

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Афанасьев М.А., Боголюбова И.А., Рубцова Е.И.

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО БИОФИЗИКЕ**

для студентов

36.03.01 – ВЕТЕРИНАРНО-САНИТАРНАЯ ЭКСПЕРТИЗА

направление подготовки

**«Ветеринарно-санитарная экспертиза
продуктов животноводства»**

очной формы обучения

*Ставрополь
2020*

УДК 53(076)

ББК 22.3я7

Б 742

Рецензенты:

Кандидат физико-математических наук, доцент Яновский А.А.

Кандидат сельскохозяйственных наук, доцент Растваров Е.И.

Печатается по рекомендации методической комиссии
факультета Ветеринарной медицины СтГАУ
(протокол №1 от 31 августа 2020 г.)

М.А. Афанасьев, И.А. Боголюбова, Е.И. Рубцова Лабораторный практикум по биофизике. – Ставрополь, 2020.- 64 с.

В данном пособии даны указания по выполнению лабораторных работ по всем разделам биофизики: механика, молекулярная физика, термодинамика, электродинамика, оптика, атомная и ядерная физика. Предназначено для студентов сельскохозяйственных вузов, обучающихся по направлению 36.03.01 – Ветеринарно-санитарная экспертиза.

УДК 53(076)

ББК 22.3я7

©Ставропольский государственный аграрный университет

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Лабораторные работы	
№1 «Измерение физических величин, погрешность измерений»	5
№2 «Определение момента инерции стержня»	14
№3 «Изучение колебаний математического маятника»	18
№4 «Определение громкости звука, изучение зависимости громкости звука от количества работающих источников»	22
№5 «Определение коэффициента динамической вязкости жидкости»	25
№6 «Определение влажности воздуха»	31
№7 «Построение картин электрических полей»	37
№8 «Проверка правил Кирхгофа»	43
№9 «Изучение работы люксметра. Определение коэффициента поглощения света»	49
№10 «Определение оптической силы глаза человека»	53
№11 «Моделирование радиоактивного распада»	61
Список рекомендуемой литературы	64

Введение

Окружающий нас мир представляет собой совокупность материальных тел, находящихся в постоянном взаимодействии и непрерывном движении. Все наблюдаемые явления и процессы, совершающиеся в природе, происходят по определенным законам. Раскрытие и изучение закономерной связи между различными процессами и явлениями представляет главную цель науки. Все изменения, происходящие при физических явлениях, оцениваются количественно, посредством измерений. Можно смело утверждать, что наука начинается там и тогда, когда в нее вводятся измерения. Г. Галилей призывал «Измеряй все поддающееся измерению и сделай таковым все неподдающееся измерению».

Закономерные связи между различными изменениями, происходящими с телами, изучаются посредством наблюдения явлений, происходящих в природе, как в их естественном виде, так и посредством специально поставленных лабораторных опытов, в которых обеспечены определенные условия протекания явления.

Биофизика относится к классу точных наук, где количественное определение происходящих изменений играет главную роль. Физические величины определяют свойства тел или характеристики процесса.

Все явления и процессы находятся в определенной причинной связи друг с другом. На основе анализа опытов устанавливают основные закономерности, которым подчиняется течение различных процессов. Эти общие закономерности называют физическими законами.

При анализе сложных процессов, где трудно проследить и выяснить основные причинные связи и закономерности, стараются, прежде всего, отделить главные закономерности и связи от второстепенных. Анализируя явление, выделяют главное, основное, отвлекаются от второстепенного; тем самым, создавая некую условную модель явления (материальная точка, идеальный газ, тонкая линза и т.д.). При этом всегда нужно помнить об ограниченности схематических представлений.

Лабораторная работа №1

Измерение физических величин, погрешность измерений

Цель: научиться выполнять прямые и косвенные измерения физических величин, изучить методики нахождения доверительного интервала значений физической величины.

Краткая теория

Цель любого исследования – установление связей между различными явлениями и параметрами. Количественная зависимость между исследуемыми величинами получается в результате измерений.

Измерение – это сравнение данной физической величины с величиной, принятой за единицу.

Измерить физическую величину A – значит узнать, сколько раз в A (значение физической величины) содержится единица измерения a . Тогда A можно представить как $A = N \cdot a$.

В прямых измерениях физической величины данные считываются непосредственно со шкалы прибора. Например, измерение длины с помощью линейки, измерение силы тока амперметром.

Перед началом измерений определяется цена деления шкалы прибора.

Цена деления шкалы прибора – число единиц измерения данной физической величины, приходящихся на одно деление.

Точность прибора определяется как половина цены деления шкалы прибора (если нет иных указаний).

Пример 1. Определить цену деления шкалы мензурки, расположенной слева на рисунке 1.

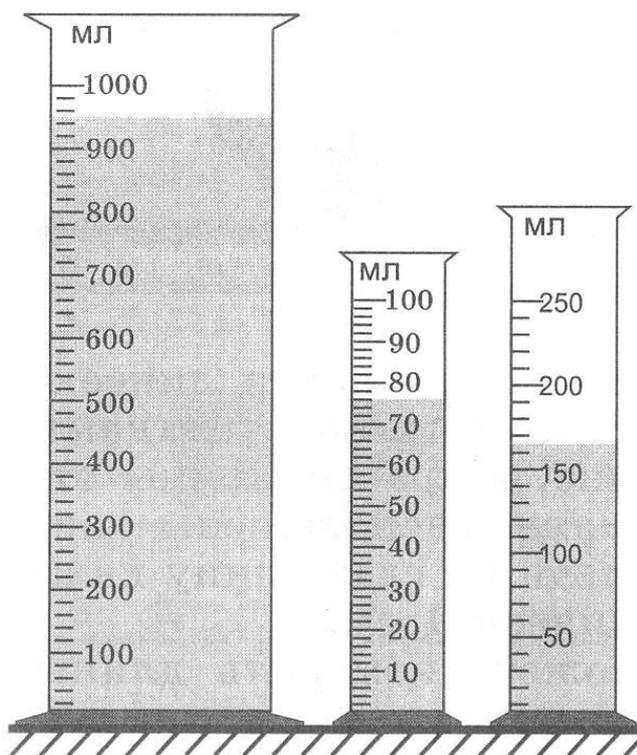


Рисунок 1.1 Мензурки (мерные цилиндры), заполненные водой

Выберем два ближайших числа к уровню воды, расположенных на шкале прибора. Например, $V_1 = 300 \text{ мл}$ и $V_2 = 400 \text{ мл}$. Посчитаем число делений между ними, получим $N = 5$. Тогда цена деления шкалы мензурки равна $Z = \frac{V_2 - V_1}{N} = \frac{400 - 300}{5} = 20 \text{ мл}$. Определим количество воды в данной мензурке: $V = V_3 + n \cdot Z = 900 + 2,5 \cdot 20 = 950 \text{ мл}$.

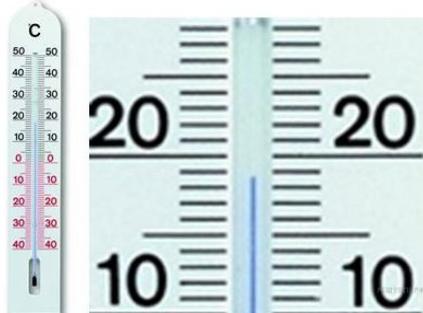
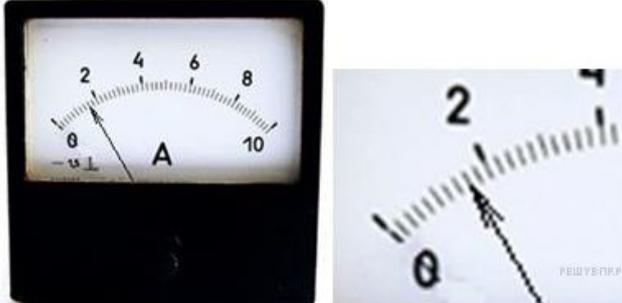
Точность шкалы мензурки равна $Tоч = \frac{Z}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ мл}$ (минимальный объем, который можно измерять данной мензуркой).

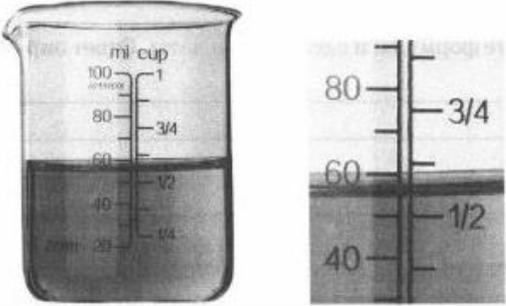
Максимальный объем, который можно измерять данной мензуркой $V_{\text{max}} = 1000 \pm 10 \text{ мл}$

Запишем количество воды в мензурке с учетом точности измерения:

$$V = 950 \pm 10 \text{ мл}$$

Задание 1. Определите цену деления шкалы, точность измерения, предел измерения и показания приборов.

1		<p>Цена деления шкалы:</p> <p>Точность измерения:</p> <p>Предел измерения:</p> <p>Показания прибора:</p>
2		<p>Цена деления шкалы:</p> <p>Точность измерения:</p> <p>Предел измерения:</p> <p>Показания прибора:</p>
3		<p>Цена деления шкалы:</p> <p>Точность измерения:</p> <p>Предел измерения:</p> <p>Показания прибора:</p>

4		Цена деления шкалы: Точность измерения: Предел измерения: Показания прибора:
5		Цена деления шкалы: Точность измерения: Предел измерения: Показания прибора:

Измерения дают, как правило, только приближенные значения.

В результате однократного измерения физической величины x получается значение $x_{эксп}$, отличающееся от истинного значения, которое неизвестно. В результате многократного измерения физической величины получаем ряд значений x_1, x_2, \dots, x_N . В качестве *наиболее вероятного значения* измеряемой величины обычно принимают **среднее арифметическое измеренных значений**, определенное по формуле:

$$x_{вероят} = \langle x \rangle = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N}$$

(или среднее значения находится при помощи графика зависимости физических величин).

После расчета среднего арифметического значения измеряемой величины приступают к определению абсолютной и относительной ошибок измерений.

Абсолютное значение разности между средним арифметическим и каждым из отдельных результатов измерений называется **абсолютной ошибкой отдельного измерения** и определяется как

$$\Delta x_i = \left| \langle x \rangle - x_i \right|.$$

Часто **среднюю абсолютную ошибку** определяют как среднее арифметическое абсолютных ошибок отдельных измерений (определяется **при большом количестве измерений – больше десяти**):

$$\langle \Delta x \rangle = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_N}{N}.$$

Абсолютная ошибка указывает 2 значения измеряемой величины, между которыми заключено ее истинное значение. Интервал значений измеряемой величины от $\langle x \rangle - \Delta x$ до $\langle x \rangle + \Delta x$ называется **доверительным интервалом**.

Например, в результате измерений и последующих вычислений диаметра проволоки получили:

$$\langle d \rangle = 2,4 \text{ мм} \quad \text{и} \quad \langle \Delta d \rangle = 0,1 \text{ мм.}$$

Это означает, что истинное значение диаметра проволоки равно $d = 2,4 \pm 0,1 \text{ мм}$, то есть находится в доверительном интервале между 2,3 мм и 2,5 мм.

Относительной ошибкой приближенного значения некоторой величины называют отношение его абсолютной ошибки к точному (среднему) значению данной величины. Относительную ошибку принято выражать в процентах:

$$\varepsilon_i = \frac{\langle \Delta x_i \rangle}{\langle x_i \rangle} \cdot 100\%.$$

Пример 2. При измерении периода колебаний маятника были получены следующие результаты: 3,1 с; 3,2 с; 3,0 с; 3,5 с; 3,3 с; 3,2 с; 3,1 с; 3,4 с; 3,0 с; 3,2 с; 3,3 с; 3,0 с. Определить истинное значение периода колебаний.

Определим среднее значение периода колебаний маятника:

$$\begin{aligned} \langle T \rangle &= \frac{\sum_{i=1}^{12} T_i}{12} = \frac{3,1 + 3,2 + 3,0 + 3,5 + 3,3 + 3,2 + 3,1 + 3,4 + 3,0 + 3,2 + 3,3 + 3,0}{12} = \\ &= \frac{383}{12} = 3,191(6) \approx 3,19 \text{ сек} \end{aligned}$$

Округление промежуточного результата произведено до трех значащих цифр.

Затем вычисляем абсолютные ошибки отдельных измерений:

$$\begin{aligned} \Delta T_1 &= |3,19 - 3,1| = 0,09 & \Delta T_7 &= |3,19 - 3,1| = 0,09 \\ \Delta T_2 &= |3,19 - 3,2| = 0,01 & \Delta T_8 &= |3,19 - 3,4| = 0,21 \\ \Delta T_3 &= |3,19 - 3,0| = 0,19 & \Delta T_9 &= |3,19 - 3,0| = 0,19 \\ \Delta T_4 &= |3,19 - 3,5| = 0,31 & \Delta T_{10} &= |3,19 - 3,2| = 0,01 \\ \Delta T_5 &= |3,19 - 3,3| = 0,11 & \Delta T_{11} &= |3,19 - 3,3| = 0,11 \\ \Delta T_6 &= |3,19 - 3,2| = 0,01 & \Delta T_{12} &= |3,19 - 3,0| = 0,19 \end{aligned}$$

Определяем среднюю абсолютную ошибку всех измерений периода колебаний маятника:

$$\begin{aligned} \langle \Delta T \rangle &= \frac{\sum_{i=1}^{12} |\Delta T_i|}{12} = \frac{0,09 + 0,01 + 0,19 + 0,31 + 0,11 + 0,01 + 0,09 + 0,21 + 0,19 + 0,01 + 0,11 + 0,19}{12} = \\ &= \frac{1,52}{12} = 0,12(6) \approx 0,13 \text{ сек} \end{aligned}$$

Истинное значение периода колебаний маятника запишется в виде промежутка $T = 3,19 \pm 0,13 \text{ с}$ и будет лежать в доверительном интервале от $T_{\min} = 3,06 \text{ с}$ до $T_{\max} = 3,32 \text{ с}$

Задание 2. Результаты измерений диаметра диска представлены в таблице. Определить истинное значение диаметра диска.

№	d , мм	$\langle d \rangle$, мм	Δd_i , мм	$\langle \Delta d \rangle$, мм
1	42,4			
2	42,6			
3	42,8			
4	42,7			
5	41,9			
6	41,8			
7	42,0			
8	42,4			
9	41,9			
10	41,9			
11	42,0			

Запишите истинное значение диаметра диска в виде промежутка:

$$d = \langle d \rangle \pm \langle \Delta d \rangle =$$

При малом числе проведенных измерений (до 10) для достоверной оценки погрешностей вычисляют *среднее квадратичное отклонение или стандартное отклонение*

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta x_i^2}{N-1}}$$

Средняя квадратичная ошибка средней величины вычисляется по формуле:

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

Задают доверительную вероятность p (0,6; 0,8; 0,95; 0,99 или 0,999), затем по таблице «Коэффициент Стьюдента» находят соответствующее значение коэффициента Стьюдента t для данного числа измерений N и вычисляют погрешность s заданной вероятностью p по формуле: $X_{погр} = m \cdot t$.

В итоге вычислений результат измерений записывается в виде доверительного интервала $X_{ист} = \langle X \rangle \pm X_{погр}$.

Таблица Коэффициент Стьюдента

Количество измерений N	Значение доверительной вероятности p				
	0,6	0,8	0,95	0,99	0,999
2	1,376	3,078	12,706	63,657	636,61
3	1,061	1,886	4,303	9,925	31,598
4	0,978	1,638	3,182	5,841	12,941
5	0,941	1,533	2,776	4,604	8,610
6	0,920	1,476	2,571	4,032	6,859
7	0,906	1,440	2,447	3,707	5,959
8	0,896	1,415	2,365	3,499	5,405
9	0,889	1,397	2,306	3,355	5,041

Пример 3: Вычислить среднее и его ошибку для ряда чисел: 10, 11, 12, 13.

№	X	$\Delta x_i = \langle x \rangle - x_i $	Δx_i^2
-1-	-2-	-3-	-4-
1	10	1,5	2,25
2	11	0,5	0,25
3	12	0,5	0,25
4	13	1,5	2,25
	$\sum x = 46$		$\sum \Delta x^2 = 5$

Определим среднее арифметическое значение: $\langle x \rangle = \frac{46}{4} = 11,5$.

Рассчитаем абсолютные ошибки каждого отдельного значения величины (колонка 3 таблицы), вычислим квадраты ошибок отдельных измерений (колонка 4) и определим сумму квадратов: $\sum \Delta x^2 = 5$.

