

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКАЯ ОРДЕНА «ЗНАК ПОЧЕТА» ГОСУДАРСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЫ»

Н. П. Ковалёнок

**ФИЗИКА И БИОФИЗИКА.
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ
ПО ФИЗИКЕ И БИОФИЗИКЕ**

Методические указания

для студентов по специальностям:
«Ветеринарная санитария и экспертиза»,
«Ветеринарная фармация»

Витебск
ВГАВМ
2024

УДК 53
ББК 22.3
К56

Рекомендовано к изданию методической комиссией
биотехнологического факультета УО «Витебская ордена
«Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины»
от 20 марта 2024 г. (протокол № 2)

Авторы:

старший преподаватель *Н. П. Ковалёнок*

Рецензенты:

доктор ветеринарных наук, профессор *Д. Г. Готовский*;
кандидат биологических наук, доцент *В. П. Баран*

Ковалёнок, Н. П.

К56 Физика и биофизика. Лабораторные работы по физике и
биофизике : методические указания для студентов по специальностям:
«Ветеринарная санитария и экспертиза», «Ветеринарная фармация» /
Н. П. Ковалёнок. – Витебск : ВГАВМ, 2024. – 44 с.

Методические указания разработаны в соответствии с учебной программой для специальностей: 6-05-0841-01 «Ветеринарная санитария и экспертиза»; 6-05-0841-02 «Ветеринарная фармация». Методические указания предназначены для проведения лабораторных занятий, закрепления изученного теоретического материала и отработки практических навыков по учебной дисциплине «Физика и биофизика». Содержат теорию, методику выполнения и контрольные вопросы защиты лабораторных работ.

УДК 53
ББК 22.3

© УО «Витебская ордена «Знак Почета»
государственная академия ветеринарной
медицины», 2024

Учет выполнения и защиты лабораторных работ

студента ____ группы 1 курса

биотехнологического факультета специальность _____

(Ф. И. О. студента)

№№ Л/р	Дата выполнения	Подпись преподавателя о выполнении и оформлении лабораторной работы	Подпись преподавателя о защите лабораторной работы
1			
2			
4			
5			
6			
7			
8			

Содержание

Введение	5
Методы вычисления погрешностей	7
Лабораторная работа №1. Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса	9
Лабораторная работа №2. Изучение диэлектрической поляризации пищевых продуктов	14
Лабораторная работа №4. Изучение дисперсии электропроводности ткани	19
Лабораторная работа №5. Изучение оптических свойств линз	23
Лабораторная работа №6. Определение концентрации растворов с помощью рефрактометра	27
Лабораторная работа №7. Изучение волновых свойств света	32
Лабораторная работа №8. Изучение квантовых свойств света	36
Литература	42

Введение

Лабораторные занятия, как и другие виды практических занятий, являются промежуточным звеном между углубленной теоретической работой обучающихся на лекциях, практических и применением знаний на практике. Эти занятия удачно сочетают элементы теоретического исследования и практической работы. Выполняя лабораторные работы, студенты лучше усваивают программный материал, так как многие определения и формулы, казавшиеся отвлеченными, становятся вполне конкретными, происходит соприкосновение теории с практикой, что в целом содействует уяснению сложных вопросов науки и становлению обучающихся как будущих специалистов.

Лабораторные работы позволяют:

- проиллюстрировать теоретические положения физики;
- познакомиться с приборами;
- приобрести опыт в проведении экспериментов.

При проведении лабораторных занятий со студентами достигаются следующие цели:

1) углубление и закрепление знания теоретического курса путем практического изучения, в лабораторных условиях, изложенных в лекциях законов и положений;

2) приобретение навыков в научном экспериментировании, анализе полученных результатов;

3) формирование первичных навыков организации, планирования и проведения научных исследований.

При проведении лабораторных работ достигаются следующие задачи, направленные на то, чтобы научить студентов:

- планировать эксперимент так, чтобы точность измерений соответствовала поставленной цели;
- учитывать возможность систематических ошибок и принимать меры для их устранения;
- оценивать точность окончательного результата;
- анализировать результаты экспериментов и делать правильные выводы;
- вести запись измерений и расчетов аккуратно, ясно и коротко.

Выполнение каждой лабораторной работы необходимо начинать с изучения ее описания и приведения знаний в систему, а именно:

– ясно представить себе общую цель данной конкретной лабораторной работы и последовательность задач, решение которых приведет к достижению окончательной цели;

– знать, какое физическое явление изучается в данной работе, и какими зависимостями связаны величины, его описывающие;

– знать основные особенности объекта исследования;

– изучить и уметь объяснить физические основы используемых в работе методов измерения или расчета искомых величин;

– знать последовательность выполнения этапов лабораторной работы.

Проверять степень своей готовности к выполнению каждой конкретной работы нужно с помощью приводимых в конце лабораторной работы контрольных вопросов.

Студенты должны приходить на лабораторную работу заранее подготовленными, иметь при себе индивидуальные средства защиты (халат) и методические указания к лабораторной работе.

При выполнении лабораторных работ рекомендуется придерживаться определенной последовательности действий:

1) провести измерения и занести данные эксперимента в таблицы измерений и вычислений;

2) обработать полученные результаты;

3) оценить погрешности измерений (если есть указания);

4) построить графики (если есть указания);

5) сформулировать выводы.

Лабораторная работа защищается студентом индивидуально после выполнения экспериментально-практической части в полном объеме.

В процессе защиты студент должен:

– знать методику выполнения работы и оборудование, используемое в работе;

– уметь интерпретировать полученные в процессе выполнения работы результаты;

– обосновывать сделанные выводы;

– отвечать на контрольные вопросы по работе.

Защищенная работа отмечается подписью преподавателя и датой.

Методы вычисления погрешностей

Никакое измерение не дает истинного значения определяемой величины. Всякое измерение сопровождается той или иной ошибкой, или погрешностью. Поэтому недостаточно знать только результат измерения, необходимо еще определить величину допущенной погрешности. Погрешности делятся на *систематические и случайные*.

Систематические ошибки возникают из-за неисправности или несовершенства измерительных приборов. Например, из-за смещения нуля измерительных приборов (амперметра, вольтметра и др.) все отсчеты будут искажены. Такие недостатки приборов изменяют результат измерений всегда в одну сторону, либо увеличивая, либо уменьшая его.

Систематические ошибки могут быть допущены также в процессе работы, если теория опыта недостаточно разработана и не учтены все причины, влияющие на точность измерений. Например, при определении сопротивления проводников, растворов не учтена поправка на температуру и т.д.

Систематические ошибки могут быть значительно уменьшены при более тщательном изучении приборов и устранении их недостатков, при более подробной разработке теории опыта и введении поправочных коэффициентов в результат измерений. Характерно, что увеличение числа измерений не уменьшит систематических ошибок.

Случайные ошибки вызываются неточностью отсчета, которую невольно допускает каждый экспериментатор. Например, недостаток органов зрения, органов слуха, реакции включения и выключения приборов отсчета времени и т.д.

В отличие от систематических, случайные ошибки могут изменять результат измерений в обе стороны, т.е. увеличивать или уменьшать его. Поэтому для уменьшения влияния случайных ошибок необходимо всякое измерение проводить несколько раз $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$.

Случайные ошибки подчиняются законам вероятности. Это значит, что если при каком-либо измерении получится результат больше истинного, то при следующих измерениях столь же вероятно может получиться результат меньше истинного. Очевидно, многократные повторения одного и того же измерения уменьшат влияние случайных ошибок, так как нет основания считать отклонение от истинного значения в одну сторону более вероятным, чем в другую, и среднее арифметическое из большого числа измерений будет ближе к истинному значению, чем отдельные измерения.

Математический аппарат вычисления случайных ошибок прямых измерений

1. При измерении какой-либо величины получают ряд значений: $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$.

2. Вычисляют среднее арифметическое значение измеряемой величины:

$$x_{cp.} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

3. Вычисляют отклонения отдельного измерения от среднего арифметического значения, т.е. абсолютную ошибку:

$$\begin{aligned}\Delta x_1 &= |x_{cp.} - x_1|; \\ \Delta x_2 &= |x_{cp.} - x_2|; \\ \Delta x_3 &= |x_{cp.} - x_3|; \\ \Delta x_n &= |x_{cp.} - x_n|\end{aligned}\tag{2}$$

4. Вычисляют среднее арифметическое численных значений отдельных абсолютных ошибок, т.е. *среднюю абсолютную ошибку* всех измерений:

$$\Delta x_{cp.} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \dots + \Delta x_n}{n}\tag{3}$$

5. Записывают результат измерения:

$$x = x_{cp.} \pm \Delta x_{cp.}$$

1. Отношение средней абсолютной ошибки всех измерений $\Delta x_{cp.}$ к среднему арифметическому значению $x_{cp.}$ измеряемых величин называется *средней относительной ошибкой*:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x_{cp.}}{x_{cp.}} \cdot 100\%\tag{4}$$

Пример: Пусть при $n = 3$ измерений сопротивления проволоки с помощью прибора ЕС-11 получены следующие числовые значения:

$$R_1 = 5,0 \text{ Ом}; \quad R_2 = 4,9 \text{ Ом}; \quad R_3 = 5,1 \text{ Ом}.$$

1. Найдем среднее арифметическое значение величины:

$$R_{cp.} = \frac{5,0 + 4,9 + 5,1}{3} = 5,0 \text{ (Ом)}$$

2. Вычислим абсолютную ошибку измерения:

$$\Delta R_1 = |5,0 - 5,0| = 0 \text{ (Ом)}; \quad \Delta R_2 = |5,0 - 4,9| = 0,1 \text{ (Ом)}; \quad \Delta R_3 = |5,0 - 5,1| = 0,1 \text{ (Ом)}$$

3. Вычислим среднюю абсолютную ошибку:

$$\Delta R_{cp.} = \frac{0 + 0,1 + 0,1}{3} = 0,07 \text{ (Ом)}$$

4. Запишем результат измерения: $R = (5,0 \pm 0,07) \text{ Ом}$.

5. Определим относительную ошибку измерения:

$$\varepsilon = \frac{\Delta R_{cp.}}{R_{cp.}} \cdot 100\% = \frac{0,07}{5,0} \cdot 100\% = 1,4\%$$

Лабораторная работа №1

Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса

Цель работы: изучить явление внутреннего трения в жидкости и измерение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса.

Приборы и принадлежности: стеклянный цилиндрический сосуд с исследуемой жидкостью, термометр, шарики, секундомер.

Теория опыта

Реальная жидкость – сжимаемая жидкость, обладающая вязкостью.

Сжимаемость – свойство жидкости изменять свой объем под действием давления.

Вязкость (внутреннее трение) – это свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной части относительно другой.

Вязкость (внутреннее трение) – явление возникновения силы трения между слоями движущейся жидкости.

Вязкость возникает в результате взаимодействия между молекулами вещества при их движении и проявляется как сила сопротивления при помешивании жидкости, вызывает уменьшение скорости тел, движущихся в жидкости.

Во всех реальных жидкостях при перемещении одних слоев относительно других, движущихся параллельно друг другу с различными скоростями, возникают силы трения. При этом со стороны слоя, движущегося с большей скоростью, на слой, движущийся с меньшей скоростью, действует ускоряющая сила, которая стремится увлечь за собой более медленный слой, и направленная по течению. Со стороны слоя, который движется с меньшей скоростью, на слой, движущийся с большей скоростью, действует тормозящая сила, направленная против течения. Эти силы называются силами внутреннего трения и направлены по касательной к поверхности слоев жидкости.

Распределение скорости текущей жидкости определяется **градиентом скорости** – это векторная величина, направленная перпендикулярно скорости и показывающая, как изменяется скорость на некотором расстоянии, то есть при переходе от слоя к слою.

Градиент скорости определяется формулой:

$$\mathit{grad}\vec{v} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta x}, \quad (1)$$

где $\Delta\vec{v}$ – изменение скорости при переходе от одного слоя к другому;

Δx – расстояние между слоями жидкости.

