренний диаметр d шейки пипетки можно найти так. Остроконечный бумажный клин вставить в отверстие пипетки на глубину x и измерить линейкой длины x , x_1 , d_1 , показанные на рисунке. Диаметр d можно рассчитать из условия подобия треугольников:

$$\frac{x}{x_1} = \frac{d}{d_1}. \quad (4)$$



Ход работы

1. Записать в таблицу коэффициент поверхностного натяжения воды $\sigma_{\text{табл}}$, ускорение свободного падения g .
2. Уравновесить на весах стаканчик.
3. Расположив пипетку вертикально набрать в стаканчик $N = 80 \dots 120$ капель.
4. Доложить на чашу весов гири, уравновешивающие массу воды m в стаканчике.
5. Вставить в пипетку бумажный клин до упора. Замерить длины x , x_1 , d_1 .
6. Рассчитать диаметр шейки пипетки d :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Задание} \end{array} \right| d = \frac{xd_1}{x_1} =$$

7. Рассчитать по формуле (3) коэффициент поверхностного натяжения воды σ :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Задание} \end{array} \right| \sigma = \frac{mg}{N\pi d} =$$

8. Расчет погрешности измерений

1. Рассчитать абсолютную погрешность

$$\Delta\sigma = |\sigma - \sigma_{\text{табл}}| =$$

2. Рассчитать относительную погрешность определения σ

$$\varepsilon_{\sigma} = \frac{\Delta\sigma}{\sigma_{\text{табл}}} =$$

Постоянные величины	$\sigma_{\text{табл}}, \text{ Н/м}$		$g, \text{ м/с}^2$		
Измеренные величины	N	$m, \text{ кг}$	$x, \text{ м}$	$x_1, \text{ м}$	$d_1, \text{ м}$
Рассчитанные величины	$d, \text{ м}$		$\sigma, \text{ Н/м}$		$\varepsilon_{\sigma} \cdot 100, \%$

5. ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Оборудование: термометр, весы с разновесами, алюминиевый цилиндр (с проволочным крючком для его захвата), сосуд с водой, электроплитка, калориметр.

Метод выполнения работы

В работе определяют теплоемкость металлического цилиндра из уравнения теплового баланса, записанного для случая теплообмена между этим цилиндром и калориметром с водой.

Вначале цилиндр нагревают в сосуде с водой на электроплитке до некоторой температуры t_{Al} , затем переносят в калориметр с холодной водой, температура которой t_b . Между цилиндром и калориметром с водой начинается теплообмен, в результате которого устанавливается температура t такая, что $t_b < t < t_{Al}$.

Уравнение теплового баланса

$$Q_{отд} = Q_{пол}, \quad (1)$$

где $Q_{отд}$ — количество теплоты, отданное горячим цилиндром; $Q_{пол}$ — количество теплоты, полученное калориметром с водой. Алюминиевый цилиндр охладился от t_{Al} до t , алюминиевый стаканчик калориметра с водой нагрелся от t_b до t . Тогда уравнение теплового баланса (1) запишется так:

$$c_{Al}m_{Al}(t_{Al} - t) = c_b m_b(t - t_b) + c_{Al}m_k(t - t_b), \quad (2)$$

где c_{Al} и c_b — теплоемкости алюминия и воды; m_{Al} и m_b — массы цилиндра и воды; m_k — масса стаканчика калориметра.

Для взвешивания цилиндра, стаканчика калориметра и воды используют весы.

Ход работы

1. Записать в таблицу значения теплоемкостей воды и алюминия.
2. Измерить на весах массу цилиндра m_{Al} и массу стаканчика калориметра m_k .

3. Уравновесив на весах стаканчик калориметра, налить в него $m_b = 100...150$ г воды.
4. Измерить термометром температуру воды в калориметре t_b .
5. Поместить цилиндр в сосуд с водой и нагревать на электроплитке, пока температура не повысится до $t_{Al} = 80...90$ °C.
6. Быстро перенести цилиндр в калориметр; дождаться установления теплового равновесия и измерить температуру t .
7. Рассчитать из формулы (2) теплоемкость алюминия

$$\Delta \left| c_{Al} = \frac{c_b m_b (t - t_b)}{m_{Al} (t_{Al} - t) - m_k (t - t_b)} = \right.$$

8. Расчет погрешности измерений

1. Рассчитать абсолютную погрешность определения c_{Al}

$$\Delta \left| \Delta c_{Al} = |c_{Al} - c_{Al, \text{табл}}| = \right.$$

2. Рассчитать относительную погрешность

$$\Delta \left| \varepsilon_c = \frac{\Delta c_{Al}}{c_{Al, \text{табл}}} = \right.$$

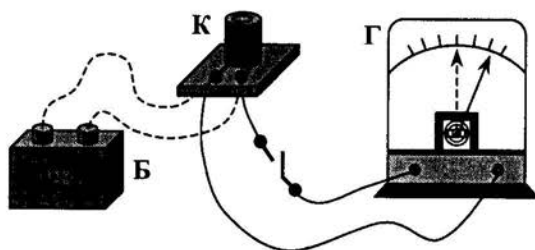
Постоянные величины	$c_{b, \text{табл}} = c_b$, Дж/(кг · °C)			$c_{Al, \text{табл}}$, Дж/(кг · °C)		
Измеренные величины	m_{Al} , кг	m_b , кг	m_k , кг	t_{Al} , °C	t_b , °C	t , °C
Рассчитанные величины	c_{Al} , Дж/(кг · °C)			$\varepsilon_c \cdot 100$, %		

6. ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА

Оборудование: два конденсатора, миллиамперметр (гальванометр), источник постоянного напряжения, соединительные провода, ключ.

Метод выполнения работы

В данной работе измеряют емкость одного конденсатора методом сравнения ее с емкостью другого — эталонного конденсатора.



Емкость конденсатора определяется отношением его заряда q к напряжению U на нем: $C = \frac{q}{U}$. Если напряжения на двух конденсаторах одинаковы, то их емкости пропорциональны зарядам, которые им сообщены:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{q_1}{q_2}. \quad (1)$$

При подключении заряженного конденсатора к гальванометру в цепи возникает кратковременный ток — происходит разрядка конденсатора. Число делений шкалы n , на которое произошел отброс стрелки, пропорционально заряду q конденсатора. (Действительно, бросок стрелки пропорционален средней силе тока $I_{\text{ср}}$ через прибор и времени t прохождения тока; но $I_{\text{ср}} \cdot t = q$.) Тогда пропорция (1) с учетом $q \sim n$ запишется как

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{n_1}{n_2}. \quad (2)$$

Итак, в работе наблюдается разряд двух конденсаторов, заряженных до одного напряжения. Сравнивая броски стрелки, можно определить емкость одного из них из соотношения (2), считая емкость другого эталонной.

Ход работы

1. Записать в таблицу емкость C_1 эталонного конденсатора (C_1 указана на нем). Зарядить его, соединив с источником тока Б.
2. Отсоединив конденсатор К от источника тока, присоединить его к гальванометру Г и замкнуть ключ. Измерить число делений n_1 , на которое отклонилась стрелка.
3. Выполнить 1, 2 с конденсатором неизвестной емкости C_2 .
4. Из соотношения (2) рассчитать емкость C_2 :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Задание} \end{array} \right| C_2 = \frac{C_1 n_2}{n_1} =$$

5. Расчет погрешности измерений

1. Приняв, что эталонная емкость известна точно, можно считать, что погрешность измерения C_2 складывается из погрешностей отсчета числа делений в двух опытах. Погрешность отсчета составляет половину деления: $\Delta n = \frac{1}{2}$. Тогда относительная погрешность равна

$$\varepsilon_{C_2} = \varepsilon_{n_1} + \varepsilon_{n_2} = \frac{\Delta n_1}{n_1} + \frac{\Delta n_2}{n_2} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Задание} \end{array} \right| \varepsilon_{C_2} =$$

2. Абсолютная погрешность измерения емкости

$$\left. \begin{array}{l} \text{Задание} \end{array} \right| \Delta C_2 = \varepsilon_{C_2} \cdot C_2 =$$

Постоянные величины	C_1, Φ	
Измеренные величины	$n_1, \text{ дел}$	$n_2, \text{ дел}$
Рассчитанные величины	C_2, Φ	$\varepsilon_{C_2} \cdot 100, \%$

7. ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА

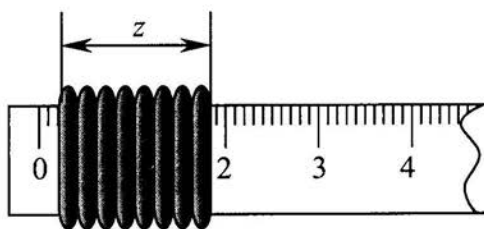
Оборудование: проволока из материала с большим удельным сопротивлением (константан, нихром), линейка, амперметр, вольтметр, источник постоянного напряжения, соединительные провода, ключ.

Метод выполнения работы

В работе определяют удельное сопротивление материала, из которого изготовлена проволока. Оно может быть найдено из формулы

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

где ρ — удельное сопротивление материала; R — сопротивление проволоки; l — ее длина; S — площадь ее сечения.

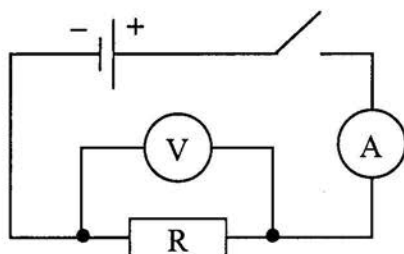


Длину проволоки легко измерить линейкой. Площадь сечения находится через ее диаметр d :

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

Поскольку диаметр мал, то непосредственно измерить его линейкой трудно. Поэтому можно воспользоваться таким способом. На линейку наматывают N витков проволоки и измеряют толщину полученного мотка z . Тогда диаметр равен

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



Сопротивление проволоки R рассчитывают на основании закона Ома для участка цепи. Для этого следует собрать цепь, как показано на рисунке, и измерить силу тока I и напряжение U .

Ход работы

1. Записать в таблицу материал проволоки и ее удельное сопротивление $\rho_{\text{табл}}$.
2. Измерить линейкой длину проволоки l между точками ее подключения в цепь.
3. Собрать цепь по схеме. Замкнуть ключ и снять показания амперметра и вольтметра.
4. Рассчитать сопротивление проволоки по закону Ома:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Задание} \end{array} \right| R = \frac{U}{I} =$$

5. Намотать N витков (вплотную) на линейку и измерить толщину мотка z ($N \geq 10$).
6. Рассчитать диаметр проволоки и площадь ее сечения:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Задание} \end{array} \right| \begin{array}{l} d = \frac{z}{N} = \\ S = \frac{\pi d^2}{4} = \end{array}$$

7. Из формулы (1) рассчитать удельное сопротивление

$$\left. \begin{array}{l} \text{Задание} \end{array} \right| \rho = \frac{RS}{l} =$$

8. Расчет погрешности измерений

1. Рассчитать абсолютную погрешность определения ρ :

$$\Delta \rho = |\rho - \rho_{\text{табл}}| =$$

2. Рассчитать относительную погрешность

$$\varepsilon_{\rho} = \frac{\Delta \rho}{\rho_{\text{табл}}} =$$

Постоянные величины	Материал проволоки			$\rho_{\text{табл}}, \text{ Ом} \cdot \text{ м}$	
Измеренные величины	$l, \text{ м}$	$I, \text{ А}$	$U, \text{ В}$	N	$z, \text{ м}$
Рассчитанные величины	$R, \text{ Ом}$	$d, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$	$\rho, \text{ Ом} \cdot \text{ м}$	$\varepsilon_{\rho} \cdot 100, \%$

8. ИЗМЕРЕНИЕ ЭДС И ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ТОКА

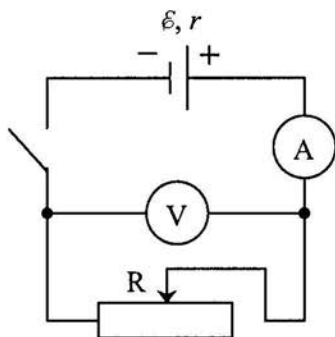
Оборудование: источник постоянного напряжения, вольтметр, амперметр, реостат, соединительные провода, ключ.

Метод выполнения работы

Для определения ЭДС источника тока и его внутреннего сопротивления воспользуемся законом Ома для полной цепи: $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$. Отсюда

$$\mathcal{E} = I(R + r), \quad (1)$$

где $\mathcal{E}$ — ЭДС; I — сила тока; R — сопротивление внешней цепи (реостата); r — сопротивление источника тока.



В работе измеряют два значения силы тока и напряжения: при двух различных сопротивлениях реостата (R_1 и R_2). Для этих значений уравнение (1) запишется так:

$$\begin{cases} \mathcal{E} = I_1(R_1 + r), \\ \mathcal{E} = I_2(R_2 + r). \end{cases}$$

Отсюда

$$I_1(R_1 + r) = I_2(R_2 + r);$$

$$I_1 R_1 + I_1 r = I_2 R_2 + I_2 r;$$

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 = I_2 r - I_1 r.$$

Заметим, что $I_1 R_1 = U_1$ и $I_2 R_2 = U_2$ (по закону Ома для участка цепи). Тогда $U_1 - U_2 = r(I_2 - I_1)$. Внутреннее сопротивление источника тока

$$r = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1}, \quad (2)$$

где I_1 и I_2 — силы тока; U_1 и U_2 — напряжения при сопротивлениях реостата соответственно R_1 и R_2 .

Вычислив r , можно найти $\mathcal{E}$ по формуле (1).

Ход работы

1. Собрать электрическую цепь по схеме. Установить движок реостата примерно посередине.
2. Замкнуть ключ. Снять показания приборов I_1 и U_1 .
3. Передвинуть движок, увеличив сопротивление реостата. Снять новые показания приборов I_2 и U_2 .
4. Рассчитать сопротивление источника тока по формуле (2):

$$\left. \begin{array}{l} \text{Задание} \end{array} \right| r = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} =$$

5. Рассчитать ЭДС источника тока:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Задание} \end{array} \right| R_1 = \frac{U_1}{I_1} =$$

$$\mathcal{E} = I_1(R_1 + r) =$$

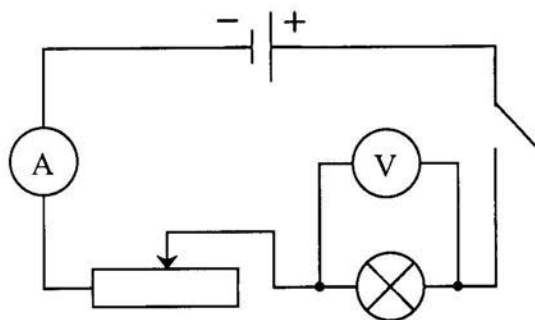
Измеренные величины	I_1 , А	U_1 , В	I_2 , А	U_2 , В
Рассчитанные величины	r , Ом		$\mathcal{E}$, В	

9. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МОЩНОСТИ ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ ОТ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЕЕ ЗАЖИМАХ

Оборудование: лампа накаливания, реостат, амперметр, вольтметр, источник постоянного напряжения, соединительные провода, ключ.

Метод выполнения работы

Лампа накаливания выделяет тепловую и световую энергию за счет работы, совершаемой электрическим током. Мощность лампы P может быть найдена по формуле $P = IU$, где I — сила тока в лампе, U — напряжение на ней. Чтобы исследовать зависимость мощности от напряжения, необходимо изменять напряжение на лампе и снимать показания силы тока и напряжения. Для этого используется предложенная схема. Сила тока (а значит, и напряжение) меняется на лампе с помощью реостата.



Ход работы

1. Записать в таблицу характеристики амперметра и вольтметра: c — цена деления прибора, γ — класс точности прибора, $X_{\max}$ — предельное значение шкалы.
2. Собрать электрическую цепь. Установить движок реостата на максимальное сопротивление.

3. Замкнуть ключ. Снять показания I_1 и U_1 приборов; занести в таблицу.
4. Перемещая движок реостата, снять еще показания (4 раза); их также занести в таблицу.
5. Рассчитать мощность, потребляемую лампой, для каждого измерения:

$$\begin{array}{|l} P_1 = \\ P_2 = \\ P_3 = \\ P_4 = \\ P_5 = \end{array}$$

6. Расчет погрешности измерений

Рассчитать погрешность измерения мощности для 5-го измерения.

1. Найти абсолютные погрешности измерения силы тока и напряжения по формулам

$$\begin{array}{|l} \Delta I = \frac{c_I}{2} + \frac{\gamma_I \cdot I_{\max}}{100} = \\ \Delta U = \frac{c_U}{2} + \frac{\gamma_U \cdot U_{\max}}{100} = \end{array}$$

2. Найти относительную погрешность определения мощности

$$\varepsilon_P = \varepsilon_I + \varepsilon_U = \frac{\Delta I}{I_5} + \frac{\Delta U}{U_5}$$

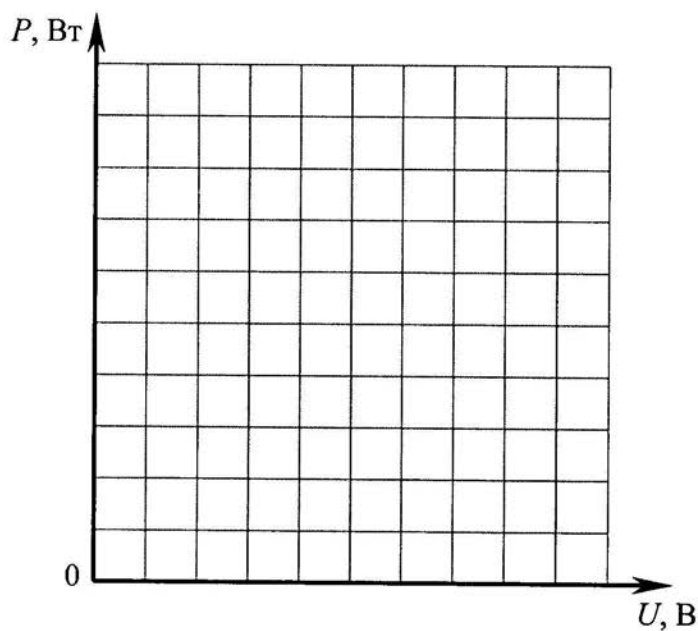
$$\varepsilon_P =$$

3. Найти абсолютную погрешность определения мощности

$$\Delta P = P_5 \cdot \varepsilon_P =$$

Постоянные величины	c_I, A	γ_I	$I_{\max}, A$	c_U, B	γ_U	$U_{\max}, B$
Измеренные величины	№ опыта	1	2	3	4	5
	I, A					
	U, B					
Рассчитанные величины	$P, Вт$					
	$\varepsilon_P \cdot 100, \%$			$\Delta P, Вт$		

7. Построить график зависимости $P = f(U)$.



