

Государственное автономное профессиональное
образовательное учреждение
«Городецкий Губернский колледж»

ФИЗИКА

**Методические рекомендации
по выполнению практических работ**

по профессиям

Сварщик

Мастер отделочных строительных и декоративных работ

Судостроитель – судоремонтник металлических судов

г. Городец
2018 г.

Рассмотрено на заседании методической комиссии преподавателей
общеобразовательных дисциплин
Печатается по решению методического совета
ГАПОУ «Городецкий Губернский колледж»

Методические рекомендации по организации по выполнению практических работ по программам подготовки квалифицированных рабочих и служащих в соответствии с ФГОС по профессиям 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки); 08.01.25 Мастер отделочных строительных и декоративных работ; 26.01.01 Судостроитель – судоремонтник металлических судов по ОУД.10 Физика – г. Городец, ГАПОУ «Городецкий Губернский колледж», 2018

Методические рекомендации предназначены для руководства по выполнению практических работ обучающихся по физике. Они содержат теоретические основы, которыми студенты должны владеть перед проведением практической работы; описание приборов и материалов; рекомендации по проведению самостоятельных исследований.

Методические рекомендации адресованы преподавателям физики и обучающимся колледжа.

Составитель: Горбунова Елена Валерьевна

Рецензент: Расходова Ольга Федоровна

Содержание

	стр.
Введение	4
Теоретическая подготовка	7
Ознакомление с приборами, сборка схем	7
Проведение опыта и измерений	7
Критерии оценок практических работ	8
Методические указания к выполнению практических работ для студентов	9
Техника безопасности при выполнении практических работ	10
Практическая работа №1 «Изучение равномерного движения»	11
Практическая работа № 2 «Определение ускорения тела при равноускоренном движении»	14
Практическая работа № 3 «Градуировка термометра»	18
Практическая работа № 4 «Определение относительной влажности воздуха»	20
Практическая работа № 5 «Определение массы воздуха в помещении»	24
Практическая работа № 6 «Изучение фазовых переходов вещества»	26
Практическая работа № 7 «Определение удельного сопротивления проводника»	28
Практическая работа № 8 «Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока»	31
Практическая работа № 9 «Определение элементарного заряда методом электролиза»	33
Практическая работа № 10 «Действие магнитного поля на проводник с током»	36
Практическая работа № 11 «Изучение явления электромагнитной индукции»	39
Практическая работа № 12 «Определение фокусного расстояния линзы»	44
Практическая работа № 13 «Интерференция и дифракция света»	48
Практическая работа № 14 «Спектральные приборы»	53
Практическая работа № 15 «Изучение фотоэффекта»	58
Практическая работа № 16 «Конструкция и виды лазеров»	61
Практическая работа № 17 «Регистрирование ядерных излучений с помощью счетчика Гейгера»	69
Практическая работа № 18 «Изучение треков заряженных частиц по готовым фотографиям»	74
Практическая работа № 19 «Определение продуктов ядерной реакции»	79
Практическая работа № 20 «Расчет энергии связи атомных ядер»	81

Введение

Методические указания по проведению практических работ разработаны согласно рабочим программам учебной дисциплины Физика и программам подготовки специалистов среднего звена в соответствии с ФГОС по специальностям 26.02.03 Судовождение; 26.02.06 Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики.

Практические работы направлены на освоение следующих умений и знаний:

уметь:

- применять основные положения МКТ для объяснения понятия внутренней энергии, а также изменения внутренней энергии при изменении температуры тела;
- читать и строить графики зависимости между основными параметрам состояния газа, изменения температуры тел при нагревании и охлаждении;
- пользоваться термометром, калориметром, таблицами удельной теплоемкости вещества;
- применять положение электронной теории для объяснения электризации тел при их соприкосновении, существование проводников и диэлектриков;
- собирать электрические цепи из последовательно и параллельного соединения;
- применять положения электронной теории для объяснения электрического тока в металлах, причины электрического сопротивления, нагревание проводника электрическим током;
- чертить схемы электрических цепей;
- собирать электрическую цепь по схеме;
- измерять силу тока в электрической цепи, напряжение на концах проводника;
- определять сопротивление проводника с помощью амперметра и вольтметра: пользоваться реостатом;
- измерять ЭДС и внутреннее сопротивление источника;
- производить расчеты электрических цепей с применением закона Ома, закономерностей параллельного и последовательного соединения проводников;
- определять силу тока и напряжение по графику зависимости между этими величинами;
- строить графики зависимости силы и мощности тока от напряжения;
- определять направление индукции и напряженности магнитного поля; направление действия сил Ампера и Лоренца;
- экспериментально исследовать действия магнитного поля на проводник с током, определять направление индукционного тока;

- экспериментально исследовать действие магнитного поля на катушку с током;
- определять экспериментально: показатель преломления среды; длину световой волны; наблюдать спектры;
- вычислять красную границу фотоэффекта и энергию фотоэлектронов на основе уравнения Эйнштейна.

знать:

- основные единицы СИ;
- понятия: тепловое движение частиц; массы и размеры молекул; идеальный газ: изотермический, изохорный и изобарный процессы; броуновское движение; температура (мера средней кинетической энергии молекул); внутренняя энергия; работа как способ изменения внутренней энергии; теплопередача; количество теплоты; удельная теплоемкость вещества;
- формулы для вычисления количества теплоты, выделяемой или поглощаемой; изменение температуры тела и для определения внутренней энергии уравнение теплового баланса;
- понятия: необратимость тепловых процессов, адиабатный процесс; законы и формулы: первый и второй законы термодинамики, КПД тепловых двигателей;
- практическое применение: тепловые двигатели и их применение на транспорте, в энергетике и в сельском хозяйстве; методы профилактики и борьбы с загрязнением окружающей среды;
- принцип суперпозиции; напряженности;
- понятия: электрический ток в металлах; сила тока; плотность тока;
- строение силы и ЭДС; электрическое сопротивление и удельное электрическое сопротивление;
- законы: Ома для участка цепи и для полной цепи, Джоуля-Ленца;
- формулы: силы и плотности тока; сопротивления, ЭДС, работы и мощности тока;
- понятия: магнитное поле, магнитная проницаемость, магнитная индукция и напряженность магнитного поля, магнитный поток;
- законы: Ампера, правило «Буравчика»;
- практическое применение: электроизмерительные приборы магнитоэлектрической и электромагнитной систем;
- понятия: электромагнитная индукция, самоиндукция, индуктивность;
- законы: электромагнитной индукции, правило Ленца;
- формулы: связи длины волны с частотой и скоростью;

- практическое применение: радиосвязь, телевидение и радиолокация;
- примеры практического применения электромагнитных волн инфракрасного, ультрафиолетового и рентгеновского диапазона частот;
- понятия: свет, основные понятия фотометрии; дифракция, интерференция, дисперсия и поляризация света;
- законы: отражения и преломления света;
- понятия: фотон, фотоэффект, корпускулярно-волновой дуализм, люминесценция;
- законы фотоэффекта.

Методические указания по выполнению практических работ содержат теоретические основы, которыми студенты должны владеть перед проведением практической работы; описание приборов и материалов; рекомендации по проведению самостоятельных исследований.

Теоретическая подготовка

Теоретический материал, необходимый для проведения физического эксперимента, изучается студентами в курсе лекций или в порядке самостоятельной работы.

Особое внимание в ходе теоретической подготовки должно быть обращено на понимание физической сущности процесса. Для самоконтроля в каждой работе приведены контрольные вопросы, на которые обучающийся обязан дать четкие, полные, правильные ответы. Теоретическая подготовка завершается предварительным составлением отчета со следующим порядком записей:

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Оборудование.
4. Ход работы (включает рисунки, схемы, таблицы, основные формулы для определения величин, а так же расчетные формулы для определения погрешностей измеряемых величин).
5. Расчеты – окончательная запись результатов работы.
6. Вывод.

Ознакомление с приборами, сборка схем

Приступая к практическим работам, необходимо:

1. получить у преподавателя приборы, требуемые для выполнения работы;
2. разобраться в назначении приборов и принадлежностей в соответствии с их техническими данными;
3. пользуясь схемой или рисунками, имеющимися в пособии, разместить приборы так, чтобы удобно было производить отсчеты, а затем собрать установку;
4. сборку электрических схем следует производить после тщательного изучения правил выполнения лабораторных работ по электричеству.

Проведение опыта и измерений

При выполнении практических работ измерение физических величин необходимо проводить в строгой, заранее предусмотренной последовательности.

Особо следует обратить внимание на точность и своевременность отсчетов при измерении нужных физических величин. Например, точность измерения времени с помощью секундомера зависит не только от четкого определения положения стрелки, но и в значительной степени – от своевременности включения и выключения часового механизма.

Критерии оценок практических работ

Оценка «5» (отлично) ставится, если обучающийся выполняет работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений; самостоятельно и рационально монтирует необходимое оборудование; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов; соблюдает требования правил безопасного труда; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; правильно выполняет анализ погрешностей (если это предусмотрено в работе).

Оценка «4» (хорошо) ставится, если выполнены требования к оценке 5, но было допущено два-три недочета, не более одной негрубой ошибки и одного недочета.

Оценка «3» (удовлетворительно) ставится, если работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы; если в ходе проведения опыта и измерений были допущены ошибки.

Оценка «2» (неудовлетворительно) ставится, если работа выполнена не полностью и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов; если опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно.

Практические работы выполняются по письменным инструкциям, которые приводятся в данном пособии. Каждая инструкция содержит краткие теоретические сведения, относящиеся к данной работе, перечень необходимого оборудования, порядок выполнения работы, контрольные вопросы.

Внимательное изучение методических указаний поможет выполнить работу.

Небрежное оформление отчета, исправление уже написанного недопустимо.

В конце занятия преподаватель ставит зачет, который складывается из результатов наблюдения за выполнением практической части работы, проверки отчета, беседы в ходе работы или после нее. Все практические работы должны быть выполнены и защищены в сроки, определяемые программой или календарным планом преподавателя. Студенты, не получившие зачет по всем практическим, к экзамену (или дифференцированному зачету) не допускаются.

Методические указания к выполнению практических работ для студентов

1. К выполнению практических работ необходимо подготовиться до начала выполнения практических заданий. Кроме описания работы в данном учебном пособии, используйте рекомендованную литературу и конспект лекций. К выполнению работы допускаются только подготовленные студенты.
2. При проведении эксперимента результаты измерений и расчетов записывайте четко и кратко в заранее подготовленные таблицы.
3. При обработке результатов измерений:
 - А) помните, что точность расчетов не может превышать точности прямых измерений;
 - Б) результаты измерений лучше записывать в виде доверительного интервала.
4. Отчеты по практическим работам оформляются согласно требованиям ЕСКД и должны включать в себя следующие пункты:
 - название практической работы и ее цель;
 - используемое оборудование;
 - далее пишется «Ход работы» и порядок выполнения практической работы;
 - выполняются этапы практической работы, согласно выше приведенному порядку записываются требуемые теоретические положения, результаты измерений, обработка результатов измерений, заполнение требуемых таблиц и графиков;
 - по завершении работы делается вывод, в котором так же пишутся полные ответы на вопросы контрольного задания.
5. Если отчет по работе не сдан во время (до выполнения следующей работы) по неуважительной причине, оценка за практическую работу снижается.