И. Ньютон эмпирически установил, что **сила внутреннего трения** между двумя слоями жидкости прямо пропорциональна градиенту скорости и площади соприкасающихся слоев жидкости и может быть рассчитана по формуле:

$$\vec{F}_{\text{тр.}} = -\eta \cdot \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta x} \cdot S = -\eta \cdot \mathit{grad}\vec{v} \cdot S, \quad (2)$$

где η (греч. «этта») – коэффициент вязкости жидкости;

S – площадь соприкасающихся слоев жидкости.

Знак «минус» указывает на то, что сила внутреннего трения направлена противоположно градиенту скорости.

Коэффициент вязкости определяет свойства жидкости и связывает силу внутреннего трения в жидкости со скоростью движения частиц жидкости.

У большинства жидкостей *коэффициент вязкости зависит от природы жидкости, температуры, давления*. Такие жидкости называются **ньютоновскими**.

У высокомолекулярных соединений, или представляющих дисперсные системы (суспензии, эмульсии), *коэффициент вязкости зависит от режима течения жидкости – давления и градиента скорости*. Такие жидкости называются **неньютоновскими**. Их вязкость характеризуется условным коэффициентом жидкости, который относится к определенным условиям течения жидкости.

Измерение коэффициента вязкости необходимо при всех процессах, в которых используются жидкие, полужидкие, текучие вещества и смеси. *Приборы, предназначенные для определения коэффициента вязкости, называются вискозиметрами*.

Коэффициент вязкости является одной из важнейших характеристик качества пищевых продуктов.

В *ветеринарно-санитарной экспертизе* измерение коэффициента вязкости используют для определения:

- количества соматических клеток в молоке;
- качества крови на мясокомбинатах при заготовке;
- качества готовых йогуртов, кисломолочных и молочных продуктов, соков, морсов;
- свежести мяса и степени его созревания (используют ультразвуковые вискозиметры, работа которых основана на зависимости характера колебаний вибратора прибора от вязкости биологических тканей);
- структуры жидкостей и гомогенных смесей (в лабораториях и отделах качества контроля).

В *ветеринарной фармацевтике* измерение коэффициента вязкости используют для:

- анализа состояния, структуры жидких медикаментозных препаратов – суспензий, сиропов, мазей;
- для изучения свойств гелей, сывороток.

Одним из наиболее простых методов определения коэффициента вязкости является метод Стокса, основанный на измерении скорости движения тела сферической формы в жидкости.

При движении тела сферической формы (шарика) в жидкости оно испытывает сопротивление среды, которое возникает вследствие трения между слоями жидкости, прилегающими к поверхности шарика. Слои жидкости, граничащие с поверхностью шарика, прилипают к нему и движутся со скоростью шарика. Следующие слои жидкости также начинают двигаться, но их скорость уменьшается по мере удаления от поверхности тела. Таким образом, при вы-

числении силы сопротивления, действующей на шарик, мы рассматриваем не трение шарика о жидкость, а трение слоев жидкости друг о друга.

Закон Стокса показывает, что при движении шарика небольшого радиуса в жидкости с малой скоростью силу сопротивления (силу внутреннего трения) можно рассчитать по формуле:

$$F_C = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v, \quad (3)$$

где $\pi = 3,14$ – математическая постоянная;

η – коэффициент вязкости жидкости;

r – радиус шарика;

v – скорость движения шарика в жидкости.

Если в сосуд с жидкостью бросить шарик с плотностью большей, чем плотность жидкости, то он будет падать. На движущийся шарик действуют три силы (рисунок 1): **сила тяжести** F_T , направленная вертикально вниз; **сила Архимеда** F_A – выталкивающая сила, направленная вверх; **сила внутреннего трения (сила сопротивления)** F_C , тормозящая движение тела и направленная противоположно движению тела, определяемая формулой 3.

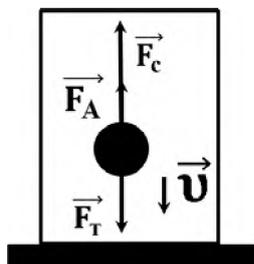


Рисунок 1 –
Метод Стокса

Коэффициент вязкости жидкости по методу Стокса можно определить формулой:

$$\eta = \frac{1}{18} \cdot \frac{d^2 \cdot g \cdot t \cdot (\rho_T - \rho_{ж})}{L}, \quad (4)$$

где d – диаметр шарика;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

t – время движения шарика;

ρ_T – плотность шарика;

$\rho_{ж}$ – плотность жидкости;

L – расстояние, которое проходит шарик.

Порядок выполнения задания

Измерительная установка представляет собой цилиндрический сосуд с налитой в него исследуемой жидкостью (рисунок 2). Для измерения коэффициента вязкости при различных температурах в него помещен нагревательный элемент Н, подключенный к источнику переменного тока. Измерение температуры жидкости производится с помощью термометра Т.

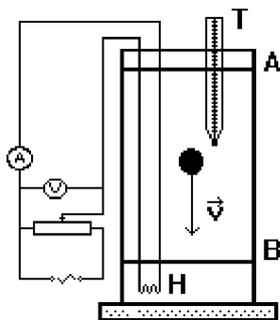


Рисунок 2 –
Схема опыта

1. Измерить расстояние между метками А и В на сосуде.
2. Определить диаметр шарика.
3. Измерить термометром температуру жидкости.
4. По таблице 1 определить плотность жидкости при данной температуре.

5. Опустить шарик через отверстие в крышке цилиндрического сосуда в исследуемую жидкость и с помощью секундомера измерить время прохождения шариком расстояния между метками.

Таблица 1 – Зависимость плотности жидкости от температуры

$T, ^\circ\text{C}$	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$\rho_{ж}, \text{кг/м}^3$	960	950	940	930	930	920	920	910	910

6. Включить нагревательный элемент, нагреть жидкость на 5°C .

7. Повторить пункт 5.

8. Нагреть жидкость еще на 5°C и повторить пункт 5.

9. По формуле (4) рассчитать коэффициент вязкости жидкости при разных температурах.

10. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 2.

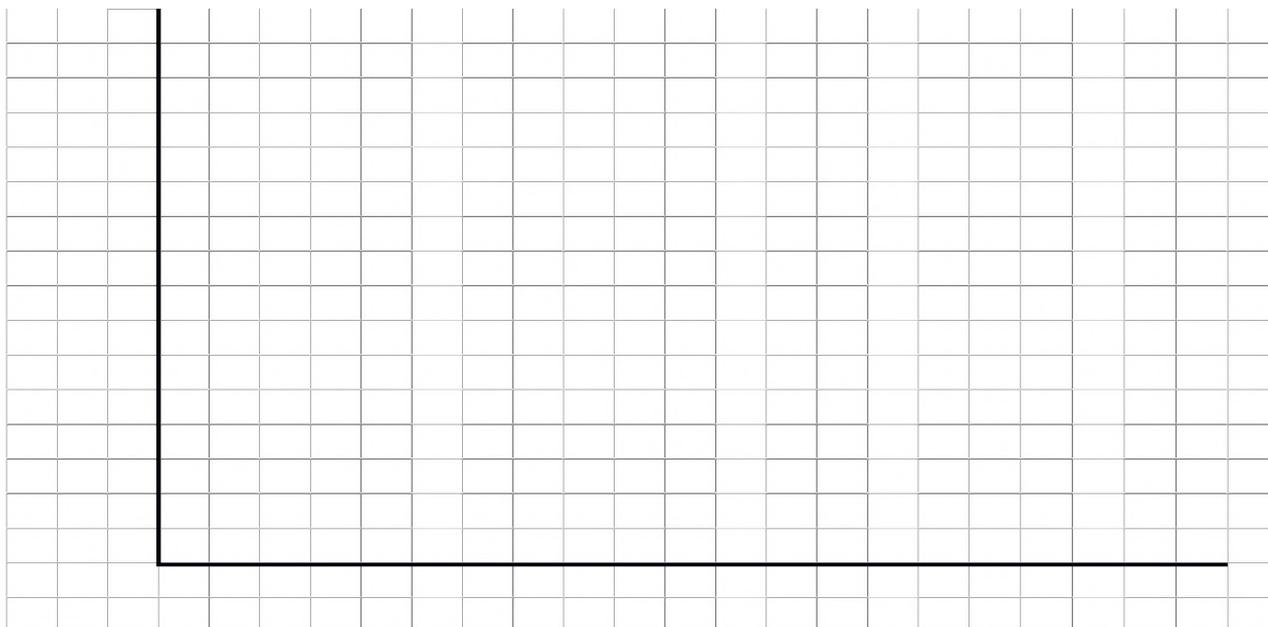
11. Построить график зависимости коэффициента вязкости от температуры $\eta=f(T)$.

12. Сделать вывод о зависимости коэффициента вязкости от температуры.

Таблица 2 - Результаты измерений и вычислений

N_0	$L, \text{м}$	$T, ^\circ\text{C}$	$d, \text{м}$	$\rho_T, \text{кг/м}^3$	$\rho_{ж}, \text{кг/м}^3$	$t, \text{с}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$
1							
2							
3							

График зависимости $\eta=f(T)$



Вывод:

Вычисления к лабораторной работе №1

Контрольные вопросы защиты лабораторной работы №1

1. Что такое реальная жидкость?
2. Что такое вязкость и сжимаемость жидкости?
3. Дать определение и записать формулу градиента скорости.
4. Записать формулу и дать определение силы внутреннего трения (формула Ньютона).
5. От чего зависит коэффициент вязкости ньютоновских и неньютоновских жидкостей?
6. Описать сущность метода Стокса, изобразить и назвать силы, действующие на тело, движущиеся в жидкости.
7. Записать формулу для определения коэффициента вязкости по методу Стокса.
8. Как зависит вязкость жидкости от температуры?
9. Для чего в ветеринарно-санитарной экспертизе используют коэффициент вязкости жидкости?
10. С какой целью применяют коэффициент вязкости жидкости в фармацевтике?

Лабораторная работа № 2

Изучение диэлектрической поляризации пищевых продуктов

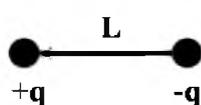
Цель работы: изучить свойства диэлектриков и освоить метод определения коэффициента диэлектрической поляризации и относительной диэлектрической проницаемости питательных веществ.

Приборы и принадлежности: источник постоянного тока, цифровой мультиметр, ключ, секундомер, исследуемое вещество.

Теория опыта

Диэлектриками называются вещества, которые не имеют свободных электрических зарядов и не проводят электрический ток.

По своим электрическим свойствам молекулы диэлектриков подобны электрическим диполям (рисунок 1).



Диполь – это система, состоящая из двух одинаковых по величине, но противоположных по знаку зарядов, расположенных на расстоянии друг от друга.

Основной характеристикой диполя является **дипольный момент** – вектор, равный произведению заряда на плечо диполя:

$$P_L = q \cdot L, \quad (1)$$

где q – суммарная величина положительных (или отрицательных) зарядов молекулы;

L – расстояние между центрами тяжести положительных и отрицательных зарядов.

За направление вектора дипольного момента принимается направление от его отрицательного к положительному заряду.

В зависимости от строения молекул различают три **группы диэлектриков**:

1. **Диэлектрики с неполярными молекулами**, молекулы которых имеют симметричное строение, так как расстояние между зарядами в молекуле равно нулю $L = 0$. Следовательно, дипольный момент молекулы тоже равен нулю.

К ним относятся водород, кислород, азот, углеводы и т.д.

2. **Диэлектрики с полярными молекулами**, молекулы которых имеют несимметричное строение, так как расстояние между центрами зарядов в молекуле не равно нулю $L \neq 0$. Следовательно, молекулы полярных диэлектриков представляют собой диполи, которые обладают постоянным дипольным моментом.

К ним относятся вода, нитробензол, спирты, щелочи, кислоты, белки, биополимеры и др.