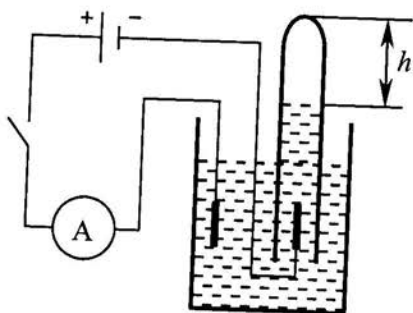
10. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНОГО ЗАРЯДА

Оборудование: стакан с раствором соляной кислоты, пробирка, амперметр, секундомер, линейка, источник постоянного напряжения, соединительные провода, ключ.

Метод выполнения работы

В работе измеряют заряд одновалентного иона водорода H^+ . Поскольку этот ион образован потерей атомом H одного электрона, то его заряд равен элементарному заряду $|q_e|$.

Для измерения заряда $|q_e|$ собирают электрическую цепь, как показано на рисунке. В стакан и пробирку наливают водный раствор соляной кислоты HCl . Катод помещают в пробирку. В замкнутой цепи к катоду перемешаются ионы H^+ , а к аноду — ионы Cl^- . На катоде происходит выделение водорода H_2 , который собирается в верхней части пробирки.



Будем считать водород, выделившийся в пробирку, идеальным газом. Запишем для него основное уравнение молекулярно-кинетической теории в виде

$$p = nkT, \quad (1)$$

где p — давление водорода; k — постоянная Больцмана; T — абсолютная температура водорода; n — концентрация молекул водорода, т. е. число молекул в единице объема. Для объема V число молекул N выражается формулой $N = nV$, поэтому формулу (1) можно записать так:

$$p = \frac{N}{V} kT, \quad (2)$$

откуда

$$N = \frac{pV}{kT}. \quad (3)$$

Объем водорода можно найти по формуле

$$V = Sh = \frac{\pi d^2}{4} h, \quad (4)$$

где d — диаметр пробирки; h — высота столбика водорода.

Число ионов H^+ , дошедших до катода, равно

$$N_{\text{ион}} = 2N, \quad (5)$$

так как молекула газа состоит из двух атомов.

За время t при силе тока I к катоду был перенесен заряд $I \cdot t$, который равен $N_{\text{ион}} \cdot |q_e|$. Поэтому элементарный заряд можно выразить из формулы

$$I \cdot t = N_{\text{ион}} \cdot |q_e|. \quad (6)$$

Ход работы

1. Записать в таблицу постоянную Больцмана k , элементарный заряд $|q_{e, \text{табл}}|$, абсолютную температуру в комнате T (принимая 300 К) и атмосферное давление p (принимая 10^5 Па).
2. Заполнить стакан и пробирку (до края) раствором кислоты. Прикрыв конец пробирки бумагой, погрузить ее в стакан и удалить бумагу.
3. Ввести в стакан и в пробирку оголенные края проводов — электроды.
4. Собрать цепь по схеме и замкнуть ключ. (Катод должен находиться в пробирке.) Включить секундомер.
5. В течение 5—10 мин наблюдать выделение водорода на катоде. Измерить среднее значение силы тока I за это время. (Показания амперметра постоянно меняются, так как выделение газа у электрода беспорядочно меняет сопротивление цепи.)
6. Разомкнуть цепь. Измерить время электролиза t , высоту столбика водорода h .
7. Измерить линейкой внутренний диаметр пробирки d и рассчитать объем водорода по формуле (4):

$$\left. \begin{array}{l} \text{Задание} \\ \text{Задание} \end{array} \right| V = \frac{\pi d^2}{4} h =$$

8. Принимаем, что давление водорода равно атмосферному, а температура равна комнатной. Рассчитать число атомов N и ионов $N_{\text{ион}}$ водорода:

$$\left| \begin{array}{l} N = \frac{pV}{kT} = \\ N_{\text{ион}} = 2N = \end{array} \right.$$

9. Рассчитать элементарный заряд $|q_e|$ из формулы (6):

$$\left| \begin{array}{l} |q_e| = \frac{I \cdot t}{N_{\text{ион}}} = \end{array} \right.$$

10. Расчет погрешности измерений

1. Рассчитать абсолютную погрешность определения $|q_e|$

$$\left| \begin{array}{l} \Delta q_e = |q_e - q_{e,\text{табл}}| = \end{array} \right.$$

2. Рассчитать относительную погрешность

$$\left| \begin{array}{l} \varepsilon = \frac{\Delta q_e}{|q_{e,\text{табл}}|} = \end{array} \right.$$

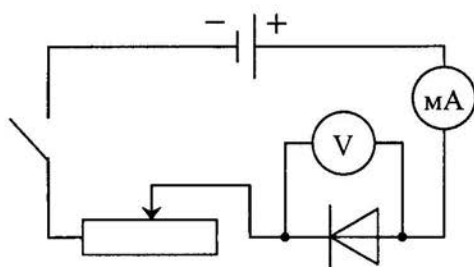
Постоянные величины	k , Дж/К	$ q_{e,\text{табл}} $, Кл	T , К	p , Па
Измеренные величины	I , А	t , с	h , м	d , м
Рассчитанные величины	V , м ³	$N_{\text{ион}}$	$ q_e $, Кл	$\varepsilon \cdot 100$, %

11. ПОСТРОЕНИЕ ВАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА

Оборудование: полупроводниковый диод, реостат, миллиамперметр, вольтметр, источник постоянного напряжения, соединительные провода, ключ.

Метод выполнения работы

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) прибора — это зависимость силы тока I через прибор от напряжения U , приложенного к нему. ВАХ диода состоит из двух участков. Один соответствует включению диода в прямом направлении (ток образован движением основных носителей); другой — в обратном. В работе исследуется первый участок ВАХ. Для его построения необходимо изменять напряжение на диоде и снимать показания силы тока и напряжения. Сила тока (а значит, и напряжение) меняется на диоде с помощью реостата. Включение приборов показано на схеме.

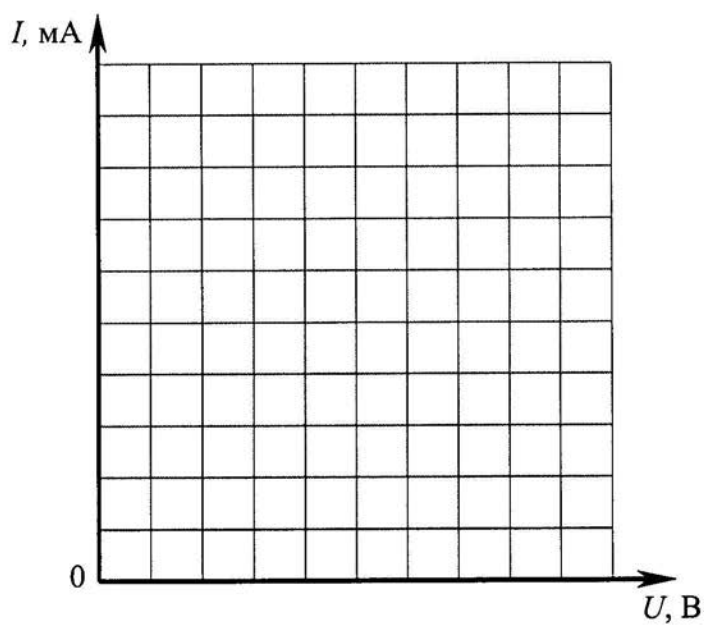


Ход работы

1. Собрать электрическую цепь. Установить движок реостата на максимальное сопротивление.
2. Замкнуть ключ. Снять показания I и U приборов; занести в таблицу.
3. Перемещая движок реостата, снять еще показания I и U (4 раза); также занести в таблицу.

	№ опыта	1	2	3	4	5
Измеренные величины	I , мА					
	U , В					

4. Построить график зависимости $I = f(U)$.

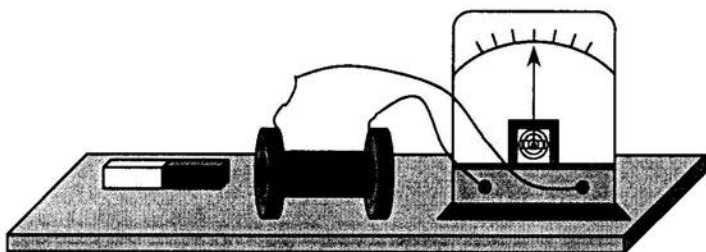


12. ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Оборудование: гальванометр, катушка, соединительные провода, магнит.

Метод выполнения работы

В работе наблюдается явление электромагнитной индукции. Через полость катушки перемещают магнит и определяют при этом направление индукционного тока по отклонению стрелки гальванометра.

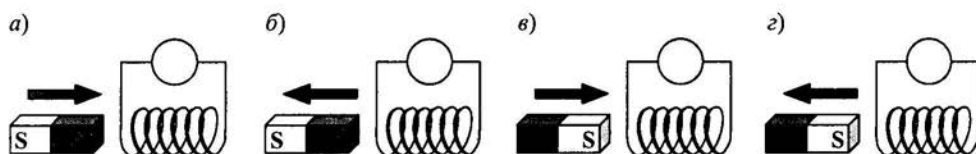


Направление индукционного тока можно определить и по правилу Ленца. В работе его можно применить так:

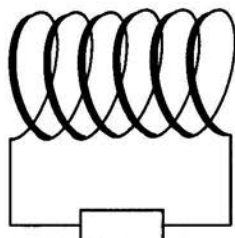
- 1) определить расположение магнитных полюсов катушки при движении магнита (к магниту обращен полюс, который препятствует его движению);
- 2) определить (по правилу магнитной стрелки) направление вектора $\vec{B}$ магнитного поля, созданного током в катушке;
- 3) определить (по правилу буравчика) направление тока в катушке.

Ход работы

1. Подсоединить катушку к гальванометру.
2. Передвигать магнит через полость катушки, как показано на рисунках а)—г); отметить в каждом случае отклонение стрелки гальванометра (направление тока).



3. Для одного из четырех случаев (*полюса магнита и направление его движения задает преподаватель*) определить направление тока в катушке по правилу Ленца, используя п. 1)–3). Для катушки указать: полюса N и S, направление вектора $\vec{B}$, направление тока I .



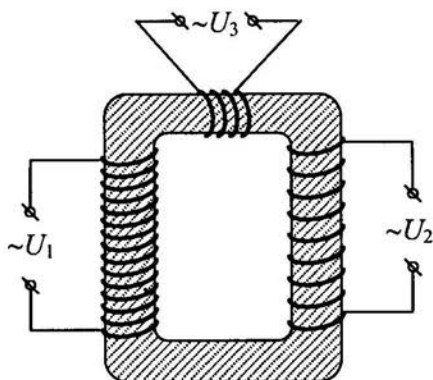
13. ИЗМЕРЕНИЕ ЧИСЛА ВИТКОВ В ОБМОТКАХ ТРАНСФОРМАТОРА

Оборудование: трансформатор, источник переменного напряжения, вольтметр переменного напряжения, соединительные провода, длинный изолированный провод.

Метод выполнения работы

В режиме холостого хода работы трансформатора отношение напряжений на его обмотках равно отношению числа витков в них. Напряжения U_1 и U_2 могут быть измерены вольтметром, число витков N_1 и N_2 в обмотках неизвестны. Чтобы их определить, на сердечник трансформатора наматывают третью обмотку (для этого и нужен длинный провод); число ее витков N_3 , конечно, известно. Измерив напряжения на трех обмотках, можно найти N_1 и N_2 из формул

$$\frac{U_1}{U_3} = \frac{N_1}{N_3}; \quad \frac{U_2}{U_3} = \frac{N_2}{N_3}.$$



Ход работы

1. Из длинного провода намотать на сердечник третью обмотку (10—20 витков).
2. Подключить источник переменного напряжения к первичной обмотке.

3. Поочередно измерить вольтметром напряжения на всех обмотках. Вычислить значения N_1 и N_2 из формул

$$N_1 = \frac{U_1 N_3}{U_3} =$$

$$N_2 = \frac{U_2 N_3}{U_3} =$$

Измеренные величины	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$U_3, \text{В}$	N_3
Рассчитанные величины	N_1		N_2	

14. ИЗМЕРЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Оборудование: штатив, шарик с нитью, линейка, секундомер.

Метод выполнения работы

Ускорение свободного падения можно определить, измерив период колебаний математического маятника, так как в формулу для периода входит величина g :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (1)$$

где T — период колебаний; l — длина математического маятника (см. рисунок); g — ускорение свободного падения. Период измеряют с помощью секундомера. Необходимо замерить время t , за которое маятник совершает N полных колебаний. Тогда период колебаний равен



$$T = \frac{t}{N}. \quad (2)$$

Необходимо заметить, что максимальный угол отклонения маятника от положения равновесия не должен превышать $\approx 5^\circ$ (иначе формула (1) не применима).

Решая совместно (1) и (2), получаем формулу для расчета ускорения свободного падения:

$$\begin{aligned} 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} &= \frac{t}{N}; \\ 4\pi^2 \frac{l}{g} &= \frac{t^2}{N^2} \cdot gN^2; \\ 4\pi^2 lN^2 &= t^2 g; \\ g &= 4l \left(\frac{\pi N}{t} \right)^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Ход работы

1. Записать в таблицу значение ускорения свободного падения $g_{\text{табл}}$.
2. Закрепить шарик на нити в штативе. Измерить длину l полученного маятника линейкой.
3. Отклонив маятник на угол $\approx 5^\circ$, заставить его колебаться, одновременно включив секундомер. Измерить время t , за которое маятник совершит $N = 20 \dots 50$ колебаний.
4. Рассчитать ускорение свободного падения по формуле (3):

$$g = 4l \left(\frac{\pi N}{t} \right)^2 =$$

5. Расчет погрешности измерений

1. Рассчитать абсолютную погрешность определения g

$$\Delta g = |g - g_{\text{табл}}| =$$

2. Рассчитать относительную погрешность

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta g}{g_{\text{табл}}} =$$

Постоянные величины	$g_{\text{табл}}, \text{ м/с}^2$		
Измеренные величины	$l, \text{ м}$	$t, \text{ с}$	N
Рассчитанные величины	$g, \text{ м/с}^2$		$\varepsilon_g \cdot 100, \%$

15. ПРОВЕРКА ЗАКОНА ОМА ДЛЯ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Оборудование: источник переменного напряжения, резистор (лампа накаливания), конденсатор, амперметр и вольтметр переменного напряжения, ключ, соединительные провода.

Метод выполнения работы

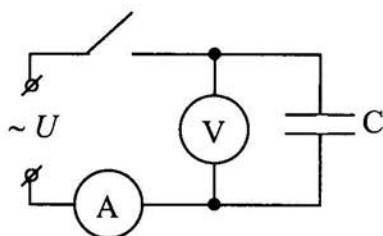
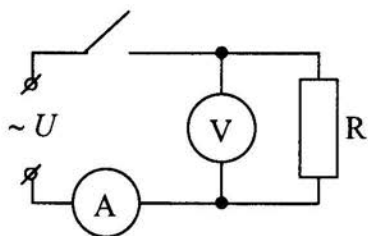
В работе проверяют выполнение закона Ома для цепи переменного тока в двух случаях: цепь содержит 1) активное сопротивление — резистор; 2) реактивное сопротивление — конденсатор.

Проверить закон Ома можно, сравнив измеренное значение силы тока $I_{\text{изм}}$ с расчетным значением I . Напряжение U и значение $I_{\text{изм}}$ снимают с приборов. Значение I находят по закону Ома:

$$1) I = \frac{U}{R} \text{ (в цепи резистор);} \quad (1)$$

$$2) I = \frac{U}{X_C} = U\omega C = U \cdot 2\pi\nu C \text{ (в цепи конденсатор).} \quad (2)$$

Здесь I и U — действующие значения силы тока и напряжения; R — сопротивление резистора; C — емкость конденсатора; ν — частота тока в сети.