Техника безопасности при выполнении практических работ

- Работа с оборудованием осуществляется только по разрешению преподавателя.
- На первом занятии преподаватель проводит инструктаж по технике безопасности и напоминает студентам о бережном отношении к техническому оснащению кабинета и о материальной ответственности каждого из них за сохранность оборудования и обстановки кабинета.
- При обнаружении повреждений оборудования персональную ответственность несут студенты, выполнявшие практическую работу на этом оборудовании. Виновники обязаны возместить материальный ущерб колледжу.
- При ознакомлении с рабочим местом проверить наличие комплектности оборудования и соединительных проводов (в случае отсутствия, какого либо элемента, необходимо немедленно сообщить об этом преподавателю).
- Если во время проведения опыта замечены какие-либо неисправности оборудования, необходимо немедленно сообщить об этом преподавателю.
- После окончания практической работы рабочее место привести в порядок.
- Будьте внимательны, дисциплинированы, осторожны, точно выполняйте указания преподавателя.
- Не оставляйте рабочего места без разрешения преподавателя.
- Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
- Не держите на рабочем месте предметы, не требующиеся при выполнении задания.
- Перед тем как приступить к работе, уясните ход ее выполнения.

Практическая работа № 1
«Изучение равномерного движения»

Цель работы: изучить законы равномерного движения.

Оборудование: стеклянная трубка длиной 20-25 см и диаметром 7-8 мм, заклеенная с обеих сторон пластилиновыми пробками; миллиметровая линейка длиной 25 см; брусок небольшого размера или обычный ластик; бумажные ленты соответствующей длины; два резиновых колечка; метроном (один на всю группу).

Теоретическая часть

Простейшим видом механического движения является движение тела вдоль прямой линии с **постоянной по модулю и направлению скоростью**. Такое движение называется **равномерным**. При равномерном движении тело за любые равные промежутки времени проходит равные пути. Для кинематического описания равномерного прямолинейного движения координатную ось OX удобно расположить по линии движения. Положение тела при равномерном движении определяется заданием одной координаты x . Вектор перемещения и вектор скорости всегда направлены параллельно координатной оси OX .

Поэтому перемещение и скорость при прямолинейном движении можно спроектировать на ось OX и рассматривать их проекции как алгебраические величины.

Если в некоторый момент времени t_1 тело находилось в точке с координатой x_1 , а в более поздний момент t_2 – в точке с координатой x_2 , то проекция перемещения Δs на ось OX за время $\Delta t = t_2 - t_1$ равна $\Delta s = x_2 - x_1$

Эта величина может быть и положительной и отрицательной в зависимости от направления, в котором двигалось тело. При равномерном движении вдоль прямой модуль перемещения совпадает с пройденным путем. Скоростью равномерного прямолинейного движения называют отношение

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \text{const}$$

Если $v > 0$, то тело движется в сторону положительного направления оси OX ; при $v < 0$ тело движется в противоположном направлении.

Зависимость координаты x от времени t (**закон движения**) выражается при равномерном прямолинейном движении **линейным математическим уравнением**:

$$x(t) = x_0 + vt$$

В этом уравнении $v = \text{const}$ – скорость движения тела, x_0 – координата точки, в которой тело находилось в момент времени $t = 0$.

Порядок выполнения работы

1. Доказать, что воздушный шарик движется равномерно.

1.1. На линейку положить бумажную ленту, а сверху – трубку с водой. Трубка должна заполняться водой так, чтобы в ней обязательно оставался небольшой пузырек воздуха).

1.2. Закрепите эту систему (линейка, бумажная лента, трубка с водой) резиновыми колечками.

1.3. Слегка постучав по линейке, добейтесь отделения пузырька от пластилина. Затем, положив линейку горизонтально, начинайте слегка приподнимать один конец. Пузырек при этом должен расположиться в другом конце трубки. (прилипание пузырька к пластилину исключено).

1.4. Приподнятый конец линейки положите на небольшой брусочек или ластик, который должен лежать плашмя.

1.5. Когда система окажется в спокойном состоянии под наклоном, пузырек начнет медленно перемещаться (плыть) вверх.

1.6. Включите метроном и с каждым его ударом отмечайте положение воздушного пузырька на бумажной ленте.

1.7. Снимите бумажную ленту и проведите вдоль нее ось координат (например, ось Ox), предварительно выбрав начало отсчета.

1.8. Определите координату каждой отметки. Данные занесите в таблицу.

t, с	0	1	2	3	4	5...
X1, см	0					
X2, см	0					

1.9. На осях координат $X(t)$ постройте график движения пузырька воздуха. Проследите за тем, чтобы экспериментальные точки были возможно ближе к графику. Проверьте, выполняется ли в данном случае определения равномерного движения. Вычислите скорость движения пузырька воздуха.

2. Сравнить скорости пузырька воздуха при разных наклонах системы.

2.1. Проведите эксперимент, проложив брусочек не плашмя, а на боковую грань. Увидите, что пузырек воздуха в этом случае передвигается быстрее.

2.2. По ударам метронома отмечайте на бумажной ленте положение пузырька воздуха.

2.3. Данные занесите в таблицу.

2.4. На тех же осях координат постройте график движения.

2.5. Сравните наклоны графиков в первом и во втором опытах. Вычислите скорость движения пузырька воздуха.

2.6. Оцените погрешности координат и скоростей.

3. Сделайте вывод.

Контрольное задание

1. Дайте определение равномерному движению.

2. Какие законы справедливы для равномерного движения?

3. Чем отличается путь от перемещения?

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям, приведенным выше.

Практическая работа № 2

«Определение ускорения тела при равноускоренном движении»

Цель работы: изучить особенности равноускоренного движения.

Оборудование: желоб лабораторный; секундомер; шарик металлический диаметром 1,5 - 2 см; цилиндр металлический; лента сантиметровая; штатив с муфтой и лапкой.

Теоретическая часть

В общем случае *равноускоренным* движением называют такое движение, при котором вектор ускорения остается неизменным по модулю и направлению. Примером такого движения является движение камня, брошенного под некоторым углом к горизонту (без учета сопротивления воздуха). В любой точке траектории ускорение камня равно ускорению свободного падения. Для кинематического описания движения камня систему координат удобно выбрать так, чтобы одна из осей, например ось OY , была направлена параллельно вектору ускорения. Тогда криволинейное движение камня можно представить как сумму двух движений – прямолинейного равноускоренного движения вдоль оси OY и равномерного прямолинейного движения в перпендикулярном направлении, т. е. вдоль оси OX (рис. 1).

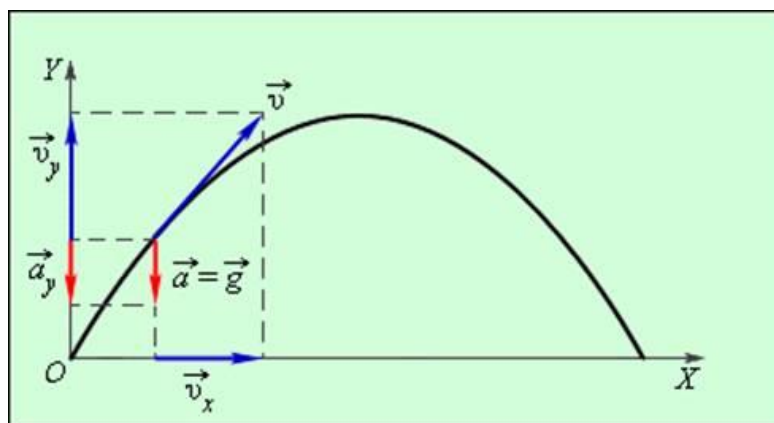


Рис.1. Проекция векторов скорости и ускорения на координатные оси

$$a_x = 0, a_y = -g$$

Таким образом, изучение равноускоренного движения сводится к изучению прямолинейного равноускоренного движения. В случае прямолинейного движения векторы скорости и ускорения направлены вдоль прямой движения. Поэтому скорость v и ускорение a в проекциях на направление движения можно рассматривать как алгебраические величины.

При равноускоренном прямолинейном движении скорость тела определяется формулой

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t.$$

В этой формуле v_0 – скорость тела при $t = 0$ (начальная скорость), $a = \text{const}$ – ускорение. На графике скорости $v(t)$ эта зависимость имеет вид прямой линии (рис. 2).

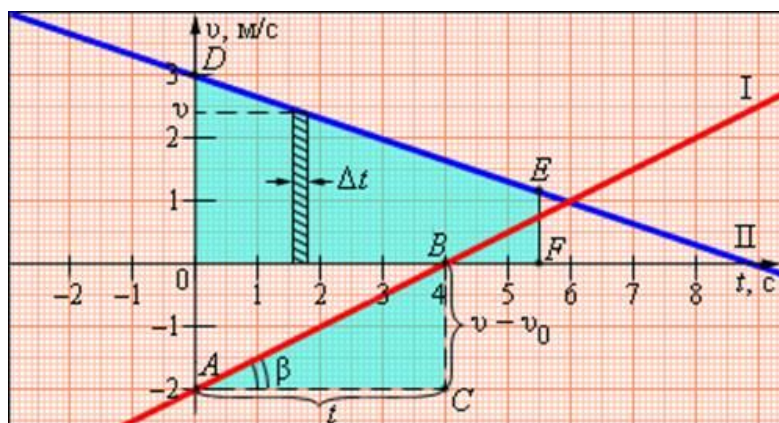


Рис. 2. Графики скорости равноускоренного движения

По наклону графика скорости может быть определено ускорение a тела. Соответствующие построения выполнены на рис. 2 для графика I. Ускорение численно равно отношению сторон треугольника ABC:

$$a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{|BC|}{|AC|}$$

Чем больше угол β , который образует график скорости с осью времени, т. е. чем больше наклон графика (крутизна), тем больше ускорение тела.

Для графика I: $v_0 = -2$ м/с, $a = 1/2$ м/с².

Для графика II: $v_0 = 3$ м/с, $a = -1/3$ м/с²

График скорости позволяет также определить проекцию перемещения s тела за некоторое время t . Выделим на оси времени некоторый малый промежуток времени Δt . Если этот промежуток времени достаточно мал, то и изменение скорости за этот промежуток невелико, т. е. движение в течение этого промежутка времени можно считать равномерным с некоторой средней скоростью, которая равна мгновенной скорости v тела в середине промежутка Δt . Следовательно, перемещение Δs за время Δt будет равно $\Delta s = v\Delta t$. Это перемещение равно площади заштрихованной полоски (рис. 2). Разбив промежуток времени от 0 до некоторого момента t на малые промежутки Δt , получим, что перемещение s за заданное время t при равноускоренном прямолинейном движении равно

площади трапеции ODEF. Соответствующие построения выполнены для графика II на рис. 1.4.2. Время t принято равным 5,5 с.

$$s = \frac{(|OD| + |EF|)}{2} |OF| = \frac{v_0 + v}{2} t = \frac{2v_0 + (v - v_0)}{2} t$$

Так как $v - v_0 = at$, окончательная формула для перемещения s тела при равномерно ускоренном движении на промежутке времени от 0 до t запишется в виде:

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

Для нахождения координаты y тела в любой момент времени t нужно к начальной координате y_0 прибавить перемещение за время t :

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

Это выражение называют *законом равноускоренного движения*.