3. **Кристаллические диэлектрики**, молекулы которых имеют ионное строение, решетки состоят из положительных и отрицательных ионов. Под решетками расположены симметрично, то есть расстояние между центрами заря-

дов равно нулю $L = 0$. Следовательно, дипольный момент молекулы тоже равен нулю.

Примером кристаллических диэлектриков является каменная соль, кварц, слюда, корунд и др.

При помещении диэлектрика во внешнее электрическое поле происходит **поляризация** – возникновение в диэлектрике собственного электрического поля при внесении его во внешнее электрическое поле, обусловленное смещением связанных заряженных частиц, входящих в состав атомов или молекул диэлектрика.

Диэлектрик, в котором возникло такое поле, называют **поляризованным**.

Различают три вида поляризации диэлектриков:

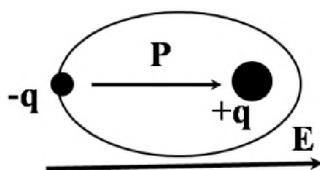


Рисунок 2 –
Электронная
поляризация

1. **Электронная поляризация** возникает у диэлектриков с неполярными молекулами. При помещении такого диэлектрика во внешнее электрическое поле происходит смещение центров тяжести зарядов и молекула превращается в диполь. В результате этого диэлектрик поляризуется (рисунок 2).

2. **Ориентационная или дипольная поляризация** возникает у диэлектриков с полярными молекулами. Под влиянием внешнего электрического поля все дипольные молекулы диэлектрика поворачиваются вдоль силовых линий внешнего электрического поля. В результате диэлектрик поляризуется (рисунок 3).

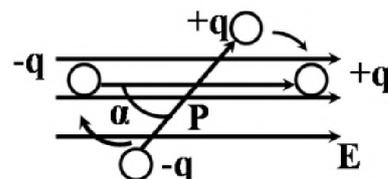


Рисунок 3 –
Ориентационная
поляризация

3. **Ионная поляризация** возникает в кристаллических диэлектриках. Во внешнем поле происходит смещение подрешеток в противоположных направлениях и появляется отличный от нуля дипольный момент. В результате диэлектрик поляризуется.

При помещении диэлектрика во внешнее электрическое поле напряженностью E_0 в нем возникает собственное электрическое поле напряженностью $E_{св}$, направленное против внешнего. В результате в диэлектрике будет возникать электрическое поле, напряженность которого равна:

$$E = E_0 - E_{св}.$$

Таким образом, напряженность электрического поля в диэлектрике становится меньше, чем напряженность внешнего электрического поля.

Характеристикой способности диэлектрика уменьшать внешнее электрическое поле является **относительная диэлектрическая проницаемость** – величина, которая показывает, во сколько раз напряженность электрического поля в вакууме больше, чем напряженность электрического поля в диэлектрике:

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E} = \frac{E_0}{E_0 - E_{св}}, \quad (2)$$

где E_0 – напряженность внешнего электрического поля;

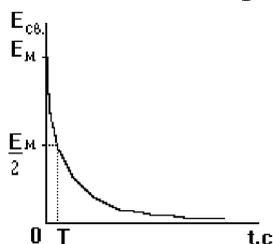
$E = E_0 - E_{св}$ – напряженность электрического поля в диэлектрике;

$E_{св}$ – напряженность собственного электрического поля диэлектрика (измеряем по цифровому мультиметру в момент времени $t=0$).

Относительная диэлектрическая проницаемость вещества величина безразмерная.

Относительная диэлектрическая проницаемость зависит от природы диэлектрика и температуры.

Если поляризованный диэлектрик убрать из внешнего электрического поля, то за счет теплового хаотического движения молекул напряженность собственного электрического поля диэлектрика $E_{св}$ с течением времени будет уменьшаться по экспоненциальному закону (рисунок 4):



$$E_t = E_0 \cdot e^{-k \cdot t}, \quad (3)$$

**Рисунок 4 –
Напряженность
поля диэлектрика**

где E_t – напряженность электрического поля связанных зарядов в данный момент времени t ;

E_0 – напряженность электрического поля связанных зарядов в момент отключения внешнего поля ($t=0$);

e – основание натуральных логарифмов ($e \approx 2,71$);

k – коэффициент диэлектрической поляризации;

t – время.

Коэффициент диэлектрической поляризации определяется формулой:

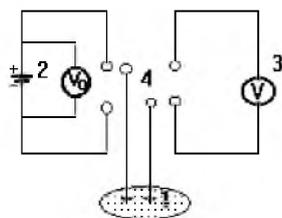
$$k = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{T}, \quad (4)$$

где $T = t$ – это время, за которое напряженность электрического поля в диэлектрике уменьшится в два раза.

Сельскохозяйственная продукция (овощи, фрукты, зерно и др.) по своим физическим свойствам близка к диэлектрикам. Диэлектрическая проницаемость продуктов связана с таким важным показателем, как их влажность, которая определяется содержанием воды. Влажность влияет не только на сохранность продуктов, но и на их физико-технологические свойства, то есть на процесс переработки и выход готовой продукции. Таким образом, определение относительной диэлектрической проницаемости и коэффициента диэлектрической поляризации используется для определения качества питательных веществ.

Порядок выполнения работы

Измерительная установка (рисунок 5) состоит из исследуемого питательного вещества и иглы – 1; источника постоянного тока на $U_0 = 4-6$ В – 2; цифрового мультиметра – 3; четырехполюсного ключа – 4.



**Рисунок 5 –
Схема опыта**

1. Установить на источнике постоянного тока напряжение $U = 10-12$ В.

2. В питательное вещество вставить иглы на глубину 0,01 м с расстоянием между ними $d = 0,01$ м и ключом замкнуть на источник постоянного тока на 20-30 секунд – в это время

происходит поляризация диэлектрика.

3. Переключить ключ на мультиметр и быстро записывать его показания в таблицу 1 через 0, 10, 20, ... и т. д. до 150 секунд.

4. Рассчитать напряженность внешнего электрического поля по формуле:

$$E_0 = \frac{U}{d}, \quad (5)$$

где U – напряжение на источнике постоянного тока;

d – расстояние между электродами, равное 0,01 м.

5. Используя формулу (2), вычислить значение относительной диэлектрической проницаемости.

6. По формуле (4) вычислить коэффициент диэлектрической поляризации.

7. Данные измерений и вычислений занести в таблицу.

8. Построить график зависимости напряженности электрического поля в диэлектрике от времени $E = f(t)$.

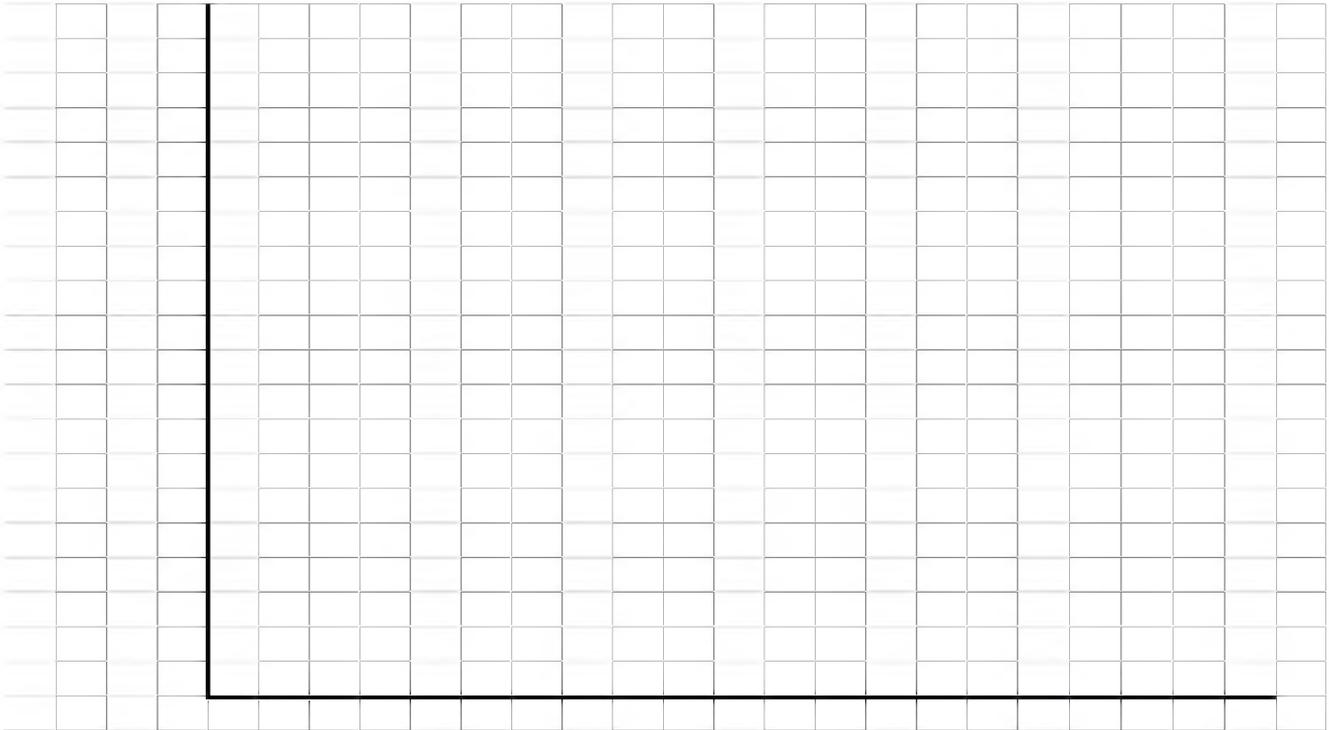
9. Сделать вывод о зависимости напряженности электрического поля в диэлектрике от времени.

Таблица – Результаты измерений и вычислений

t, c	$E \cdot 10^2, B/m$	t, c	$E \cdot 10^2, B/m$
10		10	
20		20	
30		30	
40		40	
50		50	
60		60	
70		70	
80		80	
90		90	
100		100	
110		110	
120		120	
130		130	
140		140	
150		150	
$\varepsilon =$		$\varepsilon =$	
$k =$		$k =$	

Вычисления к лабораторной работе №2

График зависимости $E = f(t)$



Вывод:

Контрольные вопросы защиты лабораторной работы № 2

1. Какие вещества называются диэлектриками?
2. Что такое диполь?
3. Дать понятие и записать формулу дипольного момента.
4. Перечислить и привести пример групп диэлектриков.
5. Дать понятие поляризации.
6. Какие виды поляризации диэлектриков вы знаете?
7. Записать формулу и дать определение относительной диэлектрической проницаемости.
8. По какому закону происходит изменение напряженности электрического поля связанных зарядов с течением времени?
9. Объяснить, почему при отключении внешнего электрического поля поле связанных зарядов внутри диэлектрика уменьшается.
10. Записать формулу для определения коэффициента поляризации.

Лабораторная работа № 4

Изучение дисперсии электропроводности ткани

Цель работы: изучить механизм прохождения переменного тока через ткани живого организма, электрические характеристики живых тканей, научиться определять импеданс, электропроводность живых тканей и изучить дисперсию электропроводности.

Приборы и принадлежности: микроамперметр для переменного тока, вольтметр переменного тока, два свинцовых электрода, генератор электрических колебаний, потенциометр, ключ, провода.

Теория опыта

Переменным называется ток, который изменяется по величине и направлению с течением времени.

Структурной единицей биологической ткани является клетка, которая с точки зрения физики представляет собой сферический конденсатор, обладающий определенной емкостью. Омывающие клетку жидкости являются электролитами, обладающими активным сопротивлением. Таким образом, биологические ткани обладают как активным, так и емкостным сопротивлениями. В живом организме эквивалентная электрическая схема представлена последовательным соединением активного сопротивления межклеточной жидкости и емкостного сопротивления живых клеток.

Полное (суммарное) сопротивление ткани переменному току называется **импедансом**.

При последовательном соединении активного и емкостного сопротивлений **импеданс** определяется по формуле:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}, \quad (1)$$

где R – активное сопротивление электролита;

$\frac{1}{\omega \cdot C}$ – емкостное сопротивление клетки;

ω – круговая частота переменного тока;

C – емкость клетки.

