

Лабораторная работа № 1 Электрический конденсатор.

Цель работы: исследование зависимости заряда конденсатора от разности потенциалов между пластинами. Расчет емкости конденсатора. Изучение процесса зарядки конденсатора. Проверка работы батареи конденсаторов параллельного и последовательного соединения, расчет емкости батарей.

Оборудование: два конденсатора $C \sim 10\text{-}50 \text{ мкФ}$, резистор $R \sim 10\text{кОм}$

Порядок выполнения работы:

1. В начале работы соберите представленную на рисунке схему. На этой схеме U обозначена клемма питания на устройстве сопряжения. $V1$ и $V2$ – служат для измерения тока и напряжения в цепи.
2. В работе напряжение, подаваемое компьютером на конденсатор, будет меняться с течением времени. Компьютером измеряется напряжение на конденсаторе и ток в цепи, и строятся соответствующие графики. Измерение заряда конденсатора производится косвенно. Заряд равен произведению силы тока на время протекания заряда по проводнику.

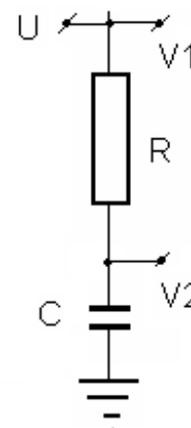
$$Q = I * T$$

Объясните, в каком случае допустимо рассчитывать заряд таким образом. Далее на экране появится график зависимости заряда на конденсаторе от поданного на него напряжения.

3. Повторите предыдущий эксперимент с конденсатором другой емкости.
4. Соберите батарею из двух последовательно соединенных конденсаторов. Повторите первый эксперимент.
5. Соберите батарею из двух параллельно соединенных конденсаторов. Повторите первый эксперимент.
6. На полученных графиках с помощью подвижного курсора определите значения емкостей использованных конденсаторов.
7. В последнем эксперименте на конденсатор будет подана постоянная разность потенциалов и измерена сила тока в цепи при зарядке конденсатора. На экране появится график зависимости тока зарядки от времени.
8. Рассчитайте погрешность измерения емкости.

Отчет должен содержать:

- Графики зависимости напряжения на конденсаторе от времени и тока зарядки конденсатора от времени в первом эксперименте.
- Графики $Q_1(U)$, $Q_2(U)$, $Q_3(U)$, $Q_4(U)$ в одних осях с отмеченными значениями емкости первого и второго конденсаторов, а также их параллельного и последовательного соединений.
- Графики зависимости напряжения на конденсаторе от времени и тока зарядки конденсатора от времени в последнем эксперименте .
- Значение емкости с погрешностью, рассчитанные по всему ансамблю значений.
- Формулы, по которым происходил расчет величин и погрешностей.
- Сравнение полученных значений емкости и номиналов, использованных в работе.
- Вывод.



Дополнительные вопросы:

- Зачем на конденсатор в первом эксперименте подается возрастающее напряжение?
- Сравните те емкости (с погрешностями!), которые Вы использовали в эксперименте, с теми, которые были измерены компьютером.
- Почему в последнем эксперименте ток спадает со временем? Если можете, напишите дифференциальное уравнение, описывающее этот процесс.

Лабораторная работа №2

Движение заряженной частицы в однородном магнитном поле.

Цель работы: определить скорость движения электрона, угол вылета и удельный заряд электрона.

Оборудование: водородная лампа с электронной пушкой, вольтметр, амперметр, линейка

Порядок выполнения работы:

1. Изучите схему, представленную на рисунке.
2. Для прогрева схема требует 5 минут. После, регулируя рукоятками «Фокус» и «Анод», добейтесь замыкания луча в кольцо. Траектория движения электронов в нижней точке кольца должна быть наиболее узкой.
3. Измерьте диаметр кольца, анодное напряжение и ток в катушках. Полученные данные представьте в виде таблицы. Проведите серию экспериментов не менее 8 раз при различных значениях тока и напряжения. Придумайте наилучший, по вашему мнению, способ измерения диаметра кольца. Оцените, какую погрешность дает этот метод.

I(A)	U(B)	R(m)	B(Tл)	$\frac{e}{m} \left(\frac{Кл}{кг} \right)$	V($\frac{М}{с}$)

4. Поверните трубку нежно на небольшой угол. Добейтесь наименьшего радиуса траектории электронов и наибольшей ее четкости. Для определения угла между скоростью электронов и вектором магнитной индукции α проведите измерения анодного напряжения, тока в катушках, диаметра кольца и шага винта траектории. Полученные значения представьте в виде таблицы.

I(A)	U(B)	R(m)	H(m)	B(Tл)	V($\frac{М}{с}$)	cos α	α

5. Рассчитайте погрешности. Сравните усредненное значение $\frac{e}{m}$ с табличным значением.
6. Дайте теоретическое обоснование формулам (1), (2) и (3), используемым в работе.

$$B = \frac{0,71\mu_0 nI}{r}, \text{ где } \mu_0 - \text{ магнитная постоянная, } n - \text{ число витков в катушках (} n=245 \text{),}$$

r – радиус катушек (r=12,5 ± 0,5 см)

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{R^2 B^2} \quad (1)$$

$$V = \frac{eRB}{m} \quad (2)$$

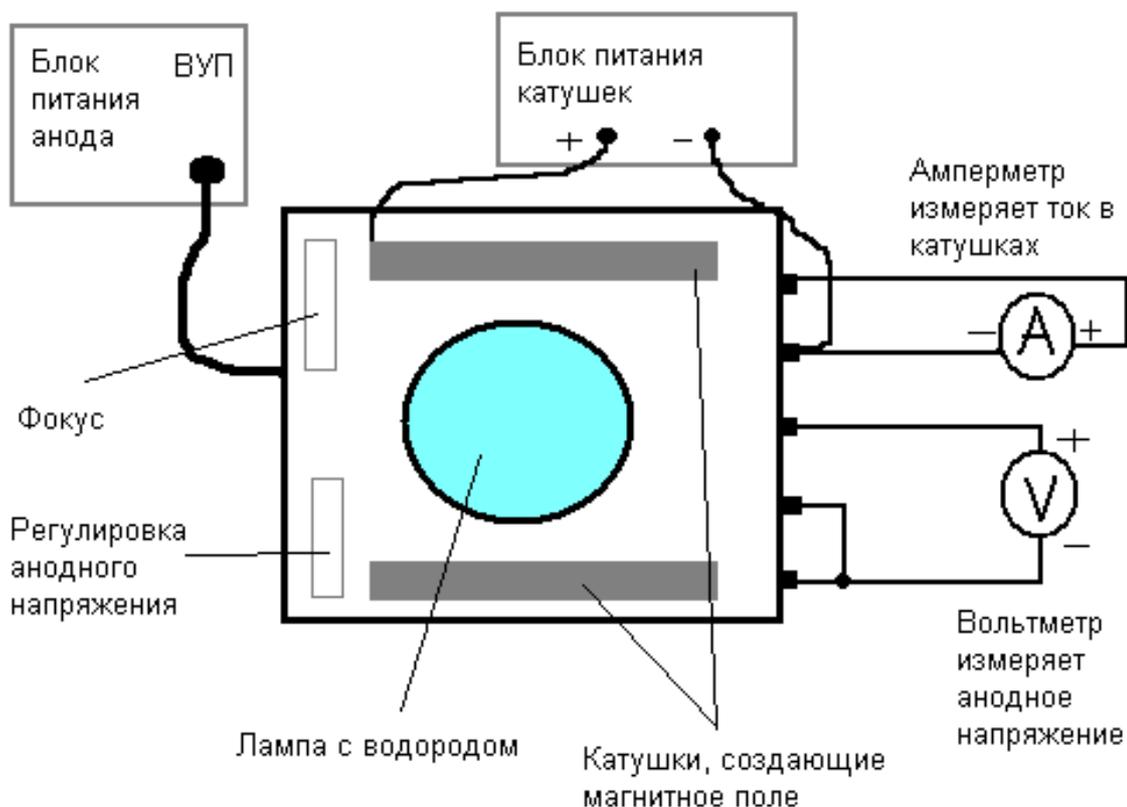
$$\cos(\alpha) = \frac{HBe}{2\pi mV} \quad (3)$$

Отчет должен содержать:

- Таблица измеренных и рассчитанных величин и таблица погрешностей.
- Среднее значение $\frac{e}{m}$. Сравнение с табличным значением.
- Формулы, по которым происходил расчет величин B , v , $\frac{e}{m}$, $\cos(\alpha)$, α .
- Формулы, по которым происходил расчет погрешностей.
- Как проводилось измерение радиуса траектории и погрешность измерения с обоснованием выбранной величины.