Определим среднее квадратичное отклонение: $\sigma = \sqrt{\frac{5}{4-1}} = 1,29$

Определим среднюю квадратичную ошибку средней величины:
 $m = \frac{1,29}{\sqrt{4}} = 0,645$

Зададим **самостоятельно** доверительную вероятность $p=0,8$. По таблице находим значения коэффициента Стьюдента (при $N=4$) 1,638.

Вычислим погрешность с заданной вероятностью
 $X_{погр} = 0,645 \cdot 1,638 = 1,057 \approx 1,06$.

Результат вычислений запишем в виде $X_{ист} = 11,5 \pm 1,06$, то есть находится в доверительном интервале между 10,44 и 12,56.

Задание 3: Пусть в результате четырех измерений x получены следующие значения: 2,80; 2,79; 2,84; 2,83.

№	x_i	$\Delta x_i = \langle x \rangle - x_i $	Δx_i^2
1			
2			
3			
4			
	$\langle x \rangle = \frac{\sum_{i=1}^4 x_i}{4} =$		$\sum_{i=1}^4 (\Delta x_i)^2 =$

Определите среднее квадратичное отклонение. Определите среднюю квадратичную ошибку средней величины.

Задайте доверительную вероятность p (0,6; 0,8; 0,95; 0,99 или 0,999). По таблице найдите значения коэффициента Стьюдента. Вычислите погрешность с заданной вероятностью.

Результат вычислений запишите в виде промежутка.

Результаты эксперимента часто бывает целесообразно изображать графически. Графики позволяют наглядно представить результаты исследования, обнаружить связи между изучаемыми явлениями, облегчить их анализ. С помощью графиков легко проследить закономерности в развитии явлений. Кроме того, они легче воспринимаются по сравнению с таблицами.

Следует помнить, что легко читаются только хорошо выполненные графики. Поэтому необходимо соблюдать требования, предъявляемые к вычерчиванию графиков:

- графически представлять лишь основные данные, на которые должно быть обращено внимание;
- не перегружать график лишними линиями;
- вычерчивать таким образом, чтобы наиболее важные стороны и связи были видны (применять различные цвета и обозначения линий);
- построение графика начинается с представления результатов работы в виде таблицы, на основе которой вычерчивается график.

При построении графика надо заранее выбрать масштаб, разметить оси координат и лишь после этого приступить к нанесению на график экспериментальных точек. Проводя через экспериментальные точки плавную кривую, получают график исследуемой зависимости (рис 2).

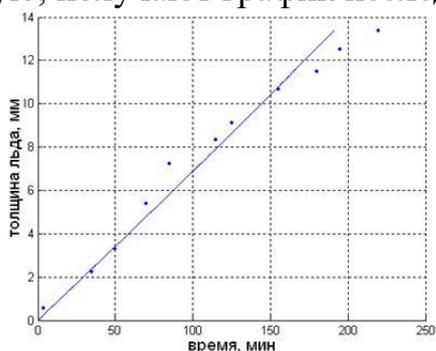


Рисунок 1.2 График некоторого физического процесса

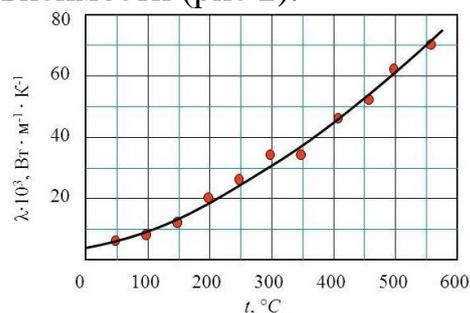


Рисунок 1. Зависимость теплопроводности водяного пара от температуры

При выборе масштаба на графике надо исходить из следующих соображений:

- а) экспериментальные точки не должны сливаться друг с другом, поэтому лучше выбрать такой масштаб, чтобы расположить точки с разумным интервалом;
- б) масштаб должен быть простым. Проще всего, если единица измеренной величины (или 10, 100, 0,1 и т. д. от единицы) соответствует 1 см. Можно выбрать такой масштаб, чтобы 1 см соответствовал двум или пяти единицам.
- в) степени десяти удобнее относить к единице измерения. Тогда деления на графике можно отмечать цифрами 1, 2, 3 или 10, 20, 30, ..., а не 10 000, 20 000 и т. д. или 0,001, 0,00 и т. д.

На осях координат следует указывать название или символ величины и единицы ее измерения (например: I, A).

Размечать оси координат и наносить на график экспериментальные точки удобнее карандашом, чтобы была возможность при необходимости изменить масштаб или убрать случайно поставленную точку.

Задание 4. Моток проволоки имеет электрическое сопротивление, которое меняется под воздействием температуры, как показано в таблице:

сопротивление, Ом	5,5	6,0	6,4	6,9	7,4	8,0
температура, °C	10	20	30	40	50	60

Постройте график зависимости сопротивления мотка проволоки от температуры. По графику определите значения:

- 1) сопротивление мотка при температуре 0°C;
- 2) при какой температуре сопротивление мотка равно 7 Ом.

Задание 5. В эксперименте по измерению средней толщины листа бумаги учащийся измеряет толщину определенного числа листов и получает следующие результаты:

толщина всех листов D , мм	11,0	21,5	32,0	43,0	54,0	64,0
число листов N	10	20	30	40	50	60
толщина одного листа $d_{80} = \frac{D}{N}$, мм						
среднее арифметическое толщины одного листа $\langle d \rangle$, мм						
абсолютная ошибка измерений Δd , мм						
квадрат абсолютной ошибки измерений Δd^2						
сумма квадратов абсолютных ошибок измерений						
среднее квадратичное отклонение σ						
средняя квадратичная ошибка средней величины m						
доверительная вероятность p						

коэффициент Стьюдента t	
погрешность с заданной вероятностью $d_{ногр} = m \cdot t =$	
результат измерений толщины листа	

Постройте график зависимости толщины листов от их количества.

По графику определите толщину 80 листов бумаги.

Задание 6.

Не используя измерительных приборов, начертите на листе бумаги отрезок длиной 10 см. Измерьте этот отрезок с помощью линейки. Определите абсолютную и относительную погрешности измерений.

Сделайте вывод:

Если измерение физической величины проводится в повторности от 2 до 10, то истинное значение физической величины определяется

Если измерение физической величины проводится в повторности более 10, то истинное значение физической величины определяется

Вопросы для защиты работы:

1. Школьник поставил на электрическую плитку сосуд с водой. В сосуд он опустил термометр. Затем школьник включил плитку и одновременно с ней — секундомер. По мере нагревания воды он заносил в тетрадь данные о времени и температуре воды. Данное действие школьника является

- 1) наблюдением
- 2) измерением
- 3) моделированием
- 4) моделированием и наблюдением

2. Измерение физической величины. Цена деления шкалы прибора. Точность измерения прибора.

3. Среднее арифметическое измеренных значений величины. Абсолютная ошибка измерения.

4. Среднее квадратичное отклонение. Средняя квадратичная ошибка средней величины.

5. Вид записи истинного значения результатов измерений и вычислений.

6. Какой из приведенных вариантов записи результатов измерений является наиболее целесообразным?

- | | |
|---|---|
| А) $1,030 \text{ м} \pm 0,01 \text{ м}$ | Б) $1,030 \text{ м} \pm 10 \text{ мм}$ |
| В) $103,0 \text{ см} \pm 10 \text{ мм}$ | Г) $1030 \text{ мм} \pm 1,0 \text{ см}$ |

7. Как правильно измерить напольными весами свою массу?

Лабораторная работа №2 Определение момента инерции стержня

Цель работы: изучение свободных колебаний физического маятника.

Оборудование: тонкий стержень, секундомер.

Краткая теория

Колебание - физический процесс, характеризующийся повторяемостью во времени физических величин, связанных с этим процессом.

Период колебания - время T , за которое система совершает одно полное колебание. $T = \frac{t}{N}$

Частота колебаний - число колебаний, совершаемых системой за единицу времени $\nu = \frac{N}{t}$. Основная единица измерения частоты колебаний c^{-1} или Герц; $1 c^{-1} = 1 \text{ Гц}$.

Циклическая частота колебаний - ω_0 - величина, показывающая число колебаний, совершаемых за 2π секунды $\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi}{T} = 2 \cdot \pi \cdot \nu$. (2.1)

Свободные (собственные) колебания - колебания, при которых на колеблющуюся систему не действуют внешние силы. В этих случаях колебание возникает либо за счет первоначальной потенциальной энергии, либо за счет кинетической.

Маятник - твердое тело, совершающее под действием приложенных сил колебания около неподвижной точки или оси. **Физический маятник** - твердое тело, укрепленное на неподвижной оси, не совпадающей с центром масс и совершающее колебания относительно этой оси.

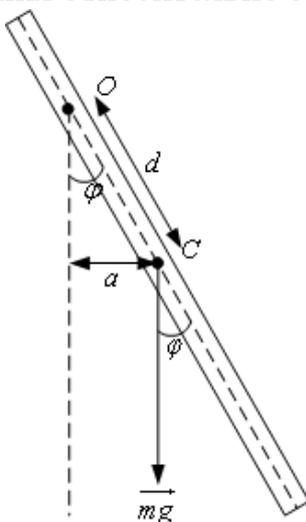


Рисунок 2.1 Колебания физического маятника.

Запишем основное уравнение динамики вращательного движения для центра масс такого физического маятника: $M = I \cdot \varepsilon$, где I - момент инерции физического маятника относительно оси подвеса. По определению момента силы $M = -m \cdot g \cdot a$, где m - масса маятника, a - плечо силы тяжести. Знак «-»

показывает, что момент силы тяжести стремится вернуть систему в положение равновесия. Из рисунка 2.1 видно, что $a = d \cdot \sin \varphi$. Момент силы будет равен $M = -m \cdot g \cdot d \cdot \sin \varphi$, где d - расстояние от оси подвеса до центра масс. Из математики известно, что если угол смещения φ мал, то выполняется соотношение $\sin \varphi \approx \varphi$. Учитывая, что угловое ускорение есть вторая производная углового перемещения по времени $\varepsilon = \frac{d^2 \varphi}{dt^2}$, получим

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -\frac{m \cdot g \cdot d}{I} \cdot \varphi$$

Введем обозначения для постоянной величины

$$\frac{m \cdot g \cdot d}{I} = \omega_0^2 \quad (2.2)$$

Окончательно получим дифференциальное уравнение колебаний физического маятника:

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -\omega_0^2 \cdot \varphi. \quad (2.3)$$

При малых углах отклонения φ физический маятник совершает колебания, близкие к гармоническим.

На основании уравнений (2.1) и (2.2) выводится формула периода колебаний физического маятника:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{I}{m \cdot g \cdot d}} \quad (2.4)$$

Теоретическое значение моментов инерции тел относительно произвольной оси определяется по теореме **Штейнера**:

$$I_T = I_c + m \cdot d^2 \quad (2.5)$$

где I_c - момент инерции тела относительно оси, проходящей через центр масс.

Для стержня момент инерции относительно оси, совпадающей с центром масс, определяется по формуле: $I_c = \frac{m \cdot l^2}{12}$, где m - масса стержня, l - его длина.

Пример 1. Определить момент инерции стержня относительно оси, проходящей через его край, если масса стержня 2,1кг, длина 0,8 м.

Дано: $m = 2,1 \text{ кг}$ $l = 0,8 \text{ м}$ $I = ?$	Решение: По теореме Штейнера $I = I_0 + m \cdot d^2$. Момент инерции стержня относительно оси, проходящей через центр масс равен
--	---

$I_0 = \frac{m \cdot l^2}{12}$. Расстояние между осями по условию равно: $d = \frac{l}{2}$. Получим

$$I = I_0 + m \cdot d^2 = \frac{m \cdot l^2}{12} + m \cdot \frac{l^2}{4} = \frac{m \cdot l^2}{12} + \frac{3 \cdot m \cdot l^2}{12} = \frac{4 \cdot m \cdot l^2}{12} = \frac{m \cdot l^2}{3}$$

$$I = \frac{2,1 \cdot 0,8^2}{3} \approx 0,44 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Подставим численные значения:

Ответ: $I \approx 0,44 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

В данной лабораторной работе необходимо изучить зависимость периода колебаний тонкого однородного стержня от расстояния d (от оси подвеса до центра масс). Результаты измерений удобно изобразить графически на координатной плоскости ($\frac{d}{L} = x, \frac{T}{T_0} = y$). Для тонкого стержня любой длины, записанная в безразмерных переменных (x, y) зависимость периода малых колебаний от положения точки подвеса имеет вид

$$y = \sqrt{\frac{1}{12 \cdot x} + x}$$

Рассчитайте теоретическую зависимость $y(x)$ для данного стержня

x	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
y										

На координатной плоскости постройте точки с рассчитанными координатами (теоретическая зависимость) и соедините их плавной линией.

Выполнение работы

Задание 1 *Определение периода колебаний физического маятника.*

1. Измерьте длину стержня.

2. Рассчитайте величину T_0 : $T_0 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}} =$

3. Подвесив стержень в точке O , определите время t в течение которого маятник совершает 30 колебаний и рассчитайте период колебаний T маятника относительно точки O . Опыт проделайте три раза и найдите среднее значение периода колебаний.

4. Измерьте расстояние между осью вращения и центром масс стержня.

5. Опыт повторите, подвешивая стержень в точке O_1 .

6. Измерьте расстояние между осью вращения и центром масс стержня.

7. Рассчитайте экспериментальные точки исследуемой зависимости.

N	$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \text{ с}$	$\langle T \rangle, \text{ с}$	$y = \frac{\langle T \rangle}{T_0}$	d, м	$x = \frac{d}{l}$
1					
2					

8. **Нанесите экспериментальные данные на график теоретической зависимости.**

Задание 2. *Определение момента инерции стержня относительно оси, проходящей через его край.*

1. Запишите массу физического маятника.

2. Рассчитайте теоретическое значение момента инерции стержня относительно центра масс.

3. Рассчитайте момент инерции стержня относительно данной оси, используя

теорему Штейнера.

4. Вычислите экспериментальное значение момента инерции стержня относительно данной оси.

5. Вычислите погрешность опыта.

Задание 3. Определение момента инерции стержня относительно произвольной оси.

1. Рассчитайте момент инерции стержня относительно заданной оси (используя теорему Штейнера).

2. Рассчитайте экспериментальное значение момента инерции стержня относительно данной оси и вычислите погрешность опыта.

Сделайте вывод.

Период колебаний физического маятника зависит от

_____.

Данная зависимость имеет вид _____.

Инертные свойства тела при вращательном (колебательном) движении характеризует физическая величина, называемая _____. Чем больше расстояние между осью вращения и центром масс стержня, тем _____ его момент инерции.

Вопросы для защиты работы:

1. Дайте определение колебания. Дайте определения маятника, физического маятника.

2. Запишите дифференциальное уравнение колебаний физического маятника. Запишите формулу для вычисления периода колебания физического маятника и расшифруйте физические величины, входящие в нее.

3. Какие свойства тела характеризует его момент инерции? Укажите единицы его измерения.

4. Запишите формулу для вычисления момента инерции стержня, кольца, диска и шара относительно оси, проходящей через центр масс.

5. Запишите формулу для вычисления момента инерции твердого тела, если ось вращения не проходит через центр масс тела (теорема Штейнера).

6. Решите задачу: Представляя тело человека в виде цилиндра, радиус которого $R = 20$ см, высота $h = 1,7$ м и масса $m = 70$ кг, определите момент инерции человека в положении стоя и лежа относительно оси, проходящей через центр цилиндра (приблизительно через центр масс человека).

7. Решите задачу: Однородный диск радиусом $R = 20$ см колеблется относительно горизонтальной оси, проходящей на расстоянии $d = 15$ см от центра диска. Определите период колебаний диска относительно этой оси. Запишите дифференциальное уравнение колебаний данного маятника, вычислив коэффициенты.

Лабораторная работа № 3 Изучение колебаний математического маятника

Цель работы: изучение зависимости квадрата периода колебаний математического маятника от длины его нити, изучение методики определения ускорения свободного падения.

Оборудование: лабораторная установка (штатив, груз малого размера, нить), линейка, секундомер.

Краткая теория

Математическим маятником называется тело, подвешенное на длинной невесомой нити, длина которой во много раз превышает линейные размеры тела.

Реальный маятник, у которого масса колеблющегося тела во много раз больше массы нити, а длина нити во много раз больше размеров тела, можно считать математическим (рис. 5.1).

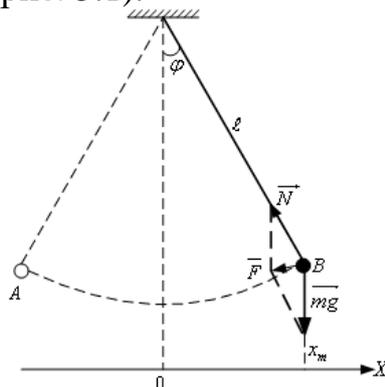


Рисунок 3.1 Колебания математического маятника.