Так как $\omega = 2 \cdot \pi \cdot \nu$, то формула **импеданса** примет вид:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot C}\right)^2}, \quad (2)$$

где ν – частота переменного тока.

Из формулы (2) видно, что величина импеданса зависит не только от активного сопротивления электролита и емкости клетки, но и от частоты переменного тока. **Зависимость импеданса от частоты переменного тока** называется **дисперсией импеданса**.

Метод анализа дисперсии импеданса – это неинвазивный метод эффективного мониторинга свойств ткани. Данный метод находит применение в оценке продуктов питания по содержанию жира и воды, в физиологической

оценке крови, в разработке биосенсоров для определения клеточной активности.

Экспериментально, зная напряжение и силу тока в цепи, импеданс определяется *по закону Ома для цепи переменного тока*:

$$Z = \frac{U_{\text{эфф.}}}{I_{\text{эфф.}}}, \quad (3)$$

где $U_{\text{эфф.}}$ – эффективное значение напряжения;

$I_{\text{эфф.}}$ – эффективное значение силы переменного тока.

Действие переменного тока на живой организм зависит от частоты.

Переменный ток *низких частот (порядка 50-100 Гц)* действует так же, как и постоянный, оказывая раздражающее действие на клетку вследствие *поляризационных эффектов*. Это связано с тем, что он вызывает смещение ионов и изменение их концентрации по обе стороны клеточных мембран.

Переменный ток *средних частот (порядка 4 000-50 000 Гц)* вызывает менее выраженные поляризационные эффекты и используется для *исследования периферического кровообращения и электростимуляции*.

Переменный ток *высокой частоты (более 200 000 Гц)* не оказывает раздражающего действия на ткани живого организма, однако тепловой эффект тока при этом сохраняется, и поэтому данный ток используется для *прогревания глуболежащих тканей*.

Электропроводностью называется величина, обратная сопротивлению (импедансу) среды, через которую проходит электрический ток:

$$K = \frac{1}{Z} \quad (4)$$

В системе СИ единица измерения электропроводности – См (Сименс).

Так как электропроводность ткани определяется ее импедансом, то электропроводность биологических объектов также зависит от частоты переменного тока.

Зависимость электропроводности от частоты переменного тока называется дисперсией электропроводности.

Увеличение электропроводности живых тканей при увеличении частоты переменного тока связано с уменьшением явления поляризации. При небольших частотах переменного тока ионы накапливаются на поверхности раздела фаз, слоев и мембран. При увеличении частоты все меньшая часть заряженных частиц успевает переориентироваться и эффект поляризации уменьшается.

Дисперсия электропроводности определяется физиологическим состоянием и морфологическими особенностями ткани, что позволяет использовать ее в биологических и ветеринарных исследованиях для оценки патологических процессов, происходящих в живых тканях.

В данной работе исследуется дисперсия электропроводности тканей живого организма. Электропроводность тканей определяется методом амперметра и вольтметра. Удобства данного метода заключаются в том, что прикладываемое напряжение не вносит существенных изменений в физико-химические процессы в живых тканях и не повреждает их.

Порядок выполнения работы

Измерительная установка (рисунок 1) состоит из потенциометра – П; звукового генератора – З. Г.; вольтметра –V; микроамперметра переменного тока – мкА; свинцовых электродов – Э.

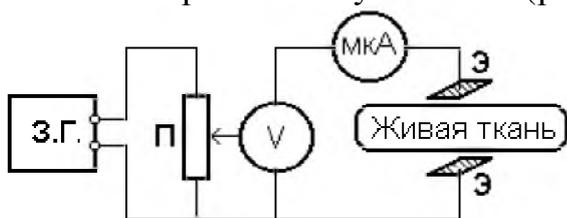


Рисунок 1 –
Схема опыта

1. Включить звуковой генератор.
2. Установить на нем напряжение U_1 .
3. Положить два пальца руки на свинцовые электроды.

4. Изменяя частоту переменного тока от 200 до 1 000 Гц, через каждые 100 Гц измерить силу тока в цепи по микроамперметру ($1 \text{ мкА} = 10^{-6} \text{ А}$).

5. Повторить измерения при напряжении U_2 .

6. Вычислить по формуле (3) импеданс ткани.

7. Вычислить по формуле (4) электропроводность ткани.

8. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

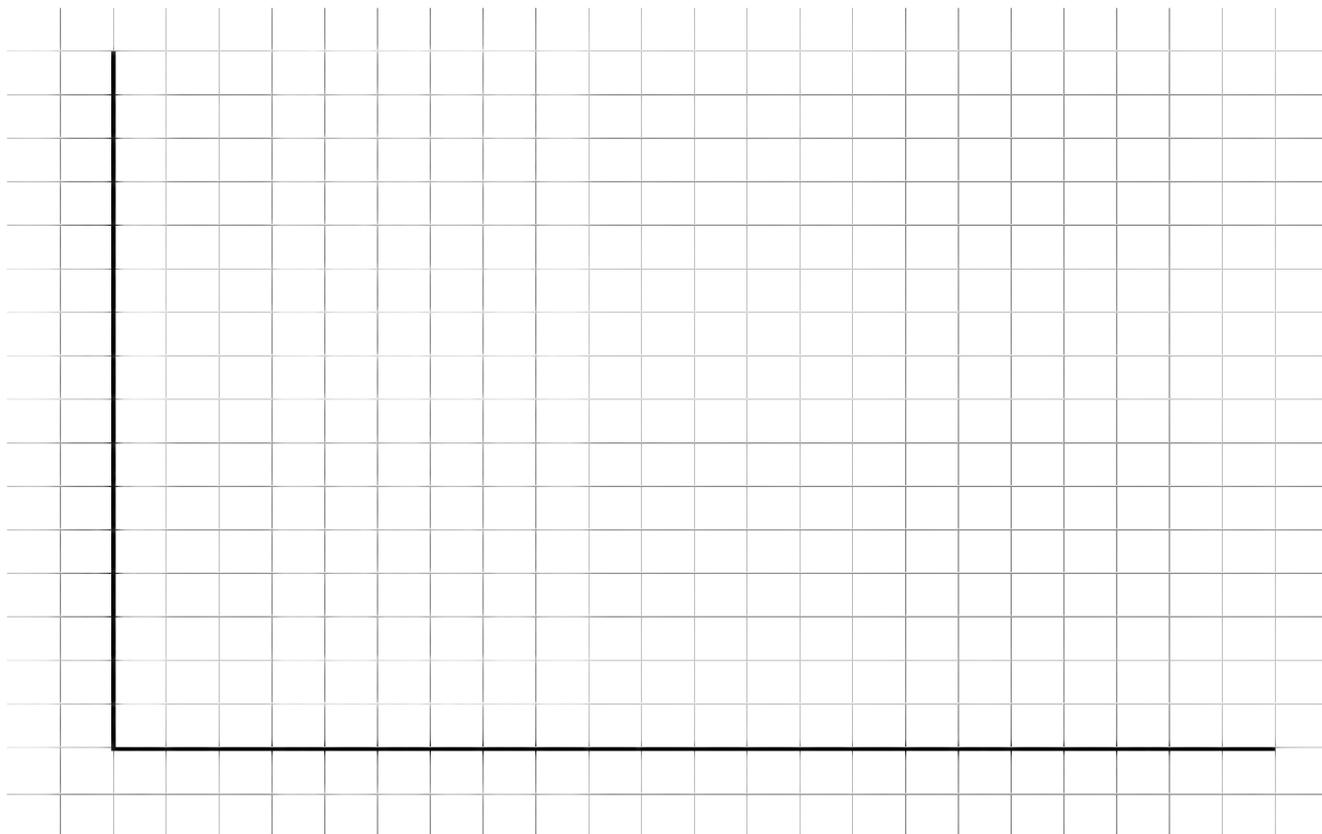
9. Построить графики зависимости электропроводности от частоты $K = f(\nu)$ при одном и том же значении напряжения (два графика в одной системе координат).

10. Сделать вывод о зависимости электропроводности ткани от частоты переменного тока.

Таблица – Результаты измерений и вычислений

№ опыта	ν , Гц	$I_{эфф}$, мкА		Z , МОм		K , мкСм	
		$U_1 = \text{В}$	$U_2 = \text{В}$	$U_1 = \text{В}$	$U_2 = \text{В}$	$U_1 = \text{В}$	$U_2 = \text{В}$
1	200						
2	300						
3	400						
4	500						
5	600						
6	700						
7	800						
8	900						
9	1000						

График зависимости $K = f(\nu)$



Вывод:

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы № 4

1. Что называется переменным током?
2. Что такое импеданс?
3. Из каких сопротивлений состоит импеданс живой ткани? Какие элементы живой ткани обладают этими сопротивлениями?
4. Записать формулу импеданса живой ткани.
5. Что называется дисперсией импеданса?
6. По какой формуле вычисляется импеданс в данной работе?
7. Какое действие оказывает переменный ток на живой организм в зависимости от частоты?
8. Записать формулу и дать определение электропроводности.
9. Что называется дисперсией электропроводности?
10. Как зависит электропроводность живой ткани от частоты переменного тока?

Лабораторная работа №5 Изучение оптических характеристик линз

Цель работы: изучить основные характеристики линз, научиться строить изображение предмета, определять фокусное расстояние и оптическую силу линзы.

Приборы и принадлежности: собирающая линза в оправе, оптическая скамья, экран с белой поверхностью, источник света, предмет в оправе.

Теория опыта

Линза – это прозрачное тело, ограниченное с двух сторон преломляющими (чаще всего сферическими) поверхностями.

Линзы являются одним из основных элементов оптических систем, предназначенных для получения оптических изображений. Они используются во многих оптических приборах для лабораторного анализа, входят в состав разнообразных оптических приборов, широко используемых на практике, таких как микроскопы, лупы, эндоскопы и др.

Основные характеристики линзы:

Оптический центр O – точка, проходя через которую, луч не изменяет своего направления.

Главная оптическая ось O_1O_2 – прямая, проведенная через оптический центр линзы и центры кривизны преломляющих поверхностей (рисунок 1).

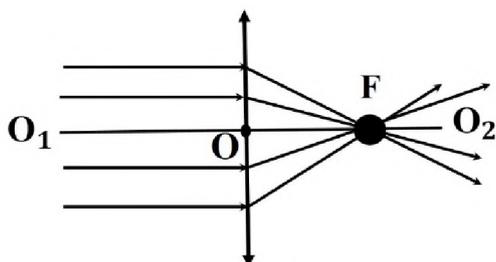


Рисунок 1 –
Собирающая линза

Фокус линзы F – это точка, в которой пересекаются преломленные лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси, или их продолжение.

У любой линзы имеется два фокуса по обе стороны от нее.

Фокусное расстояние f – расстояние от оптического центра линзы до точки фокуса.

Фокусное расстояние зависит от степени кривизны сферических поверхностей линзы. Более выпуклые поверхности будут сильнее преломлять лучи и, соответственно, уменьшать фокусное расстояние. Если фокусное расстояние короче, то данная линза будет давать большее увеличение изображения.

Оптическая сила D – величина, обратная фокусному расстоянию линзы:

$$D = \frac{1}{f} \quad (1)$$

В системе СИ единица измерения оптической силы – дптр (диоптрии):

$$[D] = \text{дптр}$$

Оптическая сила характеризует преломляющую способность линз.

Собирающая линза – это линза, в которой световые лучи (см. рисунок 1), падающие на линзу параллельно главной оптической оси линзы, преломляясь в линзе, собираются в ее фокусе.

У собирающей линзы фокус действительный и он расположен с обратной стороны от падающих лучей. Собирающая линза сводит лучи, параллельные оптической оси, в действительном фокусе и имеет положительную оптическую силу.