Ход работы

1. Записать в таблицу частоту тока в сети $\nu = 50$ Гц и емкость конденсатора C (указана на нем). Если сопротивление лампы неизвестно,

то его можно рассчитать, зная мощность лампы P (указана на ней) и напряжение в сети U :

$$\left. \begin{array}{c} \text{⚡} \end{array} \right| R = \frac{U^2}{P} =$$

- Собрать цепь переменного тока, включив в нее резистор (лампу). Замкнуть ключ и снять показания приборов $I_{\text{изм1}}$ и U_1 .
- Рассчитать силу тока в цепи I_1 по формуле (1):

$$\left. \begin{array}{c} \text{⚡} \end{array} \right| I_1 = \frac{U_1}{R} =$$

- Собрать цепь переменного тока, включив в нее конденсатор. Замкнуть ключ и снять показания приборов $I_{\text{изм2}}$ и U_2 .
- Рассчитать силу тока в цепи I_2 по формуле (2):

$$\left. \begin{array}{c} \text{⚡} \end{array} \right| I_2 = U_2 \cdot 2\pi\nu C =$$

6. Расчет погрешности измерений

Относительная разница между измеренными и рассчитанными значениями силы тока для двух схем:

$$\left. \begin{array}{c} \text{⚡} \end{array} \right| \varepsilon_1 = \frac{|I_{\text{изм1}} - I_1|}{0,5(I_{\text{изм1}} + I_1)} =$$

$$\varepsilon_2 = \frac{|I_{\text{изм2}} - I_2|}{0,5(I_{\text{изм2}} + I_2)} =$$

Постоянные величины	ν , Гц		C , Ф		R , Ом	
Измеренные величины	$I_{\text{изм1}}$, А	U_1 , В	$I_{\text{изм2}}$, А	U_2 , В		
Рассчитанные величины	I_1 , А	$\varepsilon_1 \cdot 100$, %	I_2 , А	$\varepsilon_2 \cdot 100$, %		

16. ИЗМЕРЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СТЕКЛА

Оборудование: плоскопараллельная пластина, линейка, лазерная указка (или другой источник света, дающий узкий световой пучок).

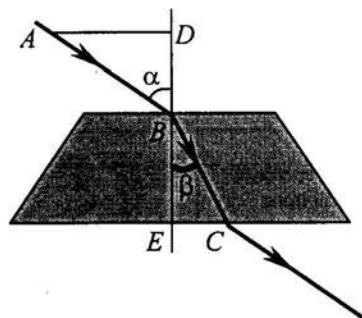
Метод выполнения работы

Показатель преломления стекла можно определить на основании закона преломления света

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}, \quad (1)$$

где α — угол падения луча на границу воздух—стекло; β — угол преломления; n — показатель преломления стекла (поскольку $n_{\text{возд}} \approx 1$).

Суть опыта заключается в том, что на одну из параллельных граней пластинки направляют пучок света под произвольным углом α . Отмечают точки A , B и C по ходу луча. Проводят перпендикуляр в точке B к грани пластины и строят два прямоугольных треугольника ABD и BCE . Тогда формулу (1) можно записать так:



$$n = \frac{AD}{AB} \cdot \frac{CE}{CB} = \frac{AD}{AB} \cdot \frac{CB}{CE}. \quad (2)$$

Измерив указанные расстояния, можно определить n .

Ход работы

1. Записать в таблицу значение показателя преломления стекла $n_{\text{табл}}$.
2. Положить пластину на лист бумаги и очертить ее грани. Направить луч лазера на одну параллельную грань и отметить точки A , B , C (см. рисунок).
3. Убрав пластину, провести перпендикуляр BD и построить прямоугольный треугольник ABD .
4. Измерить линейкой расстояния AD , AB , CB , CE .

5. Рассчитать показатель преломления стекла по формуле (2):

$$n = \frac{AD}{AB} \cdot \frac{CB}{CE} =$$

6. Расчет погрешности измерений

1. Рассчитать абсолютную погрешность определения показателя преломления

$$\Delta n = |n - n_{\text{табл}}| =$$

2. Рассчитать относительную погрешность

$$\varepsilon_n = \frac{\Delta n}{n_{\text{табл}}} =$$

Постоянные величины	$n_{\text{табл}}$			
Измеренные величины	AD , мм	AB , мм	CB , мм	CE , мм
Рассчитанные величины	n		$\varepsilon_n \cdot 100$, %	

17. ИЗМЕРЕНИЕ ФОКУСНЫХ РАССТОЯНИЙ СОБИРАЮЩЕЙ И РАССЕИВАЮЩЕЙ ЛИНЗ

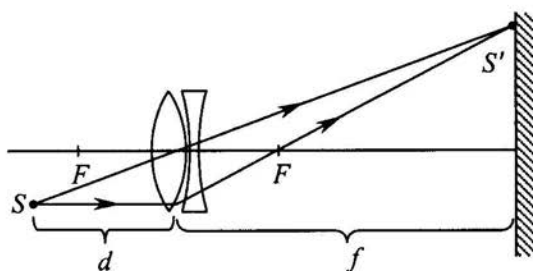
Оборудование: собирающая и рассеивающая линзы, штативы для линз, лампочка (светодиод), источник тока, соединительные провода, линейка, экран.

Метод выполнения работы

Фокусное расстояние собирающей линзы можно определить с помощью формулы тонкой линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \quad (1)$$

где F — фокусное расстояние; d — расстояние между объектом и линзой; f — расстояние между изображением (действительным) и линзой. Для измерения F нужно поместить объект (лампочку) S на некотором расстоянии от линзы, притом выполнить условие $d > F$, чтобы получить действительное изображение на экране. Измерив d и f , можно вычислить F .



Фокусное расстояние рассеивающей линзы нельзя определить напрямую, так как она дает мнимое изображение ($f < 0$), расстояние до которого нельзя измерить линейкой. Поэтому используют систему линз: рассеивающую линзу объединяют с собирающей (см. рисунок), оптическая сила которой по модулю больше. При этом будет получено действительное изображение объекта, а оптическая сила D системы линз равна:

$$D = D_p + D_c, \quad (2)$$

где D_p и D_c — оптические силы рассеивающей и собирающей линз.

Полученная система представляет собой собирающую линзу с оптической силой

$$D = \frac{1}{F}. \quad (3)$$

Итак, в опыте измеряют D по методике, описанной выше. Величина D_c известна из первого опыта; величина D_p рассчитывается из формулы (2).

Ход работы

1. Расположив на столе линейку (служит главной оптической осью), поместить на ней лампочку, собирающую линзу и экран.
2. Перемещая экран, получить светящееся изображение на нем. Измерить расстояния d_c и f_c .
3. Определить фокусное расстояние собирающей линзы F_c :

$$\begin{aligned} D_c &= \frac{1}{d_c} + \frac{1}{f_c} = \\ F_c &= \frac{1}{D_c} = \end{aligned}$$

4. Совместить собирающую и рассеивающую линзы. Перемещая экран, добиться светящегося изображения на нем. Измерить расстояния d и f .
5. Рассчитать оптическую силу системы линз D :

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} =$$

6. Рассчитать оптическую силу рассеивающей линзы D_p из формулы (2), а ее фокусное расстояние F_p — из формулы (3):

$$\begin{aligned} D_p &= D - D_c = \\ F_p &= \frac{1}{D_p} = \end{aligned}$$

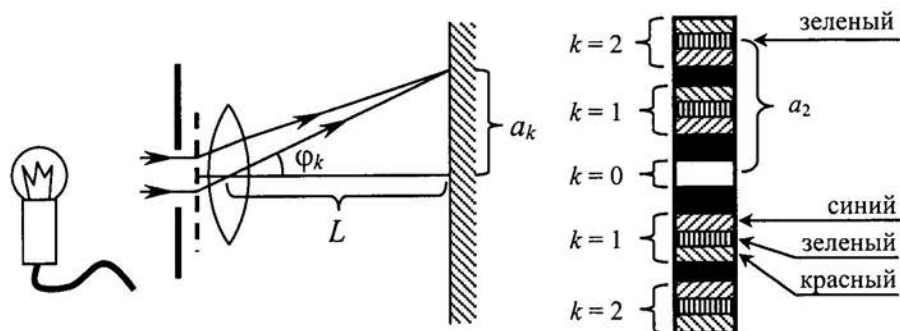
Измеренные величины	d_c , м	f_c , м	d , м	f , м
Рассчитанные величины	F_c , м		F_p , м	

18. ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ

Оборудование: дифракционная решетка, собирающая линза, ширма с щелью, экран, лампа, источник тока, соединительные провода, линейка.

Метод выполнения работы

В работе определяют длины световых волн разного цвета. Для этого производят измерения полученного с помощью лампы накаливания дифракционного спектра. Измерительную установку собирают следующим образом. Вблизи лампы помещают ширму с щелью, за ней дифракционную решетку, далее крепят линзу; на расстоянии фокусного расстояния от линзы ставят экран.



При освещении решетки на экране видны сплошные разноцветные спектры. В спектре k -го порядка цветная линия, которой соответствует длина волны λ , видна под углом φ_k . Формула дифракционной решетки с периодом d имеет вид

$$d \sin \varphi_k = k\lambda. \quad (1)$$

Так как угол φ_k мал, то

$$\sin \varphi_k \approx \tan \varphi_k = \frac{a_k}{L}, \quad (2)$$

где a_k — расстояние от центрального (нулевого) максимума до данного цветного максимума k -го порядка; L — расстояние от линзы до экрана.

Подставляя (2) в (1), получаем

$$d \frac{a_k}{L} = k\lambda ;$$

$$\lambda = \frac{a_k d}{kL} . \quad (3)$$

Все расстояния в работе измеряют линейкой; период d указан на решетке.

Ход работы

1. Собрать установку, расположив приборы так, как показано на рисунке. Включить лампу.
2. Передвигая экран, получить отчетливые разноцветные спектры.
3. Измерить длину волны красного, зеленого и синего цветов. Для этого:
 - 1) записать период решетки d ;
 - 2) измерить расстояние L от линзы до экрана;
 - 3) выбрать порядок спектра k и измерить расстояние a_k до k -го максимума красного цвета;
 - 4) измерить (приблизленно) ширину красного максимума Δa в спектре;
 - 5) выполнить п. 3, 4 для зеленого и синего цвета;
 - 6) рассчитать длины волн трех цветов по формуле $\lambda = \frac{a_k d}{kL}$;

(красный) $\lambda =$
(зеленый) $\lambda =$
(синий) $\lambda =$

4. Расчет погрешности измерений

Необходимо рассчитать погрешности определения длин волн трех цветов. Наибольшая погрешность опыта в измерении расстояния a_k . Поэтому относительная погрешность измерения длины волны равна: $\varepsilon_\lambda = \frac{\Delta a}{a_k}$.

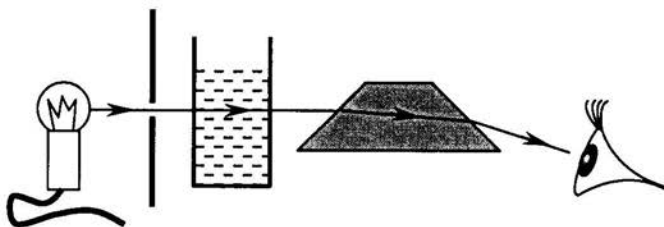
19. НАБЛЮДЕНИЕ СПЕКТРОВ ИСПУСКАНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ

Оборудование: спектроскоп (или призма в кожухе), ширма с щелью, лампа, реостат, источник тока, соединительные провода, газоразрядные трубки, высоковольтный источник, светофильтры, кювета с раствором перманганата калия в воде, тампон с раствором поваренной соли в воде, сухой спирт.

Метод выполнения работы

Спектр испускания (поглощения) представляет собой совокупность частот, излучаемых (поглощаемых) данным веществом. При наблюдении спектра через призму виден набор цветных полос (спектр испускания) или набор темных полос на сплошном фоне цветных (спектр поглощения). В работе предлагается провести наблюдение:

- 1) спектров, испускаемых накалившимся металлом (опыты 1 и 2);
- 2) спектров, испускаемых газом и парами металла — линейчатые спектры (опыты 3 и 4);
- 3) спектров поглощения твердого тела и жидкости (опыты 5 и 6).



Лабораторная установка для опыта 6 показана на рисунке. Она состоит из источника, дающего сплошной спектр — лампы, ширмы с щелью, раствора, поглощающего некоторые частоты, и призмы. Для проведения других опытов в установке заменяется только объект наблюдения.

В работе также предлагается качественно проверить закон смещения Вина

$$\lambda_{\max} T = b,$$

где $\lambda_{\max}$ — длина волны, которой соответствует максимум излучаемой энергии при данной абсолютной температуре тела T , $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ — постоянная Вина. В опыте 2 при помощи реостата меняется сила тока

через лампу, а следовательно, и температура нити накала. При этом интенсивность свечения должна смещаться (при разных температурах максимум интенсивности приходится на разные участки спектра). При низкой температуре (слабый накал лампы) часть спектра становится практически не видна.

Ход работы

Выполнить шесть указанных опытов и зарисовать в подготовленные прямоугольники спектральные картины, наблюдаемые через призму.

1. Подключить лампу накаливания через реостат к источнику тока. Установить максимальный накал. Полученный спектр пронаблюдать и зарисовать.

2. Передвигая движок реостата, постепенно уменьшать температуру накала нити. Указать стрелкой, в какую сторону смещается значение $\lambda_{\max}$.

При уменьшении T значение $\lambda_{\max}$ смещается в направлении...

3. Подключить газоразрядную трубку к высоковольтному источнику. Полученный спектр пронаблюдать и зарисовать.

4. Зажечь сухой спирт и поместить в пламя тампон с раствором поваренной соли. Наблюдать через призму, как меняется при этом окраска пламени. Зарисовать наиболее яркие линии спектра.

5. Подключить лампу накаливания к источнику тока. За ширмой поместить светофильтр. Полученный спектр пронаблюдать и зарисовать.

6. Светофильтр заменить на водный раствор перманганата калия. Полученный спектр пронаблюдать и зарисовать.

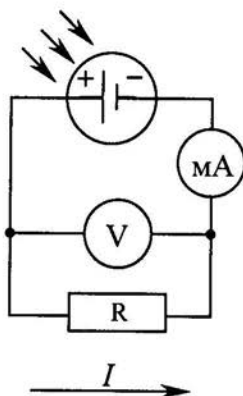
20. ИЗМЕРЕНИЕ КПД ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ФОТОЭЛЕМЕНТА

Оборудование: полупроводниковый фотоэлемент, резистор, вольтметр, миллиамперметр, линейка, транспортир, дощечка со спицей.

Метод выполнения работы

КПД фотоэлемента можно определить как отношение мощности электрического тока $P_{\text{эл}}$ на внешней цепи к мощности солнечного излучения $P_{\text{с}}$, падающего на фотоэлемент:

$$\eta = \frac{P_{\text{эл}}}{P_{\text{с}}} . \quad (1)$$



Для измерения мощности тока собирают схему, показанную на рисунке. При освещении фотоэлемента в цепи появляется ток, мощность которого находят по формуле

$$P_{\text{эл}} = IU, \quad (2)$$

где I — сила тока; U — напряжение на резисторе, включенном в цепь. Эти величины измеряют миллиамперметром и вольтметром.

Мощность солнечного излучения находят по следующей методике. Известно, что плотность потока солнечного излучения $J_{\text{с}}$ у границы земной атмосферы равна 1373 Вт/м^2 . У границы земной поверхности

эта величина меньше, так как часть светового излучения отражается атмосферой, а другая часть поглощается ею. Поэтому величина J_c зависит от толщины слоя атмосферы, который преодолевает излучение. Иными словами, J_c зависит от угла φ , под которым солнечные лучи падают на Землю в данной точке земной поверхности. (Для $\varphi = 90^\circ$ толщина слоя наименьшая, поэтому J_c максимальна.) Зависимость $J_c(\varphi)$ для безоблачного неба приведена в табл. 1.

Таблица 1

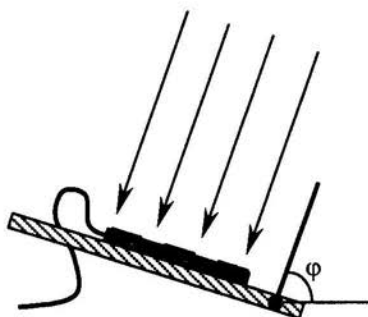
φ , град	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
J_c , Вт/м ²	270	450	570	660	730	770	810	840	870	890	900	910

Поскольку $J_c = \frac{P_c}{S}$, где S — площадь поверхности фотоэлемента, то $P_c = J_c S$. Тогда, с учетом (2), формула (1) запишется так:

$$\eta = \frac{IU}{J_c S}. \quad (3)$$

Ход работы

1. Собрать цепь, показанную на рисунке.
2. Расположить поверхность фотоэлемента перпендикулярно солнечным лучам. Для этого фотоэлемент уложить на дощечку со спицей; она поворачивается так, что длина тени от перпендикулярно вонкнутой спицы равна нулю. Транспортиром измерить угол φ .



3. Измерить напряжение U (вольтметром) и силу тока I (миллиамперметром) через фотоэлемент.

4. Измерить линейкой размеры фотоэлемента и рассчитать площадь его поверхности S :

 $S = \text{Длина} \times \text{Ширина} =$

5. Рассчитать КПД фотоэлемента по формуле (3):

 При $\varphi =$ по табл. 1 $J_c =$

$$\eta = \frac{IU}{J_c S} =$$

Измеренные величины	I, A	U, B	$\varphi, \text{град}$	$J_c, \text{Вт/м}^2$
Рассчитанные величины	$S, \text{м}^2$		$\eta \cdot 100, \%$	

21. ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГИИ ЗАРЯЖЕННОГО КОНДЕНСАТОРА

Оборудование: конденсатор емкостью 100—1000 мкФ; резистор сопротивлением 10—100 кОм; микроамперметр, вольтметр, секундомер, источник тока, соединительные провода, ключ.