При анализе равноускоренного движения иногда возникает задача определения перемещения тела по заданным значениям начальной v_0 и конечной v скоростей и ускорения a . Эта задача может быть решена с помощью уравнений, написанных выше, путем исключения из них времени t . Результат записывается в виде

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$$

Из этой формулы можно получить выражение для определения конечной скорости v тела, если известны начальная скорость v_0 , ускорение a и перемещение s :

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2as}$$

Если начальная скорость v_0 равна нулю, эти формулы принимают вид

$$s = \frac{v^2}{2a}; \quad v = \sqrt{2as}$$

Следует еще раз обратить внимание на то, что входящие в формулы равноускоренного прямолинейного движения величины v_0 , v , s , a , y_0 являются величинами алгебраическими. В зависимости от конкретного вида движения каждая из этих величин может принимать как положительные, так и отрицательные значения.

Порядок выполнения работы

1. Отметьте начальную точку на желобе для отсчета перемещения шарика.
2. Приучитесь к ритмичному счету; для этого несколько раз подряд говорите: нуль, один, два, три и т. д., прислушиваясь к ударам метронома.
3. По удару метронома со счетом «нуль» пускайте шарик. Регулируйте положение цилиндра по отношению к концу желоба так, чтобы шарик ударился о него в момент соответствующего удара метронома.
4. Запишите в таблицу 1 число промежутков времени, отбиваемых метрономом, необходимое шарика для наибольшего перемещения по желобу.

Таблица 1

№ опыта	Перемещение, см	Время, с	Ускорение шарика, м/с
1			
2			
3			
Среднее значение			

5. Вычислите среднее значение наибольшего перемещения, совершенного шариком.
6. Вычислите ускорение шарика в СИ.
7. Разбейте среднее перемещение на части, проходимые шариком в последовательно равные промежутки времени, отбиваемые метрономом.
8. Сделайте вывод.

Контрольное задание

1. Какими особенностями обладает равноускоренное движение?
2. Когда тело можно считать материальной точкой?
3. Дайте определение мгновенной и угловой скорости.

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям, приведенным выше.

Практическая работа № 3
«Градуировка термометра»

Цель работы: проградуировать термометр.

Оборудование: термометр, обклеенный бумагой, лед, кипяток в ванночке.

Теоретическая часть

Температура – скалярная величина, описывающая состояние термодинамического равновесия (состояния, в котором не происходит изменения микроскопических параметров). Как термодинамическая величина, температура характеризует тепловое состояние системы и измеряется степенью его отклонения от принятого за нулевое, как молекулярно-кинетическая величина, характеризует интенсивность хаотического движения молекул и измеряется их средней кинетической энергией.

$$E_k = 3/2 kT,$$

где $k = 1,38 \times 10^{-23}$ Дж/к и называется постоянной Больцмана.

Температура всех частей изолированной системы, находящейся в равновесии, одинакова. Измеряется температура термометрами в градусах различных температурных шкал. Существует абсолютная термодинамическая шкала (шкала Кельвина) и различные эмпирические шкалы, которые отличаются начальными точками. До введения абсолютной шкалы температур в практике широкое распространение получила шкала Цельсия (за 0°C принята точка замерзания воды, за 100°C принята точка кипения воды при нормальном атмосферном давлении).

Единица температуры по абсолютной шкале называется Кельвином.

В шкале Кельвина за ноль принят абсолютный ноль температур, т.е. температура, при которой давление идеального газа при постоянном объеме равно нулю. Вычисления дают результат, что абсолютный ноль температуры равен -273°C . Таким образом, между абсолютной шкалой температур и шкалой Цельсия существует связь $T = t^\circ\text{C} + 273$. Абсолютный ноль температур недостижим, так как любое охлаждение основано на испарении молекул с поверхности, а при приближении к абсолютному нулю скорость поступательного движения молекул настолько замедляется, что испарение практически прекращается. Теоретически при абсолютном нуле скорость поступательного движения молекул равна нулю, т.е. прекращается тепловое движение молекул.

Порядок выполнения работы

1. Приготовить ванночку со льдом и опустить туда термометр с обклеенной шкалой. Сделать отметку «0» на пустой шкале там, где остановится «ризка» термометра.
2. То же самое проделать, опустив термометр в воду с кипятком, но поставить отметку «100».
3. Разделить шкалу на 100 равных делений.
4. Сделать вывод к работе.

Контрольное задание.

1. Объяснить термин «температура».
2. Что такое абсолютная температура и в чем она измеряется?
3. Способы измерения температуры.

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям, приведенным выше.

Практическая работа № 4

«Определение относительной влажности воздуха»

Цель работы: научиться определять влажность воздуха.

Оборудование: штатив демонстрационный, демонстрационный термометр (термометр, марля, сосуд с водой), психрометрическая таблица.

Теоретическая часть

В атмосфере Земли всегда содержатся водяные пары. Их содержание в воздухе характеризуются абсолютной и относительной влажностью. Абсолютная влажность определяется плотностью водяного пара ρ_a , находящегося в атмосфере, или его парциальным давлением p_a . Парциальным давлением p_p называется давлением, которое производил бы водяной пар, если бы все другие газы в воздухе отсутствовали.

Относительной влажностью φ называется отношение парциального давления p_p водяного пара, содержащегося в воздухе, к давлению насыщенного пара $p_{н.п.}$, при данной температуре. Относительная влажность воздуха φ показывает, сколько процентов составляет парциальное давление от давления насыщенного пара при данной температуре и определяется по формулам:

$$\varphi = \frac{P_p}{P_{н.п.}} \times 100\% \quad , \quad \varphi = \frac{P_a}{P_{н.п.}} \times 100\% .$$

Парциальное давление P_p можно рассчитать по уравнению Менделеева-Клапейрона или по точке росы. Точка росы – температура, при которой водяной пар, находящейся в воздухе становится насыщенным.

Относительную влажность воздуха можно определить с помощью специальных приборов.

Порядок выполнения работы

1. Определить температуру влажного термометра
2. Определить температуру воздуха сухим термометром t_c°
3. Найти разность температур $t_c^\circ - t_{вл}^\circ$ и по психрометрической таблице определить относительную влажность воздуха φ .
4. Определить с помощью таблицы плотность насыщающего пара при данной

температуре $t_c^\circ - P_n$.

5. Вычислить абсолютную влажность воздуха: $P_a = (\varphi - P_n)/100\%$

6. По таблице плотности насыщающего пара определить точку росы для данных условий: $P_a - t_p^\circ$.

Таблица 1

Температура воздуха ($^\circ\text{C}$)	Температура точки росы ($^\circ\text{C}$) при относительной влажности (%)													
	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
30	10,5	12,9	14,9	16,8	18,4	20	21,4	22,7	23,9	25,1	26,2	27,2	28,2	29,1
29	9,7	12	14	15,9	17,5	19	20,4	21,7	23	24,1	25,2	26,2	27,2	28,1
28	8,8	11,1	13,1	15	16,6	18,1	19,5	20,8	22	23,2	24,2	25,2	26,2	27,1
27	8	10,2	12,2	14,1	15,7	17,2	18,6	19,9	21,1	22,2	23,3	24,3	25,2	26,1
26	7,1	9,4	11,4	13,2	14,8	16,3	17,6	18,9	20,1	21,2	22,3	23,3	24,2	25,1
25	6,2	8,5	10,5	12,2	13,9	15,3	16,7	18	19,1	20,3	21,3	22,3	23,2	24,1
24	5,4	7,6	9,6	11,3	12,9	14,4	15,8	17	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3	23,1
23	4,5	6,7	8,7	10,4	12	13,5	14,8	16,1	17,2	18,3	19,4	20,3	21,3	22,2
22	3,6	5,9	7,8	9,5	11,1	12,5	13,9	15,1	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,1
21	2,8	5	6,9	8,6	10,2	11,6	12,9	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2
20	1,9	4,1	6	7,7	9,3	10,7	12	13,2	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2
19	1	3,2	5,1	6,8	8,3	9,8	11,1	12,3	13,4	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2
18	0,2	2,3	4,2	5,9	7,4	8,8	10,1	11,3	12,5	13,5	14,5	15,4	16,3	17,2
17	-0,6	1,4	3,3	5	6,5	7,9	9,2	10,4	11,5	12,5	13,5	14,5	15,3	16,2
16	-1,4	0,5	2,4	4,1	5,6	7	8,2	9,4	10,5	11,6	12,6	13,5	14,4	15,2
15	-2,2	-0,3	1,5	3,2	4,7	6,1	7,3	8,5	9,6	10,6	11,6	12,5	13,4	14,2
14	-2,9	-1	0,6	2,3	3,7	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	11,5	12,4	13,2
13	-3,7	-1,9	-0,1	1,3	2,8	4,2	5,5	6,6	7,7	8,7	9,6	10,5	11,4	12,2
12	-4,5	-2,6	-1	0,4	1,9	3,2	4,5	5,7	6,7	7,7	8,7	9,6	10,4	11,2
11	-5,2	-3,4	-1,8	-0,4	1	2,3	3,5	4,7	5,8	6,7	7,7	8,6	9,4	10,2
10	-6	-4,2	-2,6	-1,2	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2

* для промежуточных показателей, не указанных в таблице, определяется средняя величина

7. Заполните таблицу 2.

Цена деления термометра: _____ погрешность термометра: _____.

Таблица 2

Показания термометров		Разность показаний термометров	Относительная влажность	Плотность насыщенного пара при данной температуре	Абсолютная влажность воздуха	Точка росы
сухого	влажного					
$t_c, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{вл}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$	$P_n, \text{кг/м}^3$	$P_a, \text{кг/м}^3$	$t_p, ^\circ\text{C}$

8. Напишите вывод к работе.

Контрольное задание

- 1) Почему испаряясь, жидкость, понижает свою температуру?
- 2) При каких условиях термометры психрометра будут показывать одинаковую температуру?
- 3) Как повысить влажность воздуха в комнате?
- 4) Как объяснить образование росы и тумана?
- 5) Могут ли в ходе опытов температуры «сухого» и «влажного» термометров оказаться одинаковыми?
- 6) Может ли температура «влажного» термометра оказаться выше температуры «сухого»?
- 7) Каким может быть предельное значение относительной влажности воздуха?

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям приведенным выше.

Таблица 3. ПСИХРОМЕТРИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА для определения относительной влажности воздуха

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

Практическая работа № 5
«*Определение массы воздуха в помещении*»

Цель работы: определить массу, число молекул воздуха и их концентрацию в классной комнате.

Оборудование: барометр; термометр; мерная лента или план класса.

Теоретическая часть

Масса воздуха в помещении может быть определена с помощью уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$\rho V = \frac{m}{M} RT .$$

Откуда получим: $m = \frac{pVM}{RT} .$

где p - давление воздуха в Па, измеренное барометром; $V = a * b * c$ - объем комнаты в м³; a, b, c - длина, высота, ширина комнаты в м; $M = 29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль - средняя молярная масса воздуха; $R = 8,31$ Дж/(моль К) - универсальная газовая постоянная; $T = t + 273$ - абсолютная температура воздуха, t - температура по шкале Цельсия, измеренная термометром.