Оптическая сила системы линз численно равна алгебраической сумме оптических сил линз, входящих в ее состав:

$$D_{\text{сист.}} = D_1 + D_2 + \dots \quad (2)$$

Построение изображения предмета в линзе:

Для построения изображения предмета АВ, перпендикулярного главной

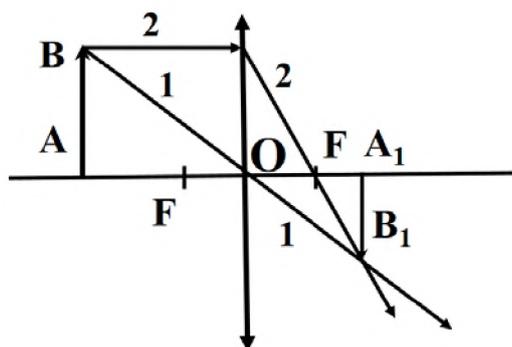


Рисунок 2 –

Построение изображение в линзе

оптической оси, когда точка А лежит на главной оптической оси, достаточно построить изображение конца отрезка, не лежащего на оптической оси (точка В), и опустить перпендикуляр на главную оптическую ось (рисунок 2). Для этого необходимо изобразить ход двух лучей и найти точку их пересечения:

1-й луч – луч, проходящий через оптический центр линзы, не меняет своего направления;

2-й луч – луч, падающий на линзу параллельно главной оптической оси, после преломления в линзе проходит через ее фокус.

Пересечение этих двух лучей дает нам изображение точки В₁. Проводим перпендикуляр до пересечения с главной оптической осью. А₁В₁ – изображение предмета АВ в собирающей линзе.

Пересечение этих двух лучей дает нам изображение точки В₁. Проводим перпендикуляр до пересечения с главной оптической осью. А₁В₁ – изображение предмета АВ в собирающей линзе.

Задание №1. Определение фокусного расстояния и оптической силы собирающей линзы с помощью формулы тонкой линзы

Тонкой называется линза, толщина которой значительно меньше радиусов ее сферических поверхностей.

Формула тонкой линзы имеет вид:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \quad (3)$$

где f – фокусное расстояние линзы;

a – расстояние от предмета до линзы;

b – расстояние от линзы до полученного изображения.

Выразив из формулы (3) f , мы получим выражение для нахождения **фокусного расстояния** собирающей линзы:

$$f = \frac{a \cdot b}{a + b} \quad (4)$$

Порядок выполнения задания №1

1. На оптическую скамью поставить собирающую линзу и предмет.
2. Перемещая линзу, найти положение, при котором видно отчетливое изображение А₁В₁ предмета АВ на экране (см. рисунок 2).

3. Измерить линейкой расстояние от предмета до линзы а.
4. Измерить расстояние от линзы до полученного изображения b.
5. Изменить положение предмета. Перемещая линзу, найдите его четкое изображение на экране.
6. Повторить пункты 3, 4.
7. Повторить опыт еще раз.
8. По формуле (4) рассчитать фокусное расстояние собирающей линзы.
9. Найти среднее значение фокусного расстояния.
10. Оценить абсолютную и относительную погрешности измерений.
11. Используя среднее значение фокусного расстояния, по формуле (1) рассчитать среднее значение оптической силы собирающей линзы.
12. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерений и вычислений

№	$a,$ м	$b,$ м	$f,$ м	$f_{cp},$ м	$\Delta f,$ м	$\Delta f_{cp},$ м	$\frac{\Delta f \cdot 100}{f_{cp}}, \%$	$D_{cp},$ дптр
1								
2								
3								

Задание №2. Определение фокусного расстояния и оптической силы собирающей линзы методом Бесселя

В практике научного эксперимента часто используется метод определения фокусного расстояния собирающих тонких линз, разработанный Бесселем и получивший название *метода Бесселя*. Он заключается в том, что предмет и экран остаются неподвижными, а перемещается только линза, которую нужно устанавливать в двух положениях: в первом положении линза дает увеличенное изображение, а во втором положении линза дает уменьшенное изображение.

Фокусное расстояние собирающей линзы методом Бесселя определяется по формуле:

$$f = \frac{L^2 - l^2}{4 \cdot L}, \quad (5)$$

где L – расстояние от предмета до изображения;

l – расстояние между двумя положениями линзы, дающими увеличенное и уменьшенное изображения предмета.

Порядок выполнения задания №2

1. На оптическую скамью поставить собирающую линзу и предмет.
2. Расположить экран и предмет на таком расстоянии друг от друга, чтобы, перемещая между ними линзу, можно было получить увеличенное и уменьшенное изображения предмета.
3. Измерить расстояние L между экраном и предметом.
4. Перемещая линзу, получить резкое увеличенное изображение предмета на экране. Измерить расстояние между линзой и экраном l_1 .

5. Переместить, не изменяя расстояния между предметом и экраном, линзу вдоль оптической скамьи так, чтобы на экране появилось уменьшенное изображение предмета. Измерить расстояние между линзой и экраном l_2 .

6. Вычислить расстояние l между двумя положениями линзы, то есть $l = l_1 - l_2$.

7. Меняя положение предмета и линзы, повторить измерения еще два раза.

8. По формуле (5) вычислить фокусное расстояние.

9. Рассчитать среднее значение фокусного расстояния.

10. Оценить погрешности измерений.

11. По среднему значению фокусного расстояния, по формуле (1) рассчитать оптическую силу линзы.

12. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты измерений и вычислений

№	L , м	l_1 , м	l_2 , м	l , м	f , м	$f_{cp.}$, м	Δf , м	$\Delta f_{cp.}$, м	$\frac{\Delta f \cdot 100}{f_{cp.}}$, %	$D_{cp.}$, дптр
1										
2										
3										

Контрольные вопросы защиты лабораторной работы №5

1. Что называется линзой?
2. Дать определение фокуса и фокусного расстояния линзы.
3. Дать определение и записать формулу оптической силы линзы.
4. Что характеризует оптическая сила линзы?
5. Записать формулу оптической силы системы линз.
6. Дать понятие собирающей линзы.
7. Нарисовать и объяснить принцип построения изображения в собирающей линзе.
8. Дать понятие тонкой линзы и записать формулу тонкой линзы.
9. Объяснить принцип определения фокусного расстояния линзы методом Бесселя.
10. Записать формулу фокусного расстояния линзы методом Бесселя.

Лабораторная работа №6 Определение концентрации растворов с помощью рефрактометра

Цель работы: изучить явление преломления света, научиться определять концентрацию и абсолютный показатель преломления растворов с помощью рефрактометра и анализировать результаты.

Приборы и принадлежности: рефрактометр, сосуд с дистиллированной водой, сосуды с исследуемыми растворами.

Теория опыта

Свет – это электромагнитная волна. В однородной среде свет распространяется прямолинейно. На границе раздела двух сред свет частично отражается и частично преломляется.

Отражение – это возвращение света, падающего на границу двух сред обратно в первую среду (рисунок 1).



Рисунок 1 –
Явление отражения

Преломление – это изменение направления распространения света при переходе из одной среды в другую (рисунок 2).

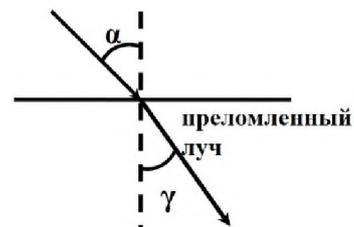


Рисунок 2 –
Явление преломления

При переходе света из одной среды в другую изменится скорость распространения световых волн. В каждой среде скорость света изменяется по-разному. Для характеристики способности вещества изменять скорость распространения электромагнитных волн используется **абсолютный показатель преломления вещества** – величина, которая показывает, во сколько раз скорость света в вакууме больше скорости света в данной среде:

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме;
 v – скорость света в среде.

Следовательно, **скорость света в данной среде** можно определить по формуле:

$$v = \frac{3 \cdot 10^8}{n} \quad (2)$$

Из двух сред, имеющих разные показатели преломления, среда с меньшим показателем преломления, в которой свет распространяется быстрее, называется **оптически менее плотной**, а среда с большим показателем преломления, в которой свет распространяется медленнее, называется **оптически более плотной**.

При переходе света из одной среды в другую может наблюдаться два случая:

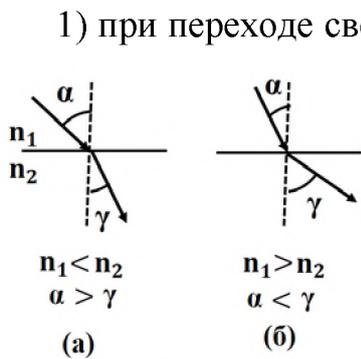


Рисунок 3 –
Два случая преломления

1) при переходе света из оптически менее плотной среды в оптически более плотную среду ($n_1 < n_2$), например, из воздуха в стекло, угол падения света больше угла преломления ($\alpha > \gamma$) (см. рисунок 3 (а));

2) при переходе света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную среду ($n_1 > n_2$), например, из стекла в воздух, угол падения света меньше угла преломления ($\alpha < \gamma$) (см. рисунок 3 (б)).

Явление преломления света описывается **законом преломления**, согласно которому: *синус угла падения так относится к синусу угла преломления, как скорость света в первой среде к скорости света во второй среде, или абсолютный показатель преломления второй среды к абсолютному показателю преломления первой среды:*

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (3)$$

Относительный показатель преломления показывает, во сколько раз скорость света в первой среде больше скорости света во второй:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} \quad (4)$$

Рассмотрим случай, когда свет переходит из среды оптически более плотной в среду оптически менее плотную. В этом случае угол преломления всегда будет больше угла падения. При определенном угле падения, называемом **предельным углом полного внутреннего отражения** $\alpha_{пр}$, угол преломления станет равен 90° (рисунок 4). При этом преломленный луч будет идти по границе раздела сред, не выходя во вторую среду.

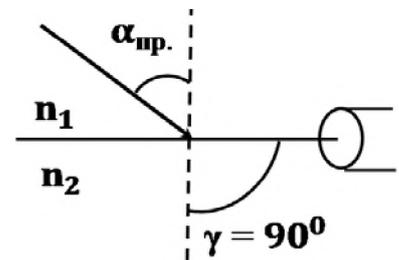


Рисунок 4 –
Явление полного внутреннего отражения

Явление перехода света из оптически более плотной в среду оптически менее плотную, при котором угол преломления равен 90° , называется **явлением полного внутреннего отражения**.

Закон преломления для случая полного внутреннего отражения определяется формулой:

$$\sin \alpha_{пр.} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \quad (5)$$

Оптические приборы, предназначенные для измерения показателя преломления, называют **рефрактометрами**. В их принципе работы используется явление полного внутреннего отражения света. В рефрактометрах исследуемая среда (обычно жидкость) помещается в зазоре (около 0,1 мм) между гранями двух стеклянных прямоугольных призм.

С помощью рефрактометра определяют абсолютный показатель преломления и концентрацию растворенного вещества.

В ветеринарно-санитарной экспертизе рефрактометры используются для определения:

- ✓ качества молока (концентрацию белка);
- ✓ влажности меда (процентного содержания воды);
- ✓ массовой доли растворенных веществ и концентрации сахара;
- ✓ содержания жиров, белков;
- ✓ качества пищевых продуктов;
- ✓ состава газов и жидких растворов.

В фармацевтической промышленности рефрактометры используются для определения:

- ✓ количества глюкозы в биологических жидкостях;
- ✓ концентрации лекарственных средств в растворах;
- ✓ контроля концентрации аскорбиновой и дикетогулоновой кислот при производстве витамина С;
- ✓ концентрации кислот.

Достоинствами рефрактометрических методов количественного анализа являются быстрота измерений, малый расход вещества и высокая точность.

Порядок выполнения работы

Задание №1. Определение нуля прибора

1. Открыть верхнюю камеру, промыть и вытереть досуха соприкасающиеся плоскости призмы.
2. Нанести пипеткой на поверхность измерительной призмы 1-2 капли дистиллированной воды.
3. Поворачивая окуляр, добиться четкого изображения шкалы и визирной линии.
4. Наблюдая в окуляр, переместить источник света, добиваясь наибольшей контрастности поля зрения.
5. Переместить зрительную трубу до совпадения визирной линии с границей раздела между полутенью и светом.
6. По правой шкале отсчитать концентрацию (в случае дистиллированной воды концентрация равна нулю), а по левой шкале – показатель преломления дистиллированной воды (при правильной установке прибора значение показателя должно быть равно 1,333).