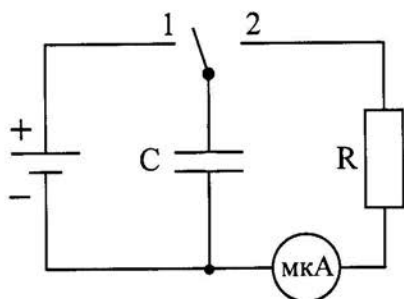
Метод выполнения работы

Заряженный конденсатор обладает электрической энергией. Если известны емкость конденсатора C и напряжение U , до которого он заряжен, то энергия $W_{\text{эл}}$ может быть рассчитана так:

$$W_{\text{эл}} = \frac{CU^2}{2}. \quad (1)$$

В работе предлагается иная методика определения энергии конденсатора. При разрядке конденсатора через сопротивление электрический ток совершает работу. Энергия электрического поля превращается в тепловую энергию.

Вначале конденсатор заряжается от источника тока до напряжения U . В процессе разрядки напряжение и сила тока на нем постепенно



уменьшаются. Работа тока ΔA за малый промежуток времени Δt примерно может быть найдена так:

$$\Delta A = I^2 R \Delta t,$$

где I — сила тока в момент времени t ($I \approx \text{const}$ в течении малого Δt); R — сопротивление резистора. Полная работа тока находится как сумма работ по всем временным интервалам:

$$A = \Delta A_1 + \Delta A_2 + \dots + \Delta A_n, \quad (2)$$

здесь

$$\Delta A_k = I_k^2 R(t_k - t_{k-1}), \quad (3)$$

где I_k — значение силы тока в момент времени t_k , $k = 1, 2, \dots, n$. (В момент времени $t_0 = 0$ измерить I_0 не представляется возможным, так как после замыкания ключа стрелка микроамперметра некоторое время колеблется.)

Чтобы время разряда было достаточно для измерения, нужно использовать конденсатор с большой емкостью C и резистор с большим сопротивлением R .

Ход работы

1. Измерить напряжение U на полюсах источника тока и записать в таблицу. Записать в таблицу значения емкости конденсатора C и сопротивления резистора R .
2. Собрать схему по рисунку. Установить ключ в положение 1 и зарядить конденсатор.
3. Перевести ключ в положение 2 и одновременно запустить секундомер. По мере разрядки конденсатора снять 5—10 показаний t_k и I_k .
4. Рассчитать работу тока на каждом временном интервале:

$$\Delta A_k = I_k^2 R(t_k - t_{k-1}):$$

$$\begin{aligned} \Delta A_1 &= (150 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 15,1 \cdot 10^3 \cdot (3 - 0) = \\ &= 150^2 \cdot (10^{-6})^2 \cdot 15,1 \cdot 10^3 \cdot 3 = 1020000 \cdot 10^{-12} \cdot 10^3 = \\ &= 102 \cdot 10^4 \cdot 10^{-12} \cdot 10^3 = 120 \cdot 10^{-5} \text{ Дж.} \\ &\dots\dots\dots \\ \Delta A_6 &= (5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 15,1 \cdot 10^3 \cdot (80 - 37) = 5^2 \cdot (10^{-6})^2 \cdot 15,1 \cdot 10^3 \cdot 43 = \\ &= 16000 \cdot 10^{-12} \cdot 10^3 = 1,6 \cdot 10^4 \cdot 10^{-12} \cdot 10^3 = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ Дж.} \end{aligned}$$

Подсказка

При расчете использованы свойства:

$$(a \cdot 10^n)^m = a^m \cdot 10^{n \cdot m};$$

$$10^n \cdot 10^m = 10^{n+m};$$

при переносе запятой на n знаков влево (или вправо) появляется множитель 10^n (или 10^{-n}).

5. Рассчитать работу электрического тока за время разрядки:

$$\begin{aligned} A &= \Delta A_1 + \Delta A_2 + \dots + \Delta A_6 = \\ &= 10^{-5} (102 + 75,5 + 59,2 + 21,7 + 7,2 + 1,6) = 267,2 \cdot 10^{-5} \text{ Дж.} \end{aligned}$$

6. Рассчитать энергию конденсатора по формуле (1) для сравнения с результатом, полученным по формулам (2), (3):

$$W_{\text{эл}} = \frac{CU^2}{2} = \frac{10^{-3} \cdot 2,4^2}{2} = 2,88 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

7. Расчет погрешности измерений

1. Рассчитать абсолютное различие величин A и $W_{\text{эл}}$:

$$\begin{aligned} \Delta &= |A - W_{\text{эл}}| = |267,2 \cdot 10^{-5} - 2,88 \cdot 10^{-3}| = \\ &= |2,67 \cdot 10^{-3} - 2,88 \cdot 10^{-3}| = 10^{-3} |2,67 - 2,88| = 0,21 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.} \end{aligned}$$

Подсказка

В числе $267,2 \cdot 10^{-5}$ запятая переносится на два знака, чтобы показатели степеней двух чисел сравнивались. Тогда множитель 10^{-3} можно вынести за знак модуля.

2. Рассчитать относительное различие величин A и $W_{\text{эл}}$:

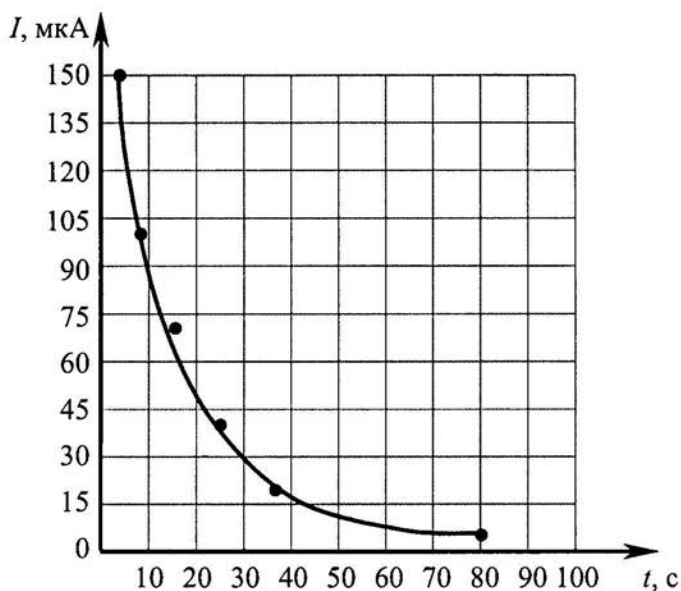
$$\varepsilon = \frac{\Delta}{0,5(A + W_{\text{эл}})} = \frac{0,21 \cdot 10^{-3}}{0,5(2,67 + 2,88) \cdot 10^{-3}} = 0,08.$$

Постоянные величины	$U, \text{В}$			C, Φ		$R, \text{Ом}$	
	2,4			10^{-3}		$15,1 \cdot 10^3$	
Измеренные величины	$t, \text{с}$	3	8	16	25	37	80
	$I, \text{А}$	$150 \cdot 10^{-6}$	$100 \cdot 10^{-6}$	$70 \cdot 10^{-6}$	$40 \cdot 10^{-6}$	$20 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$
Расчетные величины	$\Delta A, \text{Дж}$	$102 \cdot 10^{-5}$	$75,5 \cdot 10^{-5}$	$59,2 \cdot 10^{-5}$	$21,7 \cdot 10^{-5}$	$7,2 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
	$A, \text{Дж}$			$W_{\text{эл}}, \text{Дж}$		$\varepsilon \cdot 100, \%$	
	$2,67 \cdot 10^{-3}$			$2,88 \cdot 10^{-3}$		8 %	

8. Построить график зависимости силы тока от времени $I = f(t)$.

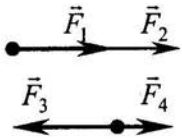
Подсказка

Величину шага на оси выбирают так. Максимальное значение переменной делят на количество разбиений на оси; полученный результат округляют (если это нужно) до *большого* значения. Например, $t_{\text{max}} = 80 \text{ с}$, число разбиений по оси Ox равно 10 $\Rightarrow$ шаг $= 80/10 = 8 \text{ с}$. Для удобства отсчета округляем до 10 с.



Вопросы к работе № 1

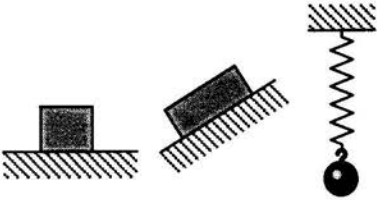
Минимальный уровень

1. Сила	Что называют силой? От чего зависит результат действия силы на тело?	
2. Равнодействующая сил	Что называют равнодействующей сил? Постройте (см. рисунок) равнодействующую для сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$; $\vec{F}_3$ и $\vec{F}_4$. К телу приложено несколько сил; может ли быть равнодействующая равна нулю? В каком случае?	
3. II закон Ньютона	Формула закона. Какие величины в нее входят? Формулировка закона. Что понимают под величиной $\vec{F}$ в законе, если на тело действуют несколько сил?	
4. Сила упругости	Где возникает сила? Как она направлена? Расчет силы по закону Гука. Какие величины входят в эту формулу? Чем обусловлено возникновение силы упругости?	
5. Сила тяжести	На что действует сила? Как она направлена? Как вычисляется сила? Какие величины входят в эту формулу? На полу лежит ящик; покажите силы, действующие на него.	
6. Закон Архимеда	Как направлена выталкивающая сила, действующая на тело, погруженное в жидкость (газ)? Как вычисляется эта сила? Какие величины входят в эту формулу? Формулировка закона Архимеда.	

Дополнительные вопросы

7. Масса тела	Что называют инертностью тела? Что называют массой тела?
8. Принцип относительности Галилея	Приведите примеры инерциальных систем отсчета (ИСО). Формулировка принципа относительности Галилея.
9. I закон Ньютона	Формулировка закона. При каких условиях данный закон справедлив? Почему автомобиль движется по горизонтальной дороге равномерно (а не с ускорением), хотя на него действует сила тяги двигателя?

Окончание табл.

10. III закон Ньютона	Формула закона. Каков смысл знака «минус» в формуле? Формулировка закона. При каких условиях данный закон справедлив? Летящий жук сталкивается с автомобилем; с одинаковыми ли силами они действуют друг на друга?	
11. Закон всемирного тяготения	Формула закона. Какие величины входят в нее? Формулировка закона. Каковы геометрические требования к телам, для которых закон выполняется? Что называют гравитационным полем (чем оно создается и на что действует)? Покажите на рисунке силы гравитационного взаимодействия между телами.	
12. Вес тела	Что называют весом тела? Изобразите на рисунке векторы веса тел. В чем различие между весом и массой тела? Всегда ли вес тела равен силе тяжести, действующей на него? Как рассчитать вес тела, движущегося с вертикальным ускорением? Какие величины входят в эти формулы? Как возникает состояние невесомости?	

Вопросы к работе № 2

Минимальный уровень

1. Основные положения МКТ	Что такое молекула? Из скольких атомов состоит молекула нашатыря NH_4Cl , молекула дихромата калия $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$? Сформулируйте основные положения молекулярно-кинетической теории (МКТ).
2. Идеальный газ и его параметры	Что называют идеальным газом? Каков простейший механический аналог модели «идеальный газ»? При каких условиях реальный газ близок к идеальному? Что характеризуют микропараметры и макропараметры идеального газа? Приведите примеры параметров.
3. Температурные шкалы Цельсия и Кельвина	Что называют температурой (что она характеризует)? Каково состояние вещества при 0 К? Формула, связывающая температурные шкалы Цельсия и Кельвина. Выполните перевод: $210^\circ\text{C} = \dots \text{K}$; $353 \text{ K} = \dots^\circ\text{C}$.
4. Объединенный газовый закон	Формула закона. При каком условии она применима к идеальному газу? Какие параметры в нее входят? Формулировка закона.
5. Изопроцессы	Какие процессы называют изопроцессами? Охарактеризуйте изопроцессы по плану: а) какой параметр процесса постоянен; б) формула (закон) процесса; в) формулировка закона; г) как на опыте осуществить процесс?

Дополнительные вопросы

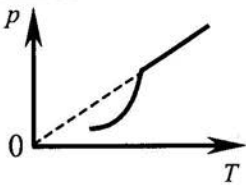
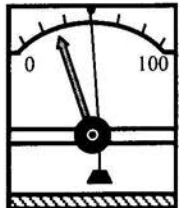
6. Основное уравнение МКТ идеального газа	Чем обусловлено давление газа с позиций МКТ? Что называют концентрацией молекул? Что означает выражение «концентрация молекул равна $2 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ »? Запишите основное уравнение МКТ идеального газа. Какие величины в него входят?
7. Температура	Как связана абсолютная температура и средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул газа? Каков физический смысл постоянной Больцмана? Как рассчитать среднюю квадратичную скорость молекул газа? При одинаковой температуре скорость молекул гелия или аргона будет больше?
8. Закон Авогадро	Формула закона. Какие величины в нее входят? Как рассчитать число молекул газа по этой формуле? Формулировка закона.
9. Уравнение состояния идеального газа	Что называют уравнением состояния вещества? Запишите уравнение Менделеева — Клапейрона. Какие параметры в него входят? Можно ли его использовать, если масса газа в процессе меняется? Выведите объединенный газовый закон из уравнения Менделеева — Клапейрона.

Вопросы к работе № 3

Минимальный уровень

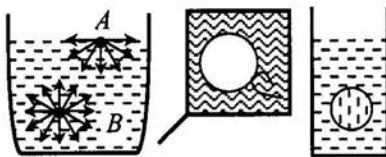
1. Испарение и конденсация	Что называют испарением, конденсацией? Объясните по рисунку механизм испарения. Почему при испарении температура жидкости понижается? От чего зависит интенсивность испарения?	
2. Насыщенный пар	Объясните по рисунку, что происходит между паром и жидкостью в закрытом сосуде? Что такое динамическое равновесие между паром и жидкостью? Какой пар называют насыщенным? Давление насыщенного или ненасыщенного пара больше? Как перевести ненасыщенный пар в состояние насыщения?	
3. Влажность воздуха	Что называют абсолютной влажностью? В каких единицах она измеряется? Что называют относительной влажностью? Какова формула для ее расчета? Что означает выражение «относительная влажность равна 65 %»? Давление водяного пара в атмосфере одинаково при температурах t_1 и t_2 ($t_2 > t_1$); одинаковы ли влажности ϕ_1 и ϕ_2 ? Если нет, то какая больше?	
4. Психрометр	Каково назначение прибора? Объясните по рисунку его устройство и принцип действия. Что покажет прибор, если его опустить в воду? Пользуясь психрометрической таблицей, определите влажность, если $t_{\text{сух}} = 22^\circ \text{C}$, $t_{\text{вл}} = 18^\circ \text{C}$.	

Дополнительные вопросы

5. Фаза вещества	Что называют фазой вещества? Назовите фазы вещества. Что такое фазовый переход? Перечислите фазовые переходы.	
6. Кривая насыщения	Объясните вид кривой насыщения (см. рисунок). Почему зависимость давления насыщенного пара от температуры круче линейной зависимости? К какому участку графика применимо уравнение изохорного процесса?	
7. Точка росы	Что называют точкой росы? Что означает выражение «точка росы равна 5 °С»? При какой температуре выпадет роса, если давление водяного пара в воздухе 1706 Па (определить по таблице)?	
8. Гигрометр волосяной	Объясните по рисунку устройство и принцип действия прибора.	

Вопросы к работе № 4

Минимальный уровень

1. Поверхностный слой жидкости	По рисунку объясните поведение молекул A и B жидкости. Какую форму стремится принять поверхностный слой жидкости? Чему можно его уподобить? Объясните по рисунку опыт с мыльной пленкой и опыт с каплей масла в растворе. Что доказывают опыты?	
2. Сила поверхностного натяжения	По рисунку объясните: а) на что действует данная сила; б) как она направлена; в) каков результат ее действия? Как вычисляется коэффициент поверхностного натяжения жидкости? Какие величины входят в формулу?	
3. Смачивание и несмачивание	Какие две силы действуют на молекулу A жидкости вблизи твердого тела? Покажите их на рисунке и постройте равнодействующую силу. В каком случае жидкость смачивает (не смачивает) поверхность?	
4. Капиллярность	Что такое капилляр? Как ведет себя жидкость в капилляре (сделайте рисунок для случая смачивания и несмачивания)? Формула для расчета высоты подъема жидкости в капилляре. Какие величины в нее входят?	

Дополнительные вопросы

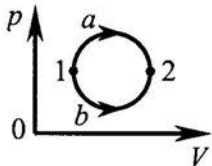
5. Особенности жидкого состояния вещества	Каков характер движения молекул жидкости? Почему сжимаемость жидкостей меньше, чем газов? Как объяснить текучесть жидкостей? Почему жидкости испаряются легче, чем твердые тела?
6. Поверхностная энергия	Что называют поверхностной энергией? Как она вычисляется? Какие величины входят в формулу?
7. Капиллярность	Объясните, как возникает дополнительное (лапласовское) давление на жидкость? Формула для его расчета. Какие величины входят в формулу?
8. Применение капиллярных явлений	Перечислите известные Вам применения. Зачем кирпичный фундамент домов покрывают горячим битумом? Что будет происходить со столбиком жидкости в сужающейся трубке (см. рисунок)? 

Вопросы к работе № 5

Минимальный уровень

1. Количество теплоты	Что называют количеством теплоты? Как рассчитать количество теплоты, нужное для нагревания тела? Какие величины входят в формулу? Формула для удельной теплоемкости тела. Что называют удельной теплоемкостью? Что означает выражение «удельная теплоемкость олова 230 Дж/(кг · °С)»?
2. Внутренняя энергия. Работа газа	Что называют внутренней энергией тела? От каких величин зависит внутренняя энергия тела? Зависит ли она от механической энергии тела? Какими способами можно изменить внутреннюю энергию тела? Приведите примеры для каждого способа. В каком случае газ совершает положительную работу, в каком отрицательную? В каком изопроцессе и почему работа газа равна нулю?
3. I закон термодинамики	Формула закона. Какие величины в нее входят? Формулировка закона. Газу передано 500 Дж теплоты, при этом его внутренняя энергия возросла на 550 Дж. Какую работу он совершил?
4. Уравнение теплового баланса	Запишите уравнение. Каков его физический смысл?