Запишем основное уравнение динамики вращательного движения для этой системы: $M = I \cdot \varepsilon$. Момент инерции материальной точки равен $I = m \cdot l^2$. Угловое ускорение есть вторая производная углового перемещения по времени: $\varepsilon = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$.

По определению момента силы $M = -F \cdot l$, где l – плечо силы тяжести. Знак «-» показывает, что момент силы тяжести стремится вернуть систему в положение равновесия. Из рисунка 5.1 видно, что $F = m \cdot g \cdot \sin \varphi$. Момент силы будет равен $M = -m \cdot g \cdot l \cdot \sin \varphi$. Если угол φ мал, то $\sin \varphi \approx \varphi$. Суммируя все сказанное: $-m \cdot g \cdot l \cdot \varphi = m \cdot l^2 \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2}$. Преобразуя последнее уравнение можно получить: $\frac{d^2\varphi}{dt^2} = -\frac{g}{l} \cdot \varphi$. Обозначив $\frac{g}{l} = \omega_0^2$, получим:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = -\omega_0^2 \cdot \varphi \quad (3.1)$$

Если угол φ мал, то дуга АВ неотличима от хорды АВ. Тогда для координаты колеблющейся точки будем иметь: $\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega_0^2 \cdot x$ – уравнение

гармонических колебаний в дифференциальном виде.

Период колебаний математического маятника определяется по приближенной формуле, пригодной только для малых амплитуд колебаний:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad (3.2)$$

Экспериментальная часть

При выводе соотношения (3.2) были сделаны следующие предположения:

- маятник совершает колебания с малой амплитудой;
- затуханием колебаний можно пренебречь.

1. Изучите зависимость между квадратом периода колебаний и длиной нити маятника. Для этого измерьте период колебания маятника для пяти длин подвеса. При измерениях амплитуда колебаний должна быть малой. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

Таблица 1

№	l, м	N	t с	T с	T ² с ²
1					
2					
3					
4					
5					

2. Постройте график зависимости квадрата периода колебаний от длины маятника в координатах (l, T²).

3. Из (3.2) можно получить соотношение $g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot l}{T^2}$, которое позволяет опытным путем определить ускорение свободного падения в данной местности. Для этого необходимо измерить период колебания маятника T и длину подвеса l. Определите доверительный интервал ускорения свободного падения. Заполните таблицу 2.

Таблица 2

№ опыта	1	2	3	4	5
Ускорение свободного падения g, м/с ²					
Среднее арифметическое ускорения свободного падения, <g>, м/с ²					
Абсолютная ошибка измерения, $\Delta g = \langle g \rangle - g $					
Квадрат абсолютной ошибки, Δg^2					

Сумма квадратов абсолютной ошибки, $\sum (\Delta g^2)$	
Среднее квадратичное отклонение, $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\Delta g^2)}{5-1}}$	
Средняя квадратичная ошибка средней величины, $m = \frac{\sigma}{\sqrt{5}}$	
Доверительная вероятность, P	
Коэффициент Стьюдента, t	
Погрешность с заданной вероятностью, $g_{погр} = m \cdot t$	
Истинное значение ускорения свободного падения, $g_{ист} = \langle g \rangle \pm g_{погр}$	

4. Постройте горизонтальную ось ускорения свободного падения, отметьте на ней точки, соответствующие минимальному и максимальному значению доверительного интервала. На этой же оси отметьте точку, соответствующую теоретическому значению ускорения свободного падения.

Сделайте вывод.

Систему из тела и нити, масса которого во много превышает массу нити, а размеры которого много меньше длины нити, можно считать _____.

Зависимость квадрата периода колебаний математического маятника от длины нити _____. Зависимость периода колебаний математического маятника от длины нити _____.

Ускорение свободного падения в данной местности можно определять методом _____.

Вопросы для защиты работы:

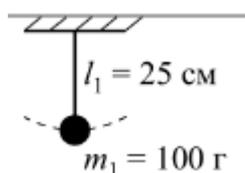
1. Дайте определение колебания. Дайте определения периода, частоты, циклической частоты. Запишите формулы для вычисления данных физических величин, укажите единицы их измерения.
2. Дайте определение свободного колебания. Какие силы действуют на математический маятник при его колебаниях?
3. Дайте определение гармонического колебания. Дайте определение математического маятника.
4. Запишите дифференциальное уравнение колебаний математического маятника. Запишите формулу для вычисления периода колебания математического маятника и расшифруйте физические величины, входящие в нее.

5. Необходимо проверить гипотезу о том, что период колебаний математического маятника не зависит от массы груза. Какую пару грузов и нитей следует выбрать для проверки этой гипотезы?

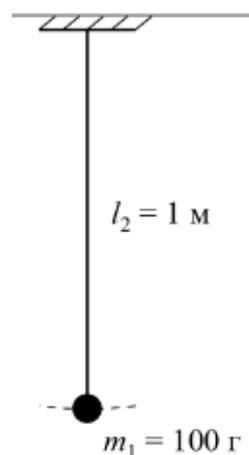
№	Груз	Масса	Длина нити
1	Груз 1	m_1	50 см
2	Груз 2	m_1	100 см
3	Груз 3	m_2	50 см
4	Груз 4	m_3	75 см

- 1) 1 и 2
- 2) 1 и 3
- 3) 2 и 4
- 4) 3 и 4

6. Ученик провёл измерения периода колебаний математического маятника для двух случаев. Результаты опытов представлены на рисунке. Выберите из предложенного перечня утверждения, которые соответствуют результатам проведённых экспериментальных наблюдений, укажите их номера.



Опыт 1 $T_1 = 1$ с



Опыт 2 $T_2 = 2$ с

- 1) Период колебаний маятника зависит от длины нити.
- 2) Период колебаний маятника на Луне будет меньше, чем на Земле.
- 3) Период колебаний маятника зависит от географической широты местности.
- 4) Период колебаний маятника не зависит от массы груза.
- 5) При увеличении длины нити в 4 раза период колебаний увеличивается в 2 раза.

Лабораторная работа № 4

Изучение зависимости уровня шума в помещении от количества работающих установок

Цель работы: научиться вычислять уровень шума при разном количестве работающих установок, найти закономерность данной зависимости.

Оборудование: шумомер, источник звука.

Краткая теория

Звук – механическая продольная волна. В звуковой волне чередуются последовательные фазы повышения давления – сжатия и понижения давления – разрежения.

С физиологической точки зрения, **звук** – это ощущение, возникающее в ухе человека в результате действия изменения давления частиц упругой среды. Ухо человека может воспринимать и анализировать звуки в широком диапазоне частот и интенсивностей.

Громкость (слышимость) – субъективная оценка интенсивности звука, воспринимаемая нашим ухом. Для данной частоты громкость звука определяется величиной амплитуды колебаний частиц среды.

Порог слышимости (или порог слухового ощущения) - наименьшая сила звука данной частоты, которая еще воспринимается ухом. Такой звук имеет минимальную величину звукового давления, при котором звук воспринимается в обстановке полной тишины как едва слышимый. Порог слышимости различен для разных частот. Наиболее чувствительно человеческое ухо для колебаний с частотами в пределах 1-3 кГц. Для этих частот порог слышимости имеет величину порядка 10^{-12} Вт/м².

Максимальная энергия, при которой звук вызывает болевые ощущения, называется **болевым порогом** и составляет 10^2 Вт/м².

Увеличение силы звука вызывает повышение его громкости, но ее возрастание происходит медленнее (ступенчато), чем увеличение звукового давления. Так, увеличение интенсивности звука в 10 раз субъективно воспринимается как звук, в 2 раза более громкий.

Так как ощущение громкости не поддается точному количественному измерению, то оценку интенсивности слухового ощущения можно произвести на основе психофизического закона Вебера – Фехнера: изменение интенсивности ощущения пропорционально логарифму отношения энергий раздражителей, вызывающих эти ощущения.

В применении к звуку закон Вебера – Фехнера имеет вид: **уровень интенсивности (силы) звука** пропорционален логарифму отношения интенсивности данного звука к порогу слышимости $L = k \cdot \lg \frac{I}{I_0}$

Основная единица измерения уровня интенсивности звука – Белл. Если в законе Вебера-Фехнера $k = 10$, то $L = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0}$ и в данном случае единица измерения – дециБелл (дБ).

Если в помещении работают несколько одинаковых установок, издающих звук интенсивностью I_1 , то интенсивность звука от всех установок

пропорциональна их количеству:

$$I = \sum_{i=1}^n I_i = N \cdot I_1$$

Используя закон Вебера-Фехнера, получим

$$\begin{aligned} L_N &= 10 \cdot \lg \frac{I_N}{I_0} = 10 \cdot \lg \frac{N \cdot I_1}{I_0} = 10 \cdot \lg \left(\frac{I_1}{I_0} \cdot N \right) = 10 \cdot \left(\lg \frac{I_1}{I_0} + \lg N \right) = \\ &= 10 \cdot \lg \frac{I_1}{I_0} + 10 \cdot \lg N = L_0 + 10 \cdot \lg N \end{aligned}$$

Шум – любой нежелательный звук или совокупность беспорядочно сочетающихся звуков различной частоты и интенсивности, оказывающих неблагоприятное воздействие на организм, мешающий работе и отдыху.

Источниками шума могут быть: двигатели, насосы, компрессоры, пневматические инструменты и прочие установки, имеющие движущиеся детали. В быту источниками шума являются все электробытовые приборы (кухонные фильтры, овощерезки, стиральные машины, пылесосы, фены и др.).

По частотной характеристике шумы различают:

- низкочастотные (16 – 350 Гц);
- среднечастотные (350 – 800 Гц);
- высокочастотные (более 800 Гц).

Под воздействием шума в организме человека и животного появляются многообразные патологические изменения. Установлено, что утомляющее и повреждающее действие шума прямо пропорционально его высоте. Наиболее выраженные изменения в организме наблюдаются при частоте 4 кГц и близкой к ней области. Под воздействием шума возникают нарушения со стороны нервной системы – быстрая утомляемость, ослабление памяти, снижение внимания, потеря трудоспособности, повышение раздражительности и др.

Технические средства борьбы с шумом используются в 3-х направлениях:

- устранение причин возникновения шума или снижение его в источнике;
- ослабление шума на путях передачи;
- непосредственная защита человека или животного, испытывающего вредное воздействие шума.

Экспериментальная часть

1. Используя закон Вебера-Фехнера, рассчитайте уровень громкости шума в дБ, который соответствует болевому порогу.

2. Измерьте шумомером уровень шума от одной установки L_0 в дБ (для низких или высоких частот). Запишите данные в таблицу.

Микрофон, воспринимающий шум, следует располагать на высоте 1,5 м над уровнем пола (на высоте головы сидящего человека), направлен в сторону

источника и удален не менее чем на 0,5 м от человека, производящего измерения.

3. Определите уровень шума, когда в помещении будут включены сразу N таких установок.

Уровень шума одной установки $L_0, \text{ дБ}$	Количество установок N	$\lg N$	$10 \cdot \lg N$	Уровень шума работающих установок $L_N = L_0 + 10 \cdot \lg N$
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			

4. Постройте график зависимости уровня шума в помещении от количества установок (до 10).

5. Определите количество установок, которые будут создавать шум, соответствующий болевому порогу.

Сделайте вывод.

Громкость звука относится к _____ оценкам интенсивности (энергии) звука. Чем больше амплитуда колебаний частиц среды, тем громкость звука _____.

Громкость звука _____ при работе в помещении разного количества установок. Данная зависимость является _____, что подтверждается законом _____.

Вопросы для защиты работы:

1. Дайте определение звука с физической и физиологической точки зрения.
2. Назовите физические характеристики звука и единицы их измерения.
3. Перечислите субъективные характеристики звука. От каких физических характеристик они зависят? Укажите единицы их измерения.
4. Дайте определение и значение порога слышимости и болевого порога звукового ощущения.
5. Сформулируйте закон Вебера-Фехнера и запишите формулу. Укажите единицы измерения уровня интенсивности звука.
6. Дайте определение шума. Что является их источником?
7. Какой прибор используется для измерения шума? Как правильно проводить им измерения?
8. Какие изменения в организме происходят при длительном воздействии шума? Какие технические средства борьбы с шумом вы знаете?

Лабораторная работа № 5

Определение коэффициента динамической вязкости жидкости

Цель работы: научиться определять коэффициент вязкости жидкостей методом Стокса.

Оборудование: цилиндр с касторовым маслом, секундомер, линейка, свинцовые шарики, микрометр.

Краткая теория

Внутреннее трение (вязкость) – это свойство реальных жидкостей (или газов), благодаря которому выравнивается скорость движения различных слоев. Вязкость проявляется в том, что возникающее в жидкости движение после устранения причин, его вызывающих, постепенно прекращается.

По вязкости судят о качестве продуктов питания, например, сахара, сиропов, сока и т.д. В биологических системах вязкость оказывает влияние на протекание ряда процессов в живом организме (диффузия веществ, подвижность ионов). Численные значения коэффициентов динамической вязкости необходимы для расчетов трубопроводов, оросительных комплексов, систем внесения жидких удобрений, вентиляции и т.д.

Исходя из опыта, оказывается безразлично, тело движется относительно покоящейся жидкости или неподвижное тело обтекается движущейся жидкостью, поэтому в дальнейшем будем называть оба случая общим термином «обтекание тела». При обтекании тела жидкостью действуют силы трения, которые приводят к лобовому сопротивлению.

В отличие от силы сухого трения сила сопротивления в жидкости зависит не только от направления, но и от абсолютного значения скорости. При небольших скоростях движения тел разной формы сила сопротивления пропорциональна скорости $F_1 = k_1 \cdot v$, а при больших скоростях она пропорциональна уже квадрату скорости $F_2 = k_2 \cdot v^2$.

Кроме того, сила сопротивления в большой мере зависит от формы тела. На рисунке 8.1 показаны три тела (плоская шайба, шар и тело каплевидной формы) с одинаковыми площадями поперечного сечения. Если эти тела будут двигаться в жидкости с одинаковыми скоростями, то окажется, что на них будут действовать силы сопротивления различные по величине.

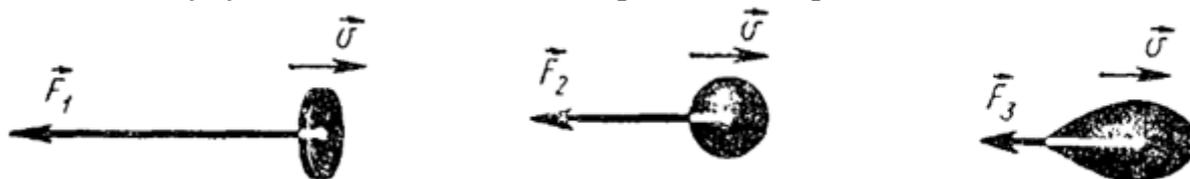


Рисунок 5.1 Силы сопротивления, действующие при обтекании тел разной формы

Большое значение для движения рыб имеет форма их тела. Она очень разнообразна: веретеновидная (тунец), стреловидная (щука), змеевидная (угорь), дисковидная (рыба-луна), уплощенная (камбала). Но какой бы ни была эта форма, она чаще всего обтекаемая, потому что это уменьшает силу сопротивления среды.

Форма тела птиц – обтекаемая. Так же, многие птицы во время далёких полётов собираются в цепочку или косяк. В последнем случае более сильная птица летит впереди. Её тело рассекает воздух. Остальные птицы летят таким образом, чтобы сохранить острый угол косяка. Они поддерживают правильное расположение относительно ведущей птицы инстинктивно, т.к. оно соответствует минимуму сил сопротивления. Мелкие рыбки ходят стайкой, похожей по форме на каплю.

Изменение сопротивления при движении в разных направлениях наблюдается у многих водоплавающих. Например, плавательные перепонки на лапках уток или гусей используются подобно веслам. При движении лапок назад утка распрямленной перепонкой загребает воду, а при движении вперед утка сдвигает пальцы – сопротивление уменьшается, в результате чего утка продвигается вперед.

Уменьшение сопротивления с помощью длинномолекулярных полимеров или суспензий – хорошо известное явление. Было обнаружено, что некоторые естественные смазывающие вещества уменьшают сопротивление трения. Выделяемая клетками эпидермиса у рыбы слизь снижает сопротивление воды до 60% и способствует движению рыбы. Концентрация слизи, выделяемая клетками эпидермиса, приблизительно 2000 частиц на 1 м³ воды; слизь очень медленно диффундирует в воде.

Эксперимент

Метод Стокса основан на измерении скорости шарика, равномерно падающего в вязкой среде (ламинарное движение).