Задание №2. Определение показателя преломления и концентрации растворов

1. На поверхность измерительной призмы нанести 1-2 капли исследуемого раствора в порядке номеров, указанных на сосудах (№№1,2,3,4,5).
2. Наблюдая в окуляр, по левой шкале отсчитать показатель преломления данного раствора, а по правой – его концентрацию.
3. По формуле (2) определить скорость света в растворах с различной концентрацией.
4. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

5. Построить график зависимости показателя преломления от концентрации $n = f(C)$.

6. Построить график зависимости скорости света в растворе от концентрации $v = f(C)$.

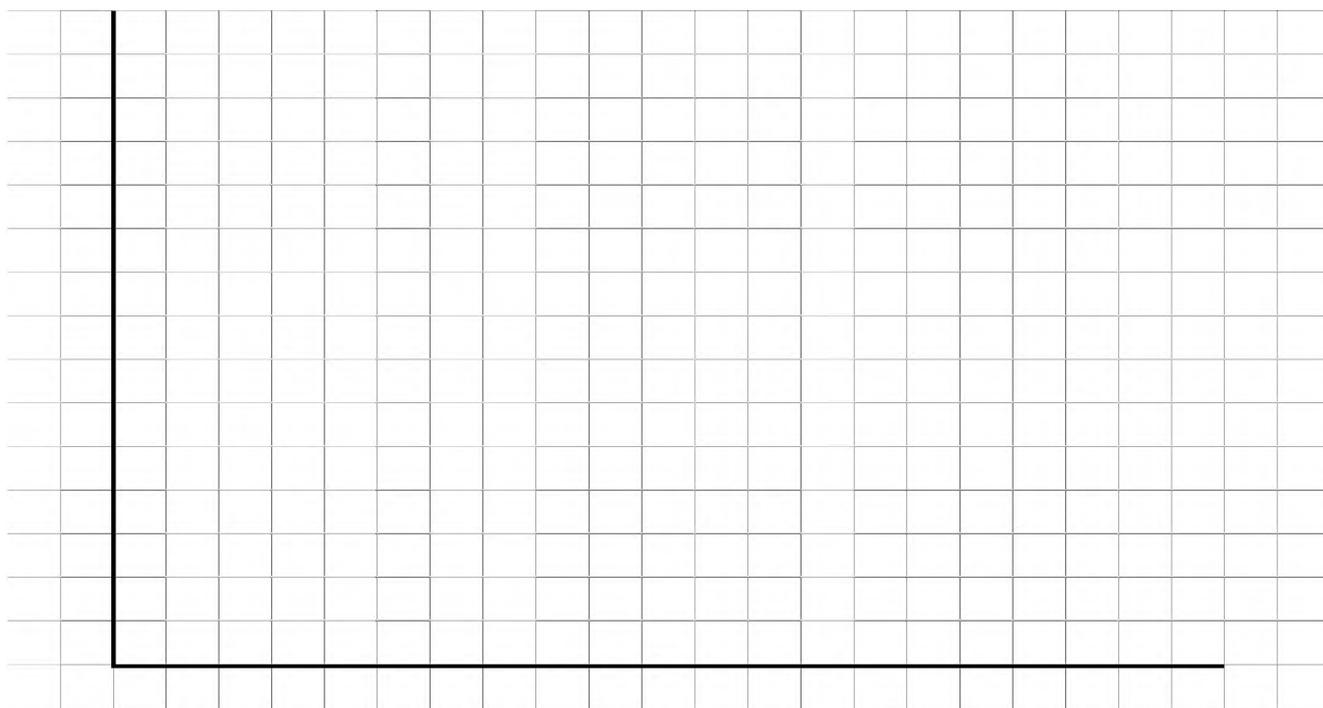
7. Сделать вывод о зависимости показателя преломления от концентрации растворов.

8. Сделать вывод о зависимости скорости света в растворах от их концентрации.

Таблица – Результаты измерений и вычислений

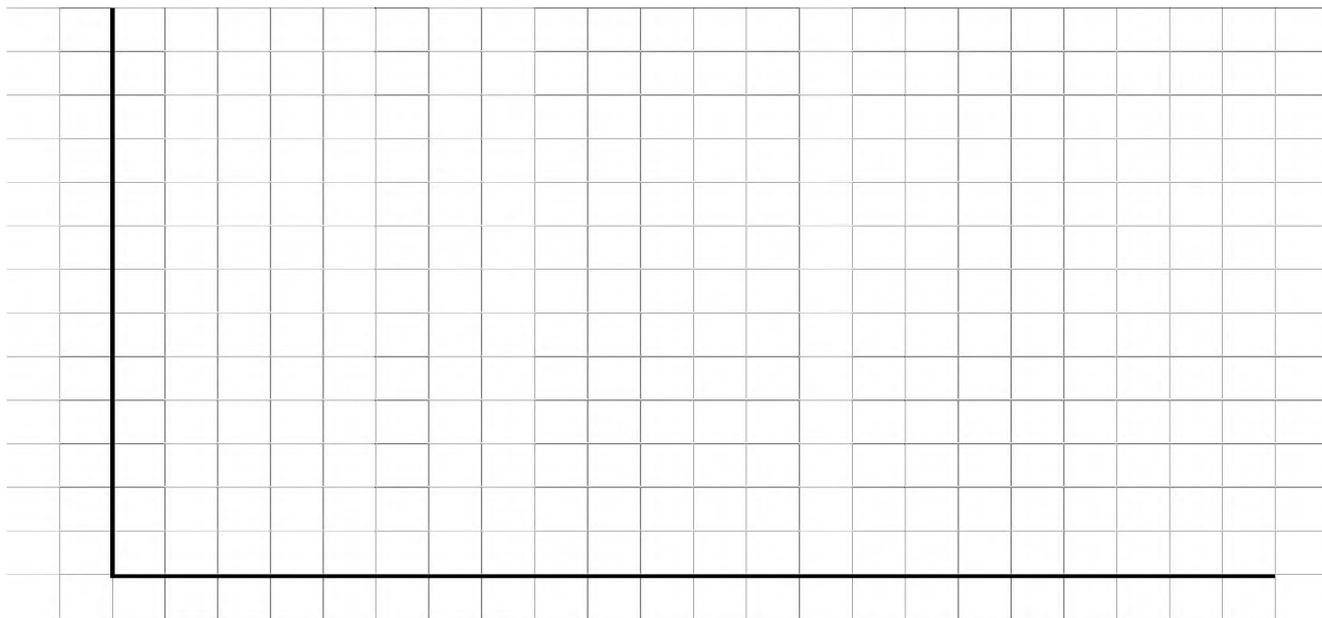
№ раствора	$C, \%$	n	$v, \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Дист. вода			
1			
2			
3			
4			
5			

График зависимости $n = f(C)$



Вывод:

График зависимости $v = f(C)$



Вывод:

Контрольные вопросы защиты лабораторной работы №6

1. Дать понятие отражения света.
2. Дать понятие преломления света.
3. Дать определение и записать формулу абсолютного показателя преломления.
4. Дать определение оптически более плотной и оптически менее плотной среды.
5. Нарисовать и объяснить два случая преломления света.
6. Сформулировать закон преломления света.
7. Дать определение и записать формулу относительного показателя преломления среды.
8. Дать понятие явления полного внутреннего отражения.
9. Для чего используются рефрактометры в ветеринарно-санитарной практике?
10. Для чего используются рефрактометры в фармацевтической промышленности?

Лабораторная работа №7 Изучение волновых свойств света

Цель работы: изучить явления интерференции и дифракции света, научиться определять период дифракционной решетки и длину волны монохроматического света при помощи дифракционной решетки.

Приборы и принадлежности: дифракционная решетка, источник света, линейка с вертикальной шкалой, набор светофильтров.

Теория опыта

Свет представляет собой поперечную электромагнитную волну. Доказательством волновой природы света являются явления дифракции и интерференции.

*Совокупность точек среды, до которых дошла волна в данный момент времени, называется **фронтом волны**. Линия, проведенная от источника в направлении распространения волны, называется **лучом**. Распространение света подчиняется **принципу Гюйгенса**: каждая точка среды, до которой дошел фронт волны в данный момент времени, сама становится источником вторичных сферических волн, которые в боковом направлении гасятся, а в прямом – усиливаются.*

В пустом пространстве свет распространяется всегда прямолинейно. Но если на пути световой волны встречаются препятствия, размер которых сравним с длиной световой волны, то возникает явление дифракции.

Дифракция – явление огибания светом малых препятствий (неоднородностей).

Дифракция сопровождается отклонением света от прямолинейного распространения и проникновением его в область геометрической тени. Дифракционная картина часто возникает в естественных условиях, например, цветные кольца, окружающие источник света, наблюдаемые сквозь туман, обусловлены дифракцией света на водяных каплях.

Явление дифракции удобно исследовать с помощью **дифракционной решетки** – это совокупность большого числа узких параллельных щелей, разделенных непрозрачными участками.

Основной характеристикой дифракционной решетки является **постоянная или период дифракционной решетки** – расстояние между центрами двух соседних щелей:

$$d = a + b, \quad (1)$$

где a – ширина прозрачной щели;

b – ширина непрозрачного промежутка.

Если после прохождения света через дифракционную решетку на пути световых лучей поставить собирающую линзу, которая будет собирать отклонившиеся световые лучи, то в месте их наложения друг на друга будет происходить явление интерференции.

Интерференция света – это явление наложения когерентных световых волн, при котором в разных его точках возникает усиление или ослабление амплитуды результирующей волны.

Когерентные волны – это волны, имеющие одинаковую частоту и постоянную разность фаз.

В природе когерентных источников не существует, поэтому когерентные волны получают искусственным разделением световых лучей, исходящих из одного и того же источника.

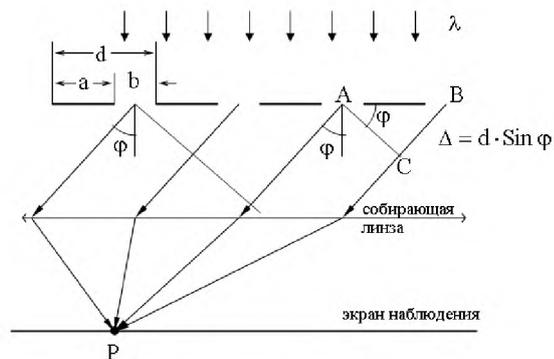


Рисунок 1 –
Явление интерференции
на дифракционной решетке

Вторичные сферические волны, исходящие от щелей дифракционной решетки, являются когерентными, поэтому при наложении друг на друга они создают интерференционную картину – чередование светлых (максимумом – max) и темных (минимумов – min) полос света. Если непосредственно смотреть на решетку, то хрусталик глаза служит линзой, а сетчатка глаза – экраном (рисунок 1).

Условие максимума: максимумы (усиление света) будут наблюдаться в направлении тех углов, для которых на разности хода укладывается целое число длин волн:

$$d \cdot \sin \varphi_{\max} = k \cdot \lambda, \quad (2)$$

где d – период дифракционной решетки;

φ – угол дифракции (угол, на который отклоняется свет от прямолинейного распространения);

$k = 0; \pm 1; \pm 2; \dots$ и т. д. – любое целое число, называемое **порядком максимума или минимума**;

λ – длина волны света.

Если $k = 0$, то будет центральный максимум.

Условие минимума: минимум (ослабление света) будет наблюдаться в направлении тех углов, для которых на разности хода укладывается нечетное число длин полуволн:

$$d \cdot \sin \varphi_{\min} = (2 \cdot k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

Если на решетку падает белый свет, то направления, при которых наблюдаются максимумы для разных длин волн, будут различными и произойдет разложение белого света в спектр. На месте каждого максимума, кроме центрального, будет сплошной спектр, обращенный фиолетовым концом к центру.