Дополнительные вопросы

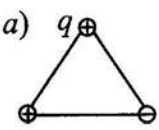
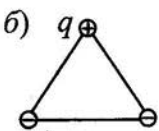
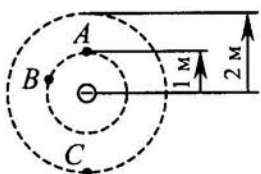
5. Внутренняя энергия. Работа газа	Формула для расчета внутренней энергии идеального газа. Какие величины в нее входят? Формула для расчета работы газа в изобарном процессе. Какие величины в нее входят? В процессе 1—а—2 или 1—b—2 газ совершил большую работу (рисунок)? 
------------------------------------	--

Окончание табл.

6. Диаграмма $T=f(Q)$	Изобразите диаграмму изменения абсолютной температуры T тела от подведенного к нему количества теплоты Q . Охарактеризуйте процесс на каждом ее участке. Почему при фазовых переходах температура тела не меняется?
7. Деформация	Что называют деформацией тела? В чем различие пластической и упругой деформации? Какие существуют виды деформаций? Приведите примеры для каждого вида.
8. Механические свойства твердых тел	Как вычисляется механическое напряжение? Какие величины входят в эту формулу? Что называют напряжением? Что означает выражение «напряжение в проволоке равно 20 МПа»? Как вычисляется относительное удлинение тела? Какие величины входят в эту формулу? Формула закона Гука. Формулировка закона. Для каких деформаций закон справедлив?

Вопросы к работе № 6

Минимальный уровень

1. Электрический заряд. Закон сохранения заряда	Что характеризует понятие «электрический заряд»? Какие объекты являются носителями заряда? Как взаимодействуют разноименные и одноименные заряды? Укажите направление равнодействующей силы, действующей на заряд q (рисунок) со стороны двух других зарядов. Формулировка закона сохранения заряда. При каких условиях он справедлив? Трем соединенным шарам был передан заряд -5 Кл; при этом заряд первого шара оказался -1 Кл, третьего 8 Кл. Каков заряд второго шара?	а)  б) 
2. Закон Кулона	Формула закона. Какие величины входят в нее? Формулировка закона. При каких условиях он справедлив?	
3. Электрическое поле	Что называют электрическим полем (чем оно создается и на что оно действует)? Материально ли поле?	
4. Напряженность	Что характеризует напряженность электрического поля? Формула напряженности. Какие величины в нее входят? Как определить направление вектора $\vec{E}$? Что называют напряженностью? Постройте векторы напряженности в точках A , B и C (рисунок).	
5. Конденсатор	Каково назначение конденсатора? Как он устроен? Как зарядить конденсатор от источника тока? Что характеризует емкость? Формула для расчета емкости конденсатора. Какие величины в нее входят? Что называют емкостью?	

Дополнительные вопросы

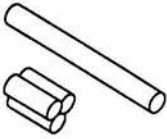
6. Напряженность. Силовые линии	Как рассчитать напряженность электрического поля, созданного точечным зарядом? Какие величины входят в формулу? Выведите эту формулу из закона Кулона. Чему равно отношение $\frac{E_A}{E_C}$ (см. рисунок к п. 4)? Что такое силовые линии электрического поля? Как они строятся? Постройте силовые линии для точечного заряда: а) $+Q$; б) $-Q$. Какое поле называют однородным? Каковы свойства силовых линий?
7. Потенциал и напряжение	Почему заряд в электрическом поле обладает потенциальной энергией? От чего она зависит? Что характеризует потенциал электрического поля? Формула потенциала. Какие величины в нее входят? Что называют потенциалом поля? Сравните потенциалы точек A, B, C, D (рисунок). Что называют напряжением? Какая формула связывает напряжение и напряженность в однородном электрическом поле?
8. Проводник в электрическом поле	Что происходит внутри проводника, помещенного в электрическое поле? Как называется это явление? Почему при этом напряженность поля внутри проводника равна нулю?
9. Диэлектрик в электрическом поле	Объяснить по рисунку, что происходит внутри диэлектрика, помещенного в электрическое поле. Как называется это явление? Что характеризует диэлектрическая проницаемость среды? Как она вычисляется?
10. Конденсатор	Формула емкости плоского конденсатора. Какие величины в нее входят? Как на опыте доказать, что конденсатор обладает энергией? Формула для расчета энергии конденсатора. Какие величины в нее входят? Каковы применения конденсаторов?

Вопросы к работе № 7

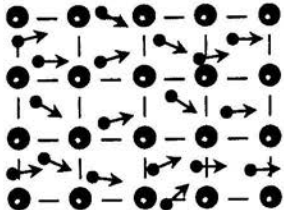
Минимальный уровень

1. Электрический ток	Что называют электрическим током? Какими частицами создается ток в металле? Что принято за направление тока?
2. Условия существования тока	Каковы условия существования тока? Покажите на рисунке движение электронов в проводнике и направление тока.
3. Сила тока	Что характеризует сила тока? Формула для расчета силы тока. Какие величины в нее входят? Что называют силой тока? Что означает выражение «сила тока равна 7 А»?

Окончание табл.

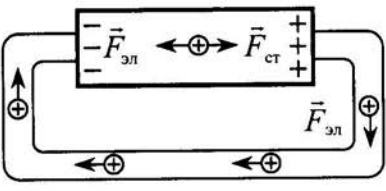
4. Сопротивление	Что называют сопротивлением (что оно характеризует)? Запишите формулу зависимости сопротивления от геометрических параметров проводника. Какие величины в нее входят? Каков физический смысл удельного сопротивления материала? Проводник разрезали на три равных части и соединили (рисунок); во сколько раз изменилось его сопротивление?	
------------------	---	--

Дополнительные вопросы

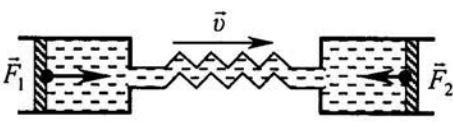
5. Сила тока	Как вычислить силу тока по электронной теории? Какие величины входят в эту формулу? Объясните, почему сила тока прямо пропорциональна средней скорости упорядоченного движения зарядов.	
6. Сопротивление	Объясните по рисунку механизм возникновения сопротивления в металлах. Формула зависимости сопротивления металлического проводника от температуры. Какие величины входят в эту формулу? Как объяснить данную зависимость с помощью электронной теории?	
7. Сверхпроводимость	В чем заключается явление сверхпроводимости? При каких условиях металл переходит в сверхпроводящее состояние?	

Вопросы к работе № 8

Минимальный уровень

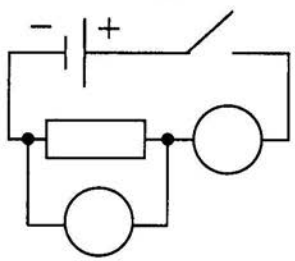
1. Закон Ома для участка цепи	Формула закона. Какие величины входят в нее? Формулировка закона. Как с помощью закона Ома определить единицу измерения сопротивления 1 Ом?	
2. Сторонние силы	Что такое внешняя и внутренняя части цепи? Объясните по рисунку, какие процессы протекают в цепи? Что такое сторонние силы?	
3. ЭДС	Формула для расчета ЭДС. Какие величины в нее входят? Что называют ЭДС? Что означает выражение «ЭДС батареи равна 4,5 В»?	
4. Закон Ома для полной цепи	Что такое внутреннее и внешнее сопротивления цепи. Формула закона. Какие величины входят в нее? Формулировка закона.	

Дополнительные вопросы

5. ВАХ проводника	Какую зависимость называют ВАХ? Постройте ВАХ для сопротивлений $R_1 = 2 \text{ Ом}$ и $R_2 = 4 \text{ Ом}$.	
6. Механический аналог закона Ома для участка цепи	Объясните по рисунку работу механической системы. Каким механическим величинам уподобляют электрические: напряжение, силу тока, сопротивление?	
7. Короткое замыкание	Что называют коротким замыканием? Когда оно возникает? К чему оно приводит? Как устроен простейший предохранитель?	

Вопросы к работе № 9

Минимальный уровень

1. Работа тока	Что называют работой тока? Как вычисляют работу тока? Какие величины входят в эту формулу?	
2. Мощность тока	Что называют мощностью тока? Какая формула соответствует этому определению? Как вычисляют мощность тока через электрические величины? Что означает выражение «мощность электрочайника 2 кВт»?	
3. Закон Джоуля — Ленца	В какие виды энергии может превращаться электрическая энергия? Формула закона. Какие величины в нее входят? Формулировка закона. От нагревательной спирали отрезали половину, другая половина осталась включенной в цепь; во сколько раз изменится выделяемое на ней (за 1 с) количество теплоты?	
4. Измерения в электрической цепи	Покажите на схеме (рисунок), как подключить амперметр и вольтметр к резистору. Почему именно так? Как можно определить сопротивление резистора по их показаниям? Изменится ли показание прибора, если его включить не правее, а левее резистора?	

Дополнительные вопросы

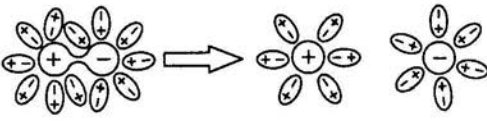
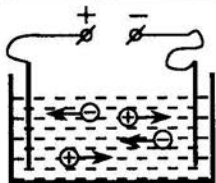
5. Последовательное соединение	Изобразите участок цепи, содержащий последовательно соединенные резисторы. Запишите формулы, связывающие общие величины на участке цепи (I_0 , U_0 , R_0) с величинами на каждом резисторе. Где применяют такие схемы? Каким по величине должно быть сопротивление амперметра? Почему?
--------------------------------	--

Окончание табл.

6. Параллельное соединение	Изобразите участок цепи, содержащий параллельно соединенные резисторы. Запишите формулы, связывающие общие величины на участке цепи (I_0 , U_0 , R_0) с величинами на каждом резисторе. Где применяют такие схемы? Каким по величине должно быть сопротивление вольтметра? Почему?
7. Формула общей силы тока	Объясните (качественно) формулу для общей силы тока (I_0) при последовательном соединении; при параллельном.
8. Формула общего сопротивления	Имеются n одинаковых резисторов R . Качественно обоснуйте, что общее сопротивление а) при их последовательном соединении равно $R_0 = nR$; б) при параллельном соединении равно $R_0 = \frac{R}{n}$.

Вопросы к работе № 10

Минимальный уровень

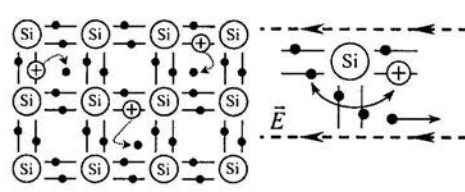
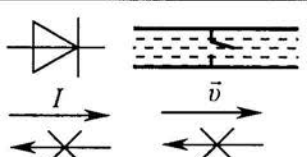
1. Электролиты	Что называют электролитами? Приведите примеры. Какими частицами создается ток в электролитах?
2. Диссоциация и рекомбинация	Что называют диссоциацией, рекомбинацией? По рисунку объясните механизм диссоциации. На какие частицы распадется молекула CuSO_4? 
3. Электролиз	Объясните по рисунку, что происходит в электролите и на электродах при прохождении тока через него. Что называют электролизом? Почему при прохождении тока через электролит переносится вещество, а при прохождении через металл нет? 
4. Первый закон электролиза	Формула закона. Какие величины в нее входят? Формулировка закона. Каков физический смысл электрохимического эквивалента вещества? Что означает выражение «электрохимический эквивалент Au^{3+} равен $68 \cdot 10^{-8}$ кг/Кл»?

Дополнительные вопросы

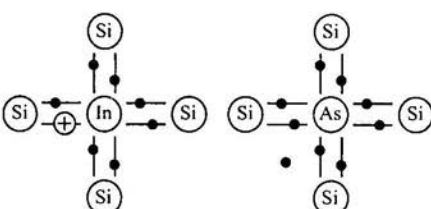
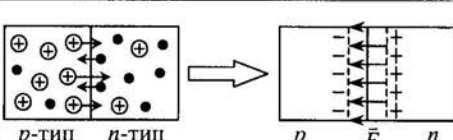
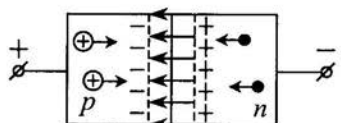
5. Сопротивление электролита	Какова зависимость сопротивления электролита от температуры? Как ее объяснить?
6. Второй закон электролиза	Формула закона. Какие величины в нее входят? Формулировка закона. Напишите формулу объединенного закона электролиза.
7. Применения электролиза	В каких технологических и прочих операциях используют процесс электролиза? Почему при гальваностегии покрываемое изделие служит катодом?

Вопросы к работе № 11

Минимальный уровень

1. Полупроводники	Каково место полупроводников среди других групп веществ? Приведите примеры полупроводников.	
2. Механизм проводимости чистого полупроводника	Объясните по рисунку механизм химической связи в кристалле полупроводника. Какими частицами образован ток в полупроводнике? Как возникают эти частицы? Объясните по рисунку механизм прохождения тока в полупроводнике.	
3. Сопротивление полупроводника	Какие внешние факторы влияют на сопротивление полупроводника? Как зависит сопротивление полупроводника от температуры? Как объяснить данную зависимость с помощью электронной теории?	
4. Полупроводниковый диод	Каково назначение диода? Поясните работу диода с помощью механического аналога (рисунок).	

Дополнительные вопросы

5. Механизм проводимости в полупроводниках p -типа и n -типа	Объясните по рисунку, что происходит при внедрении в полупроводник акцепторной примеси? Какие носители заряда преобладают в таком полупроводнике? К какому типу относят данный полупроводник? Ответьте на поставленные вопросы для полупроводника с донорной примесью.	
6. p - n -переход	Объясните по рисунку, что происходит на границе контакта полупроводников p - и n -типа. Что такое запирающий слой и как он возникает?	
7. Полупроводниковый диод	Какое свойство запирающего слоя используют для выпрямления переменного тока? Объясните по рисунку принцип работы полупроводникового диода.	

Вопросы к работе № 12

Минимальный уровень

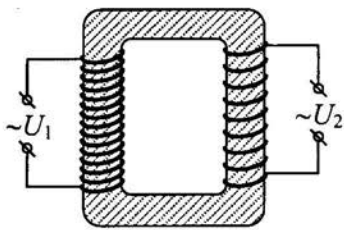
1. Магнитное поле	Что называют магнитным полем (чем оно создается и на что оно действует)? Материально ли поле?	
2. Магнитная индукция	Что характеризует магнитная индукция $\vec{B}$? Как вычисляется магнитная индукция? Какие величины входят в эту формулу? Как определить направление вектора $\vec{B}$ по правилу магнитной стрелки? Постройте векторы $\vec{B}$ в точках A, C и D (рисунок). Как определить направление вектора $\vec{B}$ по правилу Максвелла (буравчика)? Постройте вектор $\vec{B}$ в точке O (рисунок).	
3. Электромагнитная индукция	Что называют явлением электромагнитной индукции? Опишите по рисункам установки для I и II опытов М. Фарадея. Объясните проведение опытов. Каковы результаты опытов?	
4. Закон электромагнитной индукции	Как вычислить магнитный поток через поверхность? Какие величины входят в эту формулу? Что называют магнитным потоком? Объясните на основании опытов Фарадея, от чего зависит величина и направление индукционного тока? Формула закона электромагнитной индукции. Какие величины входят в нее? Формулировка закона.	

Дополнительные вопросы

5. Правило Ленца	Объясните (по рисунку к I опыту Фарадея) алгоритм нахождения направления индукционного тока в катушке. Формулировка правила Ленца.	
6. Вихревое электрическое поле	При каком условии появляется вихревое электрическое поле? Как с его помощью объяснить явление электромагнитной индукции? Каковы свойства вихревого электрического поля (объясните, опираясь на рисунок)?	
7. Электромагнитная индукция в движущемся проводнике	Объясните по рисунку, как возникает ЭДС индукции в проводнике, который движется в магнитном поле? Как рассчитать ЭДС индукции для этого случая? Какие величины входят в формулу?	

Вопросы к работе № 13

Минимальный уровень

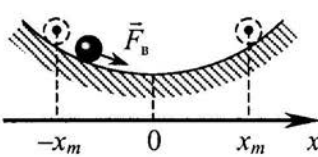
1. Трансформатор	Какое напряжение (переменное или постоянное) подается на трансформатор? Каково назначение трансформатора? Как устроен трансформатор (объясните по рисунку)?	
2. Принцип действия трансформатора	Какое явление лежит в основе работы трансформатора? Объясните по рисунку, какие процессы происходят в сердечнике и в обмотках трансформатора?	
3. Коэффициент трансформации	Какова связь ЭДС на обмотках с числом витков в них? Как связаны напряжения и силы тока в обмотках? Как рассчитать коэффициент трансформации? Что он показывает? Коэффициент трансформации равен 40; является ли данный трансформатор повышающим или понижающим?	
4. Применения трансформаторов	Перечислите известные вам применения в быту и технике.	

Дополнительные вопросы

5. Вихревые токи	Где возникают вихревые токи и при каком условии? К каким последствиям приводят вихревые токи? Как на опыте можно обнаружить их возникновение (опишите опыт)? Где используют вихревые токи?
6. Потери в трансформаторе	Перечислите основные потери в трансформаторе. Почему сердечник трансформатора собирают из тонких пластин, склеенных изоляционным клеем? Как рассчитать КПД трансформатора?