Дополнительные вопросы:

- Объясните причину размытости кольца, наблюдаемого в эксперименте.
- Предложите способ получения пучка электронов с близкими по величине скоростями («монокинетичный пучок»).



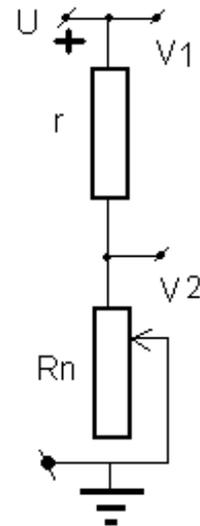
Лабораторная работа №3 Исследование полной однородной цепи постоянного тока.

Цель работы: исследовать вольтамперную характеристику полной цепи постоянного тока, определить ЭДС источника, внутреннее сопротивление и ток короткого замыкания.

Оборудование: вольтметр, амперметр, источник постоянного напряжения, реостат ($R_n \sim 1000 \text{ Ом}$), резистор $r \sim 1000 \text{ Ом}$

Порядок выполнения работы:

1. Соберите схему, представленную на рисунке.
2. Подаваемое напряжение не должно превышать 40В.
3. Снимите вольтамперную характеристику нагрузки (сделайте не менее 10 измерений при различных положениях ползунка реостата).
4. Постройте график ВАХ. Добавить линейную интерполяцию (коэффициент достоверности должен быть не менее 0.95, иначе эксперимент необходимо переделать).
5. Определите по графику значения ЭДС и тока короткого замыкания.
6. Рассчитайте внутреннее сопротивление источника.



Отчет должен содержать:

- График зависимости $U(I)$.
- Интерполирующая кривая и ее уравнение.
- Значение тока короткого замыкания и ЭДС источника.
- Внутреннее сопротивление источника.
- Формулы, по которым происходил расчет величин и погрешностей.

Дополнительные вопросы:

- Что означает тангенс угла наклона графика $U(I)$.
- Какой угол содержит информацию о текущем значении сопротивления реостата?

Лабораторная работа № 4

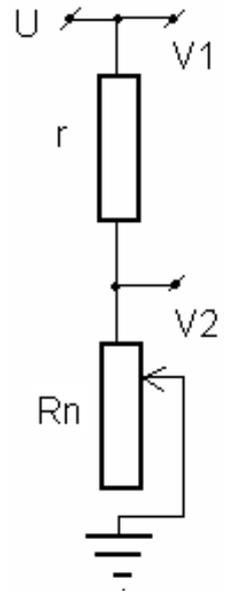
Мощность и КПД полной цепи постоянного тока.

Цель работы: Исследовать реальную электрическую цепь, определить мощность и КПД цепи.

Оборудование: резистор $r \sim 400\text{Ом}$, $R_{\text{max}} \sim 1\text{кОм}$

Порядок выполнения работы:

1. В начале работы соберите представленную на рисунке схему. На этой схеме U обозначена клемма питания на устройстве сопряжения. $V1$ и $V2$ – служат для измерения тока и напряжения в цепи.
2. Изменяя сопротивление нагрузки (для этого надо двигать ползунок реостата), получите зависимость силы тока в цепи и напряжения на нагрузке. Измерение проводить не менее 10 секунд.
3. Получите графики зависимости мощности и КПД цепи.
4. Рассчитайте погрешности.



Отчет должен содержать:

- Графики зависимости $U_n(R_n)$, $I_n(R_n)$, $\eta(R_n)$
- Графики зависимости $P_n(R_n)$, $R_n(R_n)$ в одних осях.
- Формулы, по которым происходил расчет величин и погрешностей.
- Таблица из пяти произвольных строчек из всего диапазона с величинами погрешностей (следите за правильностью записи!).

Дополнительные вопросы:

- Объясните вид полученных в работе графиков, напишите формулы зависимости измеренных величин от сопротивления нагрузки R .
- При каком значении сопротивления нагрузки выделяется наибольшая мощность? Чему при этом сопротивлении равен КПД цепи?
- В каких электрических цепях выгодно получать наибольший КПД, а в каких – наибольшую выделяемую мощность?

Лабораторная работа № 5

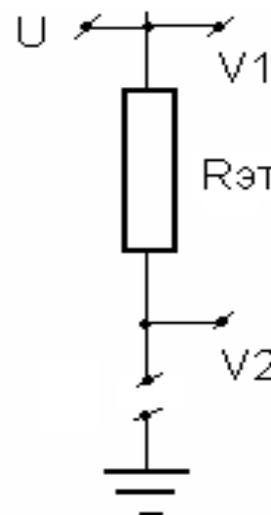
Зависимость сопротивления от температуры.

Цель работы: Исследовать зависимость сопротивления металлов, электролитов и полупроводников от температуры. Работа может быть выполнена целиком или по частям.

Оборудование: резистор $R_{эт} \sim 400$ Ом, сменный блок, в котором может быть установлен исследуемый объект (терморезистор, ванночка с электролитом или колодка с полупроводником).

Порядок выполнения работы:

1. В начале работы соберите представленную на рисунке схему. На этой схеме U обозначена клемма питания на устройстве сопряжения. $V1$ и $V2$ – служат для измерения тока и напряжения в цепи.
2. Поместите термометр в термостат с исследуемым терморезистором. Запишите погрешность прибора. Сам термостат поместите в сосуд с водой, нагреваемой с помощью электроплитки. Проведите 5-8 измерений при разных значениях температуры. В результате на экране появится график зависимости сопротивления проводника от температуры. С помощью подвижного курсора определите значения температуры и сопротивления, необходимые для расчета температурного коэффициента сопротивления данного металла. Введите расчетную формулу.
3. Повторите эксперимент, поместив в сменный блок ванночку с электролитом.
4. Повторите эксперимент, поместив в сменный блок колодку с полупроводником.
5. Рассчитайте погрешности.



Отчет должен содержать:

- График зависимости $R_n(T)$.
- Формулы, по которым происходил расчет величины термического коэффициента и погрешности.
- Сравнение с табличным значением.

Дополнительные вопросы:

- Как в данном эксперименте измерено сопротивление проводника?
- Почему графики зависимости сопротивления проводника от температуры выглядят по-разному в 1, 2 и 3 экспериментах?

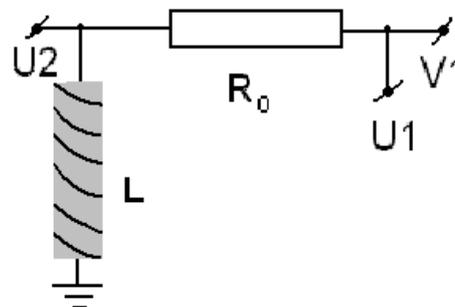
Лабораторная работа №6 Изучение явления самоиндукции.

Цель работы: исследовать особенности явления самоиндукции, измерить индуктивность катушки и ЭДС самоиндукции.