Наиболее известное проявление интерференции, с которым мы встречаемся в повседневной жизни – радужное окрашивание мыльных пузырей или тонких пленок бензина на воде или асфальте.

Интерференция света используется в специальных приборах – *интерферометрах*, которые используются в санитарно-гигиенических целях для определения содержания вредных газов, контроля качества продукции.

При помощи дифракционной решетки можно определить длину волны

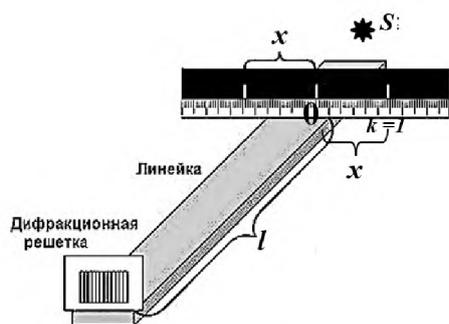


Рисунок 2 –
Схема опыта

монохроматического света. Простейшее измерительное устройство состоит из двух линеек (рисунок 2). На штативе укрепляется горизонтальная линейка, на которой закреплена дифракционная решетка (обращенная к глазу) и передвижная вертикальная шкала с прорезями (обращена к источнику света, в которой подвижно закреплены различные светофильтры).

Глядя через дифракционную решетку на источник света, мы увидим на темной шкале по

обе стороны прорези спектры 1-го, 2-го, 3-го и более высоких порядков. Порядок спектра определяется последовательным счетом от центрального максимума. Если на пути света поставить светофильтр, то вместо спектров будут наблюдаться максимумы только одного определенного цвета, т.е. максимумы, соответствующие определенной длине волны света.

Период дифракционной решетки определяется формулой:

$$d = \frac{k \cdot \lambda \cdot l}{x}, \quad (4)$$

где k – порядок максимума;

λ – длина волны монохроматического света;

l – расстояние от дифракционной решетки до линейки со щелью;

x – расстояние от центрального максимума до максимума первого, второго и третьего порядка.

Формула для нахождения **длины волны света при помощи дифракционной решетки**:

$$\lambda = \frac{d_{\text{ср.}} \cdot x}{k \cdot l} \quad (5)$$

Порядок выполнения работы

Задание №1. Определение периода дифракционной решетки

1. Включить источник света в электрическую сеть.
2. Вставить в рамку дифракционную решетку так, чтобы ее штрихи были направлены параллельно щели на вертикальной линейке.
3. Перекрыть ход световых лучей от источника света к решетке красным светофильтром (с помощью светофильтров в вертикальной линейке). Длина волны красного цвета $\lambda=700$ нм.
4. Измерить расстояние l от решетки до линейки.
5. Приблизив глаз к решетке, увидеть на черном фоне по обе стороны от щели на вертикальной линейке максимумы красного цвета (яркие светящиеся точки), которые располагаются симметрично относительно щели. Измерить расстояние x от центрального максимума ($k=0$) до максимума первого, второго и третьего порядка ($k=1; 2$ и 3).
6. По формуле (4) рассчитать период дифракционной решетки.
7. Найти среднее значение периода дифракционной решетки.

8. Определить абсолютную и относительную погрешности измерений.
9. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерений и вычислений

№	k	λ , нм	l , м	x , м	d , нм	$d_{ср.}$, нм	Δd , нм	$\frac{\Delta d \cdot 100}{d_{ср.}}$, %
1	1	700						
2	2							
3	3							

Задание №2. Определение длины световой волны

1. Считая период дифракционной решетки известным из первого задания, занести его среднее значение в таблицу 2.
2. Поставить на пути света от источника светофильтр, длину волны света, который вы хотите определить (зеленый или синий).
3. Измерить аналогично заданию №1 расстояния l и x для данного света.
4. По формуле (5) рассчитать неизвестную длину волны.
5. Рассчитать среднее значение длины волны.
6. Оценить абсолютную и относительную погрешности измерений.
7. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты измерений и вычислений

№	k	$d_{ср.}$, нм	l , м	x , м	λ , нм	$\lambda_{ср.}$, нм	$\Delta \lambda$, нм	$\frac{\Delta \lambda \cdot 100}{\lambda_{ср.}}$, %
1	1							
2	2							
3	3							

Контрольные вопросы защиты лабораторной работы № 7

1. Дать понятие фронта и луча волны.
2. Сформулировать принцип Гюйгенса.
3. Дать понятие дифракции света.
4. Что такое дифракционная решетка?
5. Дать понятие и записать формулу периода дифракционной решетки.
6. Что называется интерференцией света?
7. Какие волны называют когерентными? Как их получают?
8. Что представляет собой интерференционная картина?
9. Сформулировать и записать формулы условия максимума и минимума для интерференции на дифракционной решетке.
10. Записать формулы периода дифракционной решетки и длины волны света, которые вы использовали для расчета лабораторной работы.

Лабораторная работа №8 Изучение квантовых свойств света

Цель работы: изучить корпускулярно свойства света, явление внешнего фотоэффекта, изучить основные характеристики вакуумных фотоэлементов.

Приборы и принадлежности: фотоэлемент, микроамперметр, выпрямитель, источник света, вольтметр, реостат, линейка, провода.

Теория опыта

Свет обладает корпускулярно-волновым дуализмом, то есть он одновременно является и электромагнитной волной, и частицей – фотоном – квантом электромагнитного поля. Квантовые (корпускулярные) свойства проявляются при взаимодействии света с веществом, в частности, при фотоэффекте.

Фотоэффект – явление выбивания электронов из атомов или молекул вещества под действием электромагнитного излучения (света).

Если оторванные от своих атомов или молекул электроны остаются внутри вещества в качестве свободных носителей заряда, то **фотоэффект** называется **внутренним**. Внутренний фотоэффект наблюдается в некоторых полупроводниках и в меньшей степени – у диэлектриков.

Если электроны, выбитые электромагнитным излучением, вылетают за пределы вещества, **фотоэффект** называют **внешним**. Внешний фотоэффект наблюдается главным образом у металлов.

Внешний фотоэффект был открыт в 1887 г. немецким физиком Г. Герцем. Первые систематические экспериментальные исследования закономерностей этого явления были проведены русским ученым А. Г. Столетовым в 1888–1899 гг. Экспериментальные исследования Столетова привели к установлению следующих основных **законов внешнего фотоэффекта**:

1-й закон: фототок насыщения I_n (максимальное число электронов, освобождаемых светом за 1 с) прямо пропорционален интенсивности падающего света (световому потоку) и не зависит от его частоты:

$$I_n = k \cdot \Phi, \quad (1)$$

где k – **фоточувствительность освещаемой поверхности** (выражается в микроамперах на люмен (мкА/лм));

Φ – световой поток.

2-й закон: скорость фотоэлектронов зависит от частоты падающего света и не зависит от его интенсивности.

3-й закон: независимо от интенсивности падающего света фотоэффект начинается только при определенной (для данного металла) минимальной частоте света, называемой **красной границей фотоэффекта**.

В 1905 году А. Эйнштейн, развивая идеи М. Планка о дискретном характере испускания веществом электромагнитного излучения, выдвинул гипотезу о том, что поглощение света веществом происходит отдельными квантами и предложил уравнение, которое является частным случаем закона сохранения и превращения энергии применительно к фотоэффекту. Согласно **уравнению**

Эйнштейна: энергия фотона расходуется электроном на совершение работы по выходу из вещества и сообщение электрону кинетической энергии:

$$h \cdot \nu = A_{\text{ВЫХ.}} + \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad (2)$$

где $h \cdot \nu$ – энергия фотона;

$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка;

ν – частота света;

$A_{\text{ВЫХ.}}$ – работа выхода электрона из вещества;

$m \cdot v^2/2$ – кинетическая энергия фотоэлектронов;

m – масса электрона;

v – скорость электрона.

Работа выхода электрона – это минимальная энергия, которую необходимо сообщить электрону, чтобы вырвать его из вещества.

Величина работы выхода зависит от химической природы вещества, то есть определяется только свойством тех атомов, из которых данное вещество состоит, поэтому для одного и того же вещества работа выхода электронов будет одинаковой.

Из уравнения Эйнштейна следует, что минимальная энергия кванта, то есть минимальная частота (и соответствующая ей максимальная длина) света, при которой еще возможен фотоэффект, связана с работой выхода:

$$h \cdot \nu_{\text{min}} = A_{\text{ВЫХ.}} \quad (3)$$

Красная граница фотоэффекта зависит только от работы выхода электрона, то есть от природы вещества катода.

Приборы, в которых фотоэффект используется для превращения энергии излучения в электрическую энергию, называются **фотоэлементами**. Простейшим таким прибором является вакуумный фотоэлемент. Применяется в фотометрии для измерения силы света, яркости, освещенности, в управлении производственными процессами.

Существуют полупроводниковые фотоэлементы, в которых под действием света происходит изменение концентрации носителей тока. Они используются при автоматическом управлении электрическими цепями (например, в турникетах метро), в цепях переменного тока, используются в солнечных батареях на искусственных спутниках Земли, межпланетных и орбитальных автоматических станциях.

Важнейшими характеристиками фотоэлемента являются световая, вольт-амперная и спектральная, которые изучаются в данной работе.

Световой характеристикой называется зависимость фототока (при заданном напряжении на электродах фотоэлемента) от светового потока, т. е. $I = f(\Phi)$.

В данной работе световой поток можно определить по формуле:

$$\Phi = \frac{J \cdot S}{r^2}, \quad (4)$$

где J – сила света;

S – площадь фотокатода;

r – расстояние от источника света до фотоэлемента.

В системе СИ единица измерения светового потока – лм (люмен).

Вольтамперной характеристикой называется зависимость тока от напряжения на электродах фотоэлемента при постоянном световом потоке, то есть $I = f(U)$.

Спектральной характеристикой называется зависимость чувствительности фотоэлемента от длины волны падающего света: $k = f(\lambda)$.

Порядок выполнения работы

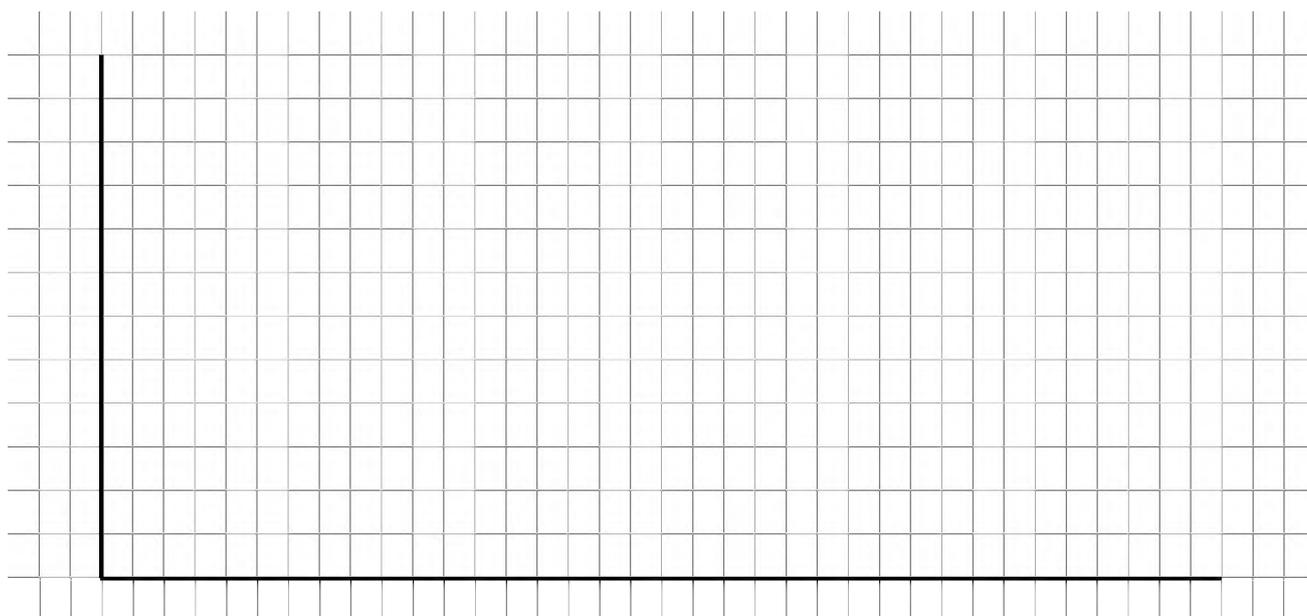
Задание №1. Снятие световой характеристики фотоэлемента

1. Включить источник света (напряжение на лампе 220 В).
2. Установить постоянное напряжение на фотоэлементе ($U = 30$ В).
3. Измерить величину фототока I при различных расстояниях r от источника света до фотоэлемента.
4. По формуле (4) рассчитать значения светового потока Φ , падающего на фотокатод, при различных расстояниях r . Величину освещаемой поверхности фотокатода принять равной $S = 8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Сила источника света $J = 20$ кд.
5. Данные измерений и вычислений занести в таблицу 1.
6. Построить график зависимости фототока от светового потока $I = f(\Phi)$.
7. Сделать вывод о зависимости фототока от светового потока.