Вопросы к работе № 14

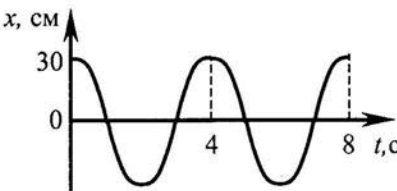
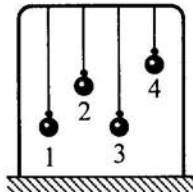
Минимальный уровень

1. Механические колебания	Что такое механические колебания? Какие колебания называют свободными? вынужденными? Приведите примеры.	
2. Условия существования колебаний	Каковы условия существования колебаний? Что такое возвращающая сила? Объясните, меняется ли ее величина и направление в процессе колебаний?	
3. Параметры колебаний	Что называют амплитудой колебаний? Покажите ее на рисунке. Дайте определения и запишите формулы расчета параметров: а) период, б) частота, в) циклическая частота. Как связаны период и частота? Период колебаний равен 0,1 с. Что это значит? Чему равна частота?	

Окончание табл.

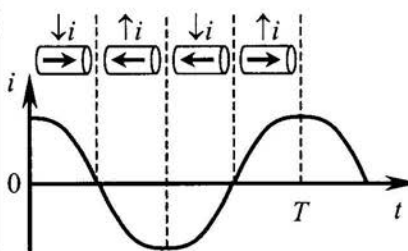
4. Маятники	Виды маятников: дайте определения и изобразите на рисунках. По каким формулам рассчитывают период колебаний этих маятников? Какие величины в них входят? Зависит ли период колебаний маятников от амплитуды?
-------------	--

Дополнительные вопросы

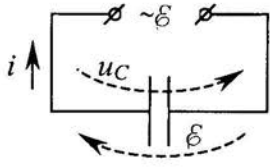
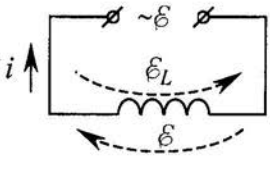
5. Гармонические колебания	Какие колебания называют гармоническими? Запишите уравнение гармонических колебаний. Какие величины в него входят? Определите амплитуду, период и частоту колебаний двух маятников: а) уравнение колебаний первого $x = 2\sin(4\pi t)$; б) график колебаний второго показан на рисунке. 
6. Превращения энергии при колебаниях	Какими двумя видами энергии обладает колеблющееся тело? Как найти полную механическую энергию тела? Каким видом энергии обладает тело в крайнем положении и в положении равновесия (см. рисунок к п. 3)? Опишите превращения энергии в процессе колебаний.
7. Затухающие и вынужденные колебания	Почему колебания маятника затухают? От чего зависит амплитуда вынужденных колебаний? Какое явление называют резонансом? Объясните, как он возникает. Как на опыте (рисунок) можно наблюдать резонанс? Перечислите применения резонанса. 

Вопросы к работе № 15

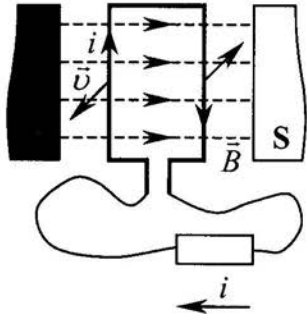
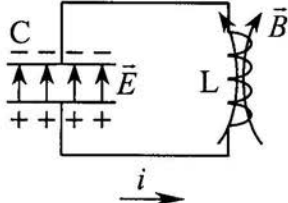
Минимальный уровень

1. Переменный ток	Что называют переменным током? При каком условии он возникает в цепи? Как, располагая катушкой и магнитом, можно вызвать переменный ток в ней? Используя график (рисунок), объясните характер движения заряженных частиц в проводнике. 
-------------------	--

Окончание табл.

2. Характеристики переменного тока	Через резистор проходил постоянный ток 1 А, при этом за 1 с выделялось 100 Дж теплоты. Какова должна быть максимальная сила переменного тока (<1 А, >1 А или $=1$ А), чтобы такой режим тепловыделения сохранился? Что такое мгновенное значение силы тока, максимальное значение (объясните по рисунку к п. 1)? Что называют действующим значением силы тока (напряжения)? Формула, связывающая действующее значение силы тока (напряжения) с максимальным.	
3. Конденсатор в цепи переменного тока	Какие процессы происходят в конденсаторе, включенном в цепь переменного тока? Почему возникает емкостное сопротивление (объясните по рисунку)? Происходит ли на нем тепловыделение? Формула емкостного сопротивления. Какие величины в нее входят?	
4. Катушка в цепи переменного тока	Какие процессы происходят в катушке, включенной в цепь переменного тока? Почему возникает индуктивное сопротивление (объясните по рисунку)? Происходит ли на нем тепловыделение? Формула индуктивного сопротивления. Какие величины в нее входят?	

Дополнительные вопросы

5. Генератор переменного тока	Из каких основных частей состоит генератор? Какая сила действует на заряженные частицы в проводнике при его движении в магнитном поле? Объясните по рисунку принцип работы генератора.	
6. Электромагнитные колебания	Что называют электромагнитными колебаниями? В чем отличие свободных колебаний от вынужденных? Как они возникают?	
7. Колебательный контур	Что такое колебательный контур? Объясните по рисунку, какие процессы происходят в нем? Какими видами энергии обладают конденсатор и катушка? Опишите превращения энергии в процессе колебаний. Формула Томсона. Какие величины в нее входят?	

Вопросы к работе № 16

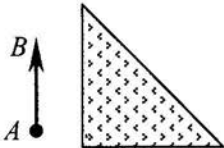
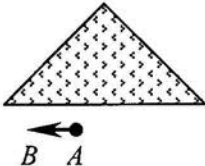
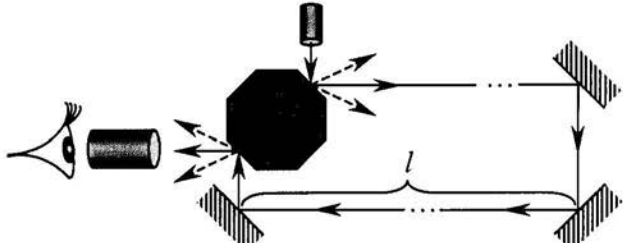
Минимальный уровень

1. Закон отражения света	Какой угол называют углом падения света, углом отражения? Из точки S на зеркало падают три луча (рисунок); постройте отраженные лучи. Формулировка закона отражения света.	
2. Закон преломления света	Где возникает преломление светового луча? Покажите на рисунке угол падения и угол преломления. Какой формулой они связаны? Какие величины входят в эту формулу? Формулировка закона преломления света.	
3. Относительный показатель преломления	Каков физический смысл относительного показателя преломления? Какая формула это выражает? Как вычисляется относительный показатель преломления $n_{2,1}$ через абсолютные n_1 и n_2 . Покажите на рисунке ход луча а) из спирта (n_1) в кварц (n_2); б) из алмаза (n_1) в лед (n_2).	 $n_1 = 1,36 \quad n_2 = 1,54$ $n_1 = 2,42 \quad n_2 = 1,31$
4. Плоское зеркало	Постройте дальнейший ход световых лучей от точки S (рисунок) и объясните, как возникает ее изображение в плоском зеркале.	

Дополнительные вопросы

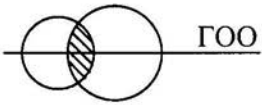
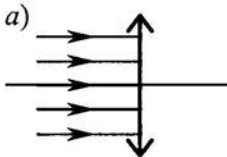
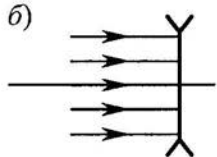
5. Полное внутреннее отражение	Объясните по рисунку как возникает явление полного внутреннего отражения (ПВО). Что называют предельным углом ПВО? Выведите формулу для расчета предельного угла ПВО.
--------------------------------	--

Окончание табл.

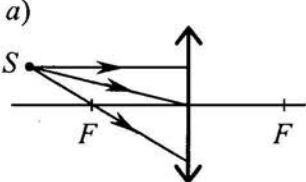
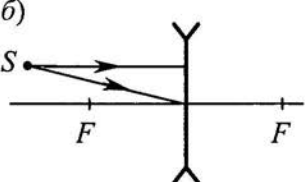
6. Преломление света в технике	Построить изображение предмета AB (рисунок), даваемое <i>а)</i> поворотной призмой; <i>б)</i> оборотной призмой. Где применяют такие призмы? Объяснить по рисунку <i>в)</i> ход луча в световоде. Где применяют световоды? Какие Вам еще известны применения закона преломления света в технике? <i>а)</i>  <i>б)</i>  <i>в)</i> 
7. Измерение скорости света	Опишите по рисунку установку А. Майкельсона для измерения скорости света. Как проводился данный опыт? Почему луч света был виден в окуляр только при определенных частотах вращения диска? 

Вопросы к работе № 17

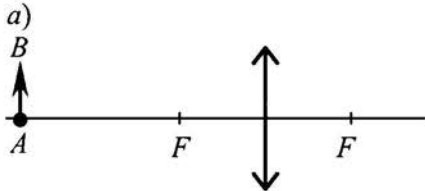
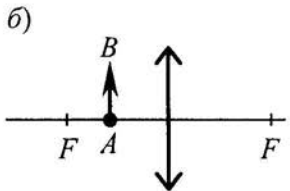
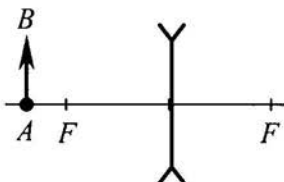
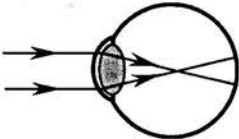
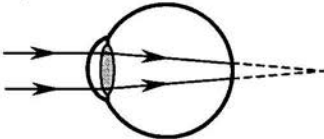
Минимальный уровень

1. Виды линз	Что называют линзой? Какую форму имеет линза, если смотреть вдоль главной оптической оси (ГОО) на рисунке? Каких видов бывают линзы? Изобразите их боковые профили. Как их изображают схематически?	
2. Фокус линзы	Что называют фокусом линзы? Изобразите дальнейший ход лучей через а) собирающую и б) рассеивающую линзы (рисунок). Что такое оптическая сила линзы? Какой формулой она связана с фокусным расстоянием?	а)  б) 

Окончание табл.

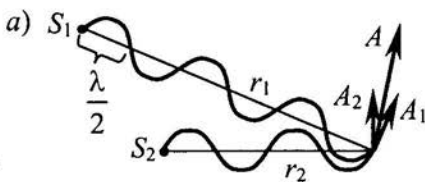
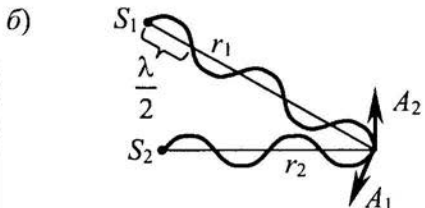
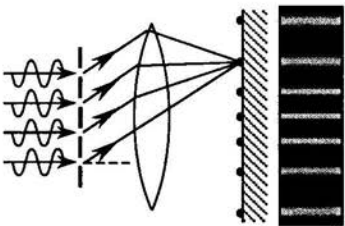
3. Характерные лучи	Изобразите дальнейший ход лучей от точки S через а) собирающую и б) рассеивающую линзы. Чем характерно направление каждого луча? а)  б) 
4. Формула тонкой линзы	Формула тонкой линзы. Какие величины в нее входят? Как определить знаки («+» или «-») перед этими величинами?

Дополнительные вопросы

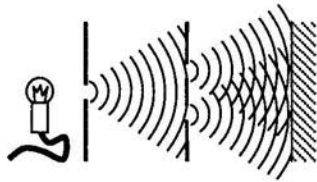
5. Изображения в собирающей линзе	Какое изображение является действительным, мнимым? Какое из них можно получить на экране? Постройте изображение предмета AB (рисунок). а)  б) 	
6. Изображения в рассеивающей линзе	Какой тип изображения дает всегда рассеивающая линза? Почему? Постройте изображение предмета AB (рисунок).	
7. Дефекты зрения	За счет чего глаз может наблюдать предметы разной удаленности? Объясните по рисунку, как возникают дефекты зрения? С помощью каких очков можно устранить каждый из них? а)  б) 	

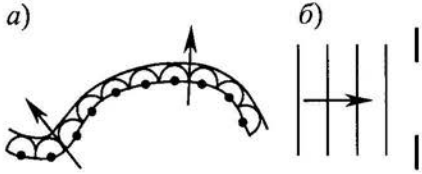
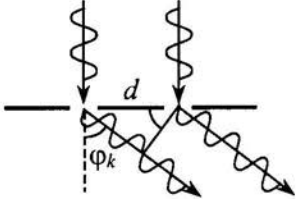
Вопросы к работе № 18

Минимальный уровень

1. Природа света	Какие существовали теории о природе света? В чем суть каждой из них? Что представляет собой свет согласно современной теории? Что такое квант?	 
2. Интерференция света	Что называют длиной волны? Какие волны называют когерентными? Что называют интерференцией света? Объясните по рисунку, при каких условиях наблюдают max и min интерференции? Выразите эти условия формулами. Какие величины в них входят?	
3. Дифракция света	Что называют дифракцией света? Как сказывается дифракция на образовании тени от предмета? Изобразите дифракционные картины на экране при прохождении света через узкое отверстие, вблизи иглы и т. п. препятствий. Почему на экране видны участки с разной освещенностью?	
4. Дифракционная решетка	Что такое дифракционная решетка? Что называют периодом решетки? Используя рисунок, поясните характер дифракционной картины, возникающей при прохождении монохроматического света через решетку. Формула дифракционной решетки. Какие величины в нее входят? Покажите их на рисунке.	

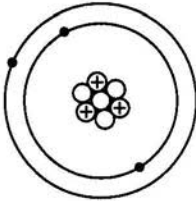
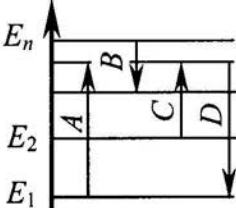
Дополнительные вопросы

5. Наблюдение интерференции	Можно ли наблюдать интерференцию от двух лампочек? Почему? К какому приему прибегают в опытах по наблюдению интерференции, чтобы получить два когерентных источника? Объясните по рисунку опыт Юнга. Что наблюдалось на экране в этом опыте?	
6. Применения интерференции	Перечислите явления (в природе и технике), объясняемые интерференцией световых волн. Объясните, как возникают две волны, создающие интерференционную картину в тонкой пленке.	

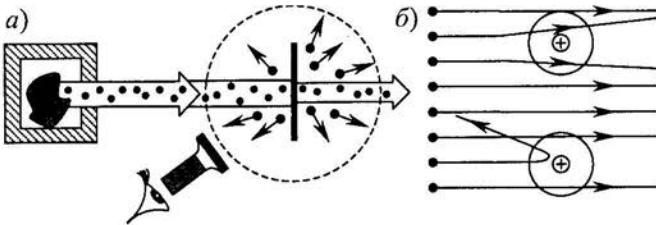
7. Принцип Гюйгенса	Объяснить по рисунку <i>а</i>) механизм продвижения волнового фронта. Сформулируйте принцип Гюйгенса. На щель падает фронт плоской волны (рисунок <i>б</i>)); на основании принципа Гюйгенса постройте положения фронта в последующие моменты времени.	
8. Дифракционная решетка	Объясните по рисунку, что происходит при прохождении монохроматического света через решетку. При каком условии (под какими углами) возникают максимумы? Выведите формулу дифракционной решетки.	

Вопросы к работе № 19

Минимальный уровень

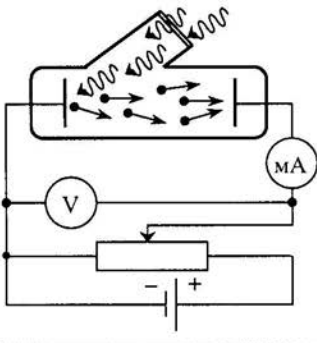
1. Строение атома	Какие факты свидетельствуют о том, что а) атом состоит из положительных и отрицательных зарядов; б) атом имеет сложную структуру? Объясните по рисунку строение атома. Где сосредоточена его масса? Чему равен заряд отдельных частиц и атома в целом? Каковы примерно размеры атома и размеры ядра?	
2. Постулаты Бора	Формулировка I постулата. Формулировка II постулата. Формула Планка. Какие величины входят в нее? При каких переходах (рисунок) атом излучает, а при каких поглощает энергию? Какому переходу на рисунке соответствует квант самой низкой частоты?	
3. Линейчатые спектры	Что называют спектром испускания тела? спектром поглощения? Какие вещества имеют линейчатый спектр? Как осуществить опыты по наблюдению линейчатых спектров испускания и поглощения? Объясните, основываясь на теории Бора, происхождение линейчатых спектров. Почему каждое вещество имеет свой индивидуальный спектр?	
4. Закон Кирхгофа — Бунзена	Охарактеризуйте энергетические переходы <i>A</i> и <i>D</i> (по рисунку к п. 2). Формулировка закона Кирхгофа — Бунзена.	

Дополнительные вопросы

5. Опыт Резерфорда	Объясните по рисунку а) схему установки. Каковы результаты опыта? Как их можно объяснить на основе планетарной модели атома (рисунок б))?
	
6. Цвета тел	Чем определяется цвет непрозрачного тела, прозрачного тела? Что будет видно, если смотреть через сложенные вместе красное и синее стекла? На белой бумаге зеленая надпись. Через стекло какого цвета ее нельзя прочитать?
7. Полосатые и сплошные спектры	Что представляет собой полосатый спектр? Какими веществами он создается? Как объяснить его происхождение? Ответьте на эти же вопросы для сплошного спектра.
8. Закон смещения Вина	Изобразите график распределения излучаемой энергии от длины волны. Куда сместится максимум на графике при нагревании тела? Чем это объяснить с позиций квантовой теории? Формула закона смещения Вина. Какие величины в нее входят? Сформулируйте закон.