Порядок выполнения работы

1. Используя теорию составить таблицу для записи результатов измерений и вычислений.
2. При помощи барометра определить давление воздуха в помещении.
3. Определить температуру воздуха в помещении при помощи термометра.
4. Определить объем помещения: измерить его длину, ширину и высоту.
5. Определить массу воздуха, используя формулу, полученную из уравнения Менделеева-Клапейрона.
6. Определить число молекул воздуха в комнате и их концентрацию.
7. Определить массу воздуха, число молекул -и их концентрацию при нормальных условиях: $p_0 = 760$ мм. рт. ст., $t_0 = 0^\circ\text{C}$ или $T = 273\text{K}$.

8. Сравнить полученные результаты и сделать вывод.

Контрольное задание

1. Что такое давление газа? Чем оно обусловлено?
2. Какими приборами измеряют давление газа?
3. Что называется изопроцессом?
4. Какой физический смысл имеют молярная газовая постоянная и постоянная Больцмана?

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям приведенным выше.

Практическая работа № 6
«Изучение фазовых переходов вещества»

Цель: изучить процессы отвердевания и плавления кристаллического и аморфного тел.

Оборудование: стеклянная пробирка с парафином, кристаллическое вещество в твердом состоянии, пустая пробирка, стакан с горячей водой, лабораторный термометр, секундомер, штатив универсальный.

Теоретическая часть

Плавление вещества – переход вещества из твердого состояния в жидкое.

Этот фазовый переход всегда сопровождается поглощением энергии, т. е. к веществу необходимо подводить теплоту. При этом внутренняя энергия вещества увеличивается. Плавление происходит только при определенной температуре, называемой температурой плавления. Каждое вещество имеет свою температуру плавления. Например, у льда $t_{пл} = 0^{\circ}\text{C}$.

Пока происходит плавление, температура вещества не изменяется.

Что надо сделать, что расплавить вещество массой m ? Сначала нужно его нагреть до температуры плавления $t_{пл}$, сообщив количество теплоты $Q_1 = c \cdot m \cdot \Delta T$, где c – удельная теплоемкость вещества. Затем необходимо подвести количество теплоты $Q_2 = \lambda \cdot m$, где λ – удельная теплота плавления вещества. Само плавление будет происходить при постоянной температуре, равной температуре плавления.

Кристаллизация (затвердевание) вещества – переход вещества из жидкого состояния в твердое.

Это процесс, обратный плавлению. Кристаллизация всегда сопровождается выделением энергии, т. е. от вещества необходимо отводить теплоту. При этом внутренняя энергия вещества уменьшается. Она происходит только при определенной температуре, совпадающей с температурой плавления.

Пока происходит кристаллизация, температура вещества не изменяется.

Что надо сделать, что вещество массой m кристаллизовалось? Сначала нужно его охладить до температуры плавления $t_{пл}$, отведя количество теплоты $Q_1 = c \cdot m \cdot \Delta T$, где c – удельная теплоемкость вещества. Затем необходимо отвести количество теплоты $Q_2 = \lambda \cdot m$, где λ – удельная теплота плавления вещества. Кристаллизация будет происходить при постоянной температуре, равной температуре плавления.

Порядок выполнения работы

1. Расплавить парафин.
2. Пробирку с расплавленным парафином укрепить в штативе, погрузить в нее термометр и после установившегося равновесия наблюдать процесс охлаждения и отвердевания, фиксируя температуру каждые 30 секунд.

Таблица 1

Время t, с	0	30	60	90	120	150	180	210	240
Температура t, °С									

3. По результатам измерений построить график зависимости температуры от времени.
4. Налейте в сосуд около 400 мл горячей воды и погрузите в нее пробирку с затвердевшим кристаллическим веществом, куда ранее был вставлен термометр.
5. Записывая показания термометра и интервалом 1 минуту, наблюдайте за изменением состояния вещества при его нагревании до установления постоянной температуры.

Таблица 2

Время t, мин	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Температура t, °С									

6. По данным измерений постройте график зависимости температуры вещества от времени и определите по нему температуру плавления.
7. Сделать вывод к работе.

Контрольное задание.

1. Опишите процессы охлаждения и отвердевания вещества.
2. При какой температуре происходит процесс кристаллизации веществ? Чем отличаются графики зависимости температуры от времени при отвердевании кристаллических и аморфных веществ.
3. Опишите процессы перехода веществ из одного агрегатного состояния в другое в данной работе.

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям, приведенным выше.

Практическая работа № 7
«*Определение удельного сопротивления проводника*»

Цель работы: овладеть способом измерения удельного сопротивления проводника.

Оборудование: источник электропитания, амперметр, вольтметр, резистор, ключ, металлический планшет, циркуль, линейка.

Теоретическая часть

Известно, что сопротивление проводника зависит от удельного сопротивления материала, из которого он изготовлен и его геометрических размеров:

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

Отсюда следует, что определить удельное сопротивление проводника можно, зная его сопротивление, длину и площадь поперечного сечения:

$$\rho = \frac{RS}{L} \quad (2)$$

Если проводником является проволока с круглым сечением, то, так как площадь круга

$$S = \pi \frac{d^2}{4}, \quad \rho = \frac{\pi d^2 R}{4L} \quad (3)$$

Следовательно, для определения удельного сопротивления провода знать его длину, диаметр и сопротивление. При отсутствии омметра – прибора, непосредственно измеряющего сопротивление, проводника, эту величину можно определить с помощью амперметра и вольтметра. По закону Ома для участка цепи:

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{или} \quad R = \frac{U}{I}. \quad \text{Тогда} \quad \rho = \frac{\pi U d^2}{4 I L}.$$

В работе определяют удельное сопротивление провода, из которого изготовлено проволочное сопротивление R_1 . Его диаметр указан на корпусе. Длину провода определяют с помощью циркуля и линейки.

Порядок выполнения работы

1. Для измерения удельного сопротивления проводника собирают электрическую цепь, схема которой показана на рисунке 1.

1. Подготовьте таблицу 1 для записи результатов измерений и вычислений.

Таблица 1

$L, м$	$d, мм$	$U, В$	$I, А$	$\rho, \frac{Ом \cdot мм^2}{м}$

2. Начертите в тетради схему установки для выполнения работы.

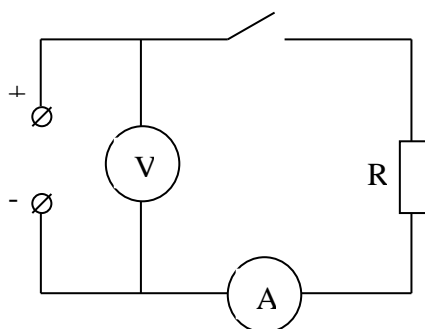


рис.1

3. С помощью циркуля и линейки измерьте длину одного витка провода, намотанного на каркас панели проволочного сопротивления.

4. Определите число витков провода на каркасе и вычислите его общую длину.

5. Определите диаметр провода.

6. Соберите электрическую цепь.

7. Замкните ключ и измерьте силу тока в цепи и напряжение на проволочном сопротивлении.

8. Вычислите удельное сопротивление проводника.

9. По справочной таблице задачника по физике определите материал провода, из которого изготовлен резистор.

10. Напишите вывод к работе.

Контрольное задание

1. Как включается в цепь вольтметр? амперметр?
2. Как зависит сопротивление реостата от вида материала, из которого он изготовлен (т.е. от удельного сопротивления)?
3. Для чего на электрифицированных железных дорогах в стыках рельсов устанавливают соединители в виде жгутов из толстой медной проволоки, приваренных к обоим концам обоих рельсов?
4. От батарейки карманного фонаря к одной из двух одинаковых лампочек мальчик подвел железные провода, а к другой – медные. У какой лампочки будет ярче светиться нить накала, если длина и площадь поперечного сечения проводов одинаковые?

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям, приведенным выше.

Практическая работа № 8

«Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока»

Цель работы: изучить метод измерения ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока помощью амперметра и вольтметра.

Оборудование: источник тока, амперметр, вольтметр, резистор, ключ, зажим, соединительные провода.

Теоретическая часть

Для измерения ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока собирают электрическую цепь, схема которой показана на рисунке 1.

К источнику тока подключают амперметр, сопротивление и ключ, соединение последовательно. Кроме того, непосредственно к выходным гнездам источника подключают еще и вольтметр.

ЭДС измеряют по показанию вольтметра при разомкнутом ключе. Этот прием определения ЭДС основан на следствии из закона Ома для полной цепи, согласно которому при бесконечно большом сопротивлении внешней цепи напряжения на зажимах источника равно его ЭДС.

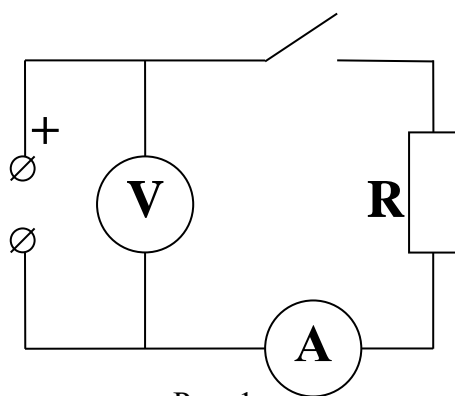


Рис. 1

Для определения внутреннего сопротивления источника замыкают ключ К. При этом в цепи можно условно выделить два участка: внешний (тот, который подключен к источнику) и внутренний (тот, который находится внутри источника тока). Поскольку ЭДС источника равна сумме падения напряжения на внутреннем и внешнем участках цепи:

$$\varepsilon = U_r + U_R, \text{ то } U_r = \varepsilon - U_R \quad (1)$$

По закону Ома для участка цепи $U_r = I \cdot r$ (2)

Подставив равенство (2) в (1) получают: $I \cdot r = \varepsilon - U_R$, откуда

$$r = \frac{\mathcal{E} - U_R}{J} \quad (3)$$

Следовательно, чтобы узнать внутреннее сопротивление источника тока, необходимо предварительно определить его ЭДС, затем замкнуть ключ и измерить падение напряжения на внешнем сопротивлении, а также силу тока в нем.

Порядок выполнения работы

1. Подготовьте таблицу 1 для записи результатов измерений и вычислений.

Таблица 1

$\mathcal{E}, \text{В}$	$U_R, \text{В}$	$I, \text{А}$	$r, \text{Ом}$

2. Начертите в тетради схему для измерения ЭДС и внутреннего сопротивления источника.
3. После проверки схемы соберите электрическую цепь. Ключ разомкните.
4. Измерьте величину ЭДС источника.
5. Замкните ключ и определите показания амперметра и вольтметра.
6. Вычислите внутреннее сопротивление источника.
7. Напишите вывод к работе.

Контрольное задание

1. Раскройте физический смысл понятия «электродвижущая сила источника тока».
2. Почему, определяя пригодность к использованию гальванического элемента, недостаточно ограничиться лишь измерением его ЭДС?
3. Верно ли утверждение о том, что внутреннее сопротивление аккумулятора может изменяться с течением времени?

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям, приведенным выше.

Практическая работа № 9

«Определение элементарного заряда методом электролиза»

Цель работы: научиться определять значение элементарного заряда методом электролиза; изучить методы определения заряда электрона.

Оборудование: цилиндрический сосуд с раствором электролита, медные электроды, весы с гирями, амперметр, источник постоянного напряжения, часы, реостат, ключ, электрическая плитка, соединительные провода.