Таблица 1 – Результаты измерений и вычислений

Расстояние	r , м				
Световой поток	Φ , лм				
Фототок	I , мкА				

График зависимости $I = f(\Phi)$



Вывод:

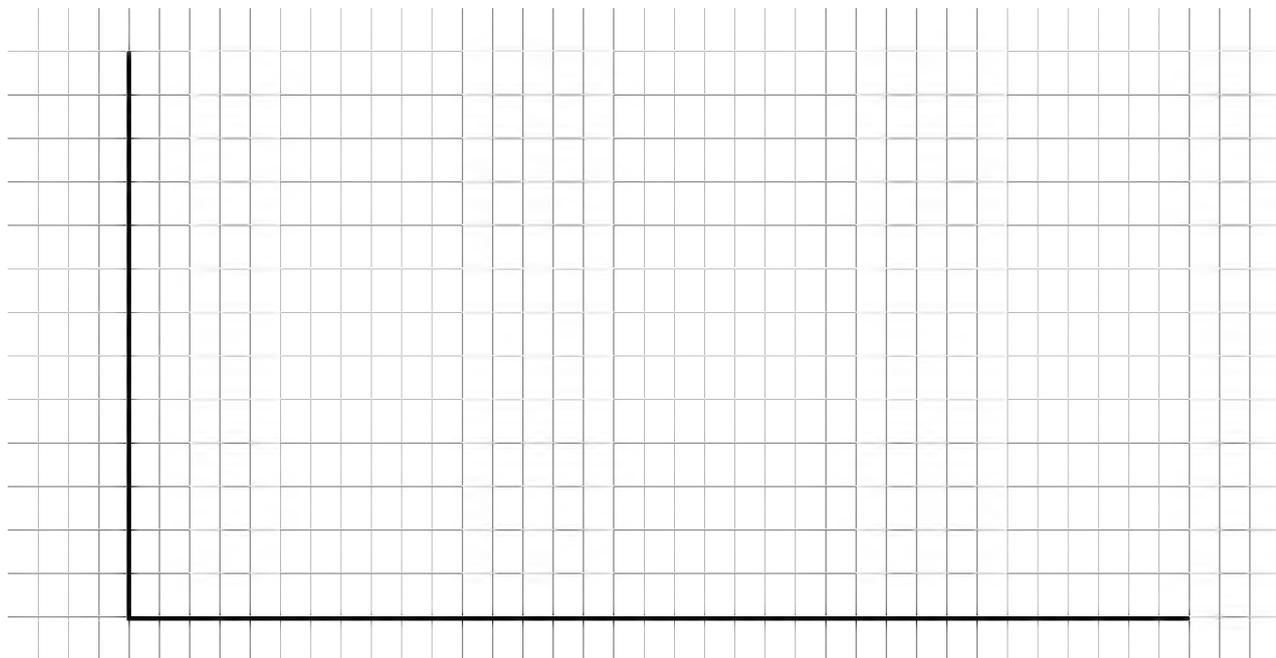
Задание №2. Снятие вольтамперной характеристики фотоэлемента

1. Включить источник света ($U=220$ В).
2. Установить фотоэлемент на расстоянии r_1 от источника света.
3. Измерить фототок при различном напряжении на фотоэлементе (напряжение изменять через 5 В) при постоянном световом потоке.
4. Аналогично измерить фототок при расстоянии r_2 .
5. Вычислить Φ_1 и Φ_2 по формуле (4).
6. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 2.
7. Построить график зависимости фототока от напряжения $I = f(U)$ для двух случаев светового потока (в одной системе координат).
8. Сделать вывод о зависимости силы тока от напряжения.

Таблица 2 – Результаты измерений и вычислений

$r_1 =$			$r_2 =$		
$U, \text{В}$	$I_1, \text{мкА}$	$\Phi_1, \text{лм}$	$U, \text{В}$	$I_2, \text{мкА}$	$\Phi_2, \text{лм}$
5			5		
10			10		
15			15		
20			20		
25			25		
30			30		

График зависимости $I = f(U)$



Вывод:

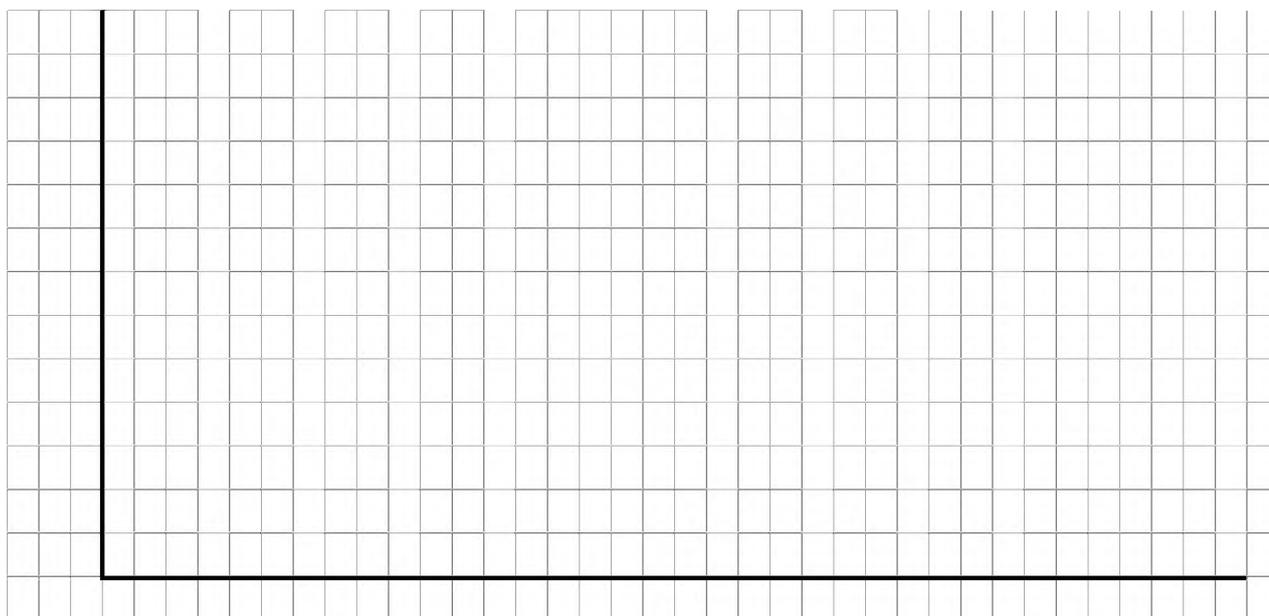
Задание №3. Снятие спектральной характеристики фотоэлемента

1. Включить источник света (220 В).
2. Установить напряжение на электродах фотоэлемента 30 В.
3. Установить в держателе красный светофильтр. Длину волны определить по таблице 4.
4. Измерить величину фототока для этого светофильтра при расстоянии r_1 .
5. Аналогичные измерения произвести и для остальных светофильтров.
6. Рассчитать чувствительность фотоэлемента для различных длин волн по формуле $k = I / \Phi$.
7. Аналогичные измерения произвести при расстоянии r_2 .
8. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 3.
9. Построить графики зависимости чувствительности фотоэлемента от длины волны $k = f(\lambda)$ для двух расстояний в одной системе координат.
10. Сделать вывод о зависимости коэффициента чувствительности от длины волны.

Таблица 3 – Результаты измерений и вычислений

$r, \text{ м}$						
$\lambda, \text{ нм}$						
$I, \text{ мкА}$						
$k, \text{ мкА/лм}$						

График зависимости $k = f(\lambda)$



Вывод:

Таблица 4 – Средняя длина волны спектрального участка для различных светофильтров

№	Цвет	$\lambda_{\text{ср.}}$, нм
1	Красный	760
2	Оранжевый	620
3	Желтый	580
4	Зеленый	550
5	Голубой	490
6	Синий	450
7	Фиолетовый	410

Контрольные вопросы защиты лабораторной работы № 8

1. Что называют фотоэффектом?
2. Какой фотоэффект называется внешним?
3. Какой фотоэффект называется внутренним?
4. Сформулировать законы фотоэффекта.
5. На что расходуется энергия фотона, поглощенного фотоэлектроном?
6. Записать уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.
7. Где применяются фотоэлементы?
8. Дать определение световой характеристики фотоэлемента.
9. Дать определение вольтамперной характеристики фотоэлемента.
10. Дать определение спектральной характеристики фотоэлемента.

Литература

1. Белановский, А. С. Основы биофизики в ветеринарии : учебное пособие для студентов вузов по специальности «Ветеринария» / А. С. Белановский. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Дрофа, 2007. – 332 с.
2. Грабовский, Р. И. Курс физики / Р. И. Грабовский. – 9-е изд., стер. – Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2006. – 608 с.
3. Ливенцев, Н. М. Курс физики для медвузов : учебник для студентов медицинских институтов / Н. М. Ливенцев. – 5-е изд., перераб. – Москва : Высшая школа, 1974. – 646 с.
4. Ремизов, А. Н. Курс физики, электроники и кибернетики для медицинских институтов : учебник для студентов медицинских специальностей вузов / А. Н. Ремизов. – Москва : Высшая школа, 1982. – 607 с.
5. Коваленок, Н. П. Физика и биофизика : учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ для студентов 1 курса по специальностям : «Ветеринарная медицина», «Ветеринарная санитария и экспертиза», «Ветеринарная фармация» / Н. П. Коваленок, Л. П. Даниленко, И. О. Петроченко. – Витебск, 2015. – 69 с.
6. Физика и биофизика : учебно-методическое пособие для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальностям : «Ветеринарная медицина», «Ветеринарная санитария и экспертиза», «Ветеринарная фармация» / И. О. Петроченко [и др.]. – Витебск, 2019. – 207 с.

Учебное издание

Ковалёнок Наталья Павловна

**ФИЗИКА И БИОФИЗИКА.
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ФИЗИКЕ И БИОФИЗИКЕ**

Методические указания

Ответственный за выпуск А. М. Курилович
Технический редактор Е. А. Алисейко
Компьютерный набор Н. П. Ковалёнок
Компьютерная верстка Е. В. Морозова
Корректор Е. В. Морозова

Подписано в печать 11.07.2024. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 2,75. Уч.-изд. л. 1,63. Тираж 65 экз. Заказ 2494.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Витебская ордена «Знак Почета»
государственная академия ветеринарной медицины».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/ 362 от 13.06.2014.
ЛП №: 02330/470 от 01.10.2014 г.
Ул. 1-я Доватора, 7/11, 210026, г. Витебск.
Тел.: (0212) 48-17-70.
E-mail: rio@vsavm.by
<http://www.vsavm.by>