Вопросы к работе № 20

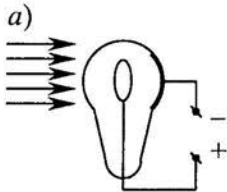
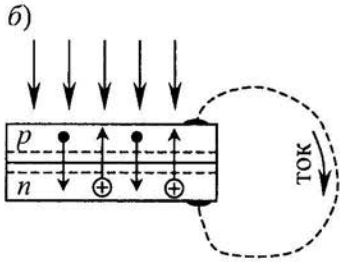
Минимальный уровень

1. Открытие фотоэффекта	Что называют фотоэффектом? Что обнаружил Герц, облучая ультрафиолетовыми лучами шары разрядника? Как это объяснить? Опишите по рисунку установку для проведения опыта с цинковой пластиной. Что обнаружилось при проведении этого опыта?	
2. Опыт Столетова	Опишите по рисунку установку для проведения опыта А. Столетова. Для чего используется потенциометр (реостат) в данной установке? Из какого стекла сделано окошко фотоэлемента? Объясните проведение опыта по рисунку. Как меняется сила тока в цепи при изменении напряжения на фотоэлементе? Как это объяснить? Что такое ток насыщения? Как можно изменить силу тока насыщения?	

Окончание табл.

3. Законы внешнего фотоэффекта	Сформулируйте I, II и III законы фотоэффекта. Что называют красной границей фотоэффекта? Почему существует красная граница?
4. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта	Объясните, на что расходуется энергия падающего на металл кванта света? Запишите уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Какие величины в него входят? Получите из него формулу для расчета красной границы фотоэффекта.
5. Внутренний фотоэффект	Что называют внутренним фотоэффектом? Как зависит сопротивление полупроводника от освещенности? Почему?

Дополнительные вопросы

6. Фотоэлементы	Объясните по рисунку а) устройство вакуумного фотоэлемента. Каков принцип его действия? Объясните по рисунку б), что представляет собой полупроводниковый фотоэлемент? Каково движение носителей заряда при освещении его светом? а)  б) 	
7. Применения фотоэффекта	Перечислите применения вакуумных фотоэлементов. Перечислите применения полупроводниковых фотоэлементов.	
8. Характеристики фотона	Запишите формулы для расчета: а) энергии фотона; б) импульса фотона; в) массы фотона. Какие величины в них входят? Какие волновые характеристики фотона вам известны?	
9. Давление света	Опишите по рисунку установку для проведения опыта П. Лебедева? Что наблюдалось в опыте? Какие выводы следуют из этого опыта?	



Задания к работе № 1

Задание 1. Определить плотность неизвестной жидкости.

Необходимое оборудование: мензурка с данной жидкостью, алюминиевый цилиндр, динамометр.

Подсказка. Измерить объем цилиндра мензуркой. Взвесить цилиндр динамометром в воздухе и в жидкости. Разность значений веса равна выталкивающей силе.

Задание 2. Собрать прибор, который можно назвать водяными весами, и с его помощью определить массу тела.

Необходимое оборудование: легкое тело, ванночка с водой, деревянный брусок прямоугольной формы, линейка.

Подсказка. Погрузить тело на плавающий брусок. Произошедшее изменение глубины его погружения связать с массой тела.

Задания к работе № 2

Задание 1. Воздух в перевернутой стеклянной банке некоторое время нагревается пламенем спиртовки. Определить температуру, до которой он нагрет.

Необходимое оборудование: банка, поддон с водой, спиртовка, термометр, линейка.

Подсказка. Температура комнатного воздуха измеряется термометром. После прогрева перевернутую банку опустить в поддон с водой. Из уравнения изобарного процесса найти начальную температуру воздуха в ней.

Задание 2. Определить атмосферное давление.

Необходимое оборудование: прозрачный шланг, вода, рулетка.

Подсказка. Заполнить шланг водой, оставив небольшой столбик воздуха в нем. Переворачивая шланг (один конец заткнут пальцем), осуществить изотермический процесс над столбиком воздуха.

Задания к работе № 3

Задание 1. Определить влажность воздуха.

Необходимое оборудование: термометр, марля, вода.

Подсказка. Психрометр состоит из двух термометров, а нельзя ли обойтись одним?

Задание 2. Ненасыщенный пар в сосуде с водой переходит в состояние насыщения, если закрыть сосуд. Определить среднюю скорость испарения воды при протекании этого процесса.

Необходимое оборудование: пробирка, поддон с водой, термометр, марля, часы, линейка.

Подсказка. Измерить влажность воздуха по методу задания 1 и найти давление водяного пара в воздухе. Поместив влажный термометр в пробирку, поставить ее открытым концом в поддон. Спустя некоторое время пар станет насыщенным, что обнаруживается по показаниям термометра. Это значит, что его давление возросло на $\Delta p = p_n - p$. Зная объем пробирки, легко найти массу испарившейся за это время воды и количество молекул.

Задания к работе № 4

Задание 1. Определить средний диаметр капилляра между волокнами в полоске ткани.

Необходимое оборудование: ткань, поддон с водой, линейка.

Подсказка. Опустив ткань в воду, измерить высоту, до которой она промокнет спустя длительное время.

Задание 2. Предложены две неизвестные жидкости. Определить, во сколько раз отличаются их коэффициенты поверхностного натяжения.

Необходимое оборудование: жидкости, пипетка, рычажные весы без набора гирь.

Подсказка. На одну чашу весов капнуть N_1 капель первой жидкости, а на другую N_2 капель второй жидкости, чтобы при этом весы уравновесились.

Задания к работе № 5

Задание 1. Определить теплоемкость льда. (Считать, что в условиях опыта тепловых потерь нет.)

Необходимое оборудование: калориметр, весы с набором гирь, термометр, лед, вода.

Подсказка. Опустить в воду лед, который уже начал таять ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Составить уравнение теплового баланса.

Задание 2. Вода в калориметре подогревается нагревательной спиралью. Определить процентную долю потерь энергии в окружающую среду.

Необходимое оборудование: калориметр с водой, нагревательная спираль, весы с набором гирь, термометр, амперметр, вольтметр, часы, источник тока, соединительные провода.

Подсказка. Рассчитать работу электрического тока A и полученное водой количество теплоты Q . Тогда потери энергии в окружающую среду составят $A - Q$.

Задания к работе № 6

Задание 1. Определить диэлектрическую проницаемость данной пластинки.

Необходимое оборудование: пластины плоского конденсатора, источник высоковольтного напряжения, соединительные провода, микроамперметр.

Подсказка. Найти отношение емкостей конденсатора, когда диэлектриком служит данная пластинка и воздух. Емкость также пропорциональна броску стрелки микроамперметра при разрядке конденсатора.

Задание 2. Построить картину эквипотенциальных поверхностей и силовых линий электрического поля заряженного конденсатора.

Необходимое оборудование: ванночка с водой, два прямоугольных электрода, источник тока, гальванометр, соединительные провода, миллиметровая бумага.

Подсказка. Ванна устанавливается на миллиметровую бумагу, как на координатную сетку. Электроды служат пластинами конденсатора. Разность потенциалов на одной эквипотенциальной линии равна нулю; поэтому линию можно построить с помощью гальванометра.

Задания к работе № 7

Задание 1. Катушка медного провода намотана во много слоев. Определить число витков катушки, не разматывая ее.

Необходимое оборудование: катушка, линейка, амперметр, вольтметр, источник тока, соединительные провода.

Подсказка. Измерить диаметр катушки. Измерить диаметр проволоки по методу лабораторной работы. Воспользоваться формулой зависимости сопротивления от размеров проводника.

Задание 2. Определить среднюю высоту графитового слоя, оставленного карандашом на бумаге.

Необходимое оборудование: бумага, карандаш, линейка, амперметр, вольтметр, источник тока, соединительные провода.

Подсказка. Нанесенный слой представляет собой параллелепипед. Чтобы ширину слоя легче было измерить линейкой, можно нанести десяток прилегающих друг к другу слоев. Высоту слоя можно найти из формулы зависимости сопротивления от размеров проводника.

Задания к работе № 8

Задание 1. Качественно исследовать зависимость ЭДС гальванического элемента: а) от расстояния между его пластинами; б) от площади пластин; в) от концентрации раствора.

Необходимое оборудование: ванночка с Zn- и Cu-электродами прямоугольной формы, вода, поваренная соль, милливольтметр, соединительные провода.

Подсказка. Собрав гальванический элемент, присоединить к его полюсам (электродам) милливольтметр. Перемещая электроды, можно исследовать зависимости а) и б); досыпая соль в раствор — зависимость в).

Задание 2. Исследовать зависимость мощности, выделяемой во внешней цепи, от ее сопротивления. Построить график зависимости $P = f(R)$; убедиться, что $P = P_{\max}$ при $R = r$.

Необходимое оборудование: гальванический элемент, реостат, амперметр, вольтметр, соединительные провода.

Подсказка. Перемещая движок реостата, определять P и R .

Задания к работе № 9

Задание 1. Даны две нагревательные спирали, мощность второй из них неизвестна. Определить ее мощность.

Необходимое оборудование: две нагревательные спирали, два одинаковых стакана, два термометра, вода, источник тока, соединительные провода.

Подсказка. Собрать цепь, включив в нее спирали. Налить в стаканы воды до одного уровня и подогревать ее спиралями одинаковое время.

Задание 2. Оценить температуру лампы накаливания в рабочем состоянии.

Необходимое оборудование: лампа накаливания, амперметр, вольтметр, реостат, источник тока, соединительные провода.

Подсказка. Использовать зависимость сопротивления от температуры. Подав на лампу очень малое напряжение, измерить R_1 (при этом $t_1 \approx t_{\text{комн}}$). Затем подать на лампу рабочее напряжение.

Задания к работе № 10

Задание 1. При электролизе на катоде выделяется медь. Определить ее молярную массу.

Необходимое оборудование: ванночка с раствором медного купороса, источник тока, соединительные провода, амперметр, секундомер, весы с гирями.

Подсказка. Измерить массу выделившейся меди за некоторое время. Воспользоваться законами электролиза, из которых выразить молярную массу меди.

Задание 2. Проверить, выполняется ли зависимость $R = \rho \frac{l}{S}$ для жидкого проводника.

Необходимое оборудование: ванночка с прямоугольными электродами, раствор электролита, амперметр, вольтметр, источник тока, соединительные провода, линейка.

Подсказка. Перемещая электроды, можно исследовать зависимости R от l и R от S . При каждом положении электродов нужно измерять R .

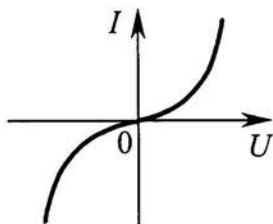
Задания к работе № 11

Задание 1. Построить ВАХ лампы накаливания. Объяснить отклонение ВАХ от линейной зависимости.

Необходимое оборудование: лампа накаливания, реостат, амперметр, вольтметр, источник тока, соединительные провода.

Подсказка. Выполнить задание по методу лабораторной работы.

Задание 2. На рисунке показана ВАХ некоторого участка цепи переменного тока. Собрать данную цепь.



Необходимое оборудование: два полупроводниковых диода, реостат, источник переменного тока, соединительные провода.

Подсказка. Данный участок представляет собой соединение двух полупроводниковых диодов.

Задания к работе № 12

Задание 1. Обнаружить явление электромагнитной индукции при работе электродвигателя. Исследовать качественно зависимость ЭДС индукции в обмотке ротора от частоты его вращения.

Необходимое оборудование: электродвигатель, лампочка, источник тока, соединительные провода.

Подсказка. Возникающая ЭДС индукции направлена против ЭДС источника тока; поэтому сила тока в лампе (ее подключить последовательно) равна $I = \frac{U - \mathcal{E}_i}{R}$. О силе тока можно визуальнo судить по яркости горения лампы.

Задание 2. Измерить магнитную индукцию поля, создаваемого постоянным магнитом.

Необходимое оборудование: постоянный магнит (U-образный), насаженный на ось металлический диск, штатив, гиря на нити, рулетка, секундомер, милливольтметр, соединительные провода.

Подсказка. Диск можно рассматривать как систему прямых проводников, идущих от центра к ободу. При их движении в магнитном поле возникает ЭДС индукции, которая прямо пропорциональна скорости движения точки проводника, удаленной от центра на половину радиуса.

Задания к работе № 13

Задание 1. Определить КПД трансформатора.

Необходимое оборудование: трансформатор, амперметр переменного тока, вольтметр переменного тока, источник переменного тока, соединительные провода.

Подсказка. Необходимо вычислить мощности на обмотках трансформатора.

Задание 2. Определить коэффициент трансформации.

Необходимое оборудование: две катушки разборного трансформатора, полюсовой магнит, гальванометр, соединительные провода.

Подсказка. Дать возможность магниту свободно выпасть из катушки (первой, затем второй). Коэффициент трансформации равен $K = \frac{I_2}{I_1}$.

Задания к работе № 14

Задание 1. Предложены два груза. Определить во сколько раз отличаются их массы.

Необходимое оборудование: грузы, две одинаковые пружины.

Подсказка. Заставить грузы на пружинах одновременно колебаться. Через какое-то время t (одинаковое для обоих маятников) один совершит N_1 колебаний, другой N_2 .

Задание 2. Жесткость упругодеформированного тела определяется по формуле $k = \frac{ES}{l_0}$, где l_0 — длина недеформированного тела. Провести зависимость $k = f(l_0)$ для пружины и построить соответствующий график.

Необходимое оборудование: длинная пружина, гиря, штатив, секундомер, линейка.

Подсказка. Проводить несколько опытов, в каждом из которых закреплять пружину в штативе так, чтобы свободный ее конец был меньше полной длины. Каждый раз измерять период колебаний T по методу лабораторной работы; по значению T можно определить k .

Задания к работе № 15

Задание 1. Определить индуктивность катушки.

Необходимое оборудование: катушка, амперметр переменного тока, вольтметр переменного тока, источник переменного тока, соединительные провода.

Подсказка. Измерения выполнить по методу лабораторной работы.

Задание 2. Определить магнитную проницаемость сердечника катушки.

Необходимое оборудование: катушка с сердечником, амперметр переменного тока, вольтметр переменного тока, источник переменного тока, соединительные провода.

Подсказка. Определить индуктивность катушки по методу задания 1 без сердечника ($\mu_1 \approx 1$), затем с сердечником (μ_2). Учесть, что индуктивность вычисляется по формуле $L = \frac{\mu\mu_0 N^2 S}{l}$.

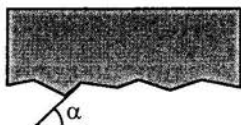
Задания к работе № 16

Задание 1. Предложены две прозрачные пластинки. Определить, во сколько раз отличаются их показатели преломления.

Необходимое оборудование: две прозрачные пластинки, лазерная указка, линейка.

Подсказка. Соединить пластинки плоскими гранями и использовать метод лабораторной работы.

Задание 2. Предложено матовое стекло, одна поверхность которого гладкая, другая шероховатая. Оценить максимальный угол шероховатости α .



Необходимое оборудование: матовое стекло, лазерная указка, линейка, экран.

Подсказка. Расположив стекло параллельно экрану, шероховатой поверхностью к нему, направить луч лазера перпендикулярно гладкой поверхности. Построить ход луча. Использовать закон преломления света и записать соотношение между катетами в треугольнике (один катет — расстояние от стекла до экрана, другой — средний радиус светлого пятна на экране). Чтобы решить полученную систему уравнений, можно принять что $\sin \alpha \approx \alpha$ и $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$ (хотя условие $\alpha \rightarrow 0$ не выполняется, но для грубой оценки формулы применимы).

Задания к работе № 17

Задание 1. Определить фокусное расстояние собирающей линзы.

Необходимое оборудование: линейка, линза. Опыт проводится в комнате с окном.

Подсказка. Можно считать, что солнечные лучи, падающие через окно, почти параллельны.

Задание 2. На прозрачной бумаге проведена линия карандашом. Определить ее толщину (напрямую измерить линейкой с ценой деления 1 мм затруднительно).

Необходимое оборудование: бумага с проведенной линией, линейка, собирающая линза, источник света, экран.

Подсказка. Определить фокус линзы по методу задания 1. Получить увеличенное изображение линии на экране.

Задания к работе № 18

Задание 1. Проверить, есть ли на гладком стекле какие-либо трещины, царапины. (Предполагаемые дефекты могут быть столь малы, что не видны в лупу и не дают тени.)

Необходимое оборудование: стеклянная пластинка, лазерная указка, экран.

Подсказка. При попадании луча на дефект на экране возникает дифракционная картина.

Задание 2. Предложено птичье перо. Определить, сколько ворсинок помещается на 1 см длины этого пера.

Необходимое оборудование: птичье перо, лазерная указка, линейка, экран.

Подсказка. Перо можно рассматривать как дифракционную решетку. Необходимо определить ее период.

Задания к работе № 19

Задание 1. Предложены две лампы накаливания, светящиеся не в полную мощность. Определить визуально, температура нити которой из них больше.

Необходимое оборудование: две различные лампы накаливания, источник тока, соединительные провода.

Подсказка. Обратить внимание, к какой части спектра смещено свечение каждой лампы.

Задание 2. Предложена ванночка с водой. Получить на экране сплошной спектр от лампы накаливания.

Необходимое оборудование: ванночка с водой, лампа, источник тока, соединительные провода, ширма с щелью, экран.

Подсказка. Расположив ванну определенным образом, ее можно использовать в качестве треугольной призмы.

Задания к работе № 20

Задание 1. Определить КПД генератора постоянного тока.

