

Министерство сельского хозяйства и продовольствия
Республики Беларусь

Витебская ордена «Знак Почета» государственная
академия ветеринарной медицины

Кафедра радиологии и биофизики

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО БИОФИЗИКЕ**

Учебно-методическое пособие по выполнению
лабораторных работ для студентов 1 курса ФВМ по специальности
1-74 03 02 «Ветеринарная медицина»

Витебск
ВГАВМ
2021

УДК 53 (07)
ББК 22.3
Л12

Рекомендовано к изданию методической комиссией
факультета ветеринарной медицины УО «Витебская ордена
«Знак Почета» государственная академия ветеринарной
медицины» от 10 декабря 2020 г. (протокол № 17)

Авторы:

старший преподаватель *Н. П. Коваленок*; старший преподаватель
Е. В. Толкач; ассистент *И. О. Петроченко*; старший преподаватель
А. Н. Толкач

Рецензенты:

кандидат биологических наук, доцент *В. П. Баран*;
кандидат физико-математических наук, доцент *М. Н. Борисевич*

Лабораторный практикум по биофизике : учеб.-метод. пособие
Л12 по выполнению лабораторных работ для студентов 1 курса ФВМ по
специальности 1-74 03 02 «Ветеринарная медицина» / *Н. П. Коваленок*
[и др.] – Витебск : ВГАВМ, 2021. – 60 с.

Учебно-методическое пособие разработано в соответствии с
типовой учебной программой для специальности 1-74 03 02 «Ветери-
нарная медицина». Содержит введение, теорию опыта, методику хода
выполнения и обработки результатов лабораторных работ, правила их
оформление, а также вопросы для самоконтроля.

УДК 53 (07)
ББК 22.3

© УО «Витебская ордена «Знак Почета»
государственная академия ветеринарной
медицины », 2021

**Сводная таблица
учета выполнения и защиты лабораторных работ**

студента _____ группы _____ курса _____ факультета

(Ф. И. О. студента)

№№ Л/р	Дата выполнения	Оценка за выполнение, оформление и защиту л/р	Зачет по л/р, подпись преподавателя
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Содержание

Введение	5
Методы вычисления погрешностей	7
Л/р №1. Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса	9
Л/р №2. Изучение диэлектрической поляризации питательных веществ	15
Л/р №3. Определение удельной электропроводности растворов электролитов	21
Л/р №4. Изучение дисперсии электропроводности ткани переменному току	27
Л/р №5. Определение фокусного расстояния и оптической силы собирающей линзы	32
Л/р №6. Определение концентрации раствора сахарозы с помощью рефрактометра	36
Л/р №7. Определение длины световой волны при помощи дифракционной решетки	42
Л/р №8. Изучение основных законов внешнего фотоэффекта	48
Литература	56

Введение

Лабораторные занятия, как и другие виды практических занятий, являются средним 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.

Проведением лабораторного практикума со студентами достигаются следующие цели:

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

- приобретение навыков в научном экспериментировании, анализе полученных результатов;
- формирование первичных навыков организации, планирования и проведения научных исследований.

Главная задача физического практикума состоит в том, чтобы научить вас:

- 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) проведение измерений и занесение данных эксперимента в таблицы измерений и вычислений;

2) обработка полученных результатов;

3) оценка погрешностей (если есть указания);

4) построение графиков (если есть указания);

5) формулировка выводов.

Лабораторная работа защищается студентом индивидуально после выполнения экспериментально-практической части в полном объеме. В процессе защиты студент должен:

– продемонстрировать знание методики выполнения работы и оборудования, используемого в работе;

– уметь интерпретировать полученные в процессе выполнения работы результаты;

– обосновывать сделанные выводы;

– отвечать на каждый из контрольных вопросов 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:

$$\Delta x_1 = |x_{cp.} - x_1|;$$

$$\Delta x_2 = |x_{cp.} - x_2|; \quad (2)$$

$$\Delta x_n = |x_{cp.} - x_n|$$

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

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

5. Тогда результат измерения:

$$x = x_{cp.} \pm \Delta x_{cp.} \quad (4)$$

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

$$\varepsilon = \frac{\Delta x_{cp.}}{x_{cp.}} \cdot 100\% \quad (5)$$

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: экспериментальное определение коэффициента внутреннего трения жидкости методом Стокса.

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

Теория опыта

Идеальная жидкость, т.е. жидкость, движущаяся без трения, является абстрактным понятием. Всем реальным жидкостям в большей или меньшей степени присуща вязкость или внутреннее трение.

Вязкость – свойство текущих веществ (жидкостей и газов) сопротивляться перемещению одной части относительно другой под действием внешних сил.

Различают стационарное, ламинарное и турбулентное течение жидкости. При **стационарном течении** жидкость протекает сплошным потоком, при котором скорость молекул одинакова по величине и направлению. Стационарное течение характерно для маловязких жидкостей, при относительно больших сечениях трубы и небольших скоростях течения. При **ламинарном (слоистом) течении** частицы жидкости движутся с постоянными по направлению скоростями, образуя параллельные слои, которые не перемешиваются друг с другом. Ламинарное течение характерно для вязких жидкостей, текущих с достаточно малыми скоростями, а также при медленном обтекании жидкостью тел малых размеров. В частности ламинарное течение наблюдается при течении жидкости в узких (капиллярных) трубках. Течение жидкости, при котором имеет место завихрение и перемешивание слоев, называется **турбулентным течением (вихревое)**. При таком течении частицы жидкости совершают неупорядоченные неустановившиеся движения, что приводит к их интенсивному перемешиванию.

Существование вязкости проявляется в наличии сил внутреннего трения, возникающих между слоями жидкостей, движущихся относительно друг друга с различными скоростями или относительно поверхности твердых тел. Силы внутреннего трения направлены по касательной к поверхности соприкасающихся слоев и препятствуют их относительному перемещению. Со стороны слоя, движущегося быстрее, на слой, движущийся медленнее, действует ускоряющая сила. И, наоборот, со стороны слоя, движущегося медленнее, на слой, движущийся быстрее – тормозящая сила. В жидкостях внутреннее трение обусловлено действием межмолекулярных сил – расстояния между молекулами жидкости сравнительно невелики, а потому силы взаимодействия значительны. Молекулы жидкости, подобно молекулам твердого тела, колеблются около положений равновесия, но эти положения не являются постоянными. По истечении некоторого интервала времени (времени «оседлой жизни») молекула скачком переходит в новое положение. Межмолекулярные силы взаимодействия, которые при этом приходится преодолевать, очень велики. Вследствие это-

го одни слои жидкости увлекают (тормозят) другие соседние слои в основном за счет межмолекулярных сил притяжения.

Если наблюдать ламинарное течение жидкости в прозрачной трубе, то

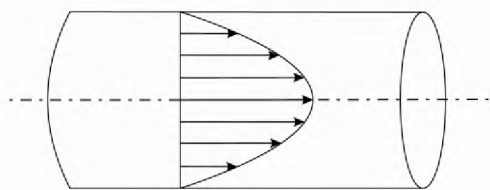


Рисунок 1 – Ламинарное течение жидкости

легко убедиться в том, что жидкость перемещается отдельными слоями, которые движутся с различными скоростями (рисунок 1). Слои жидкости скользят относительно друг друга. Наибольшую скорость имеет слой, движущийся по центральной части трубки. Слой, непосредственно прилегающий к стенке

трубы, благодаря прилипанию частиц жидкости к стенкам трубы имеет скорость практически равную нулю. Распределение скорости текущей жидкости по трубе 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 и определяемая по формуле:

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

где $\Delta \vec{v}$ – изменение скорости при переходе от одного слоя к другому;
 Δx – расстояние между слоями жидкости.

Ньютон опытным путем установил, что **сила внутреннего трения**, возникающая между двумя параллельными слоями жидкости, прямо пропорциональна градиенту скорости и площади соприкасающихся слоев жидкости:

$$\overline{F_{mp.}} = \eta \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta x} \cdot S = \eta \cdot \text{grad } \vec{v} \cdot S, \quad (2)$$

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

S – площадь соприкасающихся слоев жидкости.

Силы межмолекулярного взаимодействия зависят от рода жидкости, от количества и состава примесей, а также от температуры. С повышением температуры время «оседлой жизни» уменьшается, что обуславливает рост подвижности жидкости и уменьшение ее вязкости.

Вязкость жидкости характеризуется коэффициентом вязкости. Выразим из формулы (2) **коэффициент вязкости**:

$$\eta = \frac{F_{mp.}}{\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta x} \cdot S} \quad (3)$$

Это выражение позволяет определить физический смысл **коэффициента внутреннего трения** как силу, возникающую между соседними слоями жидкости единичной площади, при градиенте скорости, равном единице.

В системе СИ единица измерения коэффициента вязкости – **Па·с** (Паскаль в секунду).

У большинства жидкостей коэффициент вязкости зависит от природы жидкости, температуры, давления. Такие жидкости называются **ньютоновскими**. С повышением температуры молекулы жидкости чаще меняют свои

положения равновесия, расстояния между молекулами увеличиваются, а силы притяжения уменьшаются, то есть жидкость становится более текучей и менее вязкой.

У некоторых жидкостей, преимущественно 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.

Вязкость – важная физико-химическая характеристика веществ. Например, вязкость крови в ветеринарии учитывают при определении состояния организма – норма или патология.

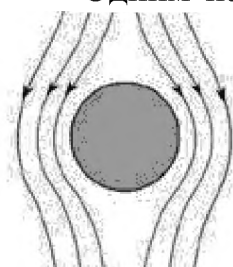


Рисунок 2 – Движение тела в жидкости

Одним из наиболее простых методов определения коэффициента динамической вязкости является метод Стокса, основанный на изучении движения тел сферической формы в вязкой среде. Слои жидкости, граничащие с поверхностью шарика, прилипают к нему и движутся со скоростью шарика. Следующие слои жидкости также приходят в движения, но скорость их уменьшается по мере удаления от шарика (рисунок 2). Таким образом, при вычислении силы сопротивления, действующей на шарик, нужно рассматривать не трение шарика о жидкость, а трение слоев жидкости друг о друга.

Суть метода Стокса заключается в следующем: если в сосуд с жидкостью бросить шарик с плотностью большей, чем плотность жидкости, то он будет падать. На движущийся шарик действуют три силы (рисунок 3):

1. **Сила тяжести**, направленная вертикально вниз:

$$F_T = m_T \cdot g = \rho_T \cdot V \cdot g,$$

где ρ_T – плотность тела;

V – объем;

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

2. **Сила Архимеда** – выталкивающая сила, направленная вертикально вверх:

$$F_A = \rho_{жс} \cdot V \cdot g,$$

где $\rho_{жс}$ – плотность жидкости.

3. **Сила внутреннего трения (сила сопротивления)**, тормозящая движение тела и направленная противоположно движению шарика.

Стокс установил, что если при движении шарика в жидкости течение слоев ламинарное, то величину силы внутреннего трения можно определить по **закону**: сила сопротивления, действующая на тело сферической формы, при движении его с небольшой скоростью в вязкой жидкости пропорциональна радиусу шарика, скорости и коэффициенту вязкости жидкости:

$$F_C = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v, \tag{4}$$

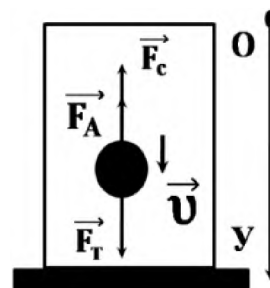


Рисунок 3 – Метод Стокса

где η – коэффициент внутреннего трения жидкости;

r – радиус тела;

v – скорость движения тела в жидкости.

Формула (4) носит название формулы Стокса.

Следует учесть, что при движении возникает не сила трения шарика о жидкость, а трение отдельных слоев жидкости друг о друга, так как шарик обволакивается тонким слоем жидкости, и этот слой жидкости движется вместе с шариком.

Сила трения с увеличением скорости движения шарика возрастает, следовательно, при движении шарика его скорость достигает такой величины, при которой все силы, действующие на шарик, будут уравновешены, то есть их равнодействующая будет равна нулю. Такое движение будет равномерным, и шарик будет двигаться с постоянной скоростью. Согласно первому закону Ньютона сумма всех сил, действующих на тело, равна нулю, то есть

$$\vec{F}_T + \vec{F}_A + \vec{F}_C = 0$$

Спроектируем силы на ось ОУ. Тогда в проекциях на ось ОУ получаем:

$$F_T - F_A - F_C = 0$$

Выразим силу Стокса:

$$F_C = F_T - F_A \quad (5)$$

Подставляя в формулу (5) выражение силы тяжести, силы Архимеда и силы Стокса (4), получаем:

$$6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v = \rho_T \cdot V \cdot g - \rho_{ж} \cdot V \cdot g$$

Вынесем за скобки общие множители: ускорение свободного падения g и объем V :

$$6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v = V \cdot g \cdot (\rho_T - \rho_{ж})$$

Выразим коэффициент внутреннего трения:

$$\eta = \frac{V \cdot g \cdot (\rho_T - \rho_{ж})}{6 \cdot \pi \cdot r \cdot v} \quad (6)$$

Так как тело сферической формы, то его объем определяется по формуле:

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \quad (7)$$

Подставляя объем шара (7) в формулу (6), получаем:

$$\eta = \frac{4}{3} \cdot \frac{\pi \cdot r^3 \cdot g \cdot (\rho_T - \rho_{ж})}{6 \cdot \pi \cdot r \cdot v}$$

Сокращаем общие множители и получаем формулу для определения коэффициента вязкости:

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \cdot g \cdot (\rho_T - \rho_{ж})}{v} \quad (8)$$

Если учесть, что диаметр шара $d = 2 \cdot r$, а скорость при равномерном движении определяется по формуле $v = \frac{L}{t}$, где L - расстояние, пройденное телом за время t , то выражение для определения коэффициента вязкости (8) примет вид:

$$\eta = \frac{1}{18} \cdot \frac{d^2 \cdot g \cdot t \cdot \rho_T - \rho_{жс}}{L} \quad (9)$$

Порядок выполнения задания

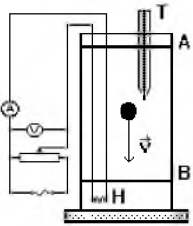


Рисунок 4 –
Схема опыта

Измерительная установка представляет собой цилиндрический сосуд с налитой в него исследуемой жидкостью (рисунок 4). 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.

1. Измерьте термометром температуру жидкости. По таблице 1 определите плотность жидкости при данной температуре.