На шарик, свободно падающий в вязкой среде, действуют силы (рис. 5.2):

1. Сила тяжести шарика $F_m = m \cdot g$; масса тела $m = \rho \cdot V$; объем сферы

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$$

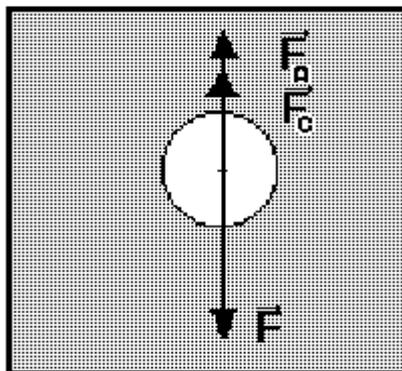


Рисунок 5.2 Силы, действующие на шарик, равномерно движущийся вниз в жидкой среде

После подстановки получим для силы тяжести

$$F_m = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \rho_2 \cdot r^3 \cdot g$$

где: m – масса шарика, g – ускорение силы тяжести, ρ_2 – плотность материала шарика, V – объем шарика, r – радиус;

2) выталкивающая сила Архимеда:

$$F_A = \rho \cdot g \cdot V ; \quad F_A = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \rho_1 \cdot r^3 \cdot g ,$$

где F_A —равна весу вытесненной шариком жидкости,

V - объем вытесненной шариком жидкости, ρ_1 — плотность жидкости.

3) Сила сопротивления движению, обусловленная силами внутреннего трения между слоями жидкости, которая для малых скоростей движения небольших шарообразных тел, как показал Стокс, равна:

$$F_c = 6\pi \cdot r \cdot \eta \cdot v$$

где v - скорость движения шарика.

Вначале шарик движется ускоренно, но по мере увеличения скорости падения шарика сила сопротивления F_c будет тоже возрастать, и наступит такой момент, когда движение шарика станет равномерным.

Движение шарика теперь будет описываться уравнением (по 1 закону Ньютона):

$$\vec{F}_m + \vec{F}_A + \vec{F}_c = 0$$

Значит, сила тяжести уравновесится выталкивающей силой и силой сопротивления:

$$F_m = F_A + F_c$$

Подставляя выражения для силы тяжести, Архимеда и Стокса, получим:

$$\frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot \rho_2 \cdot g = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot \rho_1 \cdot g + 6\pi \cdot r \cdot \eta \cdot v$$

Из последнего уравнения определим коэффициент вязкости:

$$\eta = \frac{2 \cdot r^2 \cdot g \cdot (\rho_2 - \rho_1)}{9 \cdot v} = \frac{2 \cdot r^2 \cdot g \cdot (\rho_2 - \rho_1) \cdot t}{9 \cdot h} \quad (5.1)$$

Выполнение работы

Задание 1. Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса

1. Плотность касторового масла $\rho_1 = 960 \text{ кг/м}^3$

Плотность свинца $\rho_2 = 11340 \text{ кг/м}^3$

Вычислите константу опыта по формуле

$$c = \frac{2 \cdot g \cdot (\rho_2 - \rho_1)}{9} =$$

2. Заполните таблицу 1:

Таблица 1

N	Диаметр шарика	Радиус шарика	Путь, пройденный шариком	Время падения шарика
	d, м	r, м	h, м	t, с
1				
2				
3				
4				
5				

3. Вычислите коэффициент динамической вязкости жидкости и заполните таблицу 2:

Таблица 2

№ опыта	1	2	3	4	5
Коэффициент динамической вязкости жидкости, η , Па·с					
Среднее арифметическое коэффициента динамической вязкости жидкости, $\langle \eta \rangle$, Па·с					
Абсолютная ошибка измерения, $\Delta \eta = \langle \eta \rangle - \eta $, Па·с					
Квадрат абсолютной ошибки, $\Delta \eta^2$					
Сумма квадратов абсолютной ошибки, $\sum \Delta \eta^2$					
Среднее квадратичное отклонение, $\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta \eta^2}{5-1}}$					
Средняя квадратичная ошибка средней величины, $m = \frac{\sigma}{\sqrt{5}}$					
Доверительная вероятность, P					
Коэффициент Стьюдента, t					
Погрешность с заданной вероятностью, $\eta_{погр} = m \cdot t$					
Истинное значение коэффициента трения, $\eta_{ист} = \langle \eta \rangle \pm \eta_{погр}$					

4. Рассчитайте минимальное и максимальное значение динамической вязкости масла: $\eta_{\min} = \langle \eta \rangle - \eta_{погр}$ и $\eta_{\max} = \langle \eta \rangle + \eta_{погр}$

5. Измерьте температуру касторового масла. По таблице 3 определите значение коэффициента динамической вязкости касторового масла при данной температуре.

t = _____ °C,

Таблица 3

t, °C	10	11	12	13	14	15	16	17
η , Па·с	2,418	2,25	2,05	1,85	1,70	1,514	1,42	1,30

t, °C	18	19	20	21	22	23	24	25
η , Па·с	1,18	1,08	0,950	0,91	0,85	0,78	0,72	0,621

$t, ^\circ\text{C}$	30	50	70
$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	0,451	0,129	0,049

6. Постройте график зависимости коэффициента динамической вязкости касторового масла от температуры (по данным таблицы 3). На этом же графике постройте значения η_{\min} и η_{\max} для данной температуры.

Задание 2. Определение коэффициента вязкости жидкости из зависимости времени падения от размеров шарика

1. Представим (8.1) в виде уравнения прямой линии $y = A + B \cdot x$

$$t = \frac{9}{2} \cdot \frac{h \cdot \eta}{(\rho_2 - \rho_1) \cdot g} \cdot \frac{1}{r^2} \quad (5.2)$$

где $y = t$, $x = \frac{1}{r^2}$, $B = \frac{9}{2} \cdot \frac{h \cdot \eta}{(\rho_2 - \rho_1) \cdot g}$

2. Заполните таблицу 4, используя данные таблицы 1.

Таблица 4

№ опыта	1	2	3	4	5
Радиус шарика, $r, \text{м}$					
$x = \frac{1}{r^2}$					
$y = t$,					

3. Постройте график зависимости времени движения шарика в масле от его размеров $x = \frac{1}{r^2}$. По графику определите угловой коэффициент В.

4. По значению коэффициента В из (5.2) рассчитайте среднее значение коэффициента вязкости жидкости

$$\eta = \frac{2B}{9} \cdot \frac{g \cdot (\rho_2 - \rho_1)}{h} \quad (5.3)$$

Сделайте вывод.

Зависимость коэффициента динамической вязкости жидкостей от температуры _____. Чем больше температура жидкости, тем коэффициент динамической вязкости _____.

Метод Стокса для определения коэффициента вязкости жидкости применяют при _____ движении _____ тел в жидкости.

Чем больше размеры шарика, тем _____ время его падения в жидкости.

Вопросы для защиты работы:

1. Почему возникают силы внутреннего трения? Дайте определение вязкости жидкости и газа. Сформулируйте, какую роль играет на практике вязкость

жидкостей.

2. Дайте определение коэффициента динамической вязкости. Укажите единицы его измерения.
3. К каким жидкостям относится касторовое масло (ньютоновским или неньютоновским)?
4. Назовите зависимость силы сопротивления от скорости обтекания тела.
5. Расскажите о зависимости силы сопротивления от формы обтекаемого тела.
6. Перечислите силы, действующие на падающий в вязкой среде шарик, и запишите формулы для их нахождения.
7. Расскажите метод Стокса для определения коэффициента вязкости жидкости. Влияет ли на результат опыта диаметр сосуда, в котором проводят опыт?
8. Решите задачу: Определить скорость всплывания жировых шариков диаметром 2 мкм в творогоизготовителе закрытого типа, если плотность жира 941 кг/м^3 , плотность молока 1032 кг/м^3 , динамическая вязкость молока $1800 \text{ мкПа} \cdot \text{с}$. (Предоставить решение задачи с пояснениями, чертеж выполнить обязательно)
9. Решите задачу: Вода течет по круглой гладкой трубе диаметром 5 см со средней по сечению скоростью $\langle v \rangle = 10 \frac{\text{см}}{\text{с}}$. Определите число Рейнольдса для потока жидкости в трубе и укажите характер течения жидкости (критическое значение числа Рейнольдса 0,5). Коэффициент вязкости воды принять $\eta = 0,073 \text{ Па} \cdot \text{с}$

Лабораторная работа № 6

Определение влажности воздуха

Цель работы: научиться определять относительную влажности воздуха психрометром Августа, вычислять абсолютную влажность воздуха.

Оборудование: психрометр Августа, справочные таблицы

Краткая теория

Парообразование - процесс перехода жидкости в газообразное состояние. Парообразование может происходить двумя путями:

- испарение (с поверхности жидкости при любой температуре);
- кипение (со всего объема жидкости при температуре кипения).

Пар – совокупность молекул, вылетающих из жидкости.

При испарении вырываются наиболее быстрые молекулы, средняя энергия оставшихся молекул уменьшается, уменьшая тем самым температуру жидкости.

Вследствие происходящего повсеместно в природе парообразования атмосферный воздух содержит водяной пар. Пар бывает насыщенным и ненасыщенным. **Динамическое** равновесие – состояние, при котором количество вылетающих из жидкости молекул равно количеству возвращающихся в нее обратно. **Насыщенный** пар - пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью. Концентрация молекул воды в нем и производимое им давление будут максимальными, но они будут зависеть от температуры. Чем выше температура, тем больше концентрация молекул и выше давление пара.

Таблица 6.1. Зависимость максимальной упругости водяного пара и его плотности от температуры.

t , °C	E мм.рт.ст.	ρ , г/м ³	t , °C	E мм.рт.ст.	ρ , г/м ³	t , °C	E мм.рт.ст.	ρ , г/м ³
0	4,579	4,84	10	9,209	9,4	20	17,535	17,3
1	4,9	5,2	11	9,844	10	21	18,65	18,3
2	5,294	5,6	12	10,518	10,7	22	19,827	19,4
3	5,7	6	13	11,231	11,4	23	21,068	20,6
4	6,101	6,4	14	11,987	12,1	24	22,377	21,8
5	6,5	6,8	15	12,78	12,8	25	23,756	23
6	7,013	7,3	16	13,634	13,6	26	25,209	24,4
7	7,5	7,8	17	14,53	14,5	27	26,739	25,8
8	8,045	8,3	18	15,477	15,4	28	28,349	27,2
9	8,6	8,8	19	16,477	16,3	29	30,043	28,7

Содержание водяного пара в воздухе характеризуется абсолютной и относительной влажностью.

Абсолютная влажность воздуха - физическая величина, численно равная массе водяного пара, содержащегося в единице объема воздуха при

данной температуре. Обычно абсолютную влажность выражают в г/м³ или мм рт. ст. Так как плотность пара и его давления пропорциональны абсолютной температуре, то часто абсолютную влажность называют *упругостью* (парциальным давлением).

Ощущение сухости или сырости воздуха связано не с абсолютной влажностью, а с относительной.

Относительная влажность воздуха - отношение абсолютной влажности к ее максимальному значению при данной температуре. Относительная влажность выражается в процентах.

$$f = \frac{\rho}{\rho_H} \cdot 100\% \quad (6.1)$$

Уравнение Менделеева-Клапейрона имеет вид:

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

где p – давление газа; V – объем газа;
 m – масса газа; M – молярная масса газа;
 R – универсальная газовая постоянная;
 T – температура газа.

Значит, между плотностью и давлением газа существует зависимость $\rho = \frac{m}{V} = \frac{p \cdot M}{R \cdot T}$, и относительную влажность воздуха можно определить по формуле:

$$f = \frac{p}{p_H} \cdot 100\% = \frac{e}{E} \cdot 100\% \quad (6.2)$$

где e – давление пара при данной температуре (абсолютная влажность воздуха);
 E – упругость насыщенного пара.

Точка росы – температура, при которой находящиеся в воздухе водяные пары становятся насыщенными, т.е. если понижать температуру воздуха, то при данной температуре пар станет насыщенным, а при дальнейшем понижении температуры выпадет роса.

Дефицит влажности - разность между упругостью насыщенного водяного пара E и упругостью водяного пара, фактически имеющегося в воздухе при той же температуре:

$$D = E - e \quad (6.3)$$

Влажность воздуха может быть определена многими способами.

Сущность психрометрического определения влажности воздуха

Психрометр представляет собой два одинаковых термометра. Один из термометров является влажным. Шарик этого термометра обтянут слоем батиста, который, как фитиль, погружен в стаканчик с дистиллированной водой. Уровень воды должен отстоять на 3 см от шарика термометра.



Рисунок 6.1 Влажный и сухой термометры психрометра Августа

Если воздух содержит ненасыщенные пары, то показания влажного термометра t_B всегда будут ниже показаний сухого термометра t_C , так как вода, испаряясь, будет понижать его температуру. Разность температур ($t_C - t_B$) подчиняется строгой закономерности, на основании которой составлены психрометрические таблицы, по которым, зная t_C и t_B , можно найти все параметры влажности воздуха.

Таблица 6.2. Психрометрическая таблица

Показания сухого термометра, °C	Разность показаний сухого и влажного термометров, °C										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность, %										
0	100	81	63	45	28	11	-	-	-	-	-
1	100	82	63	45	28	11	-	-	-	-	-
2	100	84	68	51	35	20	-	-	-	-	-
3	100	84	69	54	39	24	10	-	-	-	-
4	100	85	70	56	42	28	14	-	-	-	-
5	100	86	72	58	45	32	19	6	-	-	-
6	100	86	73	60	47	35	23	10	-	-	-
7	100	87	74	61	49	37	26	14	-	-	-
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7	-	-
9	100	88	76	64	53	42	31	21	11	-	-
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5	-
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8	-
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	-
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41	36
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

Выполнение работы

1. Заполните таблицу:

Показания термометров		Упругость насыщенного пара	Относительная влажность воздуха
$t_c, ^\circ C$	$t_B, ^\circ C$	E , мм.рт. ст.	f , %

2. Вычислите абсолютную влажность воздуха по формуле:

$$e = \frac{f \cdot E}{100} =$$

мм.рт. ст.

3. По таблице 6.1 определите точку росы:

$$\tau =$$

$^\circ C$

4. Вычислите дефицит влажности по формуле:

$$D = E - e =$$

мм.рт. ст.

Сделайте вывод.

Если в воздухе находятся ненасыщенные пары, то показания сухого и влажного термометров психрометра Августа _____. Показания сухого термометра _____, чем влажного.

Это означает, что процесс _____, происходящий с молекулами воды, преобладает над процессом _____.

Если в воздухе находятся насыщенные пары воды, то показания термометров психрометра Августа _____, потому что процессы _____.

Сегодня в воздухе находятся _____ пары воды.

Вопросы для защиты работы:

1. Дайте определение парообразования. Назовите различия между кипением и испарением.

2. В два цилиндрических сосуда налили равное количество воды, находящейся при комнатной температуре (см. рисунок). В результате наблюдений было отмечено, что вода во втором сосуде испарилась быстрее.

300 мл



1

300 мл

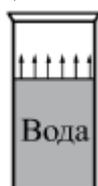


2

Выберите из предложенного перечня утверждения, которые соответствуют результатам проведённых экспериментальных наблюдений. Укажите их номера.

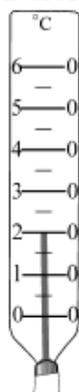
- 1) Процесс испарения воды происходит при комнатной температуре.
- 2) Скорость испарения жидкости увеличивается с увеличением её температуры.

- 3) Скорость испарения жидкости зависит от рода жидкости.
 - 4) При наличии ветра испарение воды происходит быстрее.
 - 5) Скорость испарения жидкости зависит от площади её поверхности.
3. В два одинаковых цилиндрических сосуда налили равное количество воды и эфира, находящихся при комнатной температуре (см. рисунок). В результате наблюдений было отмечено, что эфир испарился в несколько раз быстрее, чем вода.



Выберите из предложенного перечня утверждения, которые соответствуют результатам проведённых экспериментальных наблюдений. Укажите их номера.

- 1) Процесс испарения воды можно наблюдать при комнатной температуре.
- 2) Скорость испарения жидкости увеличивается с увеличением её температуры.
- 3) Скорость испарения жидкости зависит от площади её поверхности.
- 4) При наличии ветра испарение воды происходит быстрее.
- 5) Скорость испарения жидкости зависит от рода жидкости.
4. Дайте определение насыщенного пара, сформулируйте его свойства.
5. Дайте определение абсолютной влажности воздуха. Укажите единицы ее измерения.
6. Дайте определение относительной влажности воздуха. Укажите формулу для вычисления и единицы измерения.
7. Дайте определение точки росы. Укажите единицы измерения.
8. Назовите прибор, используемый для измерения влажности воздуха, и расскажите принцип его работы. Укажите, какую роль играет влажность воздуха для живых организмов.
9. На рисунке изображены два термометра, входящие в состав психрометра, установленного в некотором помещении. Объём помещения 80 м^3 .