Теоретическая часть

Элементарный электрический заряд e — наименьший электрический заряд, известный в природе. В квантовой механике элементарный заряд рассматривается как минимальная порция (квант) электрического заряда. Величина e элементарного электрического заряда была установлена прямыми измерениями Р. Милликена в 1909-1911 гг. и А. Ф. Иоффе в 1911-1913 гг.

Современное значение $e \approx 1,6021892 \pm 0,0000046 \times 10^{-19}$ Кл в системе СИ (и $4,803242 \pm 0,000014 \times 10^{-10}$ ед. СГСЭ в системе СГС). Элементарный электрический заряд тесно связан с постоянной тонкой структуры, описывающей электромагнитное взаимодействие.

Электролиз – физико-химический процесс, отражающий тесную связь физических и химических явлений. Он находит весьма широкое практическое применение. С его помощью получают многие химические соединения, которые иным путём приготовить не удаётся, чистые металлы в виде порошков и т. д. Процесс электролиза используются для коррозионной защиты различных металлов.

На практике электролиз проводят в специальных аппаратах – электролизерах. Их изготавливают из стали, керамических материалов, стекла, пластических масс. Электроды делают из различных металлов и сплавов. Иногда в ходе электролиза на аноде и катоде образуются такие вещества, взаимодействия которых надо избежать. С этой целью в электролизер вставляют пористую перегородку – диафрагму”.

Для проведения опыта используется насыщенный водный раствор электролита (медного купороса), который наливают в кювету с двумя медными электродами. Один электрод жестко закреплен в центре кюветы, а другой (съёмный) — на ее стенке.

В водном растворе происходит диссоциация молекул не только медного купороса ($\text{CuSO}_4 = \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$), но и воды ($\text{H}_2\text{O} = \text{H}^+ + \text{OH}^-$), хотя и в слабой степени. Таким образом,

в водном растворе CuSO_4 содержатся как положительные ионы Cu^{2+} и H^+ , так и отрицательные ионы SO_4^{2-} и OH^- . Если между электродами создать электрическое поле, то положительные ионы начнут двигаться к катоду, а отрицательные — к аноду. К катоду подходят ионы Cu^{2+} и H^+ , но разряжаются не все из них. Это объясняется тем, что атомы меди и водорода легко переходят в положительно заряженные ионы, теряя свои внешние электроны. Но ион меди легче присоединяет электрон, чем ион водорода. Поэтому на катоде разряжаются ионы меди.

К аноду будут двигаться отрицательные ионы и OH^- , но ни один из них разрядиться не будет. При этом медь начнет растворяться. Это объясняется тем, что атомы меди легче отдают электроны во внешний участок электрической цепи, чем ионы и OH^- и, став положительными ионами, будут переходить в раствор: $\text{Cu} = \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$.

Таким образом, при подключении электродов к источнику постоянного тока в растворе медного купороса возникнет направленное движение ионов, следствием которого будет выделение на катоде чистой меди.

Для того чтобы слой выделившейся меди был плотным и хорошо удерживался на катоде, электролиз рекомендуется проводить при небольшой силе тока в растворе. А так как это приведет к большой погрешности измерения, то вместо лабораторного амперметра в работе используют резистор и вольтметр. По показанию вольтметра U и сопротивлению резистора R (оно указано на его корпусе) определяют силу тока I .

Сила тока в электролите в ходе опыта может изменяться, поэтому в формулу для определения заряда подставляют ее среднее значение $I_{\text{ср}}$. Среднее значение силы тока определяют, записывая через каждые 30 с показания вольтметра на протяжении всего времени наблюдения, затем их суммируют и полученное значение делят на число замеров. Так находят $U_{\text{ср}}$. Затем по закону Ома для участка цепи находят $I_{\text{ср}}$. Записи результатов измерений напряжения удобнее заносить во вспомогательную таблицу.

Время протекания тока измеряют секундомером.

Порядок выполнения работы

1. Решите задачу:

При пропускании через раствор медного купороса тока I за время t на катоде выделилась медь массой m . Масса одного иона меди m_i , валентность n . Чему равен элементарный заряд e ?

2. Используя весы, найдите массу электрода m , который будет катодом.

3. Соберите электрическую цепь (рис. 1).

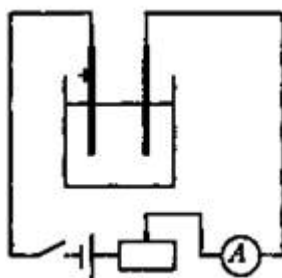


рис. 1

4. Заполните таблицу:

Таблица 1

m_1 , кг	m_2 , кг	m , кг	Δt , с	I , А	R , кг/К	n	$m_1 m$
			1200			2	$1,06 \cdot 10^{-25}$

5. Во время эксперимента старайтесь поддерживать силу тока в цепи постоянной (1 Ф).

6. Перед повторным взвешиванием катода (после окончания электролиза) ополосните его водой и высушите. Масса выделившейся меди будет равна $m = m_2 - m_1$.

7. Воспользовавшись формулой, полученной в начале работы, вычислите элементарный заряд.

8. Сделайте вывод к работе.

Контрольное задание

1. Что такое элементарный заряд?
2. Какие виды элементарных зарядов существуют?
3. Можно ли, используя данный метод измерения элементарного заряда, повысить точность результата? Как?
4. Почему дистиллированная вода не проводит электрический ток?

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям, приведенным выше.

Практическая работа № 10

«Действие магнитного поля на проводник с током»

Цель работы: экспериментально определить зависимость действия магнитного поля на проводник с током от силы и направления тока в нем.

Оборудование: источник электропитания, катушка – моток, реостат, ключ, полосовой магнит, штатив с муфтой и лапкой, соединительные провода, миллиамперметр, магнитная стрелка.

Теоретическая часть

Поместим между полюсами магнита проводник, по которому протекает постоянный электрический ток. Вокруг проводника с током (рис. 1.) образуется собственное магнитное поле, силовые линии которого по одну сторону проводника направлены так же, как и силовые линии магнита, а по другую сторону проводника — в противоположную сторону. Вследствие этого с одной стороны проводника (на рис. 1 сверху) магнитное поле оказывается сгущенным, а с другой его стороны (на рис. 1 снизу) - разреженным. Поэтому проводник испытывает силу, давящую на него вниз. И если проводник не закреплен, то он будет перемещаться.

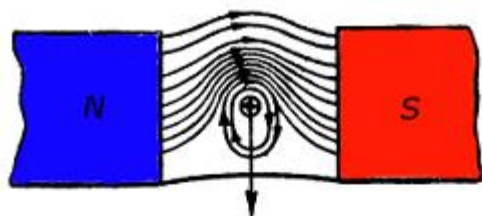


Рис 1

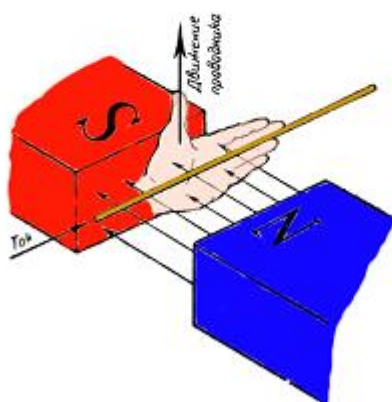


Рис. 2

Для быстрого определения направления движения проводника с током в магнитном поле существует так называемое **правило левой руки** (рис.2).

Правило левой руки состоит в следующем: если поместить левую руку между полюсами магнита так, чтобы магнитные силовые линии входили в ладонь, а четыре пальца руки совпадали с направлением тока в проводнике, то большой палец покажет направление движения проводника.

Сила, с которой магнитное поле действует на проводник с током, прямо пропорциональна силе тока в проводнике и длине той части проводника, которая находится в магнитном поле (рис. 3 слева).

Это правило справедливо, если проводник расположен под прямым углом к магнитным силовым линиям.

Если же проводник расположен не под прямым углом к магнитным силовым линиям (на рис. 3 справа), то сила, действующая на проводник, будет пропорциональна силе тока в проводнике и длине проекции части проводника, находящейся в магнитном поле, на плоскость, перпендикулярную магнитным силовым линиям. Отсюда следует, что если проводник параллелен магнитным силовым линиям, то сила, действующая на него, равна нулю. Если же проводник перпендикулярен направлению магнитных силовых линий, то сила, действующая на него, достигает наибольшей величины.

Сила, действующая на проводник с током, зависит еще и от магнитной индукции. Чем гуще расположены магнитные силовые линии,

тем больше сила, действующая на проводник с током.

рис. 3

Подводя итог всему изложенному выше, мы можем действие магнитного поля на проводник с током выразить следующим правилом:

Сила, действующая на проводник с током, прямо пропорциональна магнитной индукции, силе тока в проводнике и длине проекции части проводника, находящейся в магнитном поле, на плоскость, перпендикулярную магнитному потоку.

Необходимо отметить, что действие магнитного поля на ток не зависит ни от вещества проводника, ни от его сечения. Действие магнитного поля на ток можно наблюдать даже при отсутствии проводника, пропуская, например, между полюсами магнита поток быстро несущихся электронов.

Порядок выполнения работы

1. Соберите экспериментальную установку, как показано на рисунке 4. Катушка и магнит должны располагаться так, чтобы плоскость катушки была перпендикулярна продольной оси магнита.

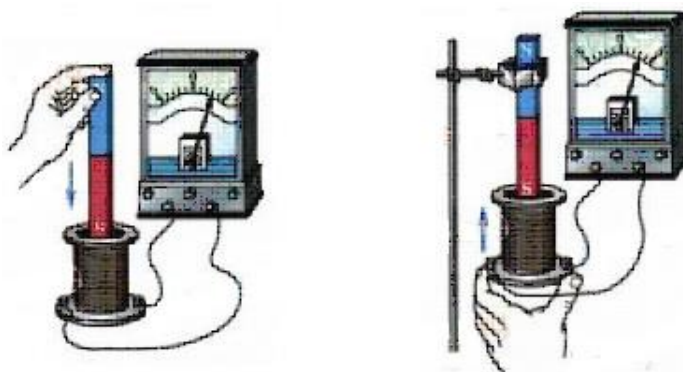


Рис. 4

2. Переменное сопротивление включите в цепь так, чтобы с его помощью можно было изменять силу тока в катушке. Ползунок переменного сопротивления поставьте в такое положение, при котором в цепи протекал бы минимальный ток.

3. Замкните ключ и по изменению положения катушки сделайте вывод о характере действия на нее магнита.

4. Увеличивая с помощью переменного сопротивления ток в цепи, установите, как зависит действие магнитного поля на катушку от направления тока в ней.

5. Изменив подключение соединительных проводов к источнику питания, установите, как зависит действие магнитного поля на катушку от направления тока в ней.

6. Измените, положение полюсов магнита на противоположенное и повторите действия, указанные в пунктах 3, 4 и 5.

7. Для каждого этапа опыта сделайте схематические рисунки, отражающие изменения во взаимодействии магнита и катушки при измерении режимов работы установки.

8. Укажите на рисунках направления магнитного поля магнита, тока в катушке и магнитного поля катушки.

9. Объясните результаты наблюдений.

Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте закон Ампера.
2. Объясните взаимодействие токов.

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям приведенным выше.

Практическая работа № 11

«Изучение явления электромагнитной индукции»

Цель работы: наблюдение и изучение явления электромагнитной индукции и правила Ленца.