Таблица 1 – Зависимость плотности жидкости от температуры

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

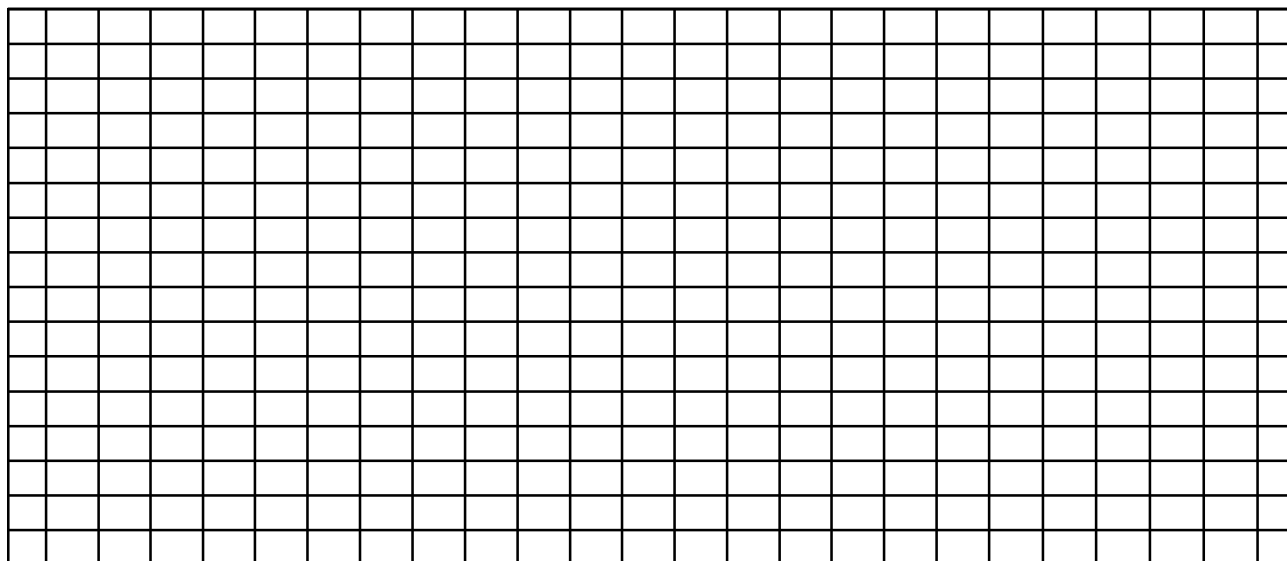
2. С помощью микрометра определите диаметр шарика d .
3. Измерьте расстояние L , которое будет проходить шарик между метками А и В на сосуде.
4. Опустите шарик через отверстие в крышке цилиндрического сосуда в исследуемую жидкость и с помощью секундомера измерьте время t прохождения шариком расстояния L .
5. Включите нагревательный элемент и проведите аналогичные измерения при еще двух значениях температуры.
6. По формуле (9) рассчитайте коэффициент вязкости жидкости η при разных температурах.
7. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 2.
8. Постройте график зависимости коэффициента вязкости от температуры $\eta = f T$.

Таблица 2 – Результаты измерений и вычислений

№	$L, \text{м}$	$T, ^\circ C$	$d, \text{м}$	$\rho_T, \text{кг/м}^3$	$\rho_{жс}, \text{кг/м}^3$	$t, \text{с}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$
1							
2							
3							

9. Сделайте вывод о зависимости коэффициента вязкости жидкости от температуры.

График зависимости $\eta = f T$



Вывод:

Контрольные вопросы защиты лабораторной работы № 1

1. Что такое вязкость?
2. Дать понятие стационарного течения жидкости. Назовите условия его возникновения.
3. Дать понятие ламинарного течения жидкости. Назовите условия его возникновения.
4. Дать понятие турбулентного течения жидкости.
5. Объяснить механизм возникновения сил трения в жидкостях.
6. Дать понятие и записать формулу градиента скорости.
7. Запишите формулу и дайте определение силы внутреннего трения. Поясните все величины, входящие в нее.
8. Запишите формулу коэффициента вязкости жидкости. Объясните его физический смысл.
9. От чего зависит коэффициент вязкости жидкости?
10. Описать сущность метода Стокса, изобразить и назвать силы, действующие на тело, движущиеся в жидкости.
11. Выведите расчетную формулу для определения коэффициента вязкости по методу Стокса.
12. Как зависит вязкость жидкости от температуры и почему?
13. Напишите формулу Стокса. При каких условиях она справедлива? Сформулируйте закон Стокса и условия его применения.
14. Почему необходимо опускать шарик как можно ближе к оси симметрии цилиндра с жидкостью?
15. Почему время движения шарика измеряется только при его движении между метками на колбе?

Лабораторная работа № 2

Изучение диэлектрической поляризации питательных веществ

Цель работы: изучить классификацию диэлектриков, диэлектрическую поляризацию, научиться определять коэффициент диэлектрической поляризации и относительную диэлектрическую проницаемость 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.

Согласно представлениям классической физики, диэлектрик, как и всякое вещество, состоит из атомов и молекул. Однако, в отличие от проводников, в диэлектриках нет свободных зарядов, способных двигаться под действием электрического поля. Все молекулы диэлектрика электрически нейтральны, так как содержат равное количество положительных и отрицательных зарядов. Молекулы диэлектрика подобны **электрическим диполям**, так как положительный заряд ядер и отрицательный заряд электронов находятся в разных точках пространства.

Диполь – это система, состоящая из двух одинаковых по величине, но противоположных по знаку зарядов, расположенных на расстоянии друг от друга (рисунок 1).

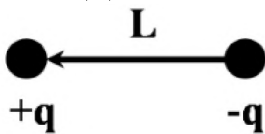


Рисунок 1 –
Диполь

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

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

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

L – расстояние между центрами тяжести положительных и отрицательных зарядов.

За направление вектора дипольного момента принимается направление вдоль оси диполя от отрицательного к положительному заряду.

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

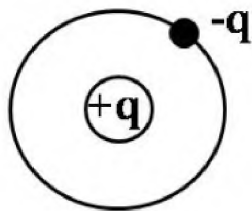


Рисунок 2 – Неполарный диэлектрик

1. **Неполярные диэлектрики**, молекулы которых имеют симметричное строение, так как «центр тяжести» положительного ядра совпадает с «центром тяжести» отрицательного заряда электронной оболочки и таким образом, расстояние между зарядами в молекуле равно нулю (рисунок 2). Молекулы неполярных диэлектриков не обладают дипольным моментом.

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

2. Полярные диэлектрики, молекулы которых имеют несимметричное строение, так как «центры масс» их положительных и отрицательных зарядов не совпадают и расстояние между центрами зарядов в молекуле не равно нулю. Таким образом, молекулы этих диэлектриков представляют собой диполи и обладают постоянным дипольным моментом даже в том случае, когда отсутствует внешнее электрическое поле. Однако при отсутствии внешнего поля дипольные моменты отдельных молекул полярных диэлектриков вследствие теплового движения ориентированы в пространстве хаотически и поэтому дипольный момент диэлектрика близок к нулю (рисунок 3).

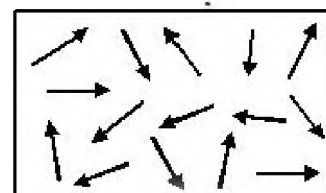


Рисунок 3 – Полярный диэлек-

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

3. Кристаллические диэлектрики, молекулы которых имеют ионное строение. Кристаллические решетки ионных диэлектриков можно рассматривать как состоящие из двух подрешеток, каждая из которых образована ионами одного знака, вставленных одна в другую. При отсутствии внешнего электрического поля подрешетки расположены симметрично и суммарный электрический момент равен нулю.

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

При помещении диэлектрика в электрическое поле происходит поляризация.

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*:

1. Электронная поляризация возникает у неполярных диэлектриков.

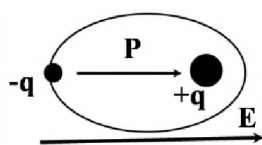


Рисунок 4 – Электронная поляризация

При помещении такого диэлектрика во внешнее электрическое поле положительный заряд каждой молекулы смещается в направлении поля, а электронная оболочка вытягивается в противоположную сторону. Молекула становится полярной, т.е. подобной электрическому диполю, и в результате этого диэлектрик поляризуется (рисунок 4).

2. Ориентационная, или дипольная, поляризация возникает у полярных диэлектриков. Если полярный диэлектрик поместить в электрическое поле, то на каждую его молекулу со стороны поля будут действовать силы, которые будут стремиться повернуть диполь и ориентировать его вдоль силовых линий внешнего электрического поля (рисунок 5). В результате диэлектрик поляризуется. Ориентационная поляризация возрастает с увеличением напряженности внешнего электрического поля и убывает при повышении температуры.

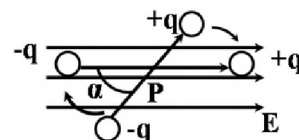


Рисунок 5 - Молекула полярного диэлектрика

3. Ионная поляризация возникает в кристаллических диэлектриках, имеющих ионные кристаллические решетки. Во внешнем поле происходит смещение ионов подрешеток в противоположных направлениях: положительных ионов решетки по направлению поля, а отрицательных ионов – в противоположную сторону. Появляется отличный от нуля суммарный электрический момент.

Рассмотрим диэлектрик, находящийся во внешнем электрическом поле напряженностью E_0 . Вследствие поляризации диэлектрик создает собственное электрическое поле напряженностью $E_{св.}$, направленное против внешнего поля (рисунок 6), и при этом происходит уменьшение внешнего поля внутри диэлектрика. В результате поляризации в диэлектрике будет возникать электрическое поле, напряженность которого можно определить формулой:

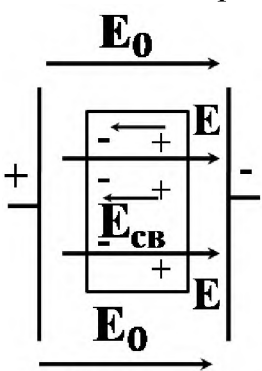


Рисунок 6 – Поляризация диэлектрика

$$E = E_0 - E_{св.}$$

То есть напряженность результирующего электрического поля в диэлектрике становится меньше, чем напряженность внешнего электрического поля. Степень уменьшения напряженности электрического поля в диэлектрике E по сравнению с напряженностью электрического поля в вакууме E_0 характеризуется относительной диэлектрической проницаемостью вещества.

Относительной диэлектрической проницаемостью вещества ϵ называется величина, которая показывает, во сколько раз напряженность электрического поля в вакууме больше, чем напряженность электрического поля в диэлектрике:

$$\epsilon = \frac{E_0}{E} = \frac{E_0}{E_0 - E_{св.}} \quad (5)$$

Относительная диэлектрическая проницаемость вещества ϵ – величина безразмерная. Она зависит от природы диэлектрика и температуры (особенно для жидких диэлектриков). С увеличением температуры вязкость уменьшается, сопротивление среды смещению зарядов уменьшается, и количество связанных зарядов на поверхности увеличивается, что ведет к увеличению диэлектрической проницаемости.

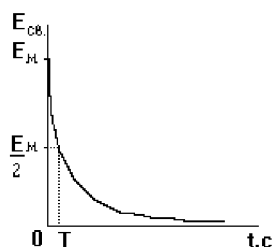


Рисунок 7 - Напряженность поля диэлектрика

Если поляризованный диэлектрик убрать из внешнего электрического поля, то за счет теплового хаотического движения молекул поле в диэлектрике, обусловленное появлением связанных зарядов, начнет исчезать, а его напряженность $E_{св.}$ будет с течением времени уменьшаться по экспоненциальному закону (рисунок 7):

$$E_t = E_0 \cdot e^{-k \cdot t}, \quad (6)$$

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

E_0 – напряженность электрического поля связанных зарядов в момент отключения внешнего поля;

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

k – коэффициент диэлектрической поляризации;

t – время.

Коэффициент диэлектрической поляризации будет определяться формулой:

$$k = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{T}, \quad (7)$$

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

Большинство продуктов питания и питательных веществ (овощи, фрукты и др.) по своим физическим свойствам близки к диэлектрикам и поэтому определение коэффициента диэлектрической поляризации используется для определения качества питательных веществ.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую схему (рисунок 8), состоящую из исследуемого питательного вещества и иглы – 1; источника постоянного тока – 2; цифрового мультиметра – 3; ключа – 4.

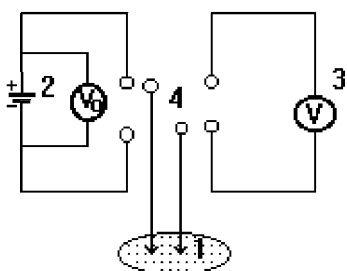


Рисунок 8 – Схема опыта

2. В питательное вещество вставить иглы на глубину 0,01 м с расстоянием между ними 0,01 м и ключом замкнуть на источник постоянного тока на 20-30 секунд. Переключить ключ на мультиметр и быстро записывать его показания через 0, 10, 20, ... и т. д. секунд в таблицу до момента времени, когда напряженность уменьшится в два раза.

3. Вычислить по формуле (5) значение относительной диэлектрической проницаемости ϵ . Значение напряженности внешнего электрического поля E_0 , измеряем с помощью вольтметра на источнике тока; $E_{св.}$ – значение напряженности электрического поля внутри диэлектрика в момент времени $t=0$.

4. По формуле (7) вычислить коэффициент диэлектрической поляризации k .