Влажный термометр



Сухой термометр

Плотность насыщенных паров воды, г/м ³	Температура сухого термометра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометров, °С			
		3	4	5	6
9,4	10	65	54	44	34
10,0	11	66	56	46	36
10,7	12	68	57	48	38
11,4	13	69	59	49	40
12,1	14	70	60	51	42
12,8	15	71	62	52	44
13,6	16	71	62	54	45
14,5	17	72	64	55	47
15,4	18	73	65	56	48
16,3	19	74	65	58	50
17,3	20	74	66	59	51
18,3	21	75	67	60	52
19,4	22	76	68	61	54
20,6	23	76	69	61	55
21,8	24	77	69	62	56
23,0	25	77	70	63	57

Используя психрометрическую таблицу, из предложенного перечня утверждений выберите правильные. Укажите их номера.

- 1) Относительная влажность воздуха в этом помещении равна 59 %.
- 2) Если температура воздуха в этом помещении понизится на 1 градус, то показания влажного термометра не изменятся.
- 3) Чтобы в этом помещении выпала роса, температура сухого термометра должна быть равна 17 °С.
- 4) Масса водяного пара в этом помещении равна 1,84 кг.
- 5) Плотность водяного пара в воздухе в этом помещении равна $\approx 14,5$ г/м³.

Лабораторная работа № 7

Построение картин электрических полей

Цель работы: научиться строить эквипотенциальные линии и линии напряженности однородного и неоднородного электрических полей.

Оборудование: таблицы значений координат точек, имеющих одинаковые заданные потенциалы.

Краткая теория

Пусть точечный положительный заряд q' перемещается на расстояние dl в электростатическом поле под действием силы F , составляющей угол α с направлением движения.

При этом производится элементарная работа

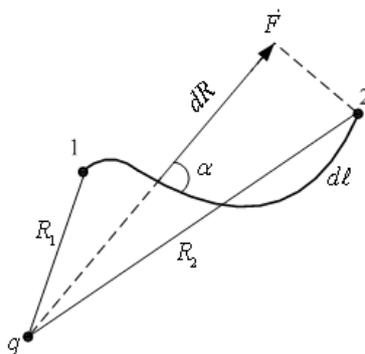
$$dA = F \cdot dl \cdot \cos \alpha = E \cdot q' \cdot dl \cdot \cos \alpha = E \cdot q' \cdot dR$$


Рисунок 7.1 Перемещение электрического заряда в электрическом поле.

В частном случае, когда поле создано точечным зарядом q , а перемещение заряда q' происходит между точками поля, находящимися на расстояниях R_1 и R_2 от него, то работа равна

$$\begin{aligned}
 A &= \int_{R_1}^{R_2} E \cdot q' \cdot dR = \int_{R_1}^{R_2} \frac{k \cdot q}{R^2} \cdot q' \cdot dR = k \cdot q \cdot q' \cdot \int_{R_1}^{R_2} \frac{dR}{R^2} = k \cdot q \cdot q' \cdot \frac{1}{R} \Big|_{R_1}^{R_2} = \\
 &= k \cdot q \cdot q' \cdot \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right)
 \end{aligned} \tag{7.1}$$

Следовательно, работа не зависит от формы пути, по которому происходит движение заряда q' , а зависит только от начального и конечного его положений.

Работа считается положительной, если совершается силами поля. Если движение заряда происходит по замкнутому контуру (конечная точка совпадает с начальной), то работа равна 0.

Используя определение потенциала электрического поля $\varphi = \frac{W_{nom}}{q'}$, для потенциальной энергии заряда получим $W_{nom} = q' \cdot \varphi$.

При перемещении пробного заряда из точки 1 с потенциалом φ_1 в точку 2 с потенциалом φ_2 совершается работа

$$A_{12} = -\Delta W = -(W_2 - W_1) = -(\varphi_2 \cdot q' - \varphi_1 \cdot q') = -q' \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) = -q' \cdot \Delta \varphi \tag{7.2}$$

где $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{A}{q}$ – разность электрических потенциалов двух точек поля, измеряемая работой поля при перемещении единичного пробного заряда из одной точки поля в другую.

Эквипотенциальная поверхность - геометрическое место точек поля, обладающих равными потенциалами. Работа по перемещению заряда по эквипотенциальной поверхности равна 0. Силовые линии всегда нормальны к эквипотенциальным поверхностям.

По определению механической работы она равна произведению силы, совершающей работу на перемещение тела:

$$A_{12} = F \cdot \Delta x = E \cdot q' \cdot \Delta x \quad (7.3)$$

Приравняем правые части уравнений (7.2) и (7.3):

$$-q' \cdot \Delta\varphi = E \cdot q' \cdot \Delta x$$

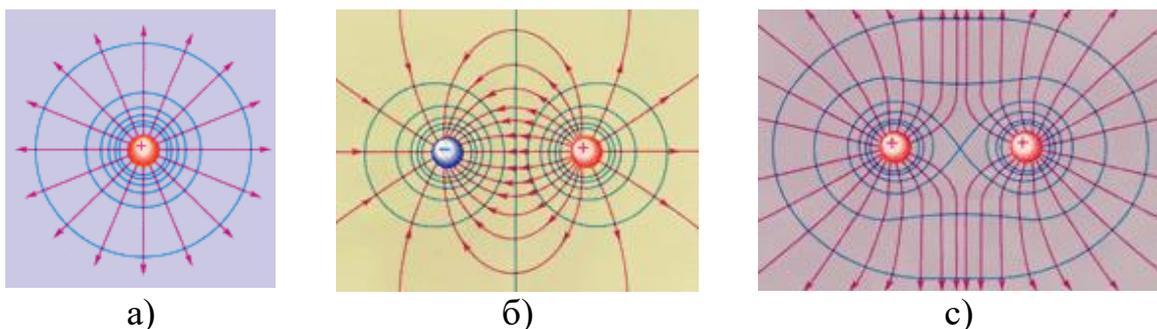
Отсюда

$$E = - \frac{\Delta\varphi}{\Delta x} \quad (7.4)$$

Знак "минус" означает, что напряженность электрического поля направлена в сторону убывания потенциала. Согласно формуле (7.4) единица напряженности в СИ-вольт на метр (В/м).

Из формулы (7.4) видно, что каждая точка поля одновременно характеризуется как напряженностью, так и потенциалом. Напряженность представляет собой вектор, экспериментальное определение которого является трудно осуществимой задачей. Потенциал является скаляром и ее легко определить. Поэтому изучение электрического поля, созданного заряженными телами, проводят не путем нахождения напряженности в различных точках поля, а определением напряжения, равного разности потенциалов в этих точках. При этом установлено, что электрическое поле как в проводящей среде, так и в диэлектрике при одинаковой форме электродов имеет аналогичный характер. Но в проводящей среде поле определяется гораздо проще.

Электрическое поле в зависимости от вида электродов и их расположения может иметь весьма разнообразную форму (рисунок 7.2).



а)

б)

в)

Рисунок 7.2 Картины электрических полей

а) поле создано положительным точечным зарядом;

б) поле создано положительным и отрицательными точечными зарядами;

в) поле создано положительными точечными зарядами.

Во внешнем электрическом поле диэлектрик поляризуется – на противоположных поверхностях диэлектрика образуются связанные заряды, которые создают свое поле, напряженность которого направлена противоположно напряженности внешнего поля. Это приводит к уменьшению напряженности электрического поля внутри диэлектрика.

Относительная диэлектрическая проницаемость среды - физическая величина, показывающая, во сколько раз электрическое поле в диэлектрике меньше, чем в вакууме.

$$\varepsilon = \frac{E}{E_d} \quad (7.5)$$

При переходе электрического поля из одной диэлектрической среды в другую с разными относительными диэлектрическими проницаемостями, напряженность электрического поля изменяется скачком.

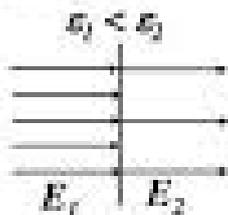


Рисунок 7.3 Изменение картины электрического поля в диэлектрике

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$$

$$E_1 = E_2 \cdot \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$$

Поэтому картины электрических полей, созданных одним и тем же заряженным телом в разных средах (с разной диэлектрической проницаемостью), отличаются количеством силовых линий.

В клетках и тканях человека, животных и растений имеются электрические напряжения, которые получили название биоэлектрических потенциалов (биопотенциалов). Возникновение биопотенциалов происходит за счет диффузии ионов калия, натрия, водорода, хлора, кальция и др., т.е. связано непосредственно с процессами обмена веществ.

В клинической практике биопотенциалы используют как диагностический фактор, например, при определении состояния сердечной деятельности (электрокардиография).

Задание 1. Построение картины линий однородного электростатического поля.

1. Определены координаты точек, имеющих заданные потенциалы:

φ, В	2	8	14
(x ₁ ;y ₁)	(9; 0)	(6; 0)	(3; 0)
(x ₂ ;y ₂)	(9; 5)	(6; 6)	(3; 5)
(x ₃ ;y ₃)	(9; 10)	(6; 9)	(3; 10)

2. Нанесите на подготовленную координатную плоскость измеренные точки.
3. Соедините точки одинакового потенциала плавной линией. На картине поля укажите значение потенциала данной линии.
4. На картине исследуемого поля покажите несколько силовых линий.
5. Рассчитайте значение напряженности электростатического поля по формуле $E = -\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\Delta x}$.

Задание 2. Построение картины линий неоднородного электростатического поля.

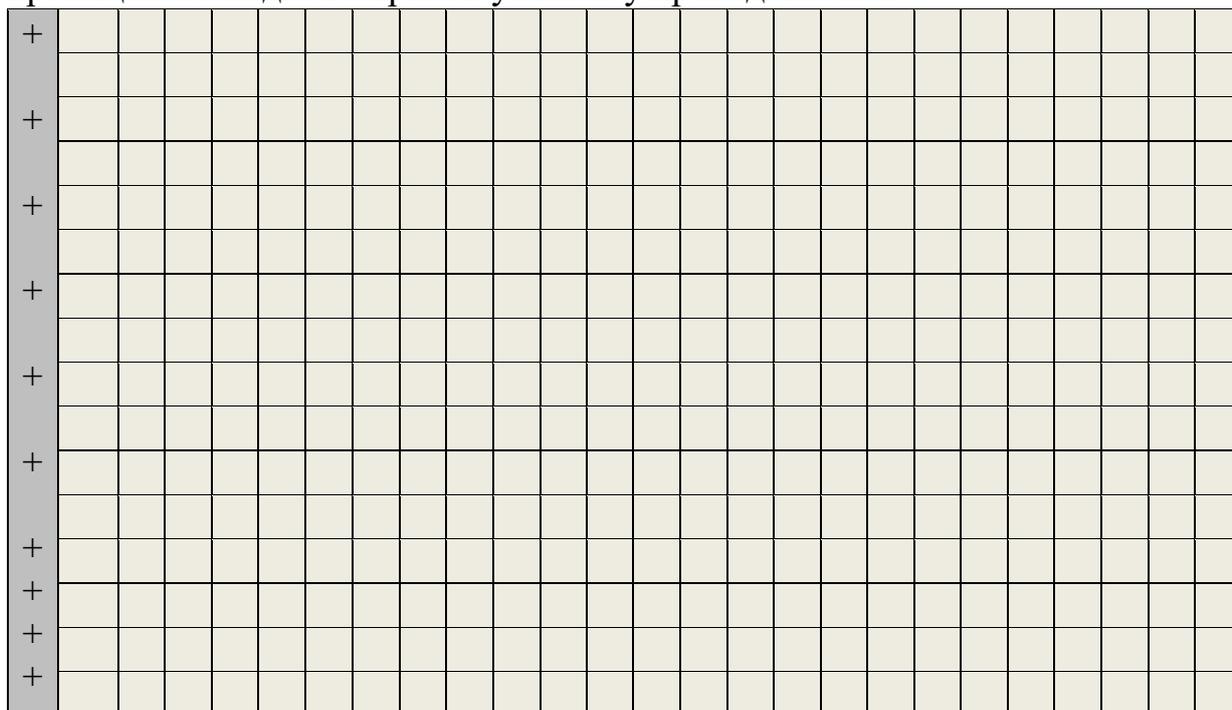
1. Определены координаты точек, имеющих заданные потенциалы:

$\varphi, В$	6	10	16
(x ₁ ;y ₁)	(2; 0)	(0; 0)	(-3; 0)
(x ₂ ;y ₂)	(2; 1)	(1; 3)	(-2,5; 2)
(x ₃ ;y ₃)	(2,5; 2)	(2; 4)	(-2; 4)
(x ₄ ;y ₄)	(3; 2,5)	(3,5; 4,5)	(-1; 5,5)
(x ₅ ;y ₅)	(5;3)	(5; 5)	(1; 8)
(x ₆ ;y ₆)	(6,5; 2,5)	(7; 4,5)	(3; 8,5)
(x ₇ ;y ₇)	(7,5; 1,5)	(8; 4)	(5; 9)
(x ₈ ;y ₈)	(8; 0)	(9; 3)	(7; 8,5)
(x ₉ ;y ₉)	(7,5; -1,5)	(9,5; 1,5)	(9; 7)
(x ₁₀ ;y ₁₀)	(6,5; -2,5)	(10; 0)	(11; 5,5)
(x ₁₁ ;y ₁₁)	(5; -3)	(9,5; -2)	(12; 4)
(x ₁₂ ;y ₁₂)	(3,5; -2,5)	(9; -3)	(12,5; 2,5)
(x ₁₃ ;y ₁₃)	(2,5; -2)	(8; -4)	(13; 0)
(x ₁₄ ;y ₁₄)	-	(7; -4,5)	(-2,5; -2)
(x ₁₅ ;y ₁₅)	-	(5; -5)	(-2; -4)
(x ₁₆ ;y ₁₆)	-	(3; -4,5)	(-1; -5,5)
(x ₁₇ ;y ₁₇)	-	(1,5; -3,5)	(1; -8)
(x ₁₈ ;y ₁₈)	-	(0,5; -2,5)	(3; -8,5)
(x ₁₉ ;y ₁₉)	-	-	(5; -9)
(x ₂₀ ;y ₂₀)	-	-	(7; -8,5)
(x ₂₁ ;y ₂₁)	-	-	(9; -7)
(x ₂₂ ;y ₂₂)	-	-	(11; -5,5)
(x ₂₃ ;y ₂₃)	-	-	(12; -4)
(x ₂₄ ;y ₂₄)	-	-	(12,5; -2,5)

2. Нанесите на подготовленную координатную плоскость измеренные точки.
3. Соедините точки одинакового потенциала плавной линией. На картине поля укажите значение потенциала данной линии.
4. Изобразите положение электрода (5; 0). Определите знак заряда электрода.
5. На картине исследуемого поля покажите 7 силовых линий.

Задание 3. Построение картины однородного электростатического поля, проходящего через 2 диэлектрика.

1. Дорисуйте картину однородного электрического поля, проходящего через 2 диэлектрика, которое начинается в вакууме. Данные о диэлектрической проницаемости диэлектриков узнайте у преподавателя.



Сделайте вывод.

Электростатическое поле можно изобразить _____ способами.

Линии напряженности (силовые) _____ направление, а эквипотенциальные _____ направление.

На картине электрического поля силовые и эквипотенциальные линии пересекаются под углом _____ градусов.

Если силовые линии параллельны и изображены с одинаковой густотой, то это поле _____.

Если силовые линии не параллельны, то электрическое поле _____.

Если электрическое поле проходит через диэлектрики с разной диэлектрической проницаемостью, то количество силовых линий _____.

Вопросы для защиты работы:

1. Дайте определение электрического (электростатического) поля. Что создает электрическое поле?
2. Дайте определение характеристик электрического поля. Запишите формулы для их вычислений. Назовите основные единицы измерения.
3. Назовите способы изображения электрического поля. Дайте определение силовой линии, эквипотенциальной линии. Как проводят эквипотенциальные и силовые линии на картине исследуемого поля? Могут ли силовые линии электростатического поля: а) касаться друг друга; б) пересекаться друг с другом?

4. На что оказывает действие электрическое поле? Запишите формулу для вычисления силы, действующей на заряд в электростатическом поле.

5. Учитель на уроке, используя палочку, кусок ткани и электроскоп, последовательно провёл опыты по электризации. Условия проведения опытов и показания электроскопа представлены в таблице.