Оборудование: катушка 3600 витков $R_L \approx 50$ Ом, резистор $R_0 \sim 50 \div 150$ Ом

Порядок выполнения работы:

1. Соберите схему, представленную на рисунке.
2. От компьютера в схему подается линейно возрастающее напряжение, поэтому ток в цепи также растет, причем параметры схемы подобраны таким образом, что зависимость $I(t)$ практически линейна. При изменении силы тока в катушке возникает ЭДС самоиндукции, в данных условиях эксперимента практически постоянная.
3. В первой части работы по графикам $I(t)$ и $U(t)$, пользуясь подвижным курсором, измерьте ЭДС самоиндукции, и значения тока в разные моменты времени. Рассчитайте значение индуктивности катушки L .
4. Во второй части эксперимента будет повторен первый эксперимент с увеличенным в два раза полным сопротивлением цепи. Для этого надо изменить R_0 так, чтобы соблюдалось равенство $R_{02} = 2 \cdot R_{01} + R_L$ (*).
5. Третий эксперимент предлагается провести аналогично предыдущим, но время нарастания тока автоматически будет уменьшено вдвое.
6. Во всех трех заданиях необходимо записывать значения токов и времени.
7. В каждом из экспериментов рассчитайте индуктивность катушки с погрешностью.



Отчет должен содержать:

- Графики зависимости $E(t)$, $I(t)$ в трех экспериментах
- Расчет индуктивности (три значения).
- Формулы, по которым происходил расчет индуктивности и погрешности.

Дополнительные вопросы:

- Выведите равенство (*).
- Объясните, как были измерены значения силы тока и ЭДС самоиндукции.
- Объясните, как изменялись графики $I(t)$ и $U(t)$, при изменении условий эксперимента, и как при этом менялось значение ЭДС самоиндукции.

Лабораторная работа №7 Трансформатор.

Цель работы: исследовать работу трансформатора в холостом режиме и под нагрузкой.

Оборудование: Трансформатор, источник переменного тока, перекидной ключ, U-образный железный сердечник с ярмом, реостат, декадный резистор, два амперметра и один вольтметр переменного тока.



Рисунок 1. Общий вид экспериментальной установки

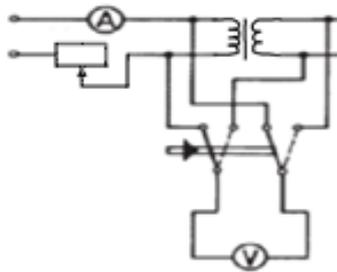


Рисунок 2. Схема установки в режиме холостого хода

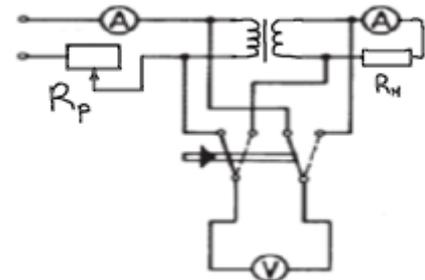


Рисунок 3. Схема установки в рабочем режиме

Порядок выполнения работы:

В режиме холостого хода, при не нагруженной вторичной обмотке, напряжение на первичной обмотке регулируется с помощью реостата постоянной амплитуды. Измеряется ток и напряжение в первичной обмотке, и напряжение на вторичной обмотке. В нагруженном режиме декадный магазин сопротивлений используется как нагрузка во вторичной обмотке. Измерения производятся с помощью вольтметра и двух амперметров в первичной и вторичной обмотках.

1. Поочередно изменяя количество витков в первичной и во вторичной обмотке, вычислите экспериментальный $K_{\text{эксп}} = \frac{U_1}{U_2}$ и теоретический $K_{\text{теор}} = \frac{N_1}{N_2}$ коэффициенты трансформации. Сделайте не менее восьми измерений с разными коэффициентами трансформации. Экспериментальные данные и результаты вычислений занесите в таблицу, представленную ниже:

N_1	N_2	$U_1(\text{В})$	$U_2(\text{В})$	$I_1(\text{А})$	$K_{\text{эксп}}$	$K_{\text{теор}}$
.....						

- При фиксированном количестве витков в первичной и во вторичной обмотке, изменяя только сопротивление реостата в широком диапазоне, снимите зависимость напряжения во вторичной обмотке от напряжения на первичной обмотке трансформатора $U_2(U_1)$. Сделайте не менее семи измерений при различном напряжении на первичной обмотке. По полученным данным постройте график зависимости $U_2(U_1)$.
- Соберите схему нагруженного трансформатора, в которой во вторичной обмотке декадный магазин сопротивлений подключен последовательно с амперметром. Изменяя многократно сопротивление нагрузки во вторичной цепи, начиная от 0.1 Ома, измерьте напряжения и силы тока в первичной и вторичной обмотках трансформатора. Проведите не менее 10 измерений. Рассчитайте значения мощности, поступающей в первичную обмотку трансформатора и снимаемой с вторичной обмотки. По полученным значениям мощности рассчитайте КПД трансформатора. Постройте графики зависимости мощности во вторичной обмотке и КПД трансформатора от сопротивления нагрузки.

R_n (Ом)	U_1 (В)	I_1 (А)	U_2 (В)	I_2 (А)	P_1 (Вт)	P_2 (Вт)	η
....							

Отчет должен содержать:

- Таблицу измерений и вычислений для первого эксперимента;
- График зависимости $U_2(U_1)$ для второго эксперимента;
- Таблицу измерений и вычислений для третьего эксперимента;
- Графики зависимостей мощности во вторичной обмотке и КПД от сопротивления нагрузки для третьего эксперимента.

Обязательные вопросы:

- Сравните теоретический и экспериментальный коэффициенты трансформации. Объясните различие в их значениях;
- Объясните вид полученной зависимости $U_2(U_1)$;
- Качественно объясните вид зависимостей $P_2(R_n)$ и $\eta(R_n)$.

Лабораторная работа №8

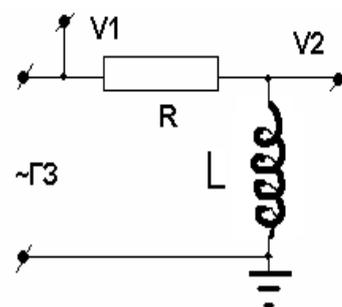
Катушка индуктивности в цепи переменного тока.

Цель работы: исследовать особенности протекания переменного тока в цепи, содержащей активное и реактивное сопротивление, определение величины импеданса цепи.

Приборы: резистор ~ 1000 Ом, катушка на сердечнике с наибольшим числом витков, звуковой генератор, с которого в цепь подается переменное напряжение известной частоты.

Порядок выполнения работы:

1. Соберите схему, представленную на рисунке. Схема питается от звукового генератора. V1 и V2 – используются для измерения тока и напряжения в цепи.
2. В первом эксперименте строятся графики зависимости силы тока и напряжения на катушке от времени. По графикам определите период, сдвиг фаз между колебаниями силы тока и напряжения на катушке. Затем измените частоту генератора в два раза и повторите эксперимент.
3. Изменяя входное напряжение, постройте зависимость силы тока от напряжения на катушке. С помощью этого графика определите сопротивление X_L .
4. Изменяя частоту генератора при постоянном напряжении, постройте зависимость индуктивного сопротивления от частоты. Определите величину индуктивности катушки.



Отчет должен содержать:

- Для двух экспериментов с разными частотами графики зависимости тока и напряжения на нагрузке от времени с общей осью времени. Для каждой пары графиков нужно отметить амплитудные значения тока и напряжения, период и сдвиг фаз (с погрешностью)
- Вольтамперная характеристика нагрузки. По этому графику найденное значение сопротивления нагрузки. Что это за сопротивление?
- График зависимости сопротивления нагрузки от частоты. Расчет индуктивности катушки.
- Погрешности и вывод.

Дополнительные вопросы:

- Объясните, почему изменяются амплитуды тока и напряжения при изменении частоты.
- Как меняется сдвиг фаз между током и напряжением при изменении частоты колебаний тока в данной схеме?
- Определение активного сопротивления катушки. Подсказка: в пункте 3 строится зависимость тока от напряжения на катушке, но невозможно разделить активную и реактивную составляющие проводника. Используя сдвиг фаз между током и напряжением, рассчитайте величины активного и реактивного сопротивления катушки.

Лабораторная работа №9

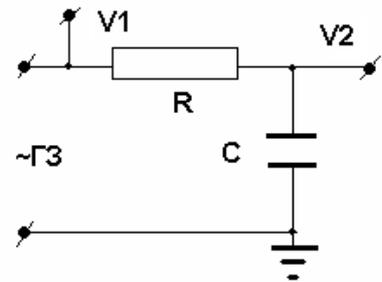
Емкость в цепи переменного тока.