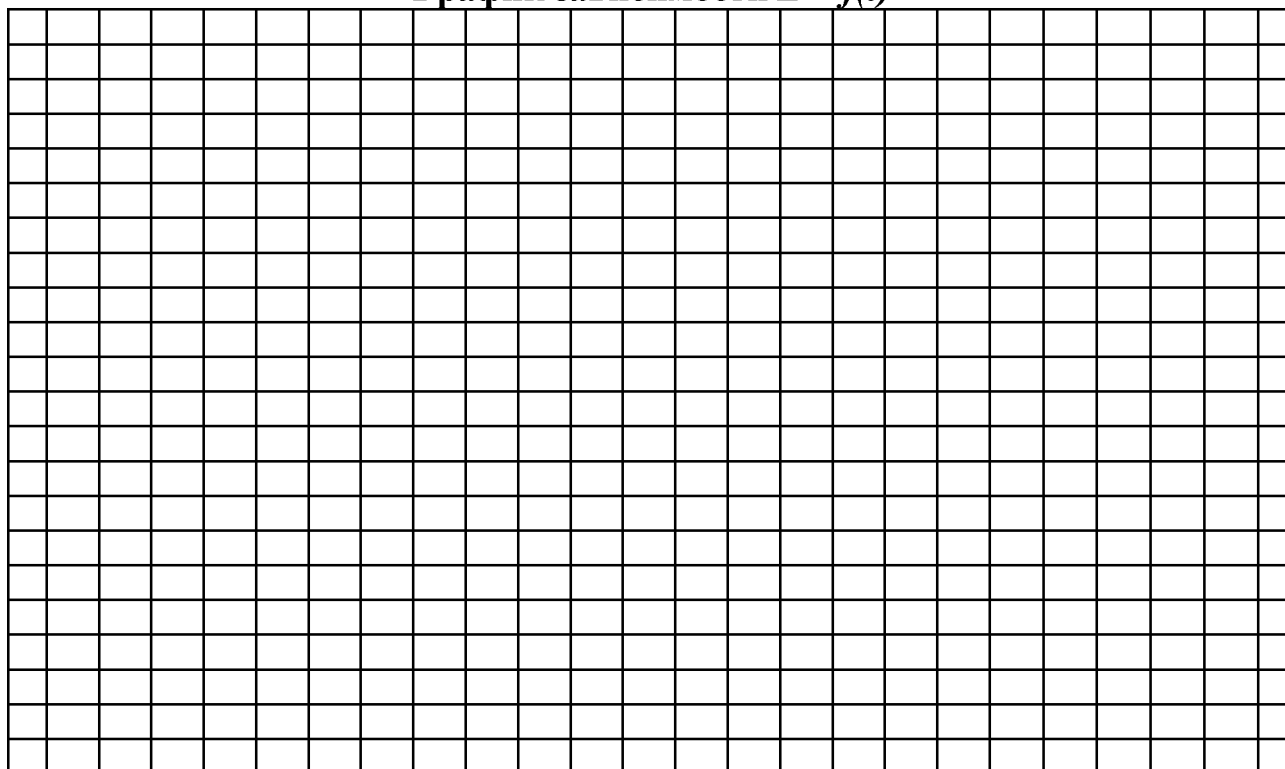
5. Построить график зависимости напряженности электрического поля диэлектрика от времени $E=f(t)$.

6. 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	$t,$ c	$E \cdot 10^{-2},$ B/m
0		0		0	
10		10		10	
20		20		20	
30		30		30	
40		40		40	
50		50		50	
60		60		60	
70		70		70	
80		80		80	
90		90		90	
100		100		100	
110		110		110	
120		120		120	
130		130		130	
140		140		140	
150		150		150	
$\varepsilon =$		$\varepsilon =$		$\varepsilon =$	
$k =$		$k =$		$k =$	

График зависимости $E = f(t)$



Вывод:

Вычисления к лабораторной работе № 2

Контрольные вопросы защиты лабораторной работы № 2

1. Какие вещества называются диэлектриками? Приведите пример.
2. Что такое диполь?
3. Дать определение и записать формулу дипольного момента.
4. Перечислите и охарактеризуйте группы диэлектриков.
5. Что называется поляризацией диэлектрика?
6. Какие виды поляризации диэлектриков вы знаете?
7. Каковы механизмы поляризации полярных диэлектриков?
8. Каковы механизмы поляризации неполярных диэлектриков?
9. Каковы механизмы поляризации кристаллических диэлектриков?
10. Какой диэлектрик называется поляризованным?
11. Что показывает относительная диэлектрическая проницаемость вещества?
12. Запишите закон изменения напряженности электрического поля внутри диэлектрика с течением времени.
13. В чем причина уменьшения электрического поля связанных зарядов после выключения внешнего электрического поля?
14. Запишите формулу для определения коэффициента поляризации.
15. При внесении диэлектрика во внешнее электрическое поле напряженностью 6 В в нем возникло собственное электрическое поле величиной $2,5 \text{ В}$. Определить результирующее поле в диэлектрике.

Лабораторная работа № 3 Определение удельной электропроводности растворов электролитов

Цель работы: Ознакомиться с принципом работы схемы моста Уитстона, научиться вычислять сопротивление электролитов и их электропроводность.

Приборы и принадлежности: сосуд с электродами для электролитов, звуковой генератор, термометр, сосуды с растворами KCl ($0,1N$ и $0,05N$), провода, осциллограф, реохорд.

Теория опыта

Электролитами, или проводниками второго рода, называют растворы солей, кислот и оснований.

Основными носителями зарядов в электролитах являются положительно и отрицательно заряженные ионы (катионы и анионы), которые образуются в растворе в результате электролитической диссоциации нейтральных молекул растворенного вещества. Ионы плотным слоем окружают молекулы растворителя, т.е. образуется сольватная оболочка, а сам процесс называется сольватацией.

Электролиты можно разделить на сильные и слабые. *Сильные электролиты* образуются при использовании веществ, которые при растворении практически полностью диссоциируют на ионы независимо от их концентрации в растворе, а *слабые электролиты* получают, когда при растворении происходит лишь частичная (обратимая) диссоциация вещества на ионы.

Плотность тока в электролитах определяется по формуле:

$$i = \bar{e} \cdot Z \cdot n \cdot b^+ + b^- \cdot E \text{ или } i = \gamma \cdot E, \quad (1)$$

где $\gamma = \bar{e} \cdot Z \cdot n \cdot b^+ + b^-$ – удельная электропроводность электролита,

n – концентрация ионов (число ионов в единице объема);

Z – валентность ионов;

b^+ и b^- – подвижность положительных и отрицательных ионов;

E – напряженность электрического поля.

Подвижность иона – это скорость передвижения иона в растворителе при наличии электрического поля с напряженностью 1 вольт на метр.

Подвижность иона характеризует его способность преодолевать сопротивление среды при его направленном движении в электрическом поле. К основным факторам, влияющим на подвижность ионов в водных растворах, относятся:

- **заряд и радиус иона**, т. е. его природа. Влияние этих характеристик иона взаимосвязано, но неоднозначно: чем больше заряд и чем меньше радиус иона, тем сильнее гидратируется ион, тем толще его гидратная оболочка и, следовательно, тем ниже подвижность иона в растворе. В соответствии с этим в ряду однозарядных ионов Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ , который характеризуется последовательным возрастанием ионного радиуса, радиус гидратированного иона,

наоборот, уменьшается, а определенная опытным путем электрическая подвижность ионов возрастает от Li^+ к Cs^+ .

- **природа растворителя**, в частности его диэлектрическая проницаемость и вязкость. Чем полярнее растворитель, тем больше размеры гидратированного иона и, следовательно, меньше его подвижность. Вязкость растворителя обуславливает сопротивление среды движущемуся иону: чем больше вязкость, тем меньше подвижность иона.

- **температура раствора**. При повышении температуры уменьшаются вязкость растворителя и толщина сольватных оболочек ионов, а также снижается межионное взаимодействие. Все это приводит к увеличению подвижности ионов.

- **концентрация ионов**. Чем больше концентрация ионов в растворе, тем сильнее электростатическое взаимодействие ионов, снижающее их подвижность.

Закон Ома для участка цепи, содержащего электролит, имеет вид:

$$I = \frac{U - \mathcal{E}_{\text{пол}}}{R}, \quad (2)$$

где I – сила тока;

U – напряжение между электродами;

R – сопротивление;

$\mathcal{E}_{\text{пол}}$ – ЭДС поляризации, которая направлена против разности потенциалов, создаваемой между электродами внешним источником тока.

Механизм образования ЭДС поляризации заключается в следующем:

1. Вокруг электродов, опущенных в электролит, изменяется концентрация ионов. Возле каждого электрода скапливаются ионы противоположных знаков, которые создают свое электрическое поле, направленное противоположно внешнему полю.

2. Подходя к электродам, ионы электролита нейтрализуются и оседают на электродах или выделяются в виде газа, что уменьшает активную рабочую поверхность электродов.

Такое явление называется **электролизом**.

Электролиз – это процесс выделения чистого вещества на электродах при прохождении постоянного электрического тока через электролит.

Электролиз широко используется для получения чистых веществ; создания тонких защитных покрытий (гальваностегия); металлических копий каких-либо предметов (гальванопластика); для химического анализа (электроанализ, полярография).

Количественные закономерности электролиза выражены в законах Фарадея.

1-й закон Фарадея:

масса вещества, выделившегося на электродах, в процессе электролиза, прямо пропорциональна заряду, прошедшему через электролит:

$$m = k \cdot q \quad (3)$$

Так как $q = I \cdot \Delta t$, то получаем:

$$m = k \cdot I \cdot \Delta t,$$

где k – **электрохимический эквивалент вещества** – величина, численно равная массе вещества, выделившегося на электродах при прохождении через электролит заряда в 1 Кл:

$$k = \frac{m}{q} \quad (4)$$

2-й Закон Фарадея:

электрохимический эквивалент вещества прямо пропорционален химическому эквиваленту этого вещества:

$$k = \frac{1}{F} \cdot X, \quad (5)$$

где $X = \frac{M}{Z}$ – химический эквивалент вещества, равный отношению молярной массы вещества M к его валентности Z .

Тогда 2-й закон Фарадея примет вид:

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{Z}, \quad (6)$$

где $F=96500$ Кл/моль – **постоянная Фарадея** (в процессе электролиза, при прохождении через электролит заряда, равного 96 500 Кл, из него выделяется 1 моль чистого вещества).

Объединенный закон Фарадея.

Объединив 1-й и 2-й законы Фарадея, получим:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{Z} \cdot q$$

Или

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{Z} \cdot I \cdot \Delta t \quad (7)$$

Количественной характеристикой способности раствора проводить электрический ток является удельная электропроводность.

Удельная электропроводность характеризует степень диссоциации молекул и концентрацию ионов в электролите.

Удельную электропроводность растворов электролитов можно определить

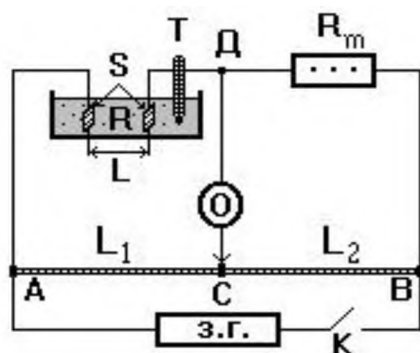


Рисунок 1 – Мост Уитстона

по схеме моста Уитстона с применением источника переменного тока (рисунок 1), где З.Г. – звуковой генератор; О – осциллограф; К – ключ; R – сосуд с электролитом; R_m – магазин сопротивлений; АВ – реохорд с передвижным контактом С; Т – термометр.

Применение переменного тока при измерении сопротивления электролита обусловлено тем, что при прохождении постоянного тока через электролит происходит поляризация электродов продуктами электролиза, а это приводит к постоянному изменению состава электролита.

Сопротивление электролита измеряется с помощью моста Уитстона в уравновешенном состоянии. При этом потенциалы точек С и Д равны, т.е. $\varphi_c = \varphi_d$, что аналогично равенству нулю силы тока на участке СД, т.е. $I_{CD} = 0$. Тогда сопротивление можно рассчитать по формуле:

$$R = R_m \cdot \frac{L_1}{L_2}, \quad (8)$$

где R_m – известное сопротивление (сопротивление магазина);

R – определяемое неизвестное сопротивление объема электролита сечением S и длиной L ;

L_1 и L_2 – соответственно длина левого и правого плеча реохорда.

Как и для металлических проводников, *сопротивление электролита* можно определить по формуле:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}, \quad (9)$$

где L – расстояние между электродами;

S – площадь электродов;

ρ – удельное сопротивление электролита.

Величина, обратная сопротивлению, называется электропроводностью:

$$K = \frac{1}{R} \quad (10)$$

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

Величина, обратная удельному сопротивлению, называется удельной электропроводностью:

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad (11)$$

В системе СИ единица измерения удельной электропроводности – **См/м**:

$$\gamma = \left[\frac{1}{\rho} \right] = \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}} = \frac{\text{См}}{\text{м}}.$$

Выразив из уравнения (9) удельное сопротивление ρ , получим: $\rho = \frac{R \cdot S}{L}$.

Подставив его в выражение (11), получим:

$$\gamma = \frac{L}{S} \cdot \frac{1}{R} \quad (12)$$

Для определения удельной электропроводности используется специальный сосуд с жестко закрепленными электродами. Если заполнять сосуд растворами всегда до одного и того же уровня, то отношение $\frac{L}{S} = C$ будет постоянным. Величина C называется *электролитической емкостью сосуда* (константой сосуда). Тогда выражение (12) для удельной электропроводности примет вид:

$$\gamma = \frac{C}{R} \quad (13)$$

Экспериментальный метод определения удельной электропроводности сводится к измерению сопротивления стандартного раствора R_0 и расчета константы сосуда C , когда сосуд заполнен стандартным раствором с известной удельной электропроводностью:

$$C = \gamma_0 \cdot R_0 \quad (14)$$

После этого измеряют сопротивление исследуемого электролита R и по формуле (12) определяют его удельную электропроводность γ .

Порядок выполнения работы

1. В сосуд налить до метки стандартный раствор KCl с известной электропроводностью γ_0 , предварительно сполоснув 2-3 раза сосуд стандартным раствором.

2. В соответствии с температурой раствора по таблице найти электропроводность стандартного раствора.

Таблица 1– Зависимость электропроводности стандартного раствора от температуры

$t, ^\circ C$	15	16	17	18	19	20	21	25
$\gamma_0, \text{См/м}$	1,048	1,072	1,095	1,119	1,143	1,167	1,191	1,191

3. Вставить электроды в сосуд с электролитом. Замкнуть ключ K .

4. Уравновесить мост Уитстона, для чего:

а) установить передвигной контакт C реохорда так, чтобы длины плеч реохорда были одинаковы: $L_1 = L_2$;

б) изменяя сопротивление магазина R_m , приблизительно добиться наименьшего сигнала на осциллографе;

в) при найденном сопротивлении магазина R_m , перемещая передвигной контакт C реохорда, добиться самого наименьшего сигнала на осциллографе, что соответствует точному уравновешиванию моста Уитстона, при котором сила тока на участке $СД$, где находится осциллограф, равна нулю: $I_{СД}=0$.

5. Сбалансировав мост, определить по реохорду длины плеч L_1 и L_2 .

6. Измерения повторить еще два раза при других значениях сопротивления магазина.

7. По формуле (8) найти сопротивление электролита, его среднее значение и по формуле (14) найти значение постоянной сосуда C .

8. Аналогичные измерения произвести с исследуемым раствором электролита. Рассчитать сопротивление исследуемого раствора R по формуле (8), найти его среднее значение и, зная постоянную сосуда C , определенную по стандартному раствору, по формуле (13) найти удельную электропроводность γ исследуемого раствора.

9. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 2.

Таблица 2 - Результаты измерений и вычислений

№ опыта	Стандартный раствор						C, 1/м	Исследуемый раствор					
	γ_0 , См/м	R_m , Ом	L_1 , м	L_2 , м	R_0 , Ом	R_{0cp} , Ом		R_m , Ом	L_1 , М	L_2 , М	R_0 , Ом	R_{0cp} , Ом	γ , См/м
1													
2													
3													

Вывод:

Контрольные вопросы защиты лабораторной работы № 3

1. Что представляет собой электролит?
2. Чем обусловлен ток в электролитах?
3. Приведите пример (для соли, кислоты, основания) диссоциации молекулы на ионы.
4. В чем отличие сильных и слабых электролитов?
5. Дайте определение подвижности иона.
6. Назовите, какие факторы и как они влияют на подвижность ионов в электролите.
7. Запишите закон Ома для участка цепи, содержащего электролит.
8. В чем заключается механизм образования ЭДС поляризации?
9. Что называется электролизом?
10. Дайте определение электропроводности.
11. Дайте определение удельной электропроводности.
12. Сформулируйте законы Фарадея для электролиза.
13. В чем заключается физический смысл постоянной Фарадея?
14. Какая схема лежит в основе определения удельной электропроводности раствора электролита в данной работе?
15. Запишите формулы, по которым рассчитываются сопротивление электролита, электролитическая емкость сосуда, удельная электропроводность электролита?
16. Как в общем случае влияет концентрация ионов в электролите на его электропроводность.

Лабораторная работа № 4

Изучение дисперсии электропроводности ткани переменному току

Цель работы: научиться определять импеданс ткани живого организма и изучить зависимость импеданса от частоты переменного тока, познакомиться с методом диагностики – реографией.

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.

Для переменного тока биологические ткани представляют собой активное и емкостное сопротивления.

Клетка является структурной единицей биологической ткани, и так как внутриклеточная среда и межклеточная жидкость – это проводники, а клеточная мембрана – диэлектрик, то с физической точки зрения она представляет собой сферический конденсатор определенной емкости. Омывающие клетку жидкости являются электролитами, обладающими активным сопротивлением, поэтому биологические ткани обладают активным и емкостным сопротивлениями. Индуктивное сопротивление в биообъектах практически отсутствует, т.к. структуры, эквивалентной катушке индуктивности, в живом организме нет. Таким образом, полное сопротивление в живом организме (импеданс) определяется свойствами клеточных мембран, а также свойствами клеточных и межклеточных жидкостей.

Импедансом Z называется *полное (суммарное) сопротивление ткани переменному току.*

Так как биологические ткани обладают только активным и емкостным сопротивлениями, то при последовательном соединении этих сопротивлений (явление наблюдается при прохождении тока через поверхностно лежащие ткани) импеданс будет определяться по формуле:

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

где R – активное сопротивление электролита;

C – емкость клетки;

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \nu$ – круговая частота переменного тока;

ν – линейная частота переменного тока.

Тогда формула **импеданса** примет вид:

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

В ходе эксперимента импеданс вычисляется по *закону Ома* для цепи переменного тока:

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

где $U_{эфф}$ – эффективное значение напряжения;

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

Импеданс тканей живого организма зависит от многих физиологических факторов, в частности от состояния кровообращения, от степени наполнения кровеносных сосудов, проходящих в этих тканях.

Действие переменного тока на живой организм зависит от частоты.

На низких частотах (НЧ) (порядка **50–100 Гц**) переменный ток действует так же, как и постоянный, т.е. поляризационные эффекты также велики, как и при постоянном токе. Это значит, что смещение ионов достаточно, чтобы вызвать изменение их концентрации по обе стороны клеточных мембран, сопровождающееся раздражающим действием на клетку.

На средних частотах (СЧ) (порядка **4 000–50 000 Гц**) поляризационные эффекты менее выражены. Это позволяет применять переменный ток частотой 4 000–5 000 Гц для *электростимуляции*, а ток частотой 20 000 – 30 000 Гц применяется в *реографии*.

Переменный ток высокой частоты (ВЧ) (более **200 000 Гц**) не оказывает раздражающего действия на ткани живого организма, однако тепловой эффект тока при этом сохраняется. В связи с этим высокочастотные токи применяются для тепловых лечебных процедур – прогревания глубоко лежащих тканей.

Исследование периферического кровообращения путем измерения электросопротивления называется реографией.

Для реографии применяют переменный ток с частотой 20 000 – 30 000 Гц и измеряют полное сопротивление определенного участка ткани в течение цикла сердечной деятельности. Исследование реограмм применяют в диагностике заболеваний периферических кровеносных сосудов, сопровождающихся изменением их эластичности и сужением артерий, а также при исследовании механизма экстремальных воздействий на организм животного, действия лекарственных веществ и др.

С помощью этого метода получают реограммы головного мозга (реоэнцефалограмма), сердца (реокардиограмма), легких (реопульманограмма), глаз (реоофтальмограмма), конечностей (реовазограмма). Электроды при этом накладываются на соответствующий орган, смазанный предварительно специальной пастой для улучшения контакта с кожей.

Действие переменного тока на организм зависит и от других параметров тока. Основным поражающим фактором является сила электрического тока, проходящего через тело человека.

Человек начинает ощущать воздействие переменного тока величиной 0,5-1,5 мА (миллиампер). Это порог ощутимого тока, который не представляет серьезной опасности.

Величину тока 10 ... 15 мА называют порогом неотпускающего тока. Эта величина тока при промышленной частоте 50 Гц вызывает непроизвольное сокращение мышц кисти руки и предплечья, сопровождающееся резкой болью. При воздействии этого тока на организм человек не может разжать руку и самостоятельно прервать контакт с электрической цепью.

Ток 40 мА поражает органы дыхания и сердечно-сосудистую систему, вызывает фибрилляцию сердца. Фибрилляция - это такое состояние сердца, когда отдельные группы мышечных волокон миокарда сокращаются разрозненно и нескоординированно, вследствие чего сердце теряет способность совершать согласованные сокращения как единое целое и в определенной последовательности. При этом может произойти остановка дыхания.

Ток 100 мА (0,1 А) считается смертельным, так как происходят немедленная остановка сердца и паралич дыхания.

Электропроводностью ткани называется величина, обратная сопротивлению (импедансу) ткани, через которую проходит электрический ток, т.е.

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

Единица измерения электропроводности – Сименс (См)

Электропроводность биологических объектов так же, как и импеданс, зависит от частоты переменного тока.

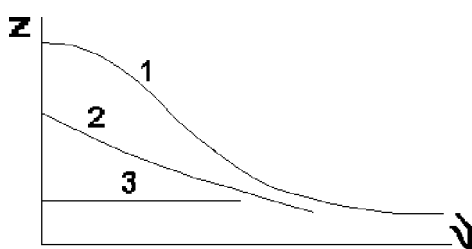


Рисунок 1 – Дисперсия импеданса

Дисперсией электропроводности ткани называется зависимость электропроводности ткани от частоты переменного тока.

Дисперсия импеданса – это зависимость импеданса живой ткани от частоты переменного тока.

Исследования дисперсных кривых зависимости импеданса от частоты переменного тока (рисунок 1) дают важные сведения о состоянии биологических объектов. По крутизне дисперсионной кривой можно судить о жизнеспособности той или иной ткани, что имеет большое значение тогда, когда ткань предназначена для трансплантации.

Причина дисперсии заключается в том, что на величину сопротивления при низких частотах значительное влияние оказывает макроструктурная поляризация. Поскольку при увеличении частоты переменного тока уменьшаются поляризационные эффекты, то это ведет к уменьшению полного сопротивления ткани, и дисперсионная кривая обладает значительной крутизной (рисунок 1, линия 1).

При повреждении ткани возрастает проницаемость клеточных мембран, что приводит к уменьшению полного сопротивления на низких частотах. Поэтому вторая кривая (рисунок 1, линия 2) обладает меньшей крутизной.

При отмирании ткани поляризационные эффекты практически исчезают, и зависимость сопротивления от частоты отсутствует, т.к. остается только активное сопротивление (рисунок 1, линия 3).

В данной работе исследуется дисперсия электропроводности тканей живого организма. Электропроводность тканей определяется методом амперметра и вольтметра. Такой метод измерения электропроводности клеток и тканей довольно широко применяется в медицине и ветеринарии при изучении процессов, происходящих при действии повреждающих факторов, при возникновении различных патологий и т.д. 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

1. Включить звуковой генератор.
2. С помощью потенциометра установить напряжение U_1 .
3. Положить руку на свинцовые электроды.
4. Изменяя частоту переменного тока от 200 до 1 000 Гц, через 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, а по формуле (4) – электропроводность ткани.
7. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.

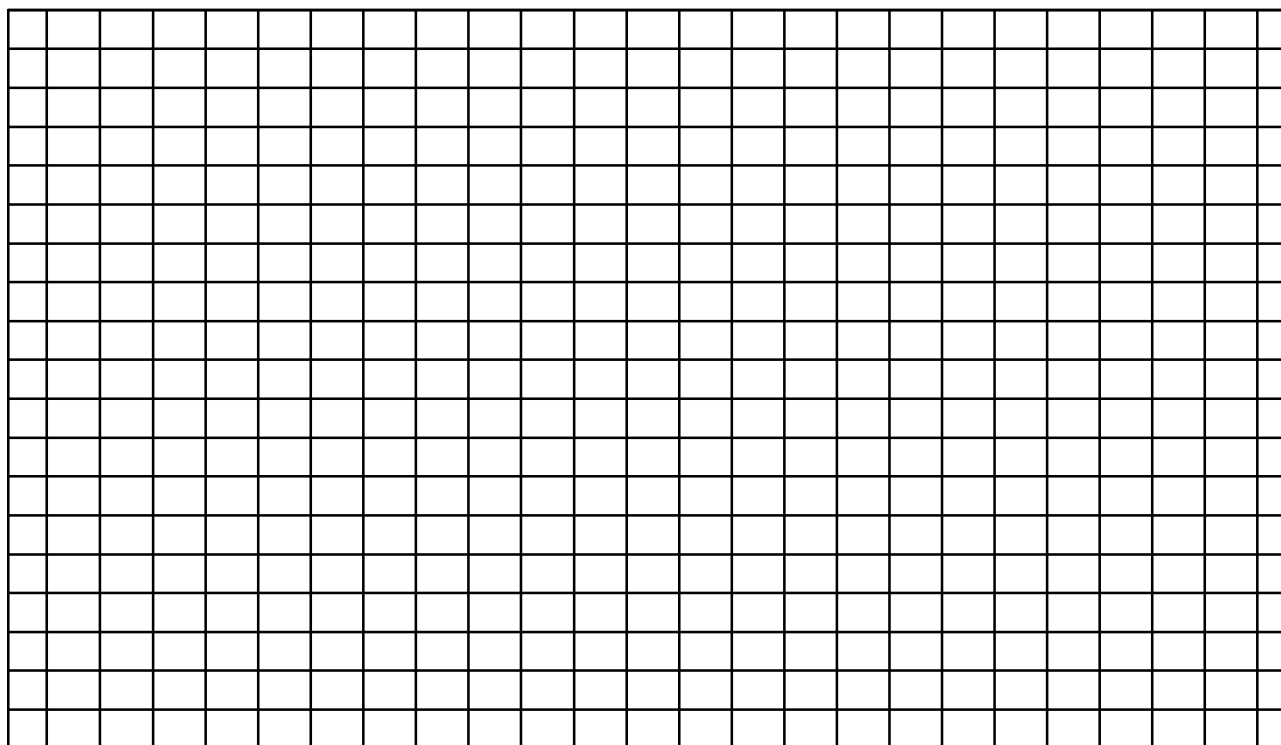
Таблица 1 – Результаты измерений и вычислений

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

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

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

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. Запишите формулу импеданса живой ткани.
5. По какой формуле вычисляется импеданс в данной работе?
6. Что такое реография?
7. Какой ток применяют для реографии?
8. Какое действие оказывает переменный ток на живой организм в зависимости от частоты?
9. Какое действие оказывает переменный ток на живой организм в зависимости от силы тока?
10. Что называется дисперсией электропроводности?
11. Дайте определение электропроводности ткани.
12. В каких единицах измеряется электропроводность? Дайте ее определение.
13. Как зависит электропроводность живой ткани от частоты переменного тока?
14. Почему при повреждении клеток ткани или при их гибели реакция импеданса ткани на смену частоты переменного тока меняется или совсем исчезает?

Лабораторная работа №5

Определение фокусного расстояния и оптической силы собирающей линзы

Цель работы: изучить теорию опыта, построение изображений предмета в собирающей линзе, научиться определять фокусное расстояние и оптическую силу собирающей линзы двумя методами.

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 сферическими поверхностями.

Линзы входят в состав разнообразных оптических приборов, широко используемых в ветеринарной практике, таких как микроскопы, эндоскопы, бронхоскопы, гастроскопы, цитоскопы и др.

Основные характеристики линзы:

Главная оптическая ось – прямая OO_1 , проведенная через центры кривизны обеих поверхностей (рисунок 1).

Оптический центр – точка в центре линзы. Любой луч, проходящий через оптический центр линзы, не изменяет своего направления.

Фокус линзы F – это точка, в которой пересекаются все лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси.

У любой линзы имеется два фокуса по обе стороны от нее (см. рисунок 1).

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

Оптическая сила D – величина, обратная фокусному расстоянию линзы:

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

В СИ измеряется в диоптриях: $D = \frac{1}{m} = \text{дптр}$.

Оптическая сила характеризует преломляющую способность линзы. Чем больше оптическая сила линзы, тем сильнее она увеличивает и наоборот.

Линзы бывают **собирающие** (выпуклые) и **рассеивающие** (вогнутые).

Собирающая линза – это линза, в которой световые лучи (см. рисунок 1(а)), падающие на линзу параллельно главной оптической оси линзы OO_1 , преломляясь в линзе, собираются в ее фокусе F .

У собирающей линзы фокусное расстояние считается положительным, т.е. $f > 0$, фокус – действительным, оптическая сила также положительна, т.е. $D > 0$.

Рассеивающая линза – это линза, в которой световые лучи (см. рисунок 1(б)), падающие на линзу параллельно главной оптической оси линзы OO_1 , пре-

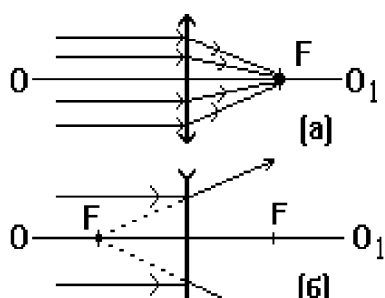


Рисунок 1 – Виды линз

ломляясь в линзе, расходятся.

Для нахождения ее точки фокуса, выходящие из линзы лучи продляют в обратную сторону до пересечения с главной оптической осью OO_1 .

Фокусное расстояние рассеивающей линзы считается отрицательным, т.е. $f < 0$, сам фокус – мнимым, а оптическая сила отрицательна, т.е. $D < 0$.

Современные оптические устройства используют системы линз для улучшения качества изображений.

Оптическая сила системы линз $D_{\text{сист.}}$ численно равна алгебраической сумме оптических сил линз, входящих в ее состав:

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

Построение изображения предмета в линзе:

Для построения изображения в собирающей линзе (рисунок 2) от каждой точки предмета АВ проводят два луча. Проведем от точки А:

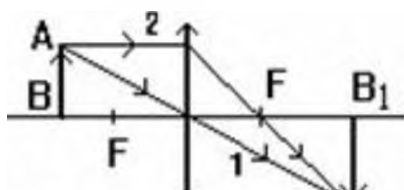


Рисунок 2 – Построение изображения в линзе

1-й луч пройдет через оптический центр линзы, не преломляясь;

2-й луч пройдет сначала параллельно главной оптической оси линзы, а затем через фокус до пересечения с

первым лучом.

Изображение предмета A_1B_1 в данном случае получается увеличенным, перевернутым.

Линзы широко применяются для устранения дефектов зрения: собирающие линзы – для дальнозоркости, а рассеивающие – для близорукости.

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

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

Для определения фокусного расстояния собирающей линзы применим **формулу тонкой линзы:**

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

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.
2. Перемещая линзу, найти положение линзы, при котором видно отчетливое изображение A_1B_1 предмета АВ на экране (см. рисунок 2).

3. Измерить линейкой расстояния от предмета до линзы a и расстояние от линзы до полученного изображения b .

4. Меняя положения экрана и линзы, повторить измерения еще два раза.

5. По формуле (4) рассчитать фокусное расстояние f собирающей линзы. Найти среднее значение фокусного расстояния f_{cp} .

6. Оценить абсолютную Δf и относительную $\Delta f / f_{cp} \cdot 100\%$ погрешности измерений.

7. Исходя из среднего значения фокусного расстояния, по формуле (1) рассчитать среднее значение оптической силы собирающей линзы D_{cp} .

8. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.

Таблица 1 - Определение фокусного расстояния и оптической силы собирающей линзы с помощью формулы тонкой линзы

№	$a,$ 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

Указанный выше метод определения главных фокусов является приближенным. Бессель предложил точный способ нахождения главных фокусных расстояний линз. 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.

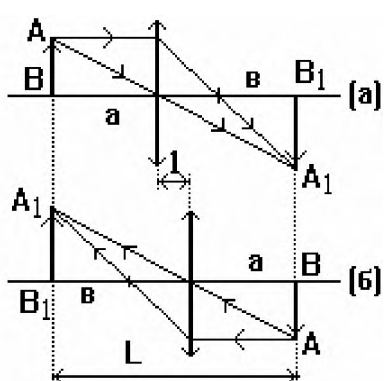


Рисунок 3 – Увеличенное и уменьшенное изображения предмета в линзе

Из формулы тонкой линзы (3) видно, что величины a и b можно менять местами. Такая замена означает, что если на место изображения A_1B_1 в положении (б) (рисунок 3) поставить предмет AB из положения (а), то изображение в случае (б) предмета AB получится в том же месте, где раньше был предмет.

Из рисунка 3 следует, что

$$\begin{cases} L = a + b \\ l = a - b \end{cases}$$

где L – расстояние от предмета до изображения;
 l – расстояние между двумя положениями линзы, дающими увеличенное и уменьшенное изображения предмета.

Решая совместно эту систему уравнений относительно a и b , получим:

$$a = \frac{L+l}{2} \text{ и } b = \frac{L-l}{2} \quad (5)$$

Подставляя выражения (5) в формулу (4), получим формулу нахождения фокусного расстояния собирающей линзы *методом Бесселя*:

$$f = \frac{L^2 - l^2}{4 \cdot L} \quad (6)$$

Порядок выполнения задания №2

1. На оптическую скамью поставить собирающую линзу.
2. Расположить экран и предмет на таком расстоянии друг от друга, чтобы, перемещая между ними линзу, можно было получить два отчетливых изображения (увеличенное и уменьшенное) предмета.
3. Измерить расстояние L (см. рисунок 3) между экраном и предметом.
4. Перемещая линзу, получить увеличенное изображение предмета на экране, заметить по линейке положение линзы. Затем, передвигая линзу, получить уменьшенное изображение предмета. Измерить расстояние l между двумя положениями линзы.
5. Меняя положение экрана и линзы, повторить измерения еще два раза.
6. По формуле (6) вычислить фокусное расстояние собирающей линзы. Рассчитать его среднее значение. Оценить погрешности измерений.
7. Используя среднее значение фокусного расстояния, по формуле (1) рассчитать оптическую силу линзы.
8. Записать результаты измерений и вычислений в таблицу 2.

Таблица 2 – Определение фокусного расстояния и оптической силы собирающей линзы методом Бесселя

№	$L,$ M	$l,$ m	$f,$ m	$f_{cp},$ m	$\Delta f,$ M	$\Delta f_{cp},$ m	$\frac{\Delta f \cdot 100\%}{f_{cp}}$	$D_{cp},$ $дптр$
1								
2								
3								

Контрольные вопросы защиты лабораторной работы №5

1. Что называется линзой? Какие существуют виды линз? Дать им определение.
2. Дать определение фокуса и фокусного расстояния линзы.
3. Чем отличаются фокусы и фокусные расстояния собирающей и рассеивающей линз?
4. Дать определение и записать формулу оптической силы линзы. Записать формулу оптической силы системы линз.
5. Нарисовать и объяснить принцип построения изображения в собирающей линзе.
6. Объяснить принцип определения фокусного расстояния собирающей линзы с помощью формулы тонкой линзы. Записать формулу тонкой линзы.
7. Объяснить принцип определения фокусного расстояния линзы методом Бесселя.
8. Записать формулу фокусного расстояния линзы методом Бесселя.

Лабораторная работа №6

Определение концентрации раствора сахарозы с помощью рефрактометра

Цель работы: изучить принцип работы и назначение рефрактометра, научиться определять концентрацию и абсолютный показатель преломления раствора сахарозы с помощью рефрактометра, установить зависимость абсолютного показателя преломления и скорости света в растворах от их концентрации.

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

Теория опыта

Свет - это электромагнитная волна.

В однородной среде свет распространяется прямолинейно. При переходе света из одной среды в другую изменяется скорость распространения световых волн, а вследствие этого изменяется и направление распространения света. В каждой среде скорость света изменяется по-разному.

Для характеристики способности вещества изменять скорость распространения электромагнитных волн используется **абсолютный показатель преломления вещества n** – 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.

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 n_1 , в которой свет распространяется быстрее, называется **оптически менее плотной**, а среда с большим показателем n_2 , в которой свет распространяется медленнее, называется **оптически более плотной**.

На границе раздела двух сред свет частично отражается и частично преломляется.

Отражение – это явление, когда свет, попадая на границу раздела двух сред, возвращается в первоначальную среду (рисунок 1).

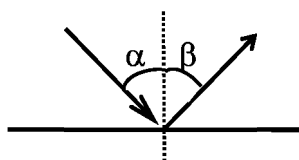


Рисунок 1 - Отражение света

Угол падения α – угол между падающим лучом и перпендикуляром.

Угол отражения β – угол между отраженным лучом и перпендикуляром.

Законы отражения света:

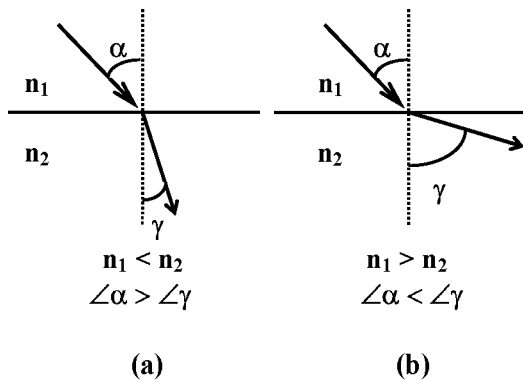
1. Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр, восстановленный к границе раздела двух сред в точке падения луча, лежат в одной плоскости.

2. Угол отражения равен углу падения:

$$\alpha = \beta \quad (3)$$

При переходе света из одной среды в другую на границе их раздела происходит преломление (рефракция).

Преломление – это явление, когда свет из одной среды переходит в другую (рисунок 2).



Угол преломления γ – угол между преломленным лучом и перпендикуляром.

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

1) $n_1 < n_2$ (рисунок 2 (a)), т.е. свет переходит из оптически менее плотной среды в оптически более плотную, например, из воздуха в стекло. При этом угол падения света α больше угла преломления γ .

2) $n_1 > n_2$ (рисунок 2 (b)), т.е. свет переходит из оптически более плотной среды в оптически менее плотную, например, из стекла в воздух.

Рисунок 2 - Преломление света

При этом угол падения света α меньше угла преломления γ .

Законы преломления света:

1. Луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, восстановленный к границе раздела двух сред в точке падения луча, лежат в одной плоскости.

2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная, равная относительному показателю преломления данных двух сред:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \quad (4)$$

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

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \quad (5)$$

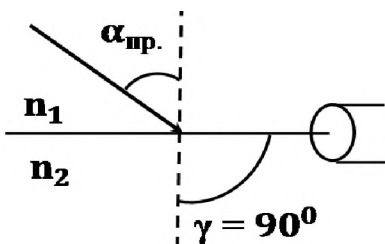


Рисунок 3 - Полное внутреннее отражение света

где n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления первой и второй сред.

Рассмотрим случай, когда, свет переходит из среды оптически более плотной в среду оптически менее плотную. В этом случае угол преломления будет больше угла падения. При увеличении угла падения света угол преломления будет тоже увеличиваться. При определенном угле падения, называемом

предельным углом полного внутреннего отражения $\alpha_{пр}$, угол преломления γ станет равен 90° (рисунок 3).

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

Определим предельный угол полного внутреннего отражения. Запишем 2-й закон преломления: $\frac{\sin \alpha_{пр.}}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}$. Так как $\sin 90^\circ = 1$, то **закон преломления**

для случая полного внутреннего отражения примет вид:

$$\sin \alpha_{пр.} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \quad (6)$$

На явлении полного внутреннего отражения света работают приборы, называемые **рефрактометрами**. С помощью рефрактометра определяют абсолютный показатель преломления и концентрацию растворенного вещества, например, содержание белка в сыворотке крови.

Основной частью рефрактометра являются две прямоугольные призмы, сделанные из одного и того же сорта стекла. Призмы прикасаются гранями, между которыми имеется зазор примерно 0,1 мм (рисунок 4).

Свет проходит через осветительную призму, рассеиваясь ее матовой гранью, затем поступает в исследуемую жидкость и преломляется на ее границе с измерительной призмой.

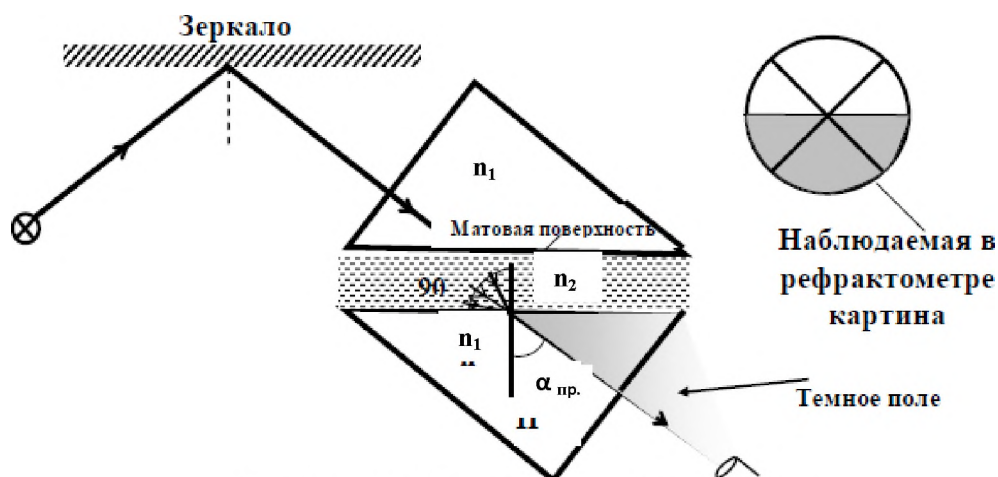


Рисунок 4 – Ход лучей в рефрактометре

При определении показателя преломления прозрачной жидкости свет в измерительной призме проходит в пределах угла от 0 до $\alpha_{пр.}$.

Пространство внутри этого угла будет освещенным, а вне его – темным. Таким образом, поле зрения, видимое в зрительную трубу, разделено на две части: темную и светлую. Положение границы раздела света и тени определяется предельным углом преломления, величина которого зависит от показателя преломления исследуемой жидкости.

В медицине и ветеринарии рефрактометры используются как анализаторы состава газов и жидких растворов.

В настоящее время явление полного внутреннего отражения нашло широкое применение в волоконной оптике.

Порядок выполнения работы

Задание №1. Определение нуля прибора

1. Открывают верхнюю камеру, промывают и вытирают досуха соприкасающиеся плоскости призмы.
2. Наносят стеклянной палочкой на поверхность измерительной призмы 1-2 капли дистиллированной воды.
3. Поворачивая окуляр, добиваются четкого изображения поля зрения.
4. Глядя в окуляр, перемещают источник света, добиваясь наибольшей контрастности поля зрения.
5. Совмещают визирную линию с границей светотени, перемещая рукоятку.
6. По левой шкале отсчитывают нуль прибора (т.е. показатель преломления дистиллированной воды), а по правой шкале - концентрацию (в случае дистиллированной воды концентрация равна нулю).

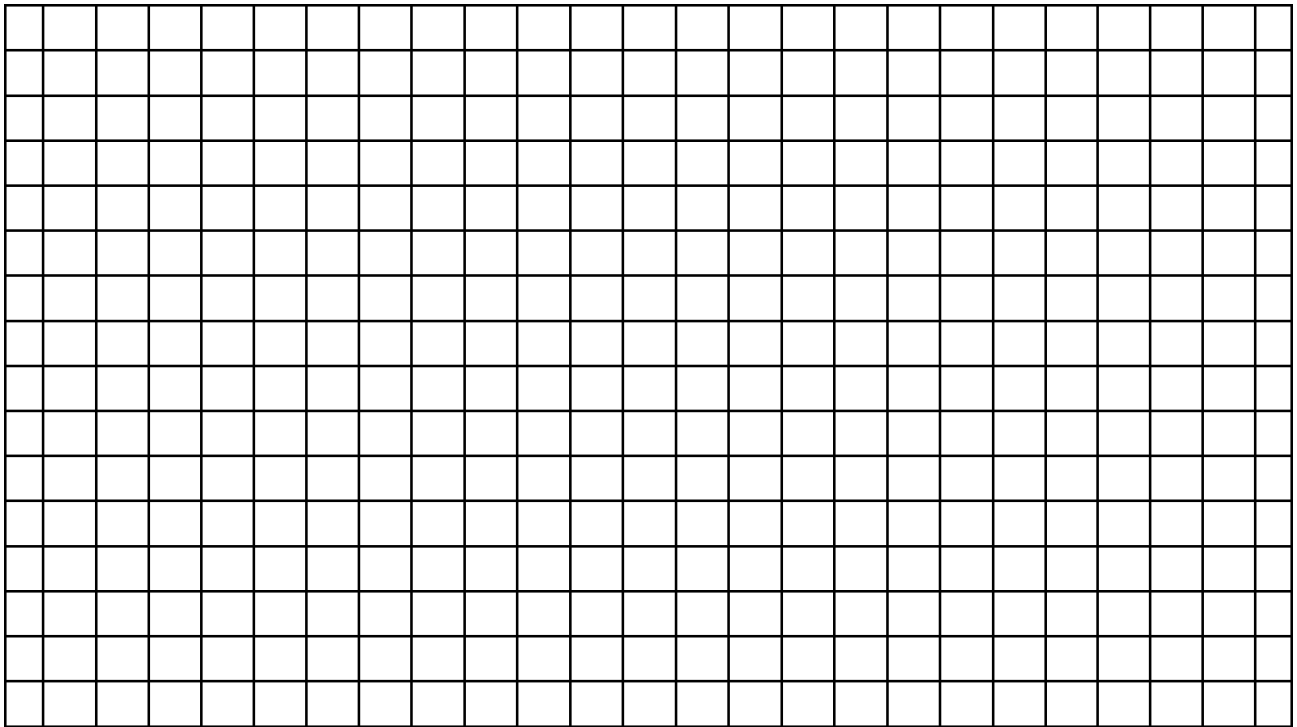
Задание №2. Определение показателя преломления и концентрации растворов сахарозы

1. На поверхность измерительной призмы наносят 1-2 капли исследуемого раствора в порядке номеров, указанных на сосудах (№№1, 2, 3, 4, 5).
2. Глядя в окуляр, по левой шкале отсчитывают 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 выводы о зависимости показателя преломления и скорости света в растворах от их концентрации.

Таблица - Результаты измерений и вычислений

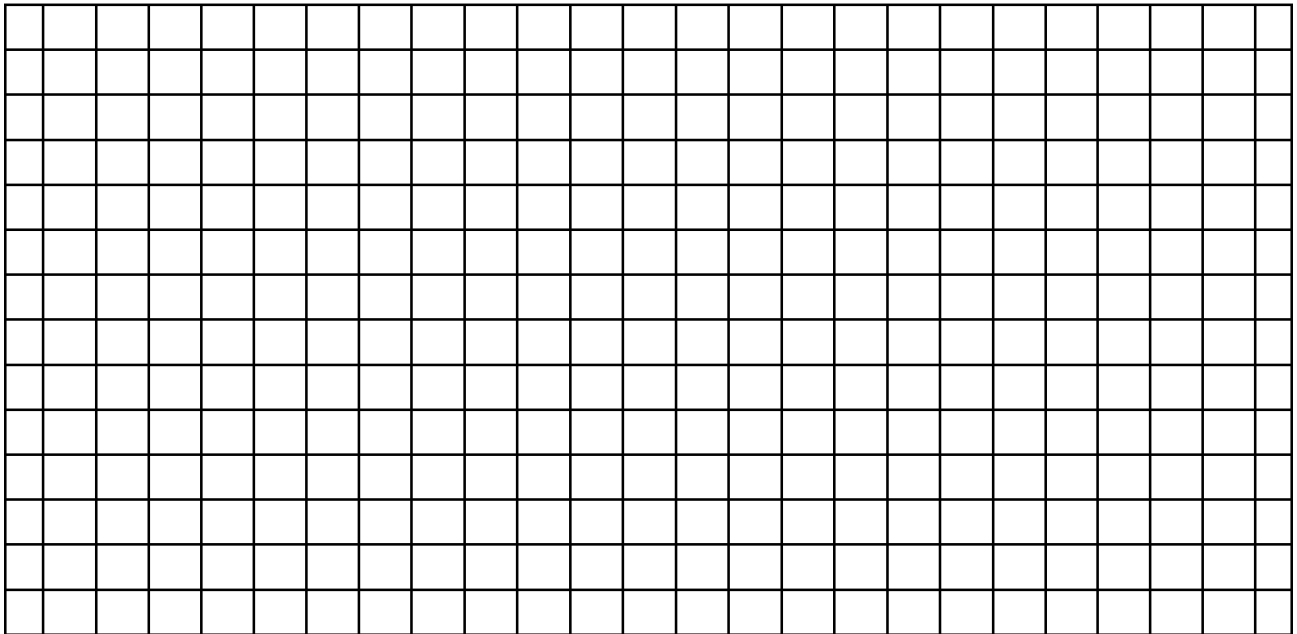
№ раствора	C, %	n	v, 10 ⁸ м/с
Дист. вода			
1			
2			
3			
4			
5			

График зависимости $n = f(C)$



Вывод:

График зависимости $\nu = f(C)$



Вывод:

Вычисления к лабораторной работе №6

Контрольные вопросы защиты лабораторной работы №6

1. Дать определение и записать формулу абсолютного показателя преломления.
2. Дать определение оптически более плотной и оптически менее плотной среды.
3. Дать понятие явления отражения света.
4. Сформулировать законы отражения.
5. Дать понятие явления преломления света.
6. Нарисовать и объяснить два случая преломления света.
7. Сформулировать законы преломления света.
8. Дать определение и записать формулу относительного показателя преломления среды.
9. Нарисовать и объяснить случай полного внутреннего отражения света.
10. Записать и объяснить закон преломления для явления полного внутреннего отражения света.
11. Объяснить принцип работы и назначение рефрактометра.
12. Какова зависимость показателя преломления от концентрации раствора ?
13. Какова зависимость скорости света от концентрации раствора?

Лабораторная работа №7

Определение длины световой волны при помощи дифракционной решетки

Цель работы: изучить явления интерференции и дифракции света, научиться определять постоянную 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

Все электромагнитные волны имеют общую природу и отличаются друг от друга только длиной волны или частотой.

Волновые свойства света проявляются в явлениях интерференции, дифракции, поляризации и др.

Интерференцией волн называют явление, возникающее при наложении световых волн друг на друга, в результате чего в точке наложения происходит усиление (*max*) или ослабление (*min*) интенсивности света (рисунок 1-а).

Явление интерференции наблюдается только при сложении когерентных волн.

Когерентные волны – это волны, у которых одинаковые частоты, а разность фаз между колебаниями с течением времени не изменяется.

В природе когерентных источников не существует, поэтому когерентные волны получают разделением и последующим сведением световых лучей, исходящих из одного и того же источника. Практически это можно получить с помощью экранов и щелей, зеркал и преломляющих тел.

Интенсивность света в области наложения световых волн имеет характер чередующихся светлых и темных полос.

Наличие *max* или *min* в данной точке зависит от **оптической разности хода волн Δl** .

Оптическая разность хода – разность оптических длин пути света для двух лучей:

$$\Delta l = l_2 - l_1,$$

где l_1 – оптическая длина пути одного луча;

l_2 – оптическая длина пути другого луча.

Оптическая длина пути – произведение длины пути света в среде на показатель преломления этой среды.

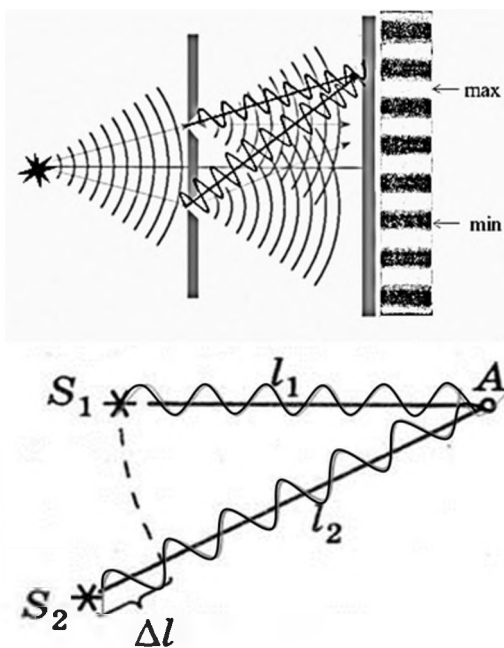


Рисунок 1 - Процесс наложения когерентных волн

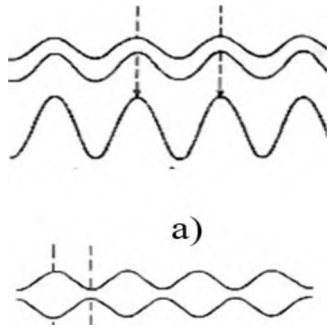


Рисунок 2 – а) максимум при интерференции волн;
б) минимум при интерференции

В тех точках, в которые интерферирующие волны приходят в одинаковой фазе, при этом усиливают друг друга, наблюдаются *максимумы* интерференции (рисунок 2).

Максимум интенсивности при интерференции наблюдается, если оптическая разность хода равна нулю или четному числу полуволн:

$$\Delta l = (2k) \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad (2)$$

где λ – длина волны;
 k – целое число.

В тех точках, в которые волны приходят в противофазе, волны гасят друг друга и наблюдаются

минимумы (см. рисунок 2).

Минимум интенсивности при интерференции наблюдается тогда, когда оптическая разность хода равна нечетному числу полуволн:

$$\Delta l = 2k + 1 \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

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

Если на пути световой волны попадают мелкие предметы или щели, то можно наблюдать дифракцию света.

Дифракция – отклонение волны от прямолинейного распространения.

Дифракция состоит в том, что волна огибает край препятствия и заходит в область геометрической тени (рисунок 2). Между интерференцией и дифракцией нет существенных физических различий. Оба явления заключаются в перераспределении светового потока.

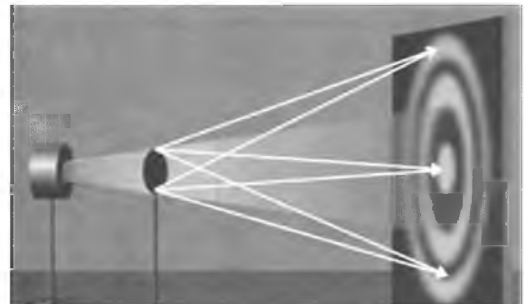


Рисунок 3 – Дифракция света

Явление дифракции объясняется с помощью **принципа Гюйгенса-Френеля**, согласно которому каждая точка, до которой доходит волна, служит центром вторичных волн, а огибающая этих волн задает положение волнового фронта в следующий момент времени.

Дифракционная картина часто возникает в естественных условиях, например цветные кольца, окружающие источник света, наблюдаемые сквозь туман, обусловлены дифракцией света на водяных каплях.

Наблюдать четкую дифракционную картину можно при помощи дифракционной решетки.

Дифракционная решетка – это оптическое устройство, представляющее собой совокупность большого числа узких параллельных щелей, разделенных непрозрачными для света промежутками.

Дифракционную решетку можно получить нанесением непрозрачных царапин (штрихов) на стеклянную пластину, при этом щели будут пропускать свет, а штрихи – рассеивают и не пропускают свет.

Период дифракционной решетки d – суммарная ширина прозрачного (a) и непрозрачного (b) участков.

$$d = a + b$$

Пусть на дифракционную решетку падает пучок параллельных лучей перпендикулярно плоскости решетки (рисунок 4). При прохождении света через дифракционную решетку образуется множество когерентных волн, которые распространяются по всем направлениям и наблюдается дифракция. Угол, на который отклоняется луч от первоначального направления, называется **углом дифракции φ** . Угол дифракции тем больше, чем больше длина волны и чем меньше толщина щели.

За решеткой помещают собирающую линзу, в фокусе которой располагается экран. Линза фокусирует лучи, идущие параллельно, в одной точке. В этой точке происходит сложение волн и их взаимное усиление (max) и ослабление (min). На экране в месте наложения лучей будет наблюдаться интерференционная картина чередование светлых и темных полос.

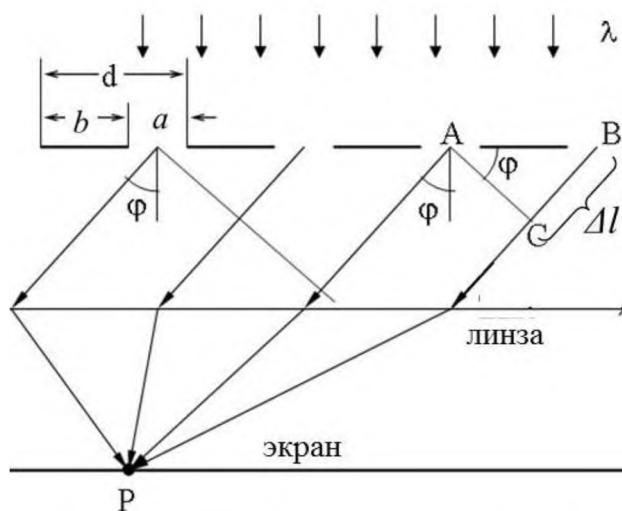


Рисунок 4 – Наблюдение дифракции при помощи дифракционной решетки

Рассмотрим треугольник ABC. $BC = \Delta l$ – разность хода лучей, $AB = d$ – постоянная дифракционной решетки. Тогда $\sin \varphi = \frac{BC}{AB} = \frac{\Delta l}{d}$. Отсюда следует, что

$$\Delta l = d \cdot \sin \varphi \quad (4)$$

В зависимости от разности хода лучей в точке M может наблюдаться max или min. Из сравнения выражений (2), (3) и (4) получим условия максимума и минимума для интерференции на дифракционной решетке.

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

$$d \cdot \sin \varphi_{\max} = k \cdot \lambda, \quad (5)$$

где число $k = 0; \pm 1; \pm 2; \dots$ называется **порядком спектра**.

Если $k = 0$, то будет центральный максимум. Формулу (5) называют **формулой дифракционной решетки**.

Условие минимума: минимум будет наблюдаться в направлении тех углов, для которых на разности хода укладывается нечетное число длин полу-волн:

$$d \cdot \sin \varphi_{\min} = 2 \cdot k + 1 \cdot \lambda / 2 \quad (6)$$

Если на решетку падает белый свет, то направления, при которых наблюдаются максимумы для разных длин волн, будут различными, что очевидно из формулы (5). Поэтому при дифракции произойдет разложение белого света в спектр. На месте каждого максимума, кроме центрального, будет сплошной спектр, обращенный фиолетовым концом к центру.

Целью данной лабораторной работы является определение длины световых волн в различных областях спектра при помощи дифракционной решетки. Схема установки показана на рисунке 5.

Простейшее измерительное устройство состоит из двух линеек, на одной из которых закреплена дифракционная решетка (обращенная к глазу), а над второй находится узкая щель (обращена к источнику света, в которой подвижно закреплены различные светофильтры). Глядя через дифракционную решетку, 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 λ .

Для того чтобы определить длину световой волны, необходимо найти период дифракционной решетки d .

Если измерить расстояние l от дифракционной решетки до линейки со щелью, и расстояние от щели - максимума нулевого порядка (0) до максимума первого порядка ($k=1$), второго и третьего порядка, то период дифракционной решетки можно определить по формуле:

$$d = \frac{k \cdot \lambda \cdot l}{x} \quad (8)$$

Выражая из формулы (8) λ , получим формулу для нахождения длины волны света при помощи дифракционной решетки:

$$\lambda = \frac{d \cdot x}{k \cdot l} \quad (9)$$

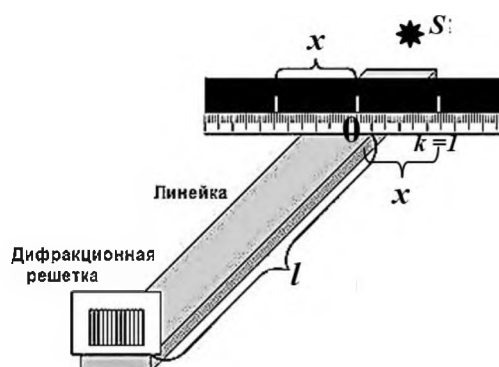


Рисунок 5 – Установка для определения длины световых волн при помощи дифракционной решетки

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 (4) и расстояние x между красными максимумами одинакового порядка для $k=1; 2$ и 3 .

5. По формуле (8) рассчитать период дифракционной решетки.

6. Рассчитать среднее значение периода дифракционной решетки, абсолютную и относительную погрешности.

7. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.

Таблица 1 - Определение периода дифракционной решетки

№	k	λ , нм	l , м	x , м	d , нм	d_{cp} , нм	Δd , нм	$\frac{\Delta d \cdot 100\%}{d_{cp}}$
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 во вторую таблицу.

2. Поставить на пути света от источника светофильтр, длину волны света которого вы хотите определить (зеленый или синий).

3. Измерить аналогично заданию №1 расстояния l и x для данного света.

4. По формуле (9) рассчитать неизвестную длину волны.

5. Рассчитать среднее значение длины волны, абсолютную и относительную погрешности измерений.

6. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 2.

Таблица 2 - Определение длины световой волны

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

Вычисления к лабораторной работе №7

Контрольные вопросы защиты лабораторной работы № 7

1. Что называется интерференцией света?
2. Какие волны называют когерентными? Как их получают?
3. Дайте понятие и запишите формулу оптической разности хода волн.
4. Напишите и сформулируйте условия *max* и *min* света при интерференции.
5. Дайте определение явления дифракции света?
6. Дайте понятие угла дифракции.
7. Что представляет собой дифракционная решетка?
8. Дайте понятие периода дифракционной решетки?
9. Сформулируйте принцип Гюйгенса-Френеля.
10. Напишите и сформулируйте условия *max* и *min* света при дифракции.
11. Запишите формулу для нахождения длины волны при помощи дифракционной решетки.

Лабораторная работа №8

Изучение основных законов внешнего фотоэффекта

Цель работы: изучить основные законы внешнего фотоэффекта; устройство фотоэлементов; научиться снимать световую, вольтамперную и спектральную характеристики фотоэлемента; установить зависимости: фототока от светового потока, силы тока от напряжения и коэффициента чувствительности от длины волны.

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

Теория опыта

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

Впервые фотоэффект был обнаружен в 1887 г. немецким физиком Г. Герцем, что явилось экспериментальным обоснованием квантовой теории света.

Фотоэффект бывает 2-х видов: внешний и внутренний.

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.

Явление внешнего фотоэффекта впервые было исследовано в 1890 г. русским физиком Столетовым А.Г.

Схема опытов Столетова по изучению внешнего фотоэффекта изображена на рисунке 1. В вакуумной трубке помещают отрицательно заряженный катод (К) и положительно заряженный анод (А), которые подключены к источнику напряжения. При освещении катода через кварцевое окно свет вырывает из него электроны, называемые **фотоэлектронами**. Под действием напряжения они устремляются к аноду. В цепи появляется ток, называемый **фототоком**.

При небольшом значении напряжения появляется слабый фототок. При повышении напряжения фототок увеличивается. Анода достигает большее количество электронов, вылетающих из катода, однако достигают анода пока еще не все фотоэлектроны. При достаточно больших положительных значениях напряжения ток достигает своей предельной величины I_H , называемой **током насыщения**, и дальше возрастать перестает. Это происходит из-за того, что напряжение, ускоряющее электроны, становится настолько велико, что анод

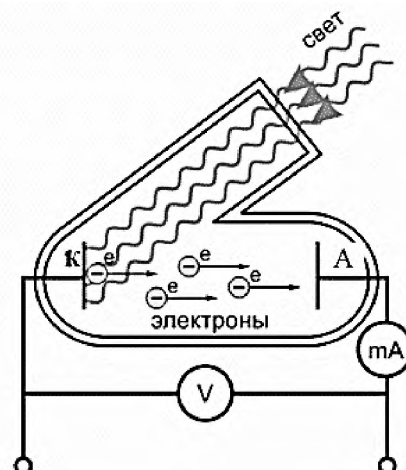


Рисунок 1 – Вид установки для наблюдения внешнего фотоэффекта

захватывает вообще все электроны, выбитые из катода, – в каком бы направлении и с какими бы скоростями они не начинали движение.

Величина I_n тока насыщения — это количество электронов, выбиваемых из катода за одну секунду.

Экспериментальные исследования, выполненные Столетовым, привели к установлению основных **законов внешнего фотоэффекта**, которые не могли быть объяснены в рамках волновой теории света. А. Эйнштейн в 1905 г. показал, что закономерности фотоэффекта можно объяснить на основе предложенной им квантовой теории фотоэффекта. Согласно этой теории, излучение и поглощение света происходит порциями – *квантами электромагнитных волн*, названными *фотонами*. А. Эйнштейн предположил, что свет не только излучается и поглощается, но и распространяется в виде потока фотонов (квантов), энергия каждого из которых равна:

$$E_{\phi} = h \cdot \nu, \quad (1)$$

где ν – частота света;

$h = 6,6210 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка.

Энергия E_{ϕ} поглощенного фотона передается целиком только одному электрону. Увеличение светового потока означает увеличение числа падающих фотонов, которые выбивают с поверхности металла больше электронов. Это объясняет прямую зависимость между световым потоком (интенсивностью падающего света) и силой фототока (рисунок 2).

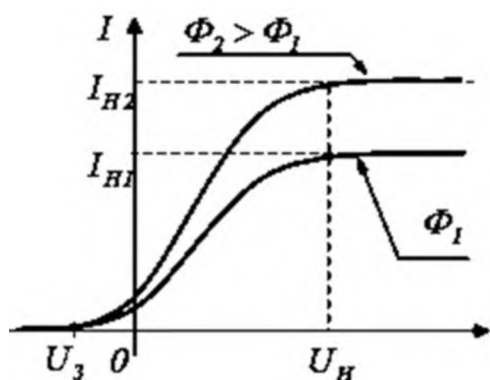


Рисунок 2 – График зависимости силы тока от светового потока

Первый закон фотоэффекта: сила фототока насыщения I_n , пропорциональна световому потоку (интенсивности излучения), падающему на катод:

$$I_n = k \cdot \Phi, \quad (2)$$

где k называется **фоточувствительностью** освещаемой поверхности и выражается в микроамперах на люмен (мкА /лм).

При столкновении с электроном фотон полностью передает ему свою энергию и, если она достаточно велика, электрон сможет преодолеть силы, удерживающие его в металле, и вылететь наружу. Каждый электрон выбивается из металла одним фотоном, поэтому его скорость определяется лишь энергией фотона, т.е. частотой падающего света.

Второй закон фотоэффекта: скорость фотоэлектронов возрастает с увеличением частоты падающего света и не зависит от его интенсивности.

Часть энергии фотона расходуется на совершение работы выхода электрона из вещества, оставшаяся часть сообщается электрону в виде кинетической энергии.

Работа выхода – это работа, которую необходимо совершить, чтобы удалить электрон из металла.

Поэтому максимальная кинетическая энергия электронов после вылета (если нет других потерь) равна:

$$\frac{mv^2}{2} = E_{\phi} - A_{\text{вых}} = h\nu - A_{\text{вых}}$$

Из данного уравнения видно, что фотоэффект возможен, если энергия фотона больше или равна работе выхода электрона ($h\nu \geq A_{\text{вых}}$). При условии $h\nu < A_{\text{вых}}$ энергия фотона будет недостаточна для вырывания электрона из металла.

Третий закон фотоэффекта: независимо от интенсивности светового потока фотоэффект начинается только при определенной (для данного металла) минимальной частоте света, называемой красной границей фотоэффекта.

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

Минимальная энергия фотона, при которой еще возможен фотоэффект, равна работе выхода:

$$h\nu_{\text{min}} = A_{\text{вых}}$$

При этом минимальная частота будет определяться по формуле:

$$\nu_{\text{min}} = \frac{A_{\text{вых}}}{h}, \quad (3)$$

Минимальной частоте ν_{min} соответствует максимальная длина волны λ_{max}

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{h \cdot c}{A_{\text{вых}}} = \frac{c}{\nu_{\text{min}}},$$

где c — скорость света в вакууме ($c = 3 \cdot 10^8 \cdot \text{м/с}$).

Минимальная частота света ν_{min} (максимальная длина λ_{max} волны), при которой еще наблюдается фотоэффект, называется **красной границей фотоэффекта**.

Исходя из закона сохранения энергии, можно записать соотношение, которое и было впоследствии названо **уравнением Эйнштейна** для фотоэффекта:

$$h \cdot \nu = A_{\text{вых}} + \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad (4)$$

где h — постоянная Планка;

ν — частота;

$A_{\text{вых}}$ — работа выхода электрона из вещества;

$\frac{m \cdot v^2}{2}$ — кинетическая энергия выбитых электронов;

m — масса электрона;

v — скорость электрона.

Согласно **уравнению Эйнштейна**, энергия фотона расходуется на совершение работы по выходу электрона из вещества и сообщение ему кинетической энергии.

Приборы, в которых фотоэффект используется для превращения энергии излучения в электрическую, называются **фотоэлементами**.

Простейшим таким прибором является вакуумный фотоэлемент. Применяется в фотометрии для измерения силы света, яркости, освещенности, в кино для воспроизведения звука, в фототелеграфах, 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.

С явлением фотоэффекта связаны фотохимические процессы, протекающие под действием света в фотографических материалах.

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:

$$\Phi = \frac{J \cdot S}{r^2}, \quad (5)$$

где S – площадь фотокатода;

J – сила света;

r – расстояние.

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

Вольтамперной характеристикой называется зависимость тока от напряжения на электродах фотоэлемента при постоянном световом потоке: $I = f U$, при $\Phi = const$.

Интенсивность фотоэффекта зависит, как было показано выше, от длины волны падающего света. При одной и той же мощности излучения сила тока насыщения I_n получается различная для разных длин волн.

Спектральной характеристикой называется зависимость чувствительности фотоэлемента от длины волны падающего света.

Порядок выполнения работы

Задание №1. Снятие световой характеристики фотоэлемента

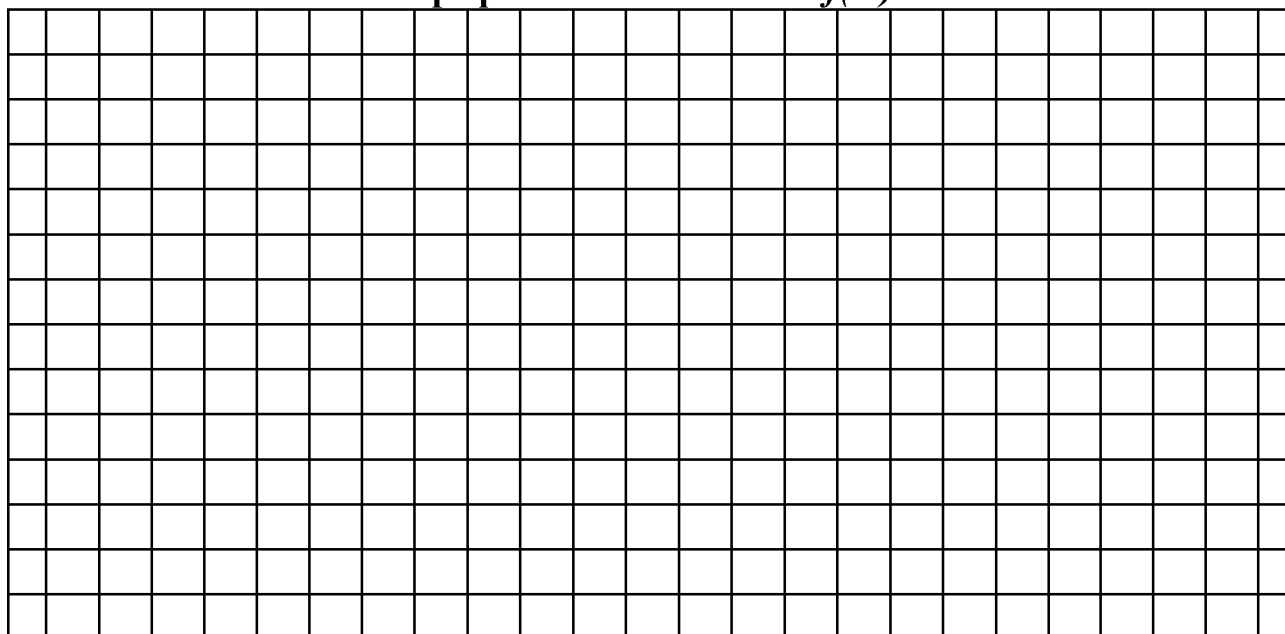
1. Включить источник света.
2. Установить постоянное напряжение на фотоэлементе ($U = 30$ В).
3. Измерить величину фототока I при различных расстояниях r от источника света до фотоэлемента.
4. По формуле (5) рассчитать значения светового потока Φ , падающего на фотокатод, при различных расстояниях r . Величину освещаемой поверхности фотокатода принять равной $S = 8 \cdot 10^{-4}$ м². 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 - Световая характеристика фотоэлемента

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

График зависимости $I = f(\Phi)$



Вывод:

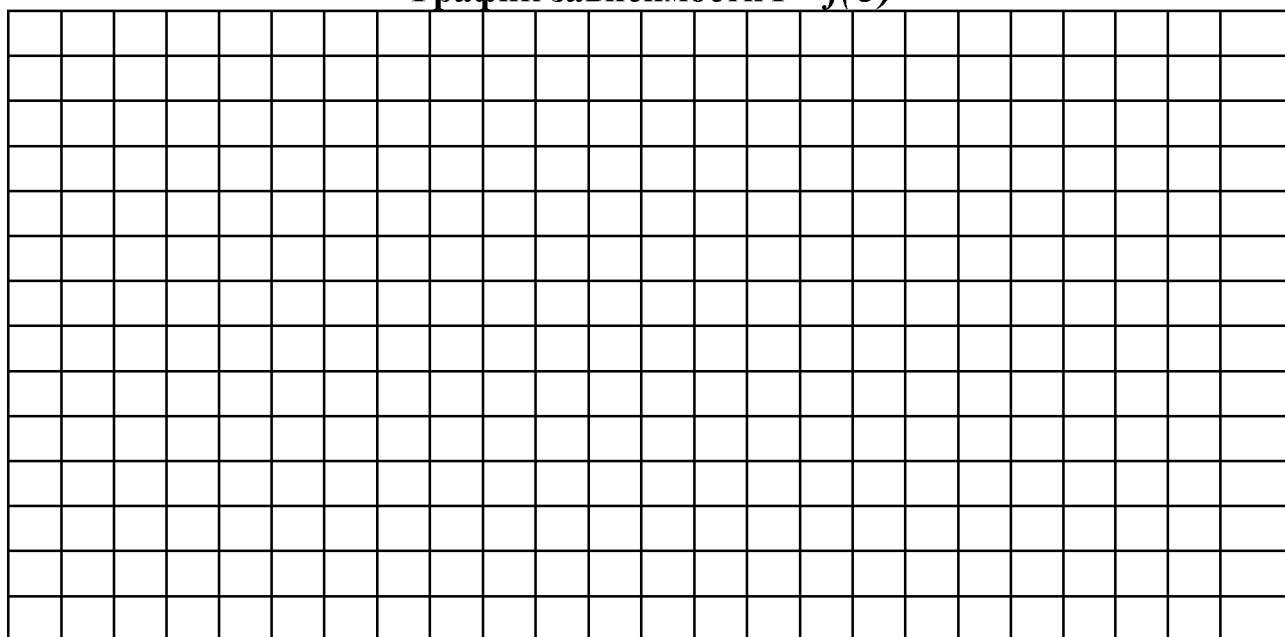
Задание №2. Снятие вольтамперной характеристики фотоэлемента

1. Включить источник света.
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 - Вольтамперная характеристика фотоэлемента

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

График зависимости $I = f(U)$



Вывод:

Задание №3. Снятие спектральной характеристики фотоэлемента

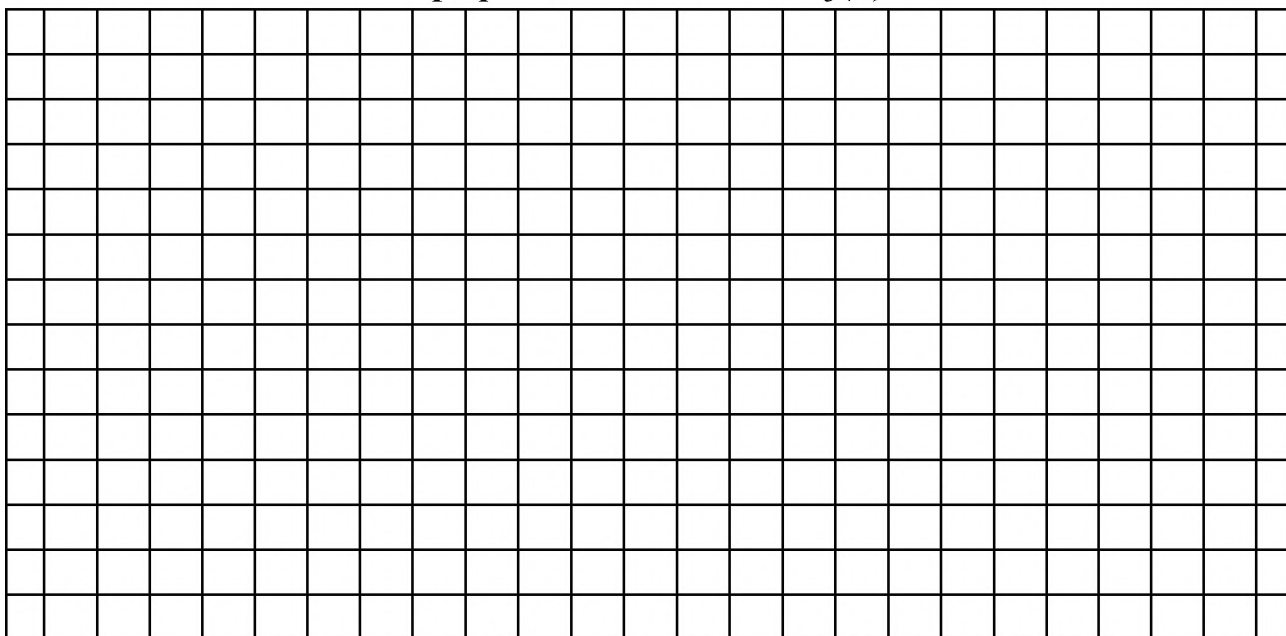
1. Включить источник света.
2. Установить напряжение на электродах фотоэлемента 30 В.
3. Установить в держателе красный светофильтр. Длину волны определить по таблице 4.
4. Измерить величину фототока для этого светофильтра при расстоянии r_1 .
5. Аналогичные измерения произвести и для остальных светофильтров.
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 - Вольтамперная характеристика фотоэлемента

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

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. Дайте определение фототока насыщения. От чего зависит его величина?
5. Сформулируйте и объясните первый закон фотоэффекта.
6. Сформулируйте и объясните второй закон фотоэффекта.
7. Сформулируйте и объясните третий закон фотоэффекта.
8. Что такое красная граница фотоэффекта? От чего зависит ее величина?
9. На что расходуется энергия фотона, поглощенного фотоэлектроном?
10. Запишите уравнение Эйнштейна для фотоэффекта?
11. Что представляют собой фотоэлементы? Где они применяются?
12. Дайте определение световой характеристики фотоэлемента?
13. Дайте определение вольтамперной характеристики фотоэлемента?
14. Дайте 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. : ил.
2. Грабовский, Р. И. Курс физики : учебное пособие для высших сельскохозяйственных вузов / Р. И. Грабовский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 2004. – 605 с. : ил.
3. Ливенцев, Н. М. Курс физики для медвузов : учебник / Н. М. Ливенцев. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1999. – 648 с. : ил.
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. : ил.
5. Соболевский, В. И. Физика и биофизика : учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных работ / В. И. Соболевский, О. В. Пышненко. – Витебск : ВГАВМ, 2006. – 81 с. : табл., рис.
6. Соболевский, В. И. Механизм электрогенеза в клетках : учебно-методическое пособие по изучению дисциплины «Физика и биофизика» для студентов вузов по специальностям «Зоотехния», «Ветеринарная медицина» / В. И. Соболевский ; Витебская государственная академия ветеринарной медицины, Кафедра физики и биофизики. – Витебск, 2003. – 30 с.

КАФЕДРА РАДИОЛОГИИ И БИОФИЗИКИ

Кафедра радиологии и биофизики (до декабря 2012 года - кафедра физики и основ высшей математики) была организована в Витебском ветеринарном институте в ноябре 1931 года.

Первым заведующим кафедрой физики 24 ноября 1931 года назначен ассистент Стурницкий В.Ф., руководивший кафедрой до 17 декабря 1935 года. С 1935 по 1937 год кафедрой заведовал ассистент Куличенко М.И. В 1937 году кафедра физики была переименована в кафедру физики и математики, которой руководили в разное время Шарупич В.Т., Слесаренко И.А., Рабинович И.В., Круглов Н.А., Булавский Н.Н., Крашенинников А.А.

В 1969 году в Витебском ветеринарном институте после реорганизации образована кафедра физики и основ высшей математики, которой с 1969 по 1979 год руководил Кляц Аркадий Яковлевич. В 1976 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Влияние микроэлементов на физико-химические свойства эритроцитов».

С ноября 1979 по 2006 год и в период с 2009 по 2011 год возглавлял кафедру Соболевский Владимир Иванович. В 1989 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата биологических наук на тему «Влияние постоянного магнитного поля на физико-химические свойства крови и неспецифическую резистентность животных».

В 2009-2015 годы руководили коллективом кафедры Наумов А.Д., Клименков К.П. С декабря 2015 года заведующим кафедрой назначена кандидат ветеринарных наук, доцент Братушкина Е.Л.

В настоящее время на кафедре работают 11 сотрудников. Восемь преподавателей - 1 доктор биологических наук, доцент (Наумов А.Д), три доцента, кандидата ветеринарных наук (Братушкина Е.Л., Клименков К.П., Мехова О.С.), четыре старших преподавателя (Коваленок Н.П., Петроченко И.О., Толкач А.Н., Толкач Е.В.), имеющих высшее педагогическое образование по специальности «Физика и высшая математика».

На кафедре занимаются студенты 1-6-х курсов биотехнологического факультета, факультетов ветеринарной медицины и заочного обучения. Преподавателями кафедры осуществляется учебный процесс в Пинском и Речицком филиалах академии. Проводится переподготовка слушателей, читаются лекции и проводятся занятия на ФПКиПК.

Научно-исследовательская работа на кафедре выполняется по основным направлениям: влияние электромагнитных излучений на физико-химические свойства крови; пути активизации познавательной деятельности студентов в учебном процессе; патология органов дыхания и пищеварения у животных; радиационный мониторинг объектов внешней среды.

***По вопросам сотрудничества обращаться:
(80212)48-17-70***

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

Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины является старейшим учебным заведением в Республике Беларусь, ведущим подготовку врачей ветеринарной медицины, ветеринарно-санитарных врачей, провизоров ветеринарной медицины и зооинженеров.

Вуз представляет собой академический городок, расположенный в центре города на 17 гектарах земли, включающий в себя единый архитектурный комплекс учебных корпусов, клиник, научных лабораторий, библиотеки, студенческих общежитий, спортивного комплекса, Дома культуры, столовой и кафе, профилактория для оздоровления студентов. В составе академии 4 факультета: ветеринарной медицины; биотехнологический; повышения квалификации и переподготовки кадров агропромышленного комплекса; международных связей, профориентации и довузовской подготовки. В ее структуру также входят Аграрный колледж УО ВГАВМ (п. Лужесно, Витебский район), филиалы в г. Речице Гомельской области и в г. Пинске Брестской области, первый в системе аграрного образования НИИ прикладной ветеринарной медицины и биотехнологии (НИИ ПВМ и Б).

В настоящее время в академии обучается более 4 тысяч студентов, как из Республики Беларусь, так и из стран ближнего и дальнего зарубежья. Учебный процесс обеспечивают 324 преподавателя. Среди них 180 кандидатов, 30 докторов наук и 21 профессор.

Помимо того, академия ведет подготовку научно-педагогических кадров высшей квалификации (кандидатов и докторов наук), переподготовку и повышение квалификации руководящих кадров и специалистов агропромышленного комплекса, преподавателей средних специальных сельскохозяйственных учебных заведений.

Научные изыскания и разработки выполняются учеными академии на базе Научно-исследовательского института прикладной ветеринарной медицины и биотехнологии. В его состав входит 2 отдела: научно-исследовательских экспертиз (с лабораторией биотехнологии и лабораторией контроля качества кормов); научно-консультативный.

Располагая современной исследовательской базой, научно-исследовательский институт выполняет широкий спектр фундаментальных и прикладных исследований, осуществляет анализ всех видов биологического материала и ветеринарных препаратов, кормов и кормовых добавок, что позволяет с помощью самых современных методов выполнять государственные тематики и заказы, а также на более высоком качественном уровне оказывать услуги предприятиям агропромышленного комплекса. Активное выполнение научных исследований позволило получить сертификат об аккредитации академии Национальной академией наук Беларуси и Государственным комитетом по науке и технологиям Республики Беларусь в качестве научной организации. Для проведения данных исследований отдел научно-исследовательских экспертиз аккредитован в Национальной системе аккредитации в соответствии с требованиями стандарта СТБ ИСО/МЭК 17025.

Обладая большим интеллектуальным потенциалом, уникальной учебной и лабораторной базой, вуз готовит специалистов в соответствии с европейскими стандартами, является ведущим высшим учебным заведением в отрасли и имеет сертифицированную систему менеджмента качества, соответствующую требованиям ISO 9001 в национальной системе (СТБ ISO 9001 – 2015).

www.vsavm.by

210026, Республика Беларусь, г. Витебск, ул. 1-я Доватора, 7/11, факс (0212) 48-17-65, тел. 33-16-29 (факультет международных связей, профориентации и довузовской подготовки); 33-16-17 (НИИ ПВМ и Б); E-mail: vsavmpriem@mail.ru.

Учебное издание

Коваленок Наталья Павловна,
Толкач Елена Владимировна,
Петроченко Ирина Олеговна и др.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО БИОФИЗИКЕ

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск Е. Л. Братушкина
Технический редактор О. В. Луговая
Компьютерный набор Н. П. Коваленок
Компьютерная верстка,
корректор Т. А. Никитенко

Подписано в печать 25.05.2021. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 3,75. Уч.-изд. л. 2,45. Тираж 500 экз. Заказ 2138.

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) 51-75-71.
E-mail: rio_vsavm@tut.by
<http://www.vsavm.by>