Опыт 1

Палочку в исходном состоянии поднесли к электроскопу



Опыт 2

Палочку потёрли о ткань и поднесли, не дотрагиваясь, к электроскопу



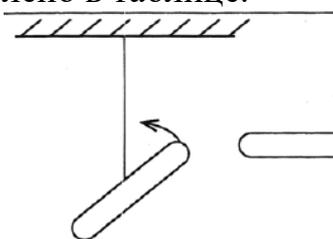
Опыт 3

Палочку дополнительно потёрли о ткань и поднесли, не дотрагиваясь, к электроскопу

Выберите из предложенного перечня утверждения, которые соответствуют результатам проведённых экспериментальных наблюдений. Укажите их номера.

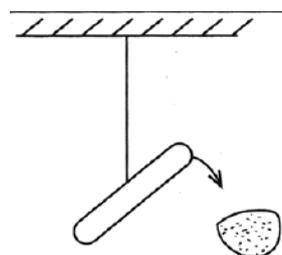
- 1) Палочка электризуется при трении о ткань.
- 2) При трении палочка и ткань приобретают равные по величине заряды.
- 3) При трении палочка и ткань приобретают разные по знаку заряды.
- 4) Электризация связана с перемещением электронов с одного тела на другое.
- 5) Угол расхождения лепестков электроскопа зависит от степени наэлектризованности палочки.

6. Учитель на уроке, используя две одинаковые палочки и кусок ткани, последовательно провёл опыты по электризации. Описание действий учителя представлено в таблице.



Опыт 1

После трения палочек о ткань наблюдается взаимное отталкивание палочек



Опыт 2

После трения палочки о ткань наблюдается взаимное притяжение между палочкой и тканью

Какие утверждения соответствуют результатам проведённых экспериментальных наблюдений? Укажите их номера.

- 1) И палочка, и ткань электризуются при трении.
- 2) При трении палочка и ткань приобретают равные по величине заряды.
- 3) Палочка приобретает отрицательный заряд.
- 4) При трении палочка и ткань приобретают разные по знаку заряды.
- 5) Электризация связана с перемещением электронов с одного тела на другое.

Лабораторная работа № 8

Проверка правил Кирхгофа

Цель работы: научиться применять законы Ома для определения электрического сопротивления элементов цепи постоянного тока, изучить зависимость силы постоянного тока в цепи от внешнего сопротивления, проверить правила Кирхгофа.

Оборудование: установка для проверки правил Кирхгофа.

Краткая теория

Электрическая цепь - это совокупность устройств, соединенных определенным образом, которые обеспечивают путь для протекания **электрического** тока. **Элементами** электрической цепи являются: источник тока, нагрузка и проводники.

Электрическая цепь делится на внутреннюю и внешнюю части. К внутренней части электрической цепи относится сам источник электрической энергии. Во внешнюю часть цепи входят соединительные провода, потребители, рубильники, выключатели, электроизмерительные приборы, т. е. все то, что присоединено к зажимам источника электрической энергии.

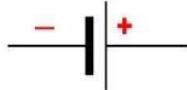
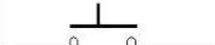
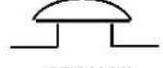
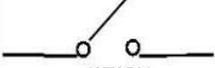
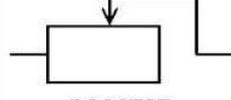
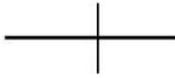
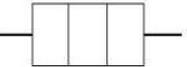
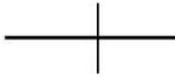
Электрический ток может протекать только по замкнутой электрической цепи. Разрыв цепи в любом месте вызывает прекращение электрического тока.

Элементы электрической цепи, обладающие электрическим сопротивлением и называемые резисторами, характеризуются зависимостью напряжения на зажимах элемента от тока в нем или зависимостью тока в элементе от напряжения на его зажимах.

При анализе электрических схем пользуются следующими параметрами схем:

- **ветвь** — участок электрической цепи, вдоль которого протекает один и тот же электрический ток;
- **узел** — место соединения ветвей электрической цепи. Обычно место, где соединены две ветви, называют не узлом, а соединением (или устранимым узлом), а узел соединяет не менее трех ветвей;
- **контур** — последовательность ветвей электрической цепи, образующая замкнутый путь, в которой один из узлов одновременно является началом и концом пути, а остальные встречаются только один раз.

Условное обозначение элементов электрической цепи

источники тока	потребители	управляющие элементы	провода
 гальванический элемент	 лампочка	 кнопка	 соединение проводов
 батарея элементов	 звонок	 ключ	 клеммы
 батарея элементов	 резистор	 реостат	 пересечение проводов
 батарея элементов	 нагревательный элемент	 предохранитель	 пересечение проводов

Амперметр — прибор для измерения силы тока в амперах. В электрическую цепь амперметр **включается последовательно** с тем участком электрической цепи, силу тока в котором измеряют. Поэтому, чем ниже собственное сопротивление амперметра (в идеале — 0), тем меньше будет влияние прибора на исследуемый объект, и тем выше будет точность измерения. Для увеличения предела измерений амперметр снабжается шунтом, подключаемым параллельно амперметру.

Вольтметр — измерительный прибор для определения напряжения или ЭДС в электрических цепях. Вольтметр подключается **параллельно** нагрузке или источнику электрической энергии. Идеальный вольтметр должен обладать бесконечно большим внутренним сопротивлением. Поэтому, чем выше собственное сопротивление реального вольтметра, тем меньше влияния оказывает прибор на измеряемый объект и, следовательно, тем выше точность измерения.

Внешние сопротивления рассчитываются, исходя из закона Ома для участка цепи

$$I = \frac{U}{R}; \quad (8.1)$$

отсюда

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

Внутренние сопротивления источников тока рассчитываются, исходя из закона Ома для полной цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \quad (8.2)$$

отсюда

$$r = \frac{\varepsilon - I \cdot R}{I} = \frac{\varepsilon - U}{I}$$

Если электрические цепи сложные, со множеством разветвлений, то используя только законы Ома очень сложно рассчитывать необходимые параметры. Упростить задачу можно, если использовать еще и правила Кирхгофа.

Первое правило Кирхгофа: алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю.

$$\sum_{i=1}^n I_i = I_1 + I_2 + \dots + I_n = 0 \quad (8.3)$$

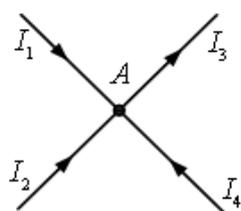
Второе правило Кирхгофа: в любом замкнутом контуре, выбранном в разветвленной цепи, алгебраическая сумма произведений сил токов на сопротивления участков контура равна алгебраической сумме ЭДС, входящих в этот контур.

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{k=1}^n \varepsilon_k \quad (8.4)$$

Чтобы расписать эту сумму, нужно учитывать правило знаков слагаемых. Для этого выбирают направление обхода контура (обычно по часовой стрелке).

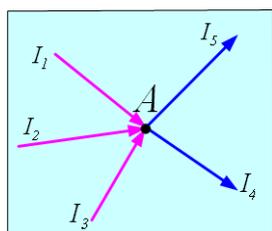
Если направление обхода и направление тока совпадают, то произведение силы тока на сопротивление берется со знаком «+», в противном случае – со знаком «-».

Если при обходе контура внутри источника идем от «-» к «+», то ЭДС берется со знаком «+», а в противном случае – со знаком «-».



Пример 1.

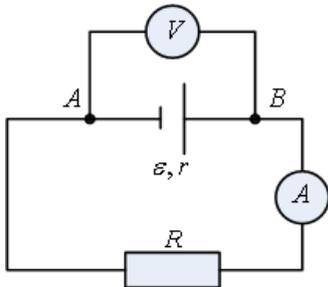
При применении первого правила Кирхгофа для узла А получим уравнение $I_1 + I_2 - I_3 + I_4 = 0$



Задание 1.

Примените первое правило Кирхгофа для данного узла А.

За направление тока принимается направление движения положительных зарядов, следовательно, по данной цепи ток идет по часовой стрелке. Если выбранное направление обхода контура совпадает с направлением тока I , то произведение $I \cdot R$ берется со знаком плюс, и наоборот.



Пример 2.

Выберем направление обхода контура – по часовой стрелке. Следовательно, получим

$$U_\varepsilon = I_\varepsilon \cdot r > 0,$$

$$U_A = I_A \cdot R_A > 0,$$

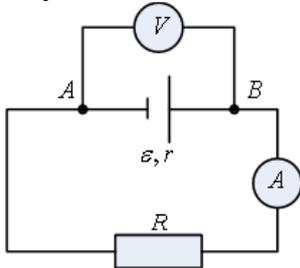
$$U_R = I_R \cdot R > 0.$$

Задание 2.

Выберем направление обхода контура – против часовой стрелки. Определите знак произведений силы тока на сопротивление участков цепи. Поставьте знак $>$ или $<$.

$$I_\varepsilon \cdot r < 0, \quad I_A \cdot R_A < 0, \quad I_R \cdot R < 0$$

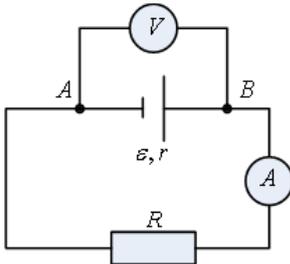
Если при обходе контура внутри источника тока приходится идти от отрицательного полюса к положительному (то есть если на пути обхода контура потенциал возрастает), то перед ε_i ставится знак плюс, в обратном случае ЭДС записывается со знаком минус.



Пример 3.

Выберем направление обхода контура – по часовой стрелке. Следовательно, получим

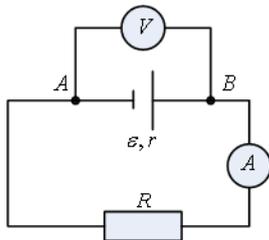
$$\varepsilon > 0.$$



Задание 3.

Выберем направление обхода контура – против часовой стрелки. Определите знак ЭДС источника тока. Поставьте знак $>$ или $<$.

$$\varepsilon < 0$$

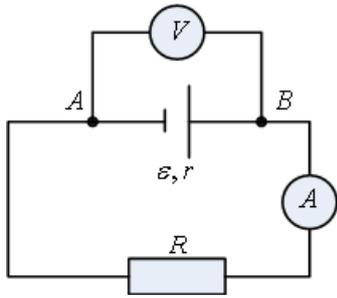


Пример 4.

Электрический ток по внешней части цепи идет по часовой стрелке. Выберем направление обхода контура – по часовой стрелке. Применяя второе правило Кирхгофа к данной цепи, получим уравнение

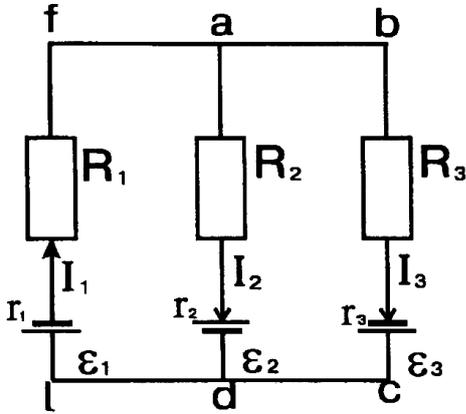
$$I_\varepsilon \cdot r + I_A \cdot R_A + I_R \cdot R = \varepsilon \text{ или}$$

$$U_\varepsilon + U_A + U_R = \varepsilon$$



Задание 4.

Выберем направление обхода контура – против часовой стрелки. Примените второе правило Кирхгофа к данной цепи.



Пример 5.

Первое правило Кирхгофа для узла «а» запишется

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0.$$

Для контура «abcd», в котором имеются два источника ЭДС ε_2 и ε_3 с внутренними сопротивлениями r_2 и r_3 , и два внешних сопротивления R_2 и R_3 , второе правило Кирхгофа запишется так (направление обхода – по часовой

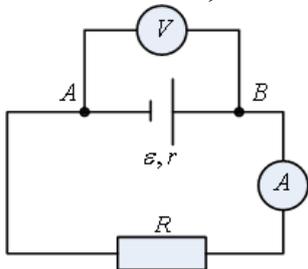
стрелке): $I_3 \cdot R_3 + I_3 \cdot r_3 - I_2 \cdot r_2 - I_2 \cdot R_2 = \varepsilon_3 + \varepsilon_2$.

Задание 5.

- Используя рисунок примера 5, примените первое правило Кирхгофа для узла «d».
- Используя рисунок примера 5, примените второе правило Кирхгофа для контуров: «fadlf» и «fbclf»

Задание 6. Изучение зависимости силы тока в цепи от внешнего сопротивления цепи.

Цепь питается от источника тока с ЭДС 4 В и внутренним сопротивлением 0,2 Ом.



Постройте график зависимости силы тока в цепи от внешнего сопротивления (изменяющегося от 0,2 Ом до 9 Ом).

- Запишите закон Ома для полной цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}.$$

- Подставьте значения ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока

$$I = \frac{4}{R + 0,2}.$$

- Рассчитайте ток короткого замыкания: $I_{кз} = \frac{\varepsilon}{r}$
- Результаты вычислений запишите в таблицу 1:

Таблица 1

$R, \text{ Ом}$	0,2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I, \text{ А}$										

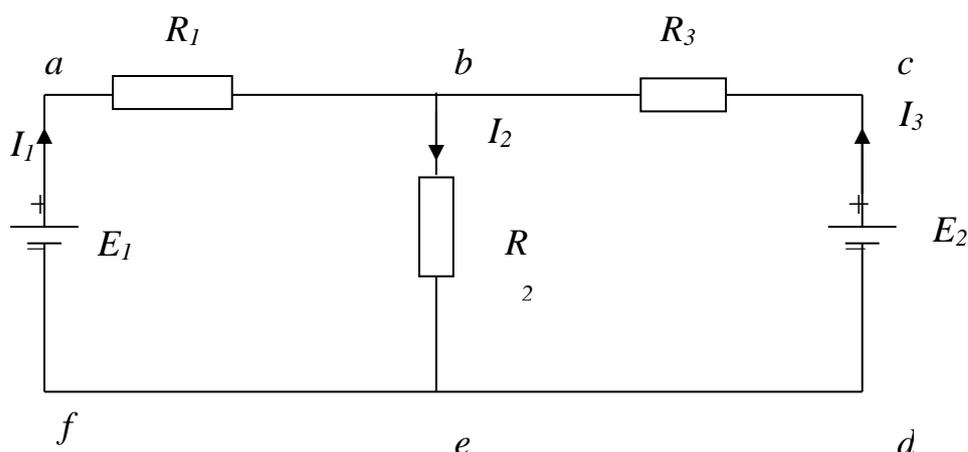
5. Постройте график зависимости силы тока в цепи от внешнего сопротивления.

Задание 7. Проверка правил Кирхгофа

1. Соберите электрическую цепь по рисунку.
2. Запишите в таблицу 2 данные измерений и вычислений.

Таблица 2

R_1	R_2	R_3	I_1	I_2	I_3	ε_1	ε_2
1 Ом	2 Ом	3 Ом	-0,46 А	0,73 А	1,18 А	1 В	5 В



1. Запишите первое правило Кирхгофа для любого узла, проверьте его выполнение.
2. Запишите второе правило Кирхгофа для контура abef и проверьте его выполнение.
3. Запишите второе правило Кирхгофа для контура bcde и проверьте его выполнение.
4. Запишите второе правило Кирхгофа для контура acdf и проверьте его выполнение.

Сделайте вывод.

При увеличении электрического сопротивления внешней цепи (нагрузки) сила тока в ней _____. Зависимость силы тока в цепи от внешнего сопротивления имеет вид _____.

В сложных разветвленных электрических цепях для нахождения параметров тока используют _____.

Алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна _____.

В любом замкнутом контуре, выбранном в разветвленной цепи,

алгебраическая сумма произведений _____
_____ равна алгебраической сумме
_____, входящих в этот контур.

Вопросы для защиты работы:

1. Дайте определение электрической цепи. Перечислите элементы электрической цепи. Дайте определение ветви, узла и контура электрической цепи.
2. Дайте определение резистора, реостата. Чем они отличаются?
3. Что такое источник тока? Его роль в электрической цепи? Является ли источник тока источником электрических зарядов в цепи? Объясните. Существует ли электрическое поле между полюсами источника тока, не включенного в цепь?
4. Дайте определение ЭДС; запишите формулу для вычисления ЭДС; укажите основную единицу измерения.
5. При каких условиях в проводнике возникает и существует электрический ток?
6. Дайте определение силы тока и напряжения; запишите формулы для вычисления; укажите основные единицы измерения физических величин.
7. Запишите формулы законов Ома для участка и полной цепи.
8. Сформулируйте правила Кирхгофа. Как определить знак слагаемых в этих уравнениях?

Лабораторная работа № 9
Изучение работы люксметра. Определение коэффициента
поглощения

Цель работы: изучить устройство люксметра, научиться измерять освещенность, рассчитать коэффициент естественной освещенности, проверить выполнение закона Бугера, научиться определять коэффициент поглощения.