Цель работы: исследовать особенности протекания переменного тока в цепи, содержащей активное и емкостное сопротивление, определение величины импеданса цепи.

Оборудование: резистор ~ 500 Ом, конденсатор емкостью около 1 мкФ, звуковой генератор, с которого в цепь подается переменное напряжение известной частоты.

Порядок выполнения работы:

1. Соберите схему, представленную на рисунке.
Схема питается от звукового генератора. V1 и V2 – используются для измерения тока и напряжения в цепи.
2. В первом эксперименте строятся графики зависимости силы тока и напряжения на конденсаторе от времени. По графикам определите период, сдвиг фаз между колебаниями силы тока и напряжения на конденсаторе. Затем измените частоту генератора в два раза и повторите эксперимент.
3. Изменяя входное напряжение, постройте зависимость силы тока от напряжения на конденсаторе. С помощью этого графика определите емкостное сопротивление X_c .
4. Изменяя частоту генератора при постоянном напряжении, постройте зависимость емкостного сопротивления от частоты. Определите величину емкости конденсатора.
5. Рассчитайте погрешности.



Отчет должен содержать:

- Для двух экспериментов с разными частотами графики зависимости тока и напряжения на нагрузке от времени с общей осью времени. Для каждой пары графиков нужно отметить амплитудные значения тока и напряжения, период и сдвиг фаз (с погрешностью)
- Вольтамперная характеристика нагрузки. По этому графику найденное значение сопротивления нагрузки. Что это за сопротивление?
- График зависимости величины обратной сопротивлению нагрузки от частоты. Расчет величины емкости конденсатора.
- Погрешности и вывод.

Дополнительные вопросы:

- Объясните, почему так изменяются амплитуды тока и напряжения при изменении частоты.
- Как меняется сдвиг фаз между током и напряжением при изменении частоты колебаний тока в данной схеме?

Лабораторная работа №10

Изучение механических колебаний.

Цель работы: исследовать колебания груза на пружине, определение величин физических параметров колебательного процесса, проверка гармоничности колебаний.

Оборудование: груз, пружина, датчик расстояний (ультразвуковой эхолот), датчик силы (электронный динамометр), весы с набором разновесов.

Порядок выполнения работы:

1. Измерьте массу груза. Запишите погрешность.
2. Закрепите датчик силы на штативе и становите на датчике переключатель в соответствующее положение (в зависимости от массы груза).
3. Прикрепите пружину с грузом к датчику силы. Установите эхолот непосредственно под грузом. Минимальное расстояние между датчиком и грузом должно быть более 40 см.
4. Подсоедините датчики к **TriLink**, и, через кабель, к USB входу компьютера.
5. Запустите программу **MultiLab**, установите параметры измерений с помощью кнопки **Настройка** (Setup). Частота измерений 25 замеров/с, количество замеров 500.
6. Для регистрации данных нажмите кнопку **Старт**.
7. С помощью команды **Сгладить** (+) можно произвести обработку графика.
8. По полученному графику зависимости координаты от времени проверить постоянство периода колебаний, определить период, начальное смещение, амплитуду колебаний. Важно понимать, что датчик измеряет расстояние от себя и в положительном направлении – вверх.
9. При помощи двух курсоров выделите участок графика в несколько периодов и выберите в меню **График** команду **Вырезать**. Продифференцируйте полученный график, и если необходимо, проведите сглаживание результата. Повторите это действие еще раз, получив график ускорения от времени.
10. Чтобы построить график зависимости силы от координаты, выберите в меню **График** команду **Редактирование графика** и установите в окне по оси X данные по расстоянию, а по оси Y сглаженные данные силы. Аналогично можно построить график зависимости скорости от расстояния.
11. Продумайте и проведите эксперимент с использованием эхолота, чтобы определить жесткость пружины.
12. *Дополнительно: проведите эксперимент еще раз, задав большее время измерения, чтобы увидеть изменение амплитуды при неизбежном затухании колебаний. С помощью Мастера анализа постройте огибающую графика расстояния от времени, то есть зависимость амплитуды от времени и определите коэффициент затухания.*

Отчет должен содержать:

- Измеренные величины: T , X_m , $x(0)$, V_{max} .
- Вычисленные величины: ν , φ_0 , ω ,
- Уравнения $x(t)$, $v(t)$, $a(t)$ с числовыми коэффициентами.
- Напечатанные графики $x(t)$, $v(t)$ и $a(t)$ и векторные диаграммы к ним.
- Вычисление коэффициента жесткости пружины
- Максимальные значения кинетической E_k и потенциальной энергии E_p и сравнение с полной энергией механического колебания W .
- Расчет погрешностей
- Графики $F(x)$ и $v(x)$. Объясните вид полученной зависимости.
- Значение коэффициента затухания.

Лабораторная работа № 11

Мощность в цепи переменного тока

Цель работы: Исследование активной и реактивной мощности, в цепях переменного тока.

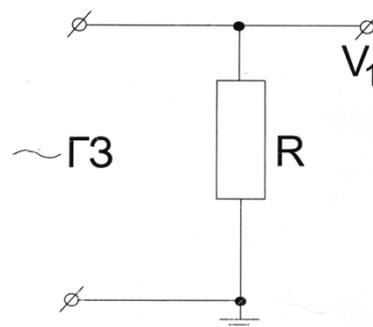
Оборудование: резистор ~ 400 Ом, катушка индуктивностью ~ 1 Гн, звуковой генератор, с которого в цепь подается переменное напряжение известной частоты.

Порядок выполнения работы:

1. Исследование мощности на активном элементе.
Соберите установку, представленную на рисунке.

Схема питается от звукового генератора. В качестве нагрузки используется магазин сопротивлений. V_1 и V_2 – используются для измерения тока и напряжения в цепи.

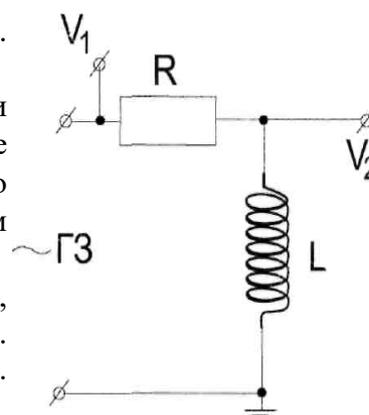
Получите графики зависимости мгновенных значений тока, напряжения и мощности в зависимости от времени. Измерьте среднюю мощность, выделяемую в цепи. Рассчитайте погрешности.



2. Исследование мощности на реактивном элементе.
Соберите установку, представленную на рисунке.

В качестве нагрузки используется активное сопротивление и катушка, которая имеет несколько клемм, соответствующие разному числу витков. В этом эксперименте надо использовать такое подключение катушки, при котором число витков будет наибольшим.

Получите графики зависимости мгновенных значений тока, напряжения и мощности в зависимости от времени. Измерьте среднюю мощность, выделяемую в цепи. Рассчитайте погрешности.



Отчет должен содержать:

- Графики зависимости мгновенных значений тока, напряжения и мощности от времени с общей осью времени для чисто активной нагрузки.
- Графики зависимости мгновенных значений тока, напряжения и мощности от времени с общей осью времени для реактивной нагрузки.
- Расчет средней мощности для двух экспериментов.
- Формулы, по которым происходил расчет величин и погрешности

Дополнительные вопросы:

- Объясните, почему во втором эксперименте график мощности не симметричен относительно оси времени.
- Может ли этот график опуститься ниже оси времени?

Лабораторная работа №12

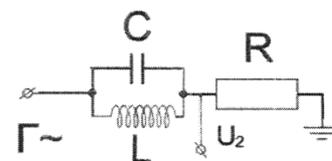
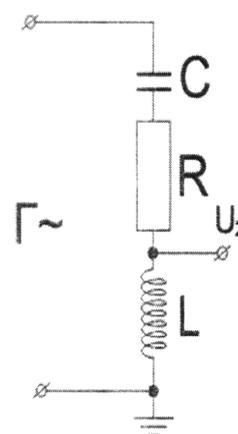
Резонанс в цепи переменного тока.

Цель работы: исследовать явление резонанса напряжений и резонанса токов. Определить значения резонансных частот и индуктивности катушки.

Оборудование: сопротивление $R \sim 100 \text{ Ом}$, конденсатор с переменной емкостью C от 0.2 мкФ до 0.8 мкФ , катушка индуктивности на сердечнике, с наибольшим числом витков индуктивностью $L \sim 1.3 \text{ Гн}$.

Порядок выполнения работы:

1. Собранный контур представляет собой колебательный контур, в котором происходят вынужденные колебания. Звуковой генератор (ГЗ) играет роль источника переменного напряжения.
2. Установите емкость конденсатора $C = 0.2 \text{ мкФ}$. Изменяя напряжение генератора и частоту генератора в широком диапазоне (от 20 Гц до 400 Гц), добейтесь того, чтобы при резонансе показания вольтметра не превышали 1.2 В. В последующих экспериментах **не изменяйте** установленное напряжение генератора.
3. Изменяя частоту генератора от 20 до 400 Гц, снимите резонансную кривую напряжения на катушке. Зависимость напряжения на катушке от частоты генератора в районе резонанса промерьте с небольшим шагом, чтобы как можно точнее определить экстремум полученной зависимости.
4. Повторите первый эксперимент, предварительно увеличив значение сопротивления в три раза.
5. Восстановите первоначальное значение сопротивления и увеличьте емкость конденсатора в 4 раза. Повторите ход первого эксперимента.
6. На экране появились все три снятые резонансные кривые на одном графике. С помощью подвижного курсора определите резонансные частоты. Введите формулу для определения индуктивности катушки по известным значениям резонансной частоты и емкости конденсатора C .
7. **Дополнительно:** соберите схему, изображенную на втором рисунке. Номинальные значения емкости и сопротивления прежние. Повторите задания пункта 3. Сравните результаты. Где может — применяться такое соединение?



Отчет должен содержать:

- Графики амплитуды напряжения на катушке от частоты для трех экспериментов в одних осях.
- Параметры экспериментов и резонансные частоты.

- Значения индуктивности катушки, рассчитанные по трем экспериментам
- Формулы, по которым происходил расчет индуктивности и погрешности

Дополнительные вопросы:

- Почему график зависимости напряжения на катушке от частоты имеет резонансный характер?
- Объяснить изменение графиков при переходе от одного эксперимента к другому.

Лабораторная работа №13 Геометрическая оптика.

Цель работы: исследовать свойства оптических систем.

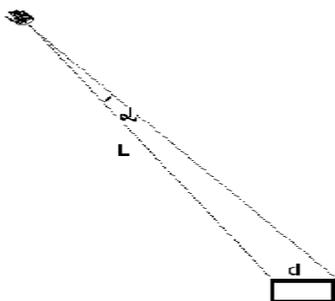
Порядок выполнения работы: включите в оптической лаборатории «Оптик» источник естественного света. Выберите из предложенных оптических элементов прозрачное стекло с нанесенным рисунком – предмет, а также несколько линз. Установите в конце шкалы экран.

1. Определите фокусное расстояние и оптическую силу двух собирающих линз.
2. Установите для каждой из линз предмет, получите изображение, проведите необходимые измерения для проверки формулы тонкой линзы. Результаты сравните с числами из пункта 1.
3. Установите две собирающих линзы на некотором расстоянии друг от друга, проведите измерения пунктов 1 и 2, и проверьте теоретическим расчетом.
4. Установите две собирающих линзы вплотную друг к другу, измерьте фокусное расстояние полученной оптической системы и ее оптическую силу. Проверьте соотношение $D_{\text{сист}}=D_1+D_2$.
5. Выберите рассеивающую линзу. Получите с помощью нее и собирающей линзы оптическую систему и измерьте фокусное расстояние и оптическую силу.
6. Рассчитайте фокусное расстояние рассеивающей линзы.
7. Результаты занесите в таблицу с погрешностями.

Оптическая система	$d \pm \Delta d$	$f \pm \Delta f$	$F \pm \Delta F$	$D \pm \Delta D$
↕ Л1				
↕ Л2				
↕---↕ Л1----Л2				
↕↕ Л1-Л2				
↕∩ Л1-Л3				
∩ Л3				

8. Каждое измерение в отчете должно сопровождаться построением хода лучей.

- **Дополнительное задание:** выполните построение хода лучей такой системы из двух линз, чтобы параллельный пучок лучей, пройдя через систему, остался параллельным. Рассмотрите все возможные случаи. Где применяется подобная оптическая система?

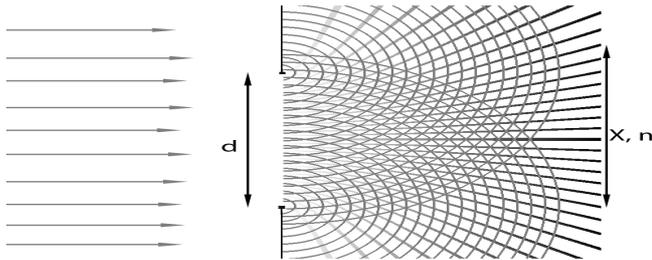


- **Дополнительное задание:** получите в микроскопе максимальное увеличение корня волоса и предъявите результат преподавателю. Нарисуйте оптическую схему микроскопа.
- **Дополнительное задание:** Определите расстояние до соседнего здания с помощью телескопа. Длина кирпича $25,0 \pm 0,5$ см. Цена деления шкалы телескопа $6 \cdot 10^{-4}$ рад. Тогда $\sin \alpha = \frac{d}{L}$. Учтите малую величину угла α .

Лабораторная работа №14 Дифракция света.

Цель работы: определение длины волны He-Ne лазера с помощью дифракции на щели. Определение размера непрозрачного препятствия. Определение периода дифракционной решетки.

Схема установки:



Порядок выполнения работы:

1. Установите лазер и микрометрическую щель так, чтобы луч лазера освещал середину щели. Получите дифракционную картину на удаленном экране (стене). Закройте винтом щель. При этом на экране должна исчезнуть картина дифракционных полос. Запишите показания микрометра – это «нулевая отметка». Затем откройте щель, сделав один полный оборот микрометрического винта, запишите число делений, на которое Вы повернули винт. Цена одного деления 1 мкм. Теперь Вы можете рассчитать размер щели. Измерьте расстояние от щели до экрана L и расстояние между максимумами X . Для этого удобно зарисовать полученную картину, измерить по рисунку расстояние между несколькими максимумами (не включая нулевой) и поделить на число периодов. Например, $X = \frac{X_{1-5}}{4}$. Повторите опыт еще для нескольких размеров щели (4-5). Результаты занесите в таблицу с погрешностями:

№	$L \pm \Delta L$	$d \pm \Delta d$	$X \pm \Delta X$	$\lambda \pm \Delta \lambda$	$\lambda_{\text{ср}}$
1					
2					
...					

Длину волны лазера определите по формуле $\lambda = \frac{X * d}{L}$.

2. Замените щель на преграду, указанную преподавателем, и определите размер преграды.
3. Поместите на пути лазерного луча дифракционную решетку. Получите на экране и зарисуйте дифракционную картину. Произведя необходимые измерения, рассчитайте период решетки.
4. Рассчитайте погрешности.

Лабораторная работа №15

Определение показателя преломления стекла.

Цель работы: измерить показатель преломления стекла различными способами

Порядок выполнения работы:

включите в оптической лаборатории «Оптик» лазер.

Задание 1: измерить показатель преломления стекла с использованием закона преломления света.

Установите в прорези D экран, а в отверстие C держатель с полуцилиндром таким образом, чтобы плоская поверхность полуцилиндра была обращена к источнику света. Поворотом полуцилиндра добейтесь, чтобы луч, отраженный от плоской поверхности, возвращался в выходное отверстие для лазерного луча. В этом положении угол падения излучения на поверхность полуцилиндра равен нулю. Запишите положение полуцилиндра φ_0 по угловой шкале его держателя. Запишите также положение преломленного луча на шкале экрана x_0 . Затем поверните полуцилиндр на некоторый угол и снимите отсчет по угловой шкале φ_1 и новый отсчет по шкале экрана x_1 . Угол поворота $\varphi = \varphi_1 - \varphi_0$.

Смещение преломленного луча $\Delta x = x_1 - x_0$. Найдите угол преломления $\varphi' = \arctg\left(\frac{\Delta x}{L}\right)$, где L – расстояние от отверстия C до экрана. Определите показатель преломления материала полуцилиндра: $n = \frac{\sin \varphi}{\sin(\varphi - \varphi')}$. Выполните задание 5-6 раз, результаты измерений занесите

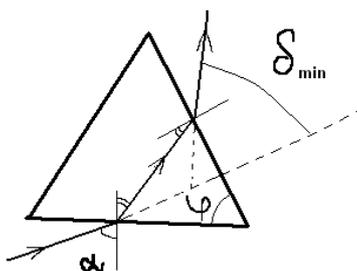
в таблицу, вычислите среднее значение показателя преломления, оцените погрешность измерения.

№	φ_0	φ	$\sin \varphi$	X_0	Δx	$\operatorname{tg} \varphi'$	φ'	$\sin \varphi'$	n	Δn
1										
2										
...										

$n_{\text{ср}} =$ _____ , $\Delta n_{\text{ср}} =$ _____ .

Задание 2: измерить показатель преломления стекла по углу наименьшего отклонения луча в призме.

Установите в отверстие C держатель с равнобедренной призмой таким образом, чтобы угол падения луча на призму соответствовал углу наименьшего отклонения прошедшего луча.



Поверните держатель с призмой таким образом, чтобы закрытая держателем грань была обращена к боковому полукруглому экрану, а входная грань призмы была перпендикулярна лучу лазера. Запишите положение призмы α_0 по угловой шкале её держателя. Затем поверните призму против часовой стрелки так, чтобы преломленный призмой луч попал на боковой экран. Продолжая поворачивать призму против часовой стрелки и наблюдая прошедший луч, отметьте такое положение призмы, при котором

преломленный луч изменяет свое направление по боковому экрану. В этом положении снимите отсчет по угловой шкале α_1 . Определите угол падения луча на призму $\alpha = \alpha_1 - \alpha_0$. Снимите отсчет положения светового пятна на шкале бокового экрана γ и рассчитайте угол отклонения луча $\delta = \pi - \gamma$. Момент изменения направления смещения луча на экране соответствует наименьшему углу отклонения луча в призме δ_{\min} .
 $\delta_{\min} = 2\alpha - \varphi$ (докажите!).

Поворачивая призму на небольшие углы в ту и другую сторону, уточните положение наименьшего отклонения не менее трех раз. Результаты измерения и погрешности занесите в таблицу.

№	α	$\delta_{\min} = \pi - \gamma$	n	Δn
1				
2				
...				

$$n = \frac{\sin \frac{\varphi + \delta_{\min}}{2}}{\sin \frac{\varphi}{2}}, \text{ где } \varphi = 60^\circ \text{ – преломляющий угол призмы.}$$

$$n_{\text{ср}} = \dots, \Delta n_{\text{ср}} = \dots$$

Задание 3: измерить показатель преломления стекла по углу полного внутреннего отражения света.

Установите в отверстие С держатель с полуцилиндром таким образом, чтобы цилиндрическая поверхность полуцилиндра была обращена к источнику света. Поверните держатель полуцилиндра таким образом, чтобы угол падения луча на плоскую поверхность полуцилиндра был равен предельному углу полного внутреннего отражения. Повторите измерение несколько раз, результаты измерения и погрешность занесите в таблицу.

№	$\beta_{\text{пред}}$	$\sin \beta_{\text{пред}}$	n	Δn
1				
2				
...				

$$n = \frac{1}{\sin \beta_{\text{пред}}}$$

$$n_{\text{ср}} = \dots, \Delta n_{\text{ср}} = \dots$$

Лабораторная работа №16 Спектроскопия.

Цель работы: проградуировать спектрометр и провести спектральное исследование неизвестного газа

Порядок выполнения работы:

1. Проведите градуировку спектрометра, используя спектр известного газа. Для этого получите с помощью спектрометра четкий и яркий спектр и снимите значения отсчетов по шкале.

Результаты занесите в таблицу.

Газ	Цвет линии	Показания шкалы X	Длина волны λ , нм

По данным таблицы постройте градуировочный график $X(\lambda)$. Проведите интерполяционную кривую и оцените погрешность определения длины волны по градуировочной кривой.

2. Проведите эксперимент с трубкой с водородом, аналогичный пункту 1, полученные результаты занесите в таблицу, длины волн получите с помощью градуировочного графика.
3. Постройте график зависимости $\frac{1}{\lambda}$ от $\left(\frac{1}{m^2}\right)$ по результатам пункта 2, где m – целое число. Определите с помощью этого графика постоянную Ридберга.
4. Сравните полученные данные с табличными для Бальмеровской серии, согласующимися с водородной формулой Бальмера

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$
 при n=2, m=3,4,5,6
5. Проведите эксперимент с трубкой с другим газом, аналогичный пункту 1, полученные результаты занесите в таблицу, длины волн получите с помощью градуировочного графика. Сравните полученные данные с табличными.

Спектр ртутно-гелиевой трубки

Номер линии	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Длина волны, ° А	3882	4077	4471	4916	5461	5770 5790	5875	6149	6560
Элемент	He	Hg	He	Hg	Hg	Hg	He	Hg	He
Цвет линии	фиол	Фиол	синий	голубой	зеленый	Желт	оранж	красн	красн

Лабораторная работа № 17 Интерференция света.

Цель работы: Получение стабильной интерференционной картины, используя бипризму Френеля. Нахождение длины волны источника излучения по полученной картине.

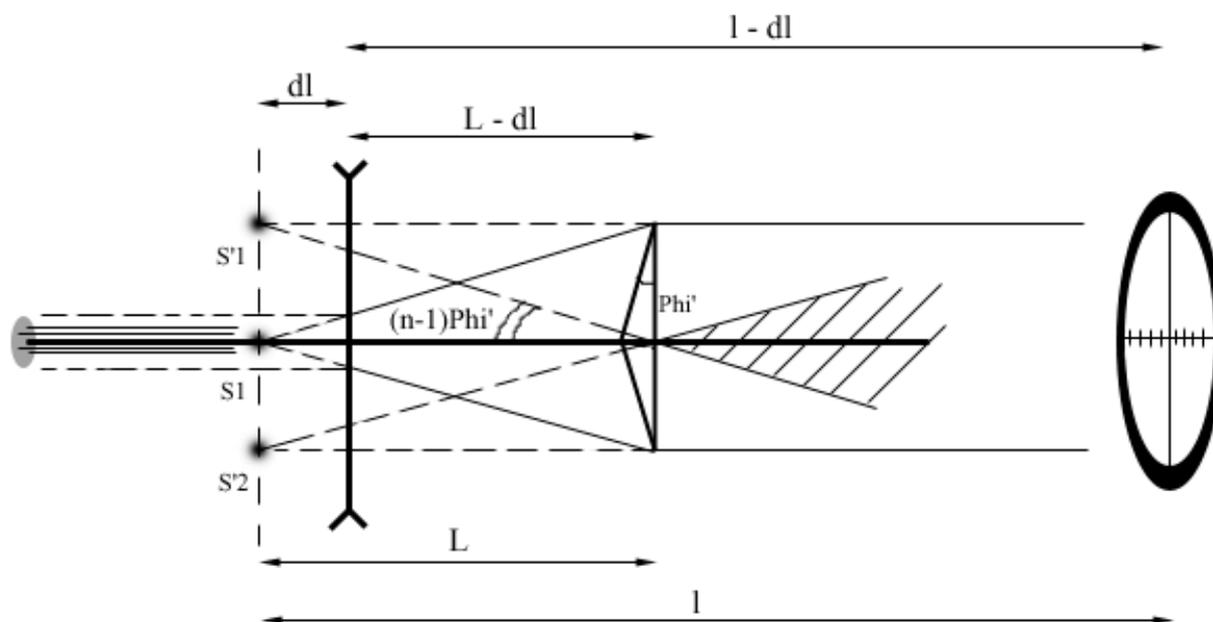


Рисунок 4 Схема установки

Описание установки

Параллельный пучок от лазера, проходя через линзу, превращается в точечный источник света S_1 , расположенный в фокусе. Преломляясь в бипризме, пучок расходится так, как расходились бы пучки от двух источников, расположенных в фокальной плоскости рассеивающей линзы S'_1, S'_2 . Они когерентны, т.к. излучаются одним и тем же лазером, но лучи идут по разным траекториям, возникает разность хода и, как следствие, явление интерференции. Трудность метода заключается в том, что источники S'_1 и S'_2 мнимые.

Нам известен угол, в котором наблюдается интерференция, это удвоенный угол отклонения, при преломлении лучей с малым углом падения:

$$\varphi = \varphi'(n - 1), \text{ где } \varphi' - \text{ преломляющий угол, } n - \text{ коэффициент преломления стекла.}$$

Угол $\varphi = (2.90 \pm 0.03) \cdot 10^{-3}$ рад.

L – расстояние между бипризмой и фокусом,

l – расстояние между зрительной трубкой (экраном) и фокусом,

Δl – фокусное расстояние,

$L_1 = l - \Delta l$ – расстояние между линзой и экраном.

$L_2 = L - \Delta l$ – расстояние между линзой и бипризмой.

d – расстояние между источниками, S'_1 и S'_2 ,

Δx – среднее расстояние между максимумами,

ρ – ширина видимого участка (рассматриваемого),

n – количество промежутков между полосами на рассматриваемом промежутке,
 λ – искомая длина волны.

Отсюда получаем расстояние между источниками:

$$d = 2L * \operatorname{tg}((n-1)\varphi') \approx 2L\varphi$$

Из задачи Юнга об интерференции двух источников получаем:

$$\lambda = \frac{\rho d}{nl} \Leftrightarrow \Delta x = \frac{\rho}{n} = \frac{\lambda l}{d} = \frac{\lambda l}{2L\varphi}$$

Фактически мы знаем не L , а $L - \Delta l$, выражаем:

$$\frac{1}{\Delta x} = (L - \Delta l) \frac{2\varphi}{\lambda l} + \frac{\Delta l 2\varphi}{\lambda l} \quad (1)$$

Длина волны:

$$\lambda = \frac{\Delta x d}{l} = 2\varphi \frac{\rho ((L - \Delta l) + \Delta l)}{n ((l - \Delta l) + \Delta l)} \quad (2)$$

Порядок выполнения работы.

1. Выставьте расстояние между передней поверхностью линзы и передней поверхностью зрительной трубы $l-dl=1\text{м}$. Длина зрительной трубы 134,5 мм. При этом цена одного маленького деления окуляра равна 0.038 мм.
2. Соберите установку, представленную на рисунке.
3. Исследуйте зависимость расстояния между интерференционными максимумами Δx от расстояния между бипризмой и линзой ($L - \Delta l$), зарисовывая на экране полученную картину интерференционных полос и шкалы окуляра. Количество измерений не должно быть меньше шести. Рекомендуемые значения расстояния между бипризмой и линзой 30-60 см. Чтобы найти Δx надо взять расстояние между наиболее удаленными полосами и разделить на количество полос.
4. Используя формулу (1), определите фокусное расстояние линзы.
 - a. Рассчитайте значения $\frac{1}{\Delta x}$ для всех $L - \Delta l$.
 - b. Все результаты занесите в таблицу

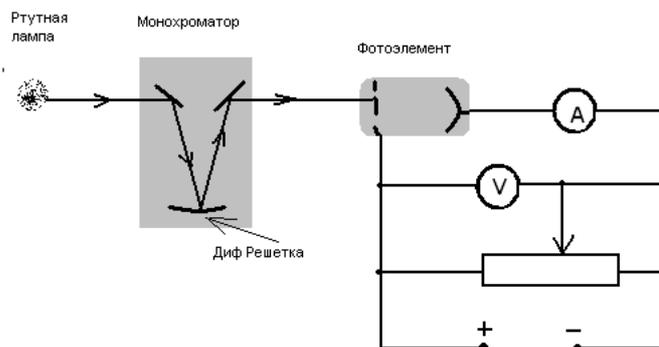
	$l - \Delta l$, см	$L - \Delta l$, см	n	ρ , см	Δx , см	$\frac{1}{\Delta x}$, см ⁻¹
1						
2						
3						
4						
5						
6						

- c. По полученным значениям постройте линию тренда (линейная аппроксимация). Коэффициент достоверности должен быть не менее 0.95, иначе эксперимент необходимо переделать.
 - d. Пересечение полученной прямой и оси абсцисс даст нам фокусное расстояние линзы Δl .
5. Рассчитайте длину волны лазерного излучения для каждого эксперимента, используя формулу (2).
6. Найдите среднее значение длины волны излучения лазера.
7. Вычислите погрешности.

Лабораторная работа № 18

Фотоэффект. Определение постоянной Планка.

Цель работы: Исследовать явление фотоэффекта. Определить работу выхода электронов с поверхности фотокатода и величину красной границы фотоэффекта. Найти значение постоянной Планка.



Описание установки

В качестве источника света в работе используется ртутная лампа, которая испускает излучение с дискретным набором длин волн. Монохроматор выделяет излучение с одной из длин волн. Для этого нужно вращать ручку на корпусе прибора, при этом изменяется угол поворота дифракционной решетки в монохроматоре. Шкала монохроматора показывает текущую длину волны в нанометрах. Излучение выбранной длины волны попадает на фотоэлемент.

Кванты света выбивают электроны из катода фотоэлемента (фотоэлектронная эмиссия). Выбитые электроны попадают на анод, и в анодной цепи возникает ток, который фиксируется микроамперметром.

В ходе эксперимента между катодом и анодом подается запирающее напряжение. В зависимости от величины поданного запирающего напряжения меняется величина анодного тока. В предельном случае можно добиться полного исчезновения тока, то есть при некотором запирающем напряжении U_0 ни один электрон не достигает анода.

Скорость фотоэлектрона зависит от частоты падающего на катод света по закону

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}, \quad (1)$$

где $A_{\text{вых}}$ - это работа выхода электрона из металла. (Формула Эйнштейна для фотоэффекта).

Формулу (1) можно переписать в следующем виде

$$h\nu = A_{\text{вых}} + eU_0.$$

В дальнейшем, проведя несколько измерений, можно вычислить постоянную Планка:

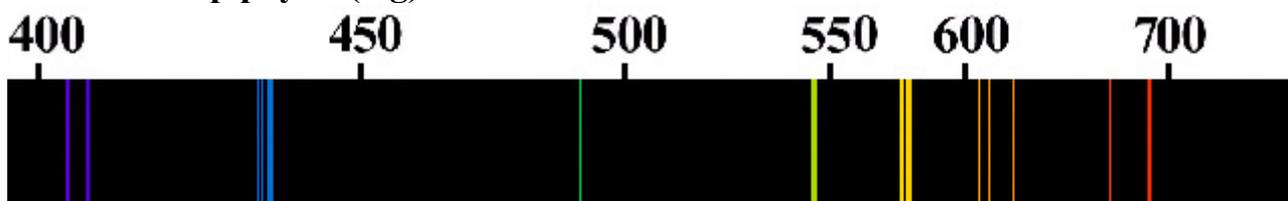
$$\nu = \frac{e(U_{01} - U_{02})}{h(\nu_1 - \nu_2)}.$$

Порядок выполнения работы

- 1) Проверьте собранную схему, обратите внимание, включены ли ртутная лампа, микроамперметр, источник питания.

- 2) Установите между выходным отверстием монохроматора и фотоэлементом непрозрачный экран и проверьте установку стрелки микроамперметра в нулевое положение. Не забудьте после этого убрать экран.
- 3) Ручкой монохроматора установите одну из следующих длин волн: 365 нм, 404 нм, 435 нм, 546 нм, 576 нм, 579 нм, 690 нм

Спектр ртути (Hg)



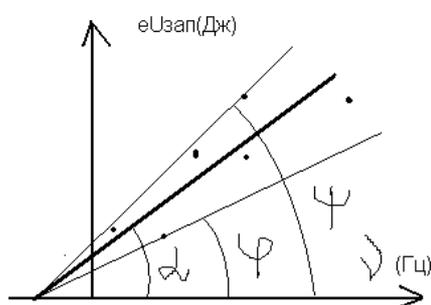
404.7	407.8	433.9	434.8	435.8	491.6	546.1	$\lambda_{нм}$
577.0	579.0, 579.1	607.3	612.3	623.4	671.6	690.7	

Вращением ручки монохроматора добейтесь максимального тока.

- 4) Снимите вольтамперные характеристики для каждой длины волны: двигая ползунок реостата, изменяйте подаваемое напряжение, записывайте показания микроамперметра, пока он не будет показывать 0. При переходе на следующую длину волны не забудьте вернуть реостат в исходное положение. Занесите результаты в таблицу.

λ (нм)	$U_{зап}$ (В)			
	I (деления)			

- 5) Постройте графики зависимостей:
 - а) ВАХ, с помощью которой найдите значение U_0 , при котором прекращается фототок.
 - б) запирающего напряжения U_0 от частоты падающего света (точнее – произведения eU_0).
- 6) С помощью графика зависимости кинетической энергии вырванных электронов от частоты падающего света получите значения работы выхода электронов, красной границы фотоэффекта и постоянной Планка.



7) Рассчитайте погрешности
 Величину постоянной Планка можно найти как тангенс угла наклона усредненного графика

$$tg \alpha = \frac{e(U_{01} - U_{02})}{\nu_1 - \nu_2}. \text{ Тогда } h_{max} = tg \psi \text{ и } h_{min} = tg \varphi$$

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{tg \psi - tg \varphi}{tg \alpha}$$

- 8) Рассчитайте погрешности работы выхода электронов и красной границы фотоэффекта.

Дополнительные вопросы:

1. Что изменится в проведенной Вами работе, если заменить фотокатод на новый, изготовленный из другого материала? Почему?

Лабораторная работа №19 Счетчик Гейгера-Мюллера

Цель работы определить радиационный фон с помощью счетчика Гейгера-Мюллера. Исследовать статистические закономерности радиационного распада.

Описание установки

Счетчик Гейгера-Мюллера – один из широко применяющихся детекторов ядерного излучения, так называемый *газонаполненный детектор*. Эти счетчики используются для обнаружения ионизирующих излучений: α - и β -частиц. Основным достоинством



счетчиков является высокая чувствительность: любая ионизирующая частица, проходящая через счетчик, будет зарегистрирована, если она создаст хотя бы пару ионов, которые дадут старт газовому разряду. Счетчик представляет собой газоразрядный промежуток с сильно неоднородным электрическим полем. Катодом является цилиндрический корпус, по оси которого натянута тонкая проводящая нить – анод. Внутренняя область наполнена газом (гелий, аргон) с давлением порядка нескольких сантиметров ртутного столба. Рабочее напряжение обычно составляет несколько сотен вольт. Во внешней цепи ставится сопротивление последовательно с источником питания $R \approx 10^8 - 10^9$ Ом.

Статистические закономерности.

При измерении количества зарегистрированных счетчиком частиц возникают, как и при любых других экспериментах, погрешности, вызванные неточностью приборов и несовершенством методики измерения (систематические погрешности), а также случайные погрешности, в основе которых лежит флуктуация самой измеряемой величины.

В ходе работы измеряется число импульсов, зарегистрированных счетчиком за одинаковые промежутки времени Δt . При этом полученные в каждом измерении значения отличаются от среднего \bar{n} на разные величины в большую или меньшую сторону. Чтобы оценить это отличие вводится *отклонение от средней величины* $\Delta n_i = n_i - \bar{n}$.

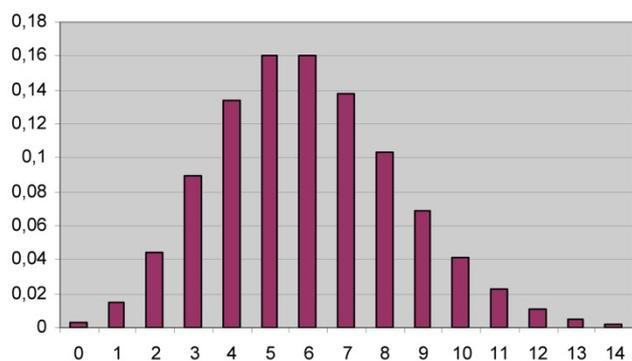
Средняя величина определяется следующим образом: $\bar{n} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i$, где N – число

измерений, n_i – число зарегистрированных частиц в одном эксперименте.

Вероятность регистрации в отдельном измерении числа частиц n при средней величине \bar{n} дается *распределением Пуассона*.

$$P(n) = \frac{(\bar{n})^n}{n!} e^{-\bar{n}}.$$

Для сравнения экспериментальных данных с расчетами, сделанными по формуле Пуассона, строят диаграмму, называемую *гистограммой*. Для этого по оси абсцисс откладывают число зарегистрированных частиц за время Δt , а по оси ординат – число измерений (количество интервалов Δt), в которых счетчик зарегистрировал именно это



число частиц. Например, на рисунке $\bar{n}=6$, причем есть довольно большая вероятность, что измеренная величина лежит в диапазоне значений от 2 до 10. (Здесь по оси ординат отложена вероятность того, что за время Δt в счетчик попадет число частиц n .) Эта величина равна $P(n)=\frac{k_n}{N}$, где k_n – число случаев со значением n , а N – полное число измерений).

Дисперсия величины определяется как $D = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (n_i - \bar{n})^2$. Величина $\sigma = \sqrt{D}$ называется *стандартным отклонением* и указывает вероятность обнаружения наблюдаемых значений в интервале $[\bar{n} - \sigma, \bar{n} + \sigma]$. При $N \gg 1$ в этом интервале оказывается около 70% событий.

Для распределения Пуассона дисперсия равна среднему числу частиц $D = \bar{n}$. Стандартное

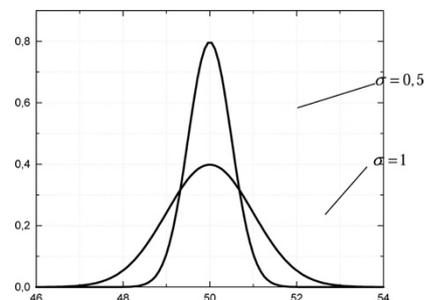
отклонение $\sigma = \sqrt{\frac{D}{k_n}} = \sqrt{\frac{\bar{n}}{k_n}}$.

Расчет для рисунка дает $D = 6$, $\sigma = 0,6$ (пусть общее число измерений равно 100). Значит, ожидаемое среднее значение равно $6,0 \pm 0,6$ импульсов/секунду, и 70% из общего количества зарегистрированных частиц будет попадать в этот интервал.

Для больших значений N распределение Пуассона переходит в распределение Гаусса

$G(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(n-\bar{n})^2}{2\sigma^2}}$. На рисунке представлены два

гауссовых распределения для среднего значения 50 и разных отклонений среднего: $\sigma = 0,5$ и $\sigma = 1$.



Порядок выполнения работы:

1. Включите счетчик Гейгера и частотомер. Измерьте число импульсов (частиц), зарегистрированных прибором за $\Delta t = 20$ с. Повторите этот эксперимент 100 раз.
2. Постройте гистограмму по экспериментальным данным, отложив по оси абсцисс число зарегистрированных частиц за время Δt , а по оси ординат вероятность того, что за время Δt в счетчик попадет число частиц n .
3. Рассчитайте среднее значение и стандартное отклонение среднего, запишите доверительный интервал.
4. Постройте гауссову функцию и сравните ее с распределением Пуассона, построенным по данным эксперимента.