Оборудование: миллиамперметр, катушка-моток, постоянный магнит, штатив с муфтой и лапкой.

Теоретическая часть

Взаимная связь электрических и магнитных полей была установлена выдающимся английским физиком М. Фарадеем в 1831 г. Он открыл явление **электромагнитной индукции**.

Многочисленные опыты Фарадея показывают, что с помощью магнитного поля можно получить электрический ток в проводнике.

Явление электромагнитной индукции заключается в возникновении электрического тока в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего контур.

Ток, возникающий при явлении электромагнитной индукции, называют **индукционным**.

В электрической цепи (рисунок 1) возникает индукционный ток, если есть движение магнита относительно катушки, или наоборот. Направление индукционного тока зависит как от направления движения магнита, так и от расположения его полюсов. Индукционный ток отсутствует, если нет относительного перемещения катушки и магнита.



Рис.1

Строго говоря, при движении контура в магнитном поле генерируется не определенный ток, а определенная э. д. с.

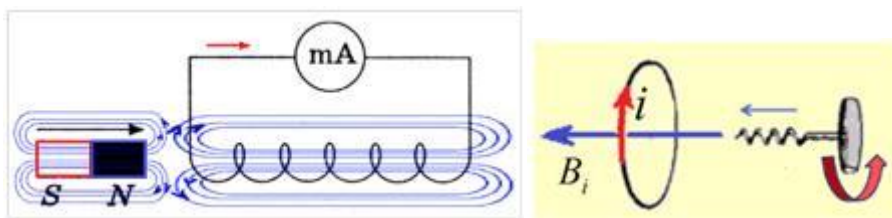


Рис. 2

Фарадей экспериментально установил, что *при изменении магнитного потока в проводящем контуре возникает ЭДС индукции $E_{\text{инд}}$, равная скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой со знаком минус:*

$$E_{\text{инд}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Эта формула выражает **закон Фарадея**: *ЭДС индукции равна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром.*

Знак минус в формуле отражает правило Ленца.

В 1833 году Ленц опытным путем доказал утверждение, которое называется **правилом Ленца**: индукционный ток, возбуждаемый в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, всегда направлен так, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающего индукционный ток.

При возрастании магнитного потока $\Phi > 0$, а $\epsilon_{\text{инд}} < 0$, т.е. э. д. с. индукции вызывает ток такого направления, при котором его магнитное поле уменьшает магнитный поток через контур.

При уменьшении магнитного потока $\Phi < 0$, а $\epsilon_{\text{инд}} > 0$, т.е. магнитное поле индукционного тока увеличивает убывающий магнитный поток через контур.

Правило Ленца имеет глубокий **физический смысл** – оно выражает закон *сохранения энергии*: если магнитное поле через контур увеличивается, то ток в контуре направлен так, что его магнитное поле направлено против внешнего, а если внешнее магнитное поле через контур уменьшается, то ток направлен так, что его магнитное поле поддерживает это убывающее магнитное поле.

ЭДС индукции зависит от разных причин. Если вдвигать в катушку один раз сильный магнит, а в другой — слабый, то показания прибора в первом случае будут более высокими. Они будут более высокими и в том случае, когда магнит движется быстро. В каждом из проведённых в этой работе опыте направление индукционного тока определяется правилом Ленца. Порядок определения направления индукционного тока показан на рис. 2.

На рисунке синим цветом обозначены силовые линии магнитного поля постоянного магнита и линии магнитного поля индукционного тока. Силовые линии магнитного поля всегда направлены от N к S – от северного полюса к южному полюсу магнита.

По правилу Ленца индукционный электрический ток в проводнике, возникающий при изменении магнитного потока, направлен таким образом, что его магнитное поле противодействует изменению магнитного потока. Поэтому в катушке направление силовых линий магнитного поля противоположно силовым линиям постоянного магнита, ведь магнит движется в сторону катушки. Направление тока находим по правилу буравчика: если буравчик (с правой нарезкой) ввинчивать так, чтобы его поступательное движение совпало с направлением линий индукции в катушке, тогда направление вращения рукоятки буравчика совпадает с направлением индукционного тока.

Поэтому ток через миллиамперметр течёт слева направо, как показано на рисунке 1 красной стрелкой. В случае, когда магнит отодвигается от катушки, силовые линии магнитного поля индукционного тока будут совпадать по направлению с силовыми линиями постоянного магнита, и ток будет течь справа налево.

Порядок выполнения работы

1. Закрепите в лапке штатива катушку и подключите ее к гнездам миллиамперметра.

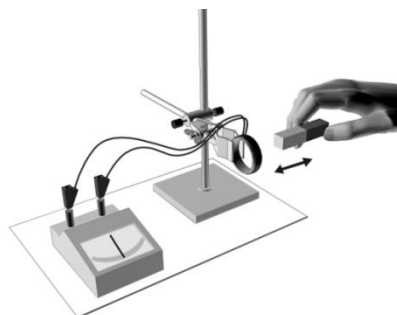


Рис. 3

2. Приближая и удаляя с разной скоростью магнит к катушке, установите по показаниям миллиамперметра, как зависит величина индукционного тока от скорости изменения магнитного поля в месте расположения катушки.
3. Установите, зависит ли направление индукционного тока от положения полюсов движущегося магнита.
4. Повторите опыты, закрепив в лапке штатива магнит, приближая и удаляя к нему и от него катушку. Данные наблюдения запишите в таблицу 1.

Таблица 1

№ п/п	Действия с магнитом и катушкой	Показания миллиамперметра I, mA	Направление индукционного тока (по правилу Ленца)
1	Быстро вставить магнит в катушку северным полюсом		
2	Оставить магнит в катушке неподвижным после опыта 1		
3	Быстро вытащить магнит из катушки		
4	Быстро приблизить катушку к северному полюсу магнита		
5	Оставить катушку неподвижной после опыта 4		
6	Быстро вытащить катушку от северного полюса магнита		
7	Медленно вставить в катушку магнит северным полюсом		
8	Медленно вытащить магнит из катушки		
9	Быстро вставить в катушку 2 магнита северными полюсами		
10	Быстро вставить магнит в катушку южным полюсом		

11	Быстро вытащить магнит из катушки после опыта 10		
12	Быстро вставить в катушку 2 магнита южными полюсами		

5. Определив направление намотки провода в катушке, направление тока в ней и направление магнитного поля магнита, проверьте справедливость правила Ленца.

6. Напишите вывод к работе.

Контрольные вопросы:

1. Дать определение явления электромагнитной индукции?
2. Как читается правило Ленца? Как пользоваться правилом Ленца?
3. В чем отличие силы Ампера от силы Лоренца?
4. Сформулируйте правило буравчика для витка с током.
5. Совершает или не совершает силы Лоренца работу при движении заряда в магнитном поле и почему?
6. На чем основано действие электродвигателей и ряда электроизмерительных приборов.

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям, приведенным выше.

«Определение фокусного расстояния линзы»

Цель работы: определить фокусное расстояние собирающей линзы.

Оборудование: источник света 12 В, 24 В; двояковыпуклая линза; трехщелевая диафрагма; линейка.

Теоретические сведения

Простейшей оптической системой является линза, которая представляет собой тело, изготовленное из однородного прозрачного для света вещества и ограниченное двумя сферическими поверхностями. Если расстояние между ограничивающими линзу поверхностями в центре линзы d намного меньше радиусов их кривизны ($d \ll R_1, R_2$), то линза называется тонкой (на рис. 1).

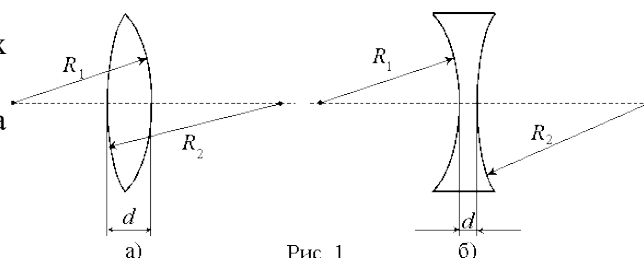


Рис. 1

На рис. 1 изображены часто применяемые на практике двояковыпуклая (а) и двояковогнутая (б) линзы.

Линия, соединяющая центры O_1 и O_2 ограничивающих линзу сферических поверхностей, называется *главной оптической осью*. Лучи, параллельные оптической оси, после прохождения через двояковыпуклую (собирающую) линзу сходятся в точке M на этой оси (рис. 2, а) (линза имеет два главных фокуса). Эта точка называется *главным фокусом* собирающей линзы. При прохождении через двояковогнутую (рассеивающую)

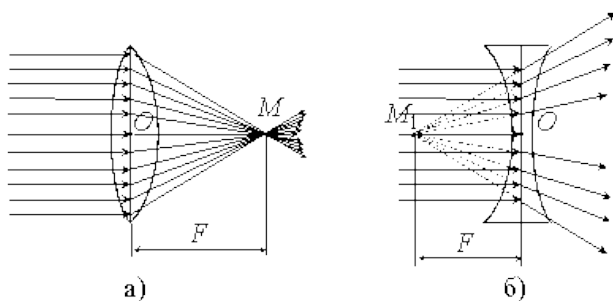


Рис. 2

линзу параллельные лучи расходятся. Точка M_1 на главной оптической оси, где пересекаются продолжения этих расходящихся лучей, называется *главным фокусом* рассеивающей линзы (рис. 2, б) (этот фокус называют также *мнимым*).

Расстояние от оптического центра линзы O до главного фокуса называется *фокусным расстоянием* линзы F . Оно зависит от величины радиусов кривизны R_1 и R_2 , ограничивающих ее сферических

поверхностей, от величины *показателя преломления* n и материала линзы относительно окружающей среды. Эта зависимость имеет вид:

$$\frac{1}{F} = (n - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \text{ или } F = \frac{R_1 \cdot R_2}{(n - 1) \cdot (R_1 + R_2)} . (1)$$

Величина $1/F = D$ называется *оптической силой линзы*. Оптическая сила линзы измеряется в диоптриях. Диоптрия равна оптической силе линзы с фокусным расстоянием в один метр. Оптическая сила собирающей линзы положительна, а рассеивающей – отрицательна.

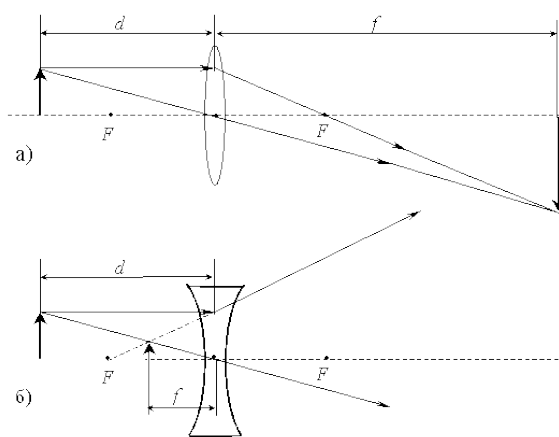


Fig. 3

Основным свойством линзы является ее способность давать изображения предметов. Собирающая линза дает как действительное, так и мнимое изображение, как увеличенное, так и уменьшенное изображение, как прямое, так и обратное изображение. Это зависит от того, где расположен предмет: между линзой и фокусом, либо между фокусом и двойным фокусом, либо за двойным фокусом.

Рассеивающая линза всегда дает мнимое и уменьшенное изображение. Расстояние предмета от линзы d и расстояние от линзы до изображения f (рис. 3) связаны с ее фокусным расстоянием F соотношением

$$\frac{1}{d} \pm \frac{1}{f} = \pm \frac{1}{F} \text{ или } F = \frac{d \cdot f}{d \pm f} . (2)$$

В этой формуле знак (+) соответствует собирающей (рис. 3, а), а знак (-) – рассеивающей (рис. 3, б) линзам. Если собирающая линза дает мнимое изображение, то в формуле (2) надо перед слагаемым, содержащим величину f , ставить знак (-).

Используя формулу (2), можно экспериментально определить фокусное расстояние F . Однако точность такого непосредственного определения фокусного расстояния невелика. Это связано с тем, что при измерении расстояний d и f мы делаем относительно большие ошибки.

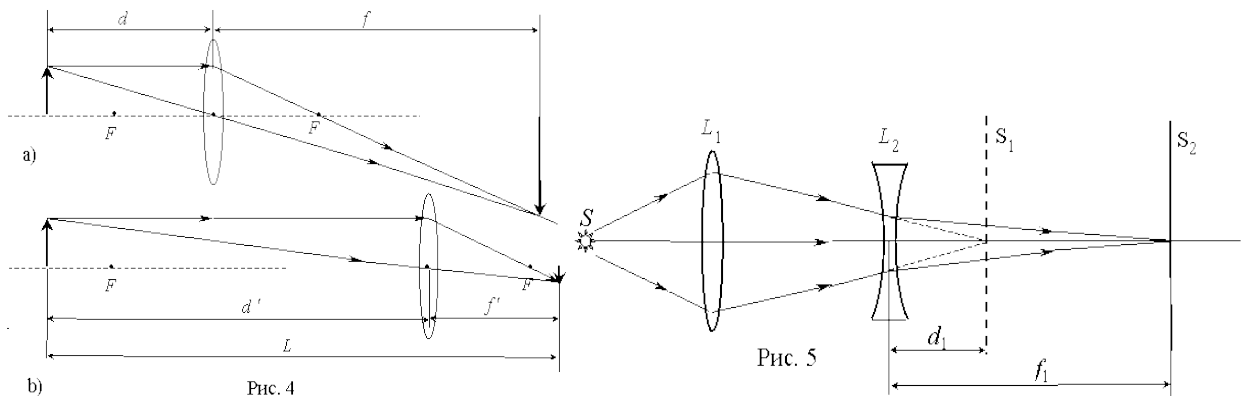
Существует более точный способ определения фокусного расстояния, при котором расстояния d и f не измеряются. Этот способ состоит в следующем. Определяется расстояние L между предметом* и экраном, на котором получается увеличенное изображение предмета при некоторых расстояниях d и f (рис. 4, а). Затем, не трогая

предмет и экран, перемещают линзу в другое положение и получают уменьшенное изображение предмета при новых расстояниях d' и f' (рис. 4, б). Теперь, зная L и измерив расстояние между двумя последовательными положениями линзы, можно найти фокусное расстояние F линзы по формуле

$$F = \frac{L^2 - \ell^2}{4L} . (3)$$

Таким образом, для определения фокусного расстояния достаточно измерить L и ℓ .

Рассеивающая линза не дает действительного изображения на экране. Поэтому для определения фокусного расстояния рассеивающей линзы используют вспомогательную собирающую линзу с большей оптической силой, чем у рассеивающей линзы по модулю. С помощью этой вспомогательной линзы получают на экране действительное увеличенное изображение предмета. Затем, между экраном и линзой ставят рассеивающую линзу (рис. 5), при этом отчетливое изображение предмета пропадает. Отодвигая экран и смещая рассеивающую линзу, вновь добиваются отчетливого изображения предмета.



Фокусное расстояние рассеивающей линзы F_1 вычисляют по формуле (4), где d_1 и f_1 – расстояния от рассеивающей линзы до первого и второго положения экрана соответственно:

$$F_1 = \frac{d_1 f_1}{d_1 - f_1} . (4)$$

Порядок выполнения работы

1. Положите на стол лист белой бумаги.
2. Установите на столе источник света.
3. Подключите источник света к стационарному источнику 12 В (24 В).

4. Вставьте в источник света трехщелевую диафрагму.
5. На расстоянии 10-20 см от источника света установите двояковыпуклую линзу так, чтобы главная ось линзы совпадала с прямой, проходящей вдоль осветителя.
6. Обведите на листе карандашом линзу.
7. Включите источник света.
8. Наблюдайте преломление световых лучей в линзе.
9. Обведите карандашом на листе белой бумаги ход падающих и преломленных лучей.
10. Включите источник света.
11. Отключите источник света от источника питания.
12. Уберите линзу.
13. На листе бумаги отметьте точку пересечения лучей и оптический центр линзы.
14. Измерьте расстояние между этими двумя точками. Это и будет значение фокусного расстояния линзы $F_{изм}$, м.
15. Рассчитайте оптическую силу линзы по формуле (*дптр*).
16. Определите абсолютную погрешность фокусного расстояния линзы ΔF , как величину, равную половине цены деления линейки.
17. Запишите результат измерения фокусного расстояния линзы в виде $F = F_{изм} \pm \Delta F$.
18. Сделайте вывод к работе.

Контрольное задание

1. Как еще можно определить фокусное расстояние линзы?
2. Изменится ли фокусное расстояние линзы, если ее поместить в воду? Объясните почему.
3. Докажите, что при удалении предмета на расстояние $d \gg F$, изображение его получается в фокальной плоскости линзы.

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям, приведенным выше.

Практическая работа № 13
«Интерференция и дифракция света»

Цель работы: пронаблюдать и описать явления интерференции и дифракции света.

Оборудование: электрическая лампа с прямой нитью накала (одна на класс), две стеклянные пластинки, стеклянная трубка, стакан с раствором мыла, кольцо проволочное с ручкой диаметром 30 мм., компакт-диск, штангенциркуль, капроновая ткань.

Теоретическая часть

Интерференция – явление характерное для волн любой природы: механических, электромагнитных.

Интерференция волн – сложение в пространстве двух (или нескольких) волн, при котором в разных его точках получается усиление или ослабление результирующей волны.

Обычно интерференция наблюдается при наложении волн, испущенных одним и тем же источником света, пришедших в данную точку разными путями.

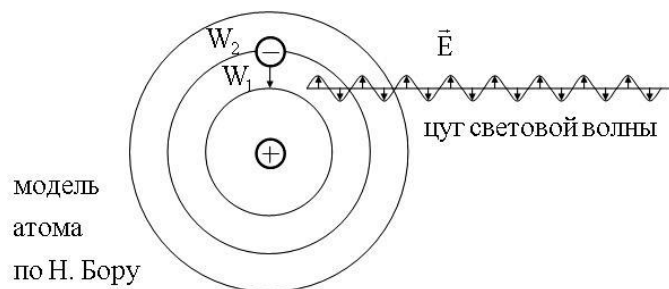


Рис.1

Когерентными называются волны, имеющие одинаковую частоту и постоянную разность фаз.

Интерференционная картина – регулярное чередование областей повышенной и пониженной интенсивности света.

Интерференция света – пространственное перераспределение энергии светового излучения при наложении двух или нескольких световых волн.

Вследствие дифракции свет отклоняется от прямолинейного распространения (например, близи краев препятствий).

Дифракция – явление отклонения волны от прямолинейного распространения при прохождении через малые отверстия и огибании волной малых препятствий.

Условие проявления дифракции: $d < \lambda$, где d – размер препятствия, λ - длина волны. Размеры препятствий (отверстий) должны быть меньше или соизмеримы с длиной волны.

Существование этого явления (дифракции) ограничивает область применения законов геометрической оптики и является причиной предела разрешающей способности оптических приборов.

Дифракционная решетка – оптический прибор, представляющий собой периодическую структуру из большого числа регулярно расположенных элементов, на которых происходит дифракция света. В современных приборах применяют в основном отражательные дифракционные решетки.

Условие наблюдения дифракционного максимума:

$$d \cdot \sin \varphi = k \cdot \lambda,$$

где $k=0; \pm 1; \pm 2; \pm 3$; d - период решетки, φ - угол, под которым наблюдается максимум, а λ - длина волны.

Из условия максимума следует $\sin \varphi = (k \cdot \lambda) / d$.

Пусть $k=1$, тогда $\sin \varphi_{кр} = \lambda_{кр} / d$ и $\sin \varphi_{ф} = \lambda_{ф} / d$.

Известно, что $\lambda_{кр} > \lambda_{ф}$, следовательно $\sin \varphi_{кр} > \sin \varphi_{ф}$. Т.к. $y = \sin \varphi_{ф}$ - функция возрастающая, то $\varphi_{кр} > \varphi_{ф}$

Поэтому фиолетовый цвет в дифракционном спектре располагается ближе к центру.

В явлениях интерференции и дифракции света соблюдается закон сохранения энергии. В области интерференции световая энергия только перераспределяется, не превращаясь в другие виды энергии. Возрастание энергии в некоторых точках интерференционной картины относительно суммарной световой энергии компенсируется уменьшением её в других точках (суммарная световая энергия – это световая энергия двух световых пучков от независимых источников). Светлые полосы соответствуют максимумам энергии, темные – минимумам.

Порядок выполнения работы

1. Опустите проволочное кольцо в мыльный раствор. На проволочном кольце получается мыльная плёнка.

Расположите её вертикально. Наблюдаем светлые и тёмные горизонтальные полосы, изменяющиеся по ширине по мере изменения толщины плёнки (рис.2).

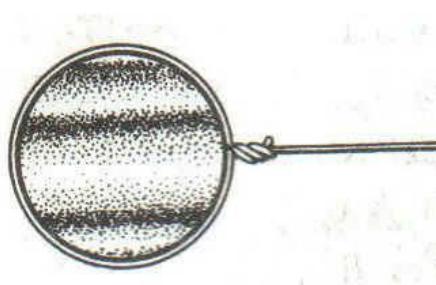


рис. 2

Освещаем мыльную пленку белым светом (от лампы). Наблюдаем окрашенность светлых полос в спектральные цвета: сверху – синий, внизу – красный (рис.3).



рис.3

Наблюдаем также, что полосы, расширяясь и сохраняя свою форму, перемещаются вниз.

2. С помощью стеклянной трубки выдуйте мыльный пузырь и внимательно рассмотрите его. При освещении его белым светом наблюдайте образование цветных интерференционных колец, окрашенных в спектральные цвета. Верхний край каждого светлого кольца имеет синий цвет, нижний – красный (рис.4). По мере уменьшения толщины пленки кольца, также расширяясь, медленно перемещаются вниз. Их кольцеобразную форму объясняют кольцеобразной формой линий равной толщины.



рис.4

3. Тщательно протрите две стеклянные пластинки, сложите вместе и сожмите пальцами. Из-за неидеальности формы соприкасающихся поверхностей между пластинками образуются тончайшие воздушные пустоты.



рис. 5

При отражении света от поверхностей пластин, образующих зазор, возникают яркие радужные полосы – кольцеобразные или неправильной формы. При изменении силы, сжимающей пластинки, изменяются расположение и форма полос. Зарисуйте увиденные вами картинку.

4. Рассмотрите внимательно под разными углами поверхность компакт-диска (на которую производится запись). Опишите интерференционную картину.

5. Сдвигаем ползунок штангенциркуля до образования между губками щели шириной 0,5 мм. Приставляем скошенную часть губок вплотную к глазу (располагая щель вертикально). Сквозь эту щель смотрим на вертикально расположенную нить горячей лампы. Наблюдаем по обе стороны от нити параллельные ей радужные полоски. Зарисуйте в тетрадь увиденную картину. Объясните наблюдаемые явления.

6. Посмотрите сквозь капроновую ткань на нить горячей лампы. Поворачивая ткань вокруг оси, добейтесь четкой дифракционной картины в виде двух скрещенных под прямым углом дифракционных полос.



рис. 6

Зарисуйте наблюдаемый дифракционный крест. Объясните наблюдаемые явления.

7. Напишите вывод. Укажите, в каких из проделанных вами опытов наблюдалось явление интерференции, а в каких дифракции.

Контрольное задание

1. Почему часть мыльной пленки не окрашена цветными полосами?
2. Как объяснить увеличение ширины цветных полос на мыльной пленке с течением времени?
3. Почему цвет центральной полосы дифракционной картины отличается от цвета полос, расположенных рядом?
4. Как расстояние между нитями капроновой ткани влияет на картину дифракции?
5. Почему при увеличении ширины щели яркие цветные полосы сближаются?

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям, приведенным выше.

Практическая работа № 14

«Спектральные приборы»

Цель: ознакомление с основными принципами спектрального анализа; изучение оптической схемы спектральных приборов и их характеристик.

Оборудование: письменные принадлежности, монохроматор, цветные карандаши.

Теоретическая часть

Спектральным анализом называется физический метод определения химического состава вещества, основанный на изучении спектра излучения или поглощения электромагнитных волн этим веществом. Различают качественный и количественный анализ.

Спектральные приборы предназначены для анализа сложного излучения, непосредственно излучаемого различными телами или преобразованного в результате взаимодействия излучения с веществом. Эти исследования проводятся в широком диапазоне длин волн от далекой ультрафиолетовой области до миллиметровых радиоволн. Спектральные приборы позволяют: а) разложить исследуемое излучение в спектр, т.е. расположить по длинам волн излучение, которое попадает на вход прибора; б) зафиксировать положение отдельных участков спектра или отдельных спектральных линий; в) измерить интенсивность какого-либо участка спектра или спектральной линии. По положению линий в спектре, т.е. по длинам волн, можно судить об уровнях энергии и внутреннем строении атомов и молекул, а по интенсивности линий – о вероятностях переходов между отдельными уровнями. Интенсивность спектральных линий определяется также числом излучающих атомов и молекул, что дает возможность определить содержание отдельных элементов и молекулярных соединений в исследуемом веществе. По форме контура спектральных линий можно сделать заключение о характере взаимодействия между частицами, о влиянии электрических и магнитных полей, а также о температуре, при которой происходит излучение. Таким образом, спектральные приборы исследуют излучение как сигнал, посылаемый в определенных условиях веществом и дающий информацию о его строении. Различают атомный и молекулярный спектральный анализ. В обоих случаях анализ может проводиться по спектрам излучения и тогда он называется эмиссионным.

Спектральный прибор состоит из трех основных частей: осветительной, диспергирующей и приемно-регистрающей.

Осветительная часть включает источник излучения и фокусирующую оптику, при помощи которой освещается узкая входная щель прибора.

Спектральная часть состоит из входной щели, диспергирующей и фокусирующей систем (рис.1).

Входная щель (3 на рис.1) является вторичным источником некогерентного света или “предметом” по отношению ко всей последующей оптической части прибора. Изображение щели, разложенное диспергирующей системой по длинам волн и сфокусированное на выходе прибора и представляет собой наблюдаемый спектр источника излучения.

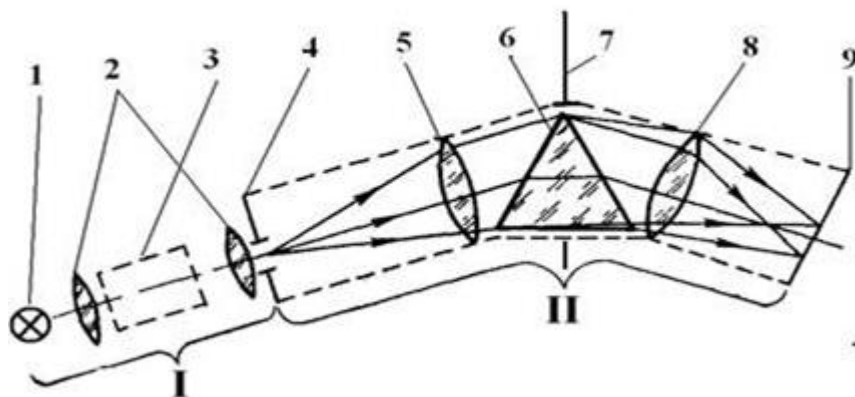


Рис. 1. Оптическая схема призмного спектрального прибора: 1 - источник света – исследуемое вещество; 2 - конденсорная линза; 3 - узкая входная щель; 4 - коллимирующий объектив; 4- призма – диспергирующий элемент; 6 - фокусирующий объектив; 7 - фокальная плоскость – плоскость формирования спектра излучения.

Приемно-регистрающая часть. В фокальной плоскости объектива (6) камеры получается спектр, доступный измерению данным прибором. Если с этой плоскостью совместить эмульсию фотопластинки и включить источник света, то после проявления на пластинке появится в виде темных линий сразу весь участок спектра. Приборы подобного типа именуется *спектрографами*.

Можно поступить иначе: на пересечении оптической оси прибора с фокальной плоскостью объектива установить вторую щель (выходную), параллельную входной.

Выходная щель при соответствующей ширине вырежет из всего спектра только одну спектральную линию. Такие приборы называют *монохроматорами*.

Оптическая схема УМ-2 приведена на рис.2. Свет от источника проходит через входную щель 1, установленную в фокусе ахроматического объектива коллиматора 2 и далее параллельным пучком падает на диспергирующий элемент – призму Аббе 3. Фокусное расстояние объектива $f_1 = 280$ мм, а диаметр его $D = 47$ мм. Поэтому относительное отверстие D/f_1 равно 1:6, т.е. это прибор средней светосилы.

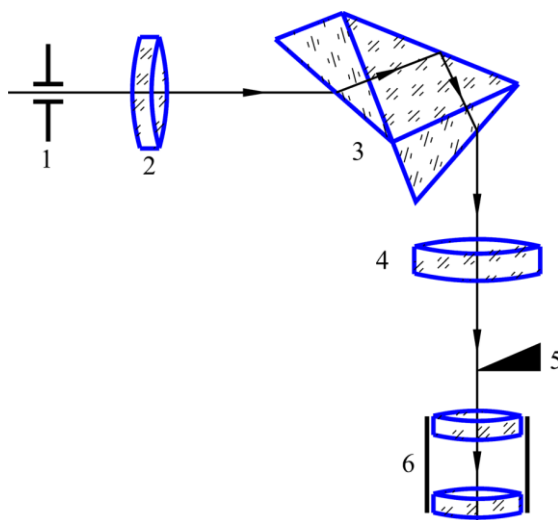


Рис. 2. Оптическая схема монохроматора УМ-2

Призма Аббе является не только диспергирующим элементом, но также отклоняет любой луч, идущий через нее под углом наименьшего отклонения, на 90° (рис.3). Призма делается из трех склеенных призм, одна из которых является поворотной.

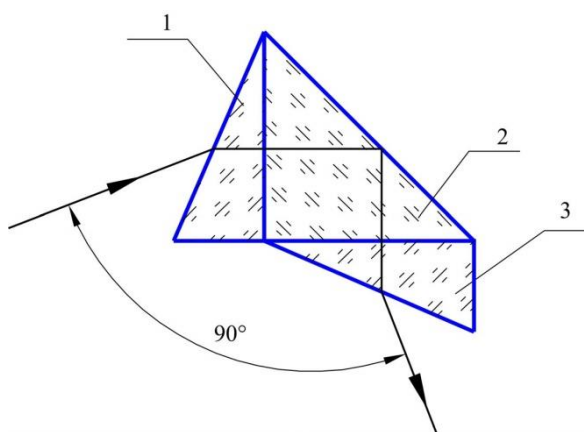


Рис. 3. Ход лучей света через призму Аббе

Лучи других длин волн отклоняются призмой на иные углы и выходят из нее параллельными пучками, не совпадающими с оптической осью.

Порядок выполнения работы

1. Изучите строение и принцип работы спектрального прибора, сделайте записи в тетради.
2. Изучите строение монохроматора и найдите все элементы на приборе.
3. Используя таблицу 1, постройте градуировочный график зависимости длины волны λ (в нм) от средних значений делений барабана монохроматора для названного преподавателем элемента. Масштаб длин волн по оси ординат выбирать не менее 0,1 нм в 1 см.

Таблица.1. Длины волн ярких спектральных линий некоторых элементов

Ртуть		Гелий		Неон	
Окраска линии	м	Окраска линии	м	Окраска линии	м
Красная	23,4	Темно-красная	06,5	Ярко-красная	40,2
Красно-оранжевая	12,3	Ярко-красная	57,8	Красно-оранжевая	14,3
Желтая	79,1	Оранжевая	87,6	Оранжевая	94,5
Желтая	77,0	Зеленая	01,6	Желтая	85,2
Зеленая	46,1	Зеленая	92,2	Зеленая	40,0
Сине-зеленая	91,6	Синяя	71,3	Зеленая	33,0
Фиолетовая	35,8	Фиолетовая	47,1	Зеленая	03,1
Фиолетовая	34,7	Фиолетовая	02,6	Сине-зеленая	84,9
Фиолетовая	33,9	Фиолетовая	88,9		
Фиолетовая					

	10,8				
Фиолетовая	07,7				
Фиолетовая	04,7				

4. Сделайте вывод к работе.

Контрольное задание

1. На чем основан качественный спектральный анализ?
2. Опишите переходы атома с излучением и поглощением.
3. Дайте определение основным характеристикам спектрального прибора:

дисперсия, разрешающая способность, светосила.

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям, приведенным выше.

Практическая работа № 15
«Изучение фотоэффекта»

Цель работы: убедиться в справедливости законов фотоэффекта.

Оборудование: стеклянный баллон с двумя электродами и кварцевым окном, потенциометр, вольтметр, амперметр, источник тока, ключ, соединительные провода.

Теоретическая часть

Внешним фотоэффектом называется испускание электронов веществом под действием света. Это явление впервые было обнаружено Г. Герцем в 1887 году и детально исследовано в 1888 году А.Г. Столетовым, который установил основные законы фотоэффекта:

1. максимальная скорость фотоэлектронов определяется частотой света и не зависит от его интенсивности;
2. фототок насыщения пропорционален световому потоку;
3. для каждой поверхности существует минимальная частота $\nu_{кр}$ – красная граница фотоэффекта, при которой еще возможен внешний фотоэффект; при $\nu < \nu_{кр}$ фотоэффект отсутствует.

Эйнштейн в 1905 году показал, что все закономерности фотоэффекта легко