Оборудование: люксметр, микрометр, цветные фильтры.

Краткая теория

Солнце излучает в мировое пространство огромное количество энергии. Солнечное излучение является основным источником энергии для большинства процессов, происходящих на Земле. Растения усваивают энергию Солнца, синтезируют различные органические вещества (фотосинтез), которые затем используются животными, неспособными к самостоятельному синтезу этих веществ.

Живые организмы специфически используют энергию солнечного излучения. Так, излучение в видимом спектре лежит в основе зрения. За счет энергии излучения в ИК спектре обеспечивается возможность поддержания

теплового равновесия с окружающей средой. Энергия УФ излучения помогает организму человека в выработке витамина D, способствует пигментному обмену, стимулирует жизнедеятельность организма. В определенной степени энергия солнечной радиации обусловила существование жизни на земле.

Освещенность - физическая величина, численно равная количеству световой энергии, падающей на единицу поверхности тела за единицу времени:

$$E = \frac{W}{S \cdot t} = \frac{\Phi}{S} \quad (9.1)$$

Основной единицей измерения освещенности в СИ является лк (люкс).

Простые наблюдения показывают, что освещенность поверхности зависит от силы света и расстояния между источником и освещаемой поверхностью.

Основной закон освещенности: освещенность, создаваемая точечным источником света, прямо пропорциональна силе света источника, косинусу угла падения и обратно пропорциональна квадрату расстояния между источником света и освещаемой поверхностью.

$$E = \frac{I_{\Omega} \cdot \cos \alpha}{R^2} \quad (9.2)$$

Для сохранения зрения и создания нормальных условий труда необходимо поддерживать наиболее благоприятную освещенность. Слишком слабая освещенность рабочего места утомляет глаза, но и при очень сильном свете работать невозможно: сильный свет не менее утомляет, чем слабый. Поэтому для различных видов работ и помещений разного назначения выработаны оптимальные нормы освещенности.

Коэффициент естественной освещенности – отношение горизонтальной освещенности внутри помещения к единовременной горизонтальной освещенности под открытым небом, выраженная в процентах

$$KEO = \frac{E_{внутри}}{E_{снаружи}} \cdot 100\% \quad (9.3)$$

КЕО является наиболее объективным показателем естественного освещения помещения жилых и общественных зданий, так как учитывает влияние на освещенность в этих помещениях многочисленных факторов (ориентация здания по сторонам света, наличие затемняющих объектов, конструктивные особенности здания, чистоту стекол и «световой климат»). КЕО в пределах 0,5 – 0,75% обеспечивает достаточную освещенность в жилых зданиях. В классах и аудиториях, в кабинетах врача КЕО должен быть не менее 1,25%, в перевязочных – не менее 1,5%, в операционных – не менее 2%.

Люксметры представляют собой электрические высокочувствительные приборы, предназначенные для контроля уровня освещенности, которая создается искусственными или естественными

источниками света в различных производственных и жилых помещениях.

Принцип действия таких устройств основан на преобразовании светового потока, попадающего в приемную часть фотоэлемента, в электрический ток. При этом в замкнутой цепи прибора возникает движение электронов, энергия которого прямо пропорциональна степени освещенности фотоэлемента. В некоторых сила тока (соответственно и интенсивность излучения) измеряется по углу отклонения стрелки гальванометра.

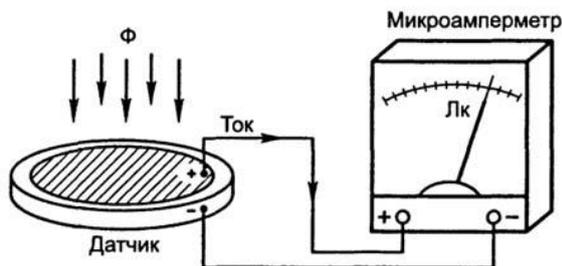


Рисунок 9.1 Электрическая схема люксметра

Сфера применения люксметров довольно обширна и включает в себя такие области, как охрана труда, сельское хозяйство, метрология, приборостроение и т.д. С помощью подобных устройств проводятся измерения уровня освещенности в учебных заведениях, библиотеках, музеях, архивах, медицинских учреждениях.

При распространении света через вещество часть энергии расходуется на возбуждение атомов или молекул. Некоторая доля этой энергии возвращается излучению в виде вторичных волн. Однако другая доля переходит во внутреннюю энергию вещества. В результате световая энергия уменьшается. Этот процесс называют поглощением света.

Поглощение света – ослабление интенсивности света при прохождении через вещество вследствие превращения световой энергии в другие виды.

Интенсивность света – величина, численно равная количеству энергии, протекающей в единицу времени через единицу площади поверхности перпендикулярно к этой поверхности.

$$I = \frac{W}{S \cdot t} \quad (9.4)$$

Основной единицей измерения интенсивности волны в СИ является $\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$.

Прохождение световой энергии через вещество уменьшает ее величину.

Закон Бугера: интенсивность света при поглощении в веществе убывает экспоненциально в зависимости от пройденного пути

$$I = I_0 \cdot e^{-k_\lambda \cdot l} \quad (9.5)$$

где k_λ – натуральный показатель поглощения - физическая величина,

обратная толщине такого слоя, который ослабляет интенсивность света в «е» раз.

Зависимость интенсивности света от толщины поглощающего слоя показана на графике.

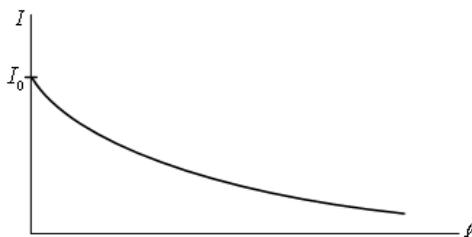


Рисунок 9.2 Зависимость интенсивности света, прошедшего через вещество от толщины слоя вещества.

Задание 1 Изучение работы люксметра.

Прочитайте краткую теорию и ответьте на вопросы:

1. Что такое освещенность?
2. Что измеряет люксметр? Где он применяется?
3. Принцип действия люксметра.

Задание 2 Измерение освещенности, определение коэффициента естественной освещенности

1. Измерьте горизонтальную освещенность под открытым небом.
2. Измерьте горизонтальную освещенности внутри помещения (на своем рабочем месте).
3. Рассчитайте КЕО.

Задание 3 Проверка закона Бугера

1. Поместите фотоэлемент под источником света и измерьте освещенность поверхности.
2. Положите на фотоэлемент 1 - 10 фильтров выбранного цвета, измерьте значение освещенности.
3. Определите микрометром толщину материала.
4. Результаты измерений внесите в таблицу.
5. Постройте зависимость освещенность от толщины слоя фильтров.

Задание 4 Определение коэффициента поглощения материала (выполняется по группам с фильтрами разных цветов)

1. Вычислите коэффициент поглощения данного материала для каждой

толщины слоя фильтров по формуле $k_\lambda = \frac{1}{d} \cdot \ln \frac{E_0}{E}$.

2. Рассчитайте среднее значение коэффициента поглощения вещества.
3. Результаты вычислений занесите в таблицу.

№	Длина волны света	Начальная освещенность $E_0, лк$	Освещенность через слой $E, лк$	Толщина слоя $d, м$	k_λ	$\langle k_\lambda \rangle$
1						
...						
10						

4. Сравните значения коэффициентов поглощения света разной длины волны (результаты разных групп).

Сделайте вывод.

Чем больше освещенность поверхности, тем большее значение показывает микроамперметр люксметра, потому что

_____.

Коэффициент естественной освещенности всегда _____ 100%, потому что _____.

При прохождении света через вещество энергия излучения _____, потому что _____.

Чем толще слой вещества, через который проходит свет, тем интенсивность света, прошедшего через него _____.

Коэффициент поглощения вещества зависит не только от строения вещества, но и от _____.

Коэффициент поглощения больше для света _____ цвета, то есть _____ длины волны.

Вопросы для защиты работы:

1. Дайте определение освещенности. Запишите формулу для вычисления освещенности. Назовите основные единицы измерения. Каким прибором измеряют освещенность?
2. Дайте определение КЕО. Запишите формулу для вычисления КЕО. Назовите основные единицы измерения. Какие измерения и как нужно выполнить, чтобы посчитать КЕЭ?
3. Дайте определение интенсивности света. Запишите формулу для вычисления интенсивности света. Укажите основные единицы измерения.
4. Сформулируйте закон Бугера для твердого тела. Запишите формулу.
5. Сформулируйте закон Бугера-Ламберта-Бера для раствора. Запишите формулу, выражающую закон.

Лабораторная работа № 10

Определение оптической силы и фокусного расстояния глаза человека

Цель работы: определить оптическую силу и фокусные расстояния глаза.

Оборудование: собирающая линза на подставке; свеча, спички (зажигалка); экран; ширма с отверстием; булавка; рулетка (измерительная лента).

Краткая теория

Глаз — удивительно сложная и совершенная оптическая система, созданная природой. Глаз имеет не совсем правильную шарообразную (почти сферическую) форму, диаметром примерно 24-25 мм. Длина его

сагиттальной оси в среднем равна 24 мм, горизонтальной — 23,6 мм, вертикальной — 23,3 мм. Объём у взрослого человека в среднем равен 7,448 см³. Масса глазного яблока 7—8 г.

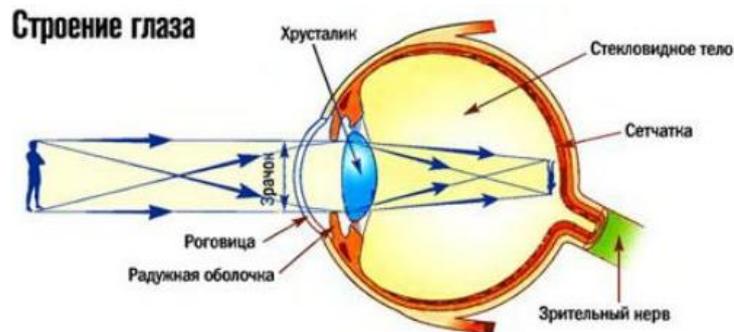


Рисунок 10.1 Строение глаза человека

Диаметр роговицы — около 12 мм, средний радиус кривизны — 8 мм.

Роговица, прозрачная жидкость передней камеры глаза, хрусталик и стекловидное тело образуют *оптическую систему*. Каждая из этих сред имеет свой показатель преломления лучей. Показатель преломления роговицы — 1,37, водянистой влаги и стекловидного тела — 1,33, наружного слоя хрусталика — 1,38, ядра хрусталика — 1,40. Ясное видение существует только при условии прозрачности преломляющих сред глаза.

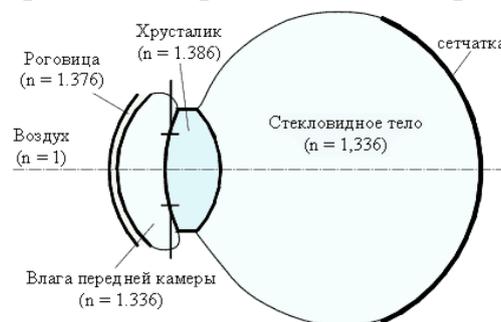


Рисунок 10.2 Оптическая система глаза

Лучи, идущие от предмета, попадают на роговицу — переднюю прозрачную часть защитной оболочки глаза. Преломляясь в роговице и проходя сквозь зрачок (отверстие в радужной оболочке глаза), лучи испытывают вторичное преломление в хрусталике. Преломляющая система роговицы и хрусталика формирует на сетчатке изображение предмета. Сетчатка состоит из светочувствительных палочек и колбочек — нервных окончаний зрительного нерва. Падающий свет вызывает раздражение этих нервных окончаний, и зрительный нерв передаёт соответствующие сигналы в мозг. Так в нашем сознании формируются образы предметов — мы видим окружающий мир.

Хотя глаз и не представляет собой тонкую линзу, в нем можно все же найти точку, через которую лучи проходят практически без преломления, т.е. точку, играющую роль оптического центра. *Оптический центр глаза* находится внутри хрусталика вблизи его задней поверхности, на расстоянии около 5 мм от роговицы. Расстояние h от оптического центра до сетчатой оболочки, называемое *глубиной глаза*, составляет для нормального глаза 15 мм. Зная положение оптического центра, можно легко построить

изображение какого-либо предмета на сетчатой оболочке глаза.

Хрусталик выполняет роль объектива в фотоаппарате.

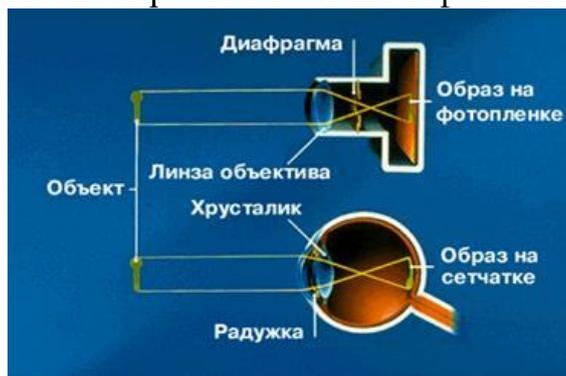


Рисунок 10.3 Сравнение оптической системы фотоаппарата и глаза человека

Так как показатель преломления водянистой влаги и стекловидного тела — 1,336, что не равно показателю преломления окружающей среды (воздуха), то фокусное расстояние глаза во внешнем пространстве (переднее фокусное расстояние) и внутри глаза (заднее фокусное расстояние) разные и связаны соотношением:

$$\frac{F_{\text{заднее}}}{F_{\text{переднее}}} = -\frac{n_{\text{стекловидного тела}}}{n_{\text{воздуха}}} = -\frac{1,336}{1} = -1,336$$

Таблица 10.1 Справочные данные схематического глаза по А. Гульстранду

Наименование величин	Строгий		Упрощенный	
	Покой аккомодации	Наибольшая аккомодация	Покой аккомодации	Наибольшая аккомодация
Показатели преломления:				
роговица	1,376	1,376	1,336	1,336
водянистая влага и стекловидное тело	1,336	1,336	1,336	1,336
хрусталик (наружный слой)	1,386	1,386	1,413	1,424
ядро хрусталика	1,406	1,406	-	-
Оптические характеристики глаза, мм				
заднее фокусное расстояние	22,785	18,930	22,365	18,938
переднее фокусное расстояние	- 17,055	- 14,169	- 16,740	- 14,176

Чем короче фокусное расстояние, тем больше преломляющая сила оптической системы (оптическая сила). Преломляющая сила оптической системы глаза равна: роговицы — 43, хрусталика при взгляде вдаль — 19, при максимальном приближении предмета к глазу — 33.

Представьте себе, что мы смотрим на приближающийся к нам предмет. Мы всё время чётко его видим. Каким образом глазу удаётся это обеспечивать?

Рассмотрим формулу тонкой линзы: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$,

где f – расстояние от хрусталика до сетчатки глаза. Величина f – является неизменной, поскольку это геометрическая характеристика глаза. Следовательно, чтобы формула линзы оставалась справедливой, вместе с расстоянием d до разглядываемого предмета должно меняться и фокусное расстояние F .

Например, если предмет *приближается к глазу*, то d уменьшается, поэтому и F должно *уменьшаться*. Для этого глазная мышца деформирует хрусталик, делая его *более выпуклым* и уменьшая тем самым фокусное расстояние до нужной величины. При удалении предмета, наоборот, кривизна хрусталика уменьшается, а фокусное расстояние возрастает.

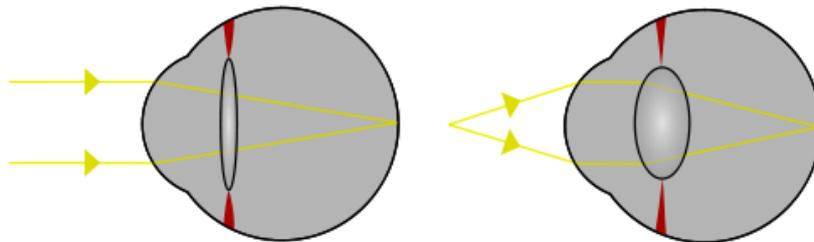


Рисунок 10.4 Получение изображения на сетчатке глаза при дальнем и ближнем расположении предмета

Аккомодация – это способность глаза человека к хорошему качеству зрения на разных расстояниях за счет изменения толщины хрусталика – механизм автоматического изменения оптической силы хрусталика в зависимости от расстояния до наблюдаемого объекта. Аккомодация глаза совершается бессознательно и очень быстро.

По данным Гельмгольца кривизна хрусталика способна меняться от 10 мм (при покое аккомодации) до 5,33 мм (при наибольшем напряжении аккомодации), что обеспечивает человеку четкое зрение на расстоянии от бесконечности до 1 метра.