Необходимое оборудование: генератор, резистор, амперметр, вольтметр, соединительные провода, набор грузов, нить, линейка, секундомер.

Подсказка. Привести ротор генератора во вращение спускающимися грузами. Полезная работа — работа электрического тока; затраченная работа — работа силы тяжести.

Задание 2. Исследовать зависимость сопротивления полупроводникового фоторезистора от освещенности.

Необходимое оборудование: фоторезистор, лампа, амперметр, вольтметр, источник тока, соединительные провода, линейка.

Подсказка. Перемещать фоторезистор вдоль линейки от лампы и измерять его сопротивление. Учесть, что освещенность обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника света.

В физике и технике нет абсолютно точных приборов. Каждое измерение содержит в себе ошибку, которая характеризуется погрешностью измерения.

Различают абсолютную погрешность (она характеризует точность результата измерения) и относительную (характеризует качество результата измерения). *Абсолютная погрешность* Δx показывает максимально возможную величину ошибки измерения:

Единицы измерения x и Δx одинаковы. *Относительная погрешность* ε_x показывает отношение ошибки измерения Δx к самой измеряемой величине x :

ε, безразмерна или выражается в %.

Пример. Длина стола $l = 160$ см измерена с абсолютной погрешностью $\Delta l = 0,5$ см. Относительная погрешность равна:

Замечание. В значении Δx оставляют одну цифру, отличную от нуля. В значениях x и Δx записывают одинаковое число разрядов.

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
 Лишние разряды Одна значащая цифра

Погрешность не меньше 0,05. Значит, нет необходимости записывать последующие разряды, так как эти цифры заведомо ненадежны.

Погрешности прямых измерений

Прямое измерение — это измерение, в котором значение определяемой величины считывается с прибора.

Пример. Длина стола измеряется линейкой.

Прямое измерение характеризуется систематической погрешностью. *Систематическая погрешность* $\Delta x_{\text{сист}}$ равна сумме погрешности прибора $\Delta x_{\text{пр}}$ (это его характеристика) и погрешности отсчета $\Delta x_{\text{отсч}}$ (возникает из-за ошибки считывания показаний):

$$\Delta x_{\text{сист}} = \Delta x_{\text{пр}} + \Delta x_{\text{отсч}}. \quad (1)$$

Приборная погрешность зависит от класса точности прибора, который указан на самом приборе. *Класс точности* γ показывает, что приборная погрешность $\Delta x_{\text{пр}}$ не превосходит $\gamma\%$ от предела шкалы прибора x_{max} :

$$\Delta x_{\text{пр}} = \frac{\gamma x_{\text{max}}}{100}. \quad (2)$$

Погрешность отсчета $\Delta x_{\text{отсч}}$ определяется ценой деления c прибора или единицей его последнего разряда (для цифрового прибора):

$$\Delta x_{\text{отсч}} = \begin{cases} \frac{c}{2} & \text{— стрелочный прибор;} \\ c & \text{— цифровой прибор или стрелка с фиксированным шагом.} \end{cases} \quad (3)$$

Примеры. Рассчитать систематическую погрешность измерения.

1. Стрелочный миллиамперметр класса точности $\gamma = 5$ с пределом шкалы $I_{\text{max}} = 250$ мА и ценой деления $c = 10$ мА.

$$\Delta I_{\text{сист}} = \frac{\gamma I_{\text{max}}}{100} + \frac{c}{2} = \left(\frac{5 \cdot 250}{100} + 5 \right) \text{ мА} = 17,5 \text{ мА}.$$

2. Цифровой секундомер класса точности $\gamma = 0,2$ с пределом шкалы $t_{\text{max}} = 10$ с и ценой деления $c = 0,01$ с.

$$\Delta t_{\text{сист}} = \frac{\gamma t_{\text{max}}}{100} + c = \left(\frac{0,2 \cdot 10}{100} + 0,01 \right) \text{ с} = 0,03 \text{ с}.$$

Погрешности косвенных измерений

Косвенное измерение — это измерение, в котором определяемая величина находится по формулам, связывающим ее с непосредственно измеренными величинами.

Пример. Измеряют массу тела m и его объем V , а плотность рассчитывают по формуле $\rho = \frac{m}{V}$.

Вычисляемая величина z связана с измеряемыми величинами x, y, p формулой $z = f(x, y, p)$. Как правило, все многообразие зависимостей $z = f(x, y, p)$ сводится к двум. Для них относительная погрешность ε_z находится по формуле:

$$z = \begin{cases} ax \pm by \Rightarrow \varepsilon_z = \frac{\Delta x + \Delta y}{ax \pm by}, \\ a \frac{x^n y^m}{p^k} \Rightarrow \varepsilon_z = n\varepsilon_x + m\varepsilon_y + k\varepsilon_p, \end{cases} \quad (4)$$

где $a, b = \text{const}$.

Алгоритм расчета погрешности Δz косвенного измерения:

1. Вычислить систематические погрешности $\Delta x_{\text{сист}}, \Delta y_{\text{сист}}, \Delta p_{\text{сист}}$ по формуле (1).

2. Найти относительные погрешности каждой величины $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_p$ по формуле $\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x}$.

3. Для величины z найти относительную погрешность ε_z по формуле (4) и абсолютную погрешность $\Delta z = z\varepsilon_z$.

Погрешности при многократных измерениях

Если в силу *случайных* причин (внешних факторов, влияющих на ход опыта и на приборы) в одном опыте x измеряется неточно, то при повторных измерениях отклонения в ту и другую стороны компенсируют друг друга. Поэтому можно считать, что среднее значение измеренной величины $x_{\text{ср}}$ ближе к ее истинному значению $x_{\text{ист}}$.

Многократные измерения имеют смысл, если *случайная погрешность* больше систематической ($\Delta x_{\text{сл}} \geq \Delta x_{\text{сист}}$). Это будет в случае, если влияние отклоняющих факторов велико, а приборы достаточно высокого качества. В противном случае достаточно проведения одного опыта.

Алгоритм расчета случайной погрешности $\Delta x_{\text{сл}}$ (прямого измерения):

1. Найти среднее значение измеряемой величины:

$$x_{\text{ср}} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}, \quad (5)$$

где n — число измерений.

2. Вычислить абсолютную погрешность каждого измерения:

$$\Delta x_i = |x_{\text{ср}} - x_i|, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (6)$$

3. Случайная погрешность равна средней абсолютной погрешности всех измерений:

$$\Delta x_{\text{сл}} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_n}{n}. \quad (7)$$

Полную погрешность многократных измерений Δx высчитывают на основании сравнения случайной и систематической погрешности ($\Delta x_{\text{сл}}$ и $\Delta x_{\text{сист}}$). Если одна из них превосходит другую хотя бы в 3 раза, то меньшей погрешностью можно пренебречь. В противном случае обе погрешности складывают:

$$\Delta x = \Delta x_{\text{сл}} + \Delta x_{\text{сист}}. \quad (8)$$

Резюме: алгоритм расчета погрешности

Пусть величина z связана с x и y формулой $z = f(x, y)$. Измерены n значений x и y . Необходимо рассчитать абсолютную погрешность Δz . Характеристики приборов известны.

Алгоритм расчета погрешности:

1. Рассчитать систематические погрешности $\Delta x_{\text{сист}}$, $\Delta y_{\text{сист}}$ по формулам (1)–(3).

2. Если измерение однократное, то перейти к п. 7.

3. Рассчитать средние значения величин $x_{\text{ср}}$, $y_{\text{ср}}$, $z_{\text{ср}}$ по формуле (5).

4. Рассчитать абсолютные погрешности i -го измерения Δx_i , Δy_i по формуле (6).

5. Рассчитать случайные погрешности $\Delta x_{\text{сл}}$, $\Delta y_{\text{сл}}$ по формуле (7).

6. Рассчитать полные абсолютные погрешности Δx , Δy по формуле (8).

7. Рассчитать относительные погрешности по формулам

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{ср}}}, \quad \varepsilon_y = \frac{\Delta y}{y_{\text{ср}}}.$$

8. Рассчитать относительную погрешность результата (искомой величины) ε_z по формуле (4).

9. Рассчитать абсолютную погрешность результата $\Delta z = z_{\text{ср}} \varepsilon_z$.

10. Записать результат и его погрешность в виде $z = z_{\text{ср}} \pm \Delta z$.

Пример. В пяти опытах проводились измерения силы тока I и напряжения U . Рассчитать сопротивление $R = \frac{U}{I}$ и его погрешность ΔR .

Характеристики приборов следующие:

амперметр: $\gamma_A = 2,5$, $I_{\max} = 2$ А, $c_A = 0,1$ А;

вольтметр: $\gamma_V = 2$, $U_{\max} = 6$ В, $c_V = 0,2$ В.

Таблица значений

I , А	1,7	1,8	1,7	1,8	1,8
U , В	5,2	5,0	4,8	5,4	5,2
R , Ом	3,1	2,8	2,8	3,0	2,9

1. Систематические погрешности:

$$\Delta I_{\text{сист}} = \frac{\gamma_A I_{\max}}{100} + \frac{c_A}{2} = \left(\frac{2,5 \cdot 2}{100} + 0,05 \right) \text{ А} = 0,1 \text{ А};$$

$$\Delta U_{\text{сист}} = \frac{\gamma_V U_{\max}}{100} + \frac{c_V}{2} = \left(\frac{2 \cdot 6}{100} + 0,1 \right) \text{ В} = 0,22 \text{ В}.$$

3. Средние значения силы тока, напряжения и сопротивления:

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5}{5} = 1,76 \text{ А};$$

$$U_{\text{ср}} = \frac{U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5}{5} = 5,12 \text{ В};$$

$$R_{\text{ср}} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5}{5} = 2,92 \text{ Ом}.$$

4. Абсолютные погрешности каждого измерения силы тока и напряжения:

$$\Delta I_1 = |I_{\text{ср}} - I_1| = 0,06 \text{ А}; \quad \Delta I_2 = 0,04 \text{ А}; \quad \Delta I_3 = 0,06 \text{ А};$$

$$\Delta I_4 = 0,04 \text{ А}; \quad \Delta I_5 = 0,04 \text{ А}.$$

$$\Delta U_1 = |U_{\text{ср}} - U_1| = 0,08 \text{ В}; \quad \Delta U_2 = 0,12 \text{ В}; \quad \Delta U_3 = 0,32 \text{ В};$$

$$\Delta U_4 = 0,28 \text{ В}; \quad \Delta U_5 = 0,08 \text{ В}.$$

5. Случайные погрешности силы тока и напряжения:

$$\Delta I_{\text{сл}} = \frac{\Delta I_1 + \Delta I_2 + \Delta I_3 + \Delta I_4 + \Delta I_5}{5} = 0,05 \text{ A};$$

$$\Delta U_{\text{сл}} = \frac{\Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4 + \Delta U_5}{5} = 0,18 \text{ В}.$$

6. Случайные и систематические погрешности сопоставимы, поэтому их складываем:

$$\Delta I = \Delta I_{\text{сл}} + \Delta I_{\text{сист}} = (0,05 + 0,1) \text{ A} = 0,15 \text{ A};$$

$$\Delta U = \Delta U_{\text{сл}} + \Delta U_{\text{сист}} = (0,18 + 0,22) \text{ В} = 0,4 \text{ В}.$$

7. Относительные погрешности силы тока и напряжения:

$$\varepsilon_I = \frac{\Delta I}{I_{\text{сп}}} = \frac{0,15}{1,76} = 0,085; \quad \varepsilon_U = \frac{\Delta U}{U_{\text{сп}}} = \frac{0,4}{5,12} = 0,078.$$

8. Относительная погрешность сопротивления:

$$\varepsilon_R = \varepsilon_I + \varepsilon_U = 0,085 + 0,078 = 0,16.$$

9. Абсолютная погрешность сопротивления:

$$\Delta R = R_{\text{сп}} \varepsilon_R = 2,92 \text{ Ом} \cdot 0,16 = 0,467 \text{ Ом} = 0,5 \text{ Ом}.$$

10. Сопротивление равно $R = (2,9 \pm 0,5) \text{ Ом}$.

Замечание. Описанный выше метод расчета погрешностей достаточно громоздкий. В школьной практике поступают проще. За истинное значение величины принимают ее табличное значение по справочнику. Затем рассчитывают абсолютную и относительную погрешности (используя их определения).

В таблицах указаны только те величины, которые используются в лабораторных работах и заданиях к ним.

Физическая величина		Обозначение	Значение
Ускорение свободного падения		g	$9,8 \text{ м/с}^2$
Нормальное атмосферное давление		$p_{\text{атм}}$	$101\,300 \text{ Па}$
Постоянная Больцмана		k	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Постоянная Авогадро		N_A	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ л/моль}$
Элементарный заряд		$ q_e $	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Молярная масса воды		μ	$18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
Плотность воды		ρ	10^3 кг/м^3
Коэффициент поверхностного натяжения воды		σ	$73 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$
Удельная теплоемкость	воды	c	$4190 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{С)}$
	алюминия		$900 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{С)}$
Удельное сопротивление	графита	ρ	$8 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$
	константана		$0,48 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$
	меди		$0,0175 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$
	нихрома		$1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$
	фехраля		$1,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$
Температурный коэффициент сопротивления вольфрама		α	$4,3 \cdot 10^{-3} \text{ л/}^\circ\text{С}$
Показатель преломления стекла		n	$1,57$

Зависимость давления насыщенного водяного пара от температуры

$t, ^\circ\text{C}$	15	16	17	18	19	20	21	22
$p_n, \text{кПа}$	1,706	1,813	1,933	2,066	2,199	2,333	2,493	2,639
$t, ^\circ\text{C}$	23	24	25	26	27	28	29	30
$p_n, \text{кПа}$	2,813	2,986	3,173	3,359	3,559	3,786	3,999	4,239

Психрометрическая таблица

$t_{\text{сух}}, ^\circ\text{C}$	Относительная влажность $\varphi, \%$, при $\Delta t = t_{\text{сух}} - t_{\text{вл}}, ^\circ\text{C}$											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12	5
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15	8
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17	10
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20	13
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22	15
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24	18
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26	20
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28	22
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30	24
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31	26
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33	27
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34	29
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41	36	30
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37	32
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38	33
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39	34

1. *Р. А. Дондукова.* Руководство по проведению лабораторных работ по физике для средних специальных учебных заведений. 2-е изд. М.: Высшая школа, 1988. 79 с.

2. Физика: учеб. пособие для 10 класса школ и классов с углубленным изучением физики / Ю. И. Дик, О. Ф. Кабардин, В. А. Орлов и др.; Под ред. А. А. Пинского. М.: Просвещение, 1993. 416 с.

3. Физический практикум для классов с углубленным изучением физики: Дидактический материал: 9—11 кл. / Ю. И. Дик, О. Ф. Кабардин, В. А. Орлов и др.; Под ред. Ю. И. Дика, О. Ф. Кабардина. М.: Просвещение, 1993. 208 с.

4. *Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев.* Физика: Учебник для 10 класса средней школы. 2-е изд. М.: Просвещение, 1992. 222 с.

5. *Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев.* Физика: учебник для 11 класса средней школы. М.: Просвещение, 1991. 254 с.

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	4
1. Измерение массы тела методом гидростатического взвешивания	4
2. Изучение одного из изопроцессов	7
3. Измерение влажности воздуха	9
4. Измерение коэффициента поверхностного натяжения воды	11
5. Измерение удельной теплоемкости твердого тела	14
6. Измерение емкости конденсатора	16
7. Измерение удельного сопротивления проводника	18
8. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока ..	21
9. Исследование зависимости мощности лампы накаливания от напряжения на ее зажимах	23
10. Измерение элементарного заряда	26
11. Построение ВАХ полупроводникового диода	29
12. Изучение явления электромагнитной индукции	31
13. Измерение числа витков в обмотках трансформатора	33
14. Измерение ускорения свободного падения с помощью математического маятника	35
15. Проверка закона Ома для цепи переменного тока	37
16. Измерение показателя преломления стекла	39
17. Измерение фокусных расстояний собирающей и рассеивающей линз	41
18. Измерение длины световой волны с помощью дифракционной решетки	43
19. Наблюдение спектров испускания и поглощения	46
20. Измерение КПД полупроводникового фотоэлемента	48
ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ	51
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ К ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	55
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ	77
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТЕЙ	86
СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ	92
ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	94

Тарасов Олег Михайлович

**Лабораторные работы по физике
с вопросами и заданиями**

Учебное пособие

Редактор *Г. Н. Богдасарова*
Корректор *Н. Ю. Орловская*
Компьютерная верстка *И. В. Кондратьевой*
Оформление серии *Л. Зарецкой*

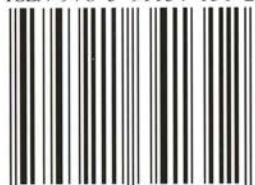
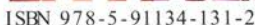
Сдано в набор 15.12.2006. Подписано в печать 18.01.2007. Формат 70х100/16.
Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 7,74. Уч.-изд. л. 8,0.
Печать офсетная. Бумага офсетная. Тираж 3000 экз.
Заказ № 776.

Издательство «ФОРУМ»
101000, Москва — Центр, Колпачный пер., д. 9а
Тел./факс: (495) 625-32-07, 625-52-43
E-mail: mail@forum-books.ru

ЛР № 070824 от 21.01.93
Издательский Дом «ИНФРА-М»
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31в
Тел.: (495) 380-05-40
Факс: (495) 363-92-12
E-mail: books@infra-m.ru
Http://www.infra-m.ru

Отпечатано в ОАО «Тверской ордена Трудового Красного Знамени
полиграфкомбинат детской литературы им. 50-летия СССР».
170040, г. Тверь, проспект 50 лет Октября, 46.





9 7 8 5 9 1 1 3 4 1 3 1 2