Когда человек смотрит вдаль, то цилиарная мышца находится в состоянии расслабления, при этом циннова связка находятся в состоянии напряжения, натягивая капсулу хрусталика. Именно вытянутая форма хрусталика уменьшает преломляющую силу глаза и позволяет световым лучам фокусироваться точно на сетчатке, обеспечивая хорошее зрение вдаль.

Когда аккомодация начинает работать, происходит напряжение цилиарной мышцы, в результате чего, циннова связка, наоборот, расслабляется и хрусталик за счет своей эластичности принимает более выпуклую формы. Таким образом, создаются условия для фокусировки на сетчатке изображений объектов, находящихся на близком расстоянии.

Интересен тот факт, что в природе существует **три механизма** осуществления аккомодации. У рыб и земноводных аккомодация осуществляется путем передвижения хрусталика вдоль оси глаза. У некоторых птиц за счет активного изменения формы хрусталика. В глазу

человека за счет пассивного изменения формы хрусталика.

При покое аккомодации оптическая сила глаза приблизительно равна 58-59 дптр, при наибольшем напряжении аккомодации – 70 дптр. То есть, с помощью (цилиарной, кольцевой) мышцы оптическая сила глаза может увеличиваться не больше, чем на 12 дптр.

Аккомодация глаза возможна в пределах, ограниченных ближайшей и дальнейшей точками ясного зрения. Первая определяется наименьшим расстоянием, на котором возможно читать мелкий шрифт; вторая — наибольшим расстоянием, на котором ясно различим предмет при отсутствии аккомодации глаза.

Наиболее близкая к глазу точка, которую он в состоянии ясно видеть при максимальном напряжении аккомодации, носит название **ближней точки ясного зрения**; наиболее отдаленная точка, ясно видимая при отсутствии аккомодации глаза, называется **дальней точкой ясного зрения**.

Дальняя точка аккомодации нормального глаза находится в бесконечности: в ненапряжённом состоянии глаз фокусирует параллельные лучи на сетчатке.

В учебниках по психологии часто встречается утверждение о том, что в безоблачную темную ночь пламя свечи можно заметить с расстояния до 48 км. В реальности же наша сетчатка постоянно бомбардируется фотонами, так что один-единственный квант света, излученный с большого расстояния, просто затеряется на их фоне.

Чтобы представить себе, насколько далеко мы способны видеть, взглянем на ночное небо, усеянное звездами. Даже самые близкие к нам звезды расположены на расстоянии свыше 38 триллионов километров от Земли.

Иными словами, при аккомодации глаза на бесконечность задний фокус совпадает с сетчаткой и фокусное расстояние оптической системы нормального глаза при недеформированном хрусталике равно расстоянию от хрусталика до сетчатки, для нормального глаза 15 мм, значит $D_{\max} = \frac{1}{F} = \frac{1}{f}$.

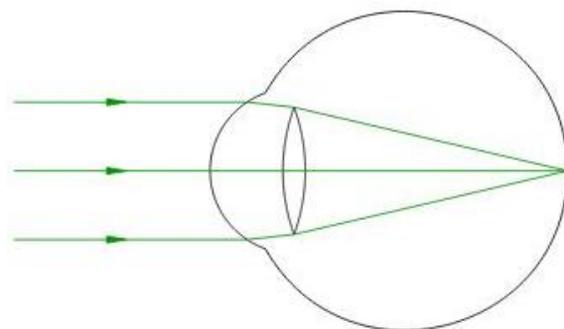


Рисунок 10.5 Заднее фокусное расстояние оптической системы нормального глаза при недеформированном хрусталике

Ближняя точка аккомодации (ближняя точка ясного видения) — это точка нахождения предмета, изображение которого на сетчатке получается при наибольшем напряжении глазной мышцы, т. е. при максимально возможной деформации хрусталика.

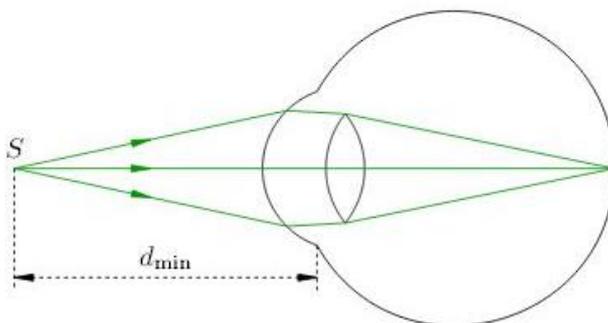


Рисунок 10.6 Ближняя точка аккомодации (ясного видения)

Таблица 10.2 Изменение ближней точки аккомодации от возраста человека.

Возраст	Ближняя точка аккомодации, мм	Возраст	Ближняя точка аккомодации, мм
10 лет	71	40 лет	222
20 лет	100	50 лет	400
30 лет	143	60 лет	2000

В качестве средней величины принимается – 125 мм.

Итак, приближая предмет, мы различаем больше деталей. Казалось бы, оптимального качества видения мы достигнем, если расположим предмет максимально близко к глазу — в ближней точке аккомодации (в среднем это 10–15 см от глаза).

Однако мы так не поступаем. Например, читая книгу, мы держим её на расстоянии примерно 25 см. Почему же мы останавливаемся на этом расстоянии, хотя ещё имеется ресурс дальнейшего увеличения угла зрения? Дело в том, что при достаточно близком расположении предмета хрусталик чрезмерно деформируется. Конечно, глаз ещё способен чётко видеть предмет, но при этом быстро утомляется, и мы испытываем неприятное напряжение.

Величина $d_0 = 25$ см называется **расстоянием наилучшего зрения** для нормального глаза. При таком расстоянии достигается компромисс: угол зрения уже достаточно велик, и в то же время глаз не утомляется ввиду не слишком большой деформации хрусталика. Поэтому с расстояния наилучшего зрения мы можем полноценно созерцать предмет в течении весьма долгого времени. При **нормальном зрении** оно составляет в среднем 25–30 см.

Чтобы снизить вероятность развития нарушений аккомодации, необходимо следовать простым правилам:

- выполняйте работу, связанную со зрительными нагрузками, только в условиях достаточного освещения;

- во время интенсивной зрительной работы делайте небольшие перерывы, не перегружайте глаза;
- делайте специальные упражнения для расслабления глазных мышц;
- носите только те очки, которые подобраны на очной консультации квалифицированным офтальмологом;
- ведите активный образ жизни, занимайтесь спортом, бывайте на свежем воздухе;
- откажитесь от вредных привычек;
- старайтесь питаться правильно и сбалансировано, восполняйте дефицит витаминных веществ специальными комплексами;
- проходите профилактический осмотр у офтальмолога хотя бы раз в год.

Выполнение работы

Задание 1. Изучение оптических характеристик собирающей линзы

1. Установите источник света и собирающую линзу. Перемещая линзу, на экране добейтесь четкого увеличенного изображения предмета (предмет располагается на расстоянии, большем фокусного расстояния) и измерьте расстояние d и f . Рассчитайте значение фокусного расстояния линзы по формуле $F_1 = \frac{d \cdot f}{d + f}$

$$F_1 = \frac{d \cdot f}{d + f}$$

2. Перемещая линзу, получите на экране четкое уменьшенное изображение предмета, измерьте расстояния d и f . Измерив d и f , рассчитайте фокусное расстояние линзы.

3. Результаты измерений и расчеты занесите в таблицу 1.

Таблица 1

Изображение предмета:	d , м	f , м	F , м	$\langle F \rangle = \frac{F_1 + F_2}{2}$, м	$D = \frac{1}{\langle F \rangle}$, дптр
увеличенное					
уменьшенное					

Задание 2. Изучение оптических характеристик глаза человека

1. Определение ближней точки ясного видения. Для этого закройте один глаз, а перед другим поместите ширму. Глядя открытым глазом через ширму на булавку, начните постепенно приближать ее к ширме. Определите и измерьте расстояние, на котором изображение булавки начнет раздваиваться.

2. Опыт повторите для другого глаза.

Результаты запишите в таблицу 2.

Таблица 2

Характеристики оптической системы глаза	Правый глаз	Левый глаз
Глубина глаза - расстояние от хрусталика до сетчатки (среднестатистическое) f , м	15 мм	
Дальняя точка ясного видения	∞	
Оптическая сила $(D_{11})_{\text{max}}$, дптр	$(D_{11})_{\text{max}} = \frac{1}{F} = \frac{1}{f}$	
Заднее фокусное расстояние F_{11} , м	$F_{11} = \frac{1}{D_{11}}$	
Переднее фокусное расстояние F_{12} , м	$F_{12} = -\frac{F_{11}}{1,336}$	
Оптическая сила D_{12} , дптр	$D_{12} = \frac{1}{F_{12}}$	
Ближняя точка ясного видения d, м		
Оптическая сила D_{21} , дптр	$D_{21} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$	$D_{21} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$
Заднее фокусное расстояние F_{21} , м		
Переднее фокусное расстояние F_{22} , м		
Оптическая сила D_{22} , дптр		

Задание 3. Изучение зависимости ближней точки аккомодации от возраста человека.

Используя таблицу 10.2 постройте график зависимости ближней точки аккомодации от возраста человека.

Сделайте вывод.

Оптическую систему глаза человека можно считать _____ линзой.

При помощи собирающей линзы можно получить _____ четких изображений предмета: _____.

На сетчатке глаза получается _____ изображение предмета.

Фокусное расстояние глаза во внешнем пространстве и внутри глаза _____, потому что _____.

Когда мы удаляем предмет от глаза, фокусное расстояние его оптической системы _____, значит кривизна хрусталика _____.

С увеличением возраста расстояние от глаза до ближней точки аккомодации _____.

Вопросы для защиты работы:

1. Дайте определение линзы, главной оптической оси, фокусу линзы. Где

находится фокус линзы?

2. Дайте определение оптической силы линзы. Запишите формулу для вычисления оптической силы. Укажите основные единицы измерения.

3. Как записывается формула линзы? Зависит ли фокусное расстояние линзы от среды, в которой она находится?

4. Как записывается формула тонкой линзы?

5. Построить различные изображения в линзе (по заданию преподавателя).

Лабораторная работа № 11 Моделирование радиоактивного распада

Цель: на модели экспериментально проверить закон радиоактивного распада.

Оборудование: 128 монет, банка, разнос.

Методика эксперимента

Обозначим число атомов в начальный момент времени $t_0 = 0$ как N_0 .

Через время $t = T$, равное периоду полураспада, число атомов будет вдвое меньше начального, поэтому $N(t) = \frac{N_0}{2}$. По истечении каждого следующего промежутка времени T число атомов уменьшается вдвое, поэтому $N(2 \cdot T) = \frac{N_0}{2^2}$, $N(3 \cdot T) = \frac{N_0}{2^3}$ и так далее. Через время $t = n \cdot T$ останется $N(n \cdot T) = \frac{N_0}{2^n} = N_0 \cdot 2^{-n}$ атомов. Поскольку $n = \frac{t}{T}$, получаем закон радиоактивного распада:

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

Закон распада атомов не является законом, который управляет распадом одного атома, так как нельзя предугадать, когда произойдет этот распад. Распад атома не зависит от его возраста, то есть атомы «не стареют».

За время T каждое из радиоактивных ядер распадается с вероятностью $\frac{1}{2}$. Процесс радиоактивного распада можно промоделировать подбрасыванием монет, при котором с той же вероятностью $\frac{1}{2}$ выпадают или «орел» или «решка».

Примем, что если выпадет «орел», ядро уцелело, если же «решка» - распалось. Каждое бросание монет соответствует для ядра протеканию

промежутка времени, равного периоду полураспада.

Количество распадов, n	Количество нераспавшихся атомов, $N(n) = \frac{N_0}{2^n}$
0	128
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	

Выполнение работы:

1. Отсчитайте начальное количество монет $N_0 = 128$, перемешайте их в банке и высыпьте на разнос.
2. Подсчитайте число «нераспавшихся» монет (то есть число монет, лежащих «орлом» вверх), соберите их обратно в банку, снова перемешайте и высыпьте на разнос.
3. Опыт повторите 10 раз.
4. Заполните таблицу.
5. Повторите 1-4 еще дважды.

	Серия 1	Серия 2	Серия 3
Количество бросаний, $n = \frac{t}{T}$	Количество «нераспавшихся» монет, N	Количество «нераспавшихся» монет, N	Количество «нераспавшихся» монет, N
0	128	128	128
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

6. Подобрать удобный масштаб, построить график зависимости соответствующей формуле $N(n) = \frac{N_0}{2^n}$. На той же координатной плоскости начертите графики каждой серии эксперимента. Удобнее чертить графики для разных серий разными цветами.

Сделайте вывод.

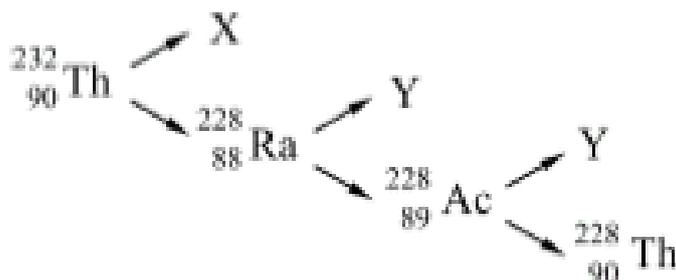
За время, равное периоду полураспада, распадается _____ ядер. Какие именно ядра распадутся предугадать _____.

За время, равное 2 периодам полураспада, распадется _____% ядер и останется _____% первоначального количества.

Количество нераспавшихся ядер от времени выражено _____ зависимостью.

Вопросы для защиты работы:

1. Активность некоторого изотопа за 10 суток уменьшилась на 50%. Чему равен период полураспада этого изотопа?
2. Один из видов радиоактивного излучения представляет собой поток быстро движущихся электронов. Какое это излучение?
3. Один из видов радиоактивного излучения представляет собой поток ${}^4_2\text{He}$. Какое это излучение?
4. Как изменяется масса и заряд ядра при α распаде?
5. Неизвестный радиоактивный химический элемент самопроизвольно распадается по схеме $X \rightarrow {}^{91}_{36}\text{Kr} + {}^{142}_{56}\text{Ba} + 3n$. Определите состав ядра этого элемента.
6. Неизвестный радиоактивный химический элемент самопроизвольно распадается по схеме: $X \rightarrow {}^{13}_6\text{C} + {}^1_0n + e^+ + \nu_e$. Определите состав ядра этого элемента.
7. Сколько альфа и бета распадов должно произойти, чтобы актиний ${}^{227}_{89}\text{Ac}$ превратился в стабильный изотоп свинца ${}^{207}_{82}\text{Pb}$.
8. На рисунке показана схема цепочки радиоактивных превращений.



Какие утверждения соответствуют данной схеме? Из предложенного перечня утверждений выберите правильные. Укажите их номера.

- 1) Частица X является электроном
- 2) Частица X является ядром гелия ${}^4_2\text{He}$
- 3) Частица Y является электроном
- 4) Частица Y является ядром гелия ${}^4_2\text{He}$
- 5) Частица X является протоном, а частица Y — позитроном.

Список рекомендуемой литературы:

а) основная литература:

1. Основы физики и биофизики : учеб. пособие для студентов вузов по специальностям: 310800 "Ветеринария", 310700 "Зоотехния" / под ред. А. И. Журавлева. - 2-е изд., испр. - М. : Мир; БИНОМ, 2008. - 384 с. - (Гр.).
2. ЭБС "Лань" Сборник задач по курсу основы физики и биофизики : учеб. - метод. пособие / И. В. Иванов . - Санкт-Петербург : Лань, 2012. - 128 с. - (Гр. УМО).
3. Хашенко, А. А. Лабораторный практикум по физике с основами биофизики : учеб. пособие для студентов вузов по специальности 110502 "Ветеринария" / СтГАУ. - Ставрополь : АГРУС, 2007. - 136 с. - (Приоритетные национальные проекты "Образование". Гр. МСХ РФ). - ISBN 978-5-9596-0452-3.
4. ЭБС "Znanium": Курс общей физики: Учебное пособие / К.Б. Канн. - М.: КУРС: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 360 с.
5. ЭБС "Znanium": Никеров, В. А. Физика для вузов: Механика и молекулярная физика [Электронный ресурс] : Учебник / В. А. Никеров. - М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2012. - 136 с.

б) дополнительная литература:

1. ЭБС "Znanium": Физика: Учебное пособие / А.В. Ильюшонок, П.В. Астахов, И.А. Гончаренко и др. - М.: НИЦ Инфра-М; Мн.: Нов. знание, 2013. - 600 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Высшее образование).
2. Яворский, Б. М. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф, А. К. Лебедев. - 8-е изд., перераб. и испр. - М. : ОНИКС; Мир и Образование, 2008. - 1056с. : ил. - Нац. проект.
3. ЭБС "Znanium": Курс физики: Учебное пособие / В.Г. Хавруняк. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 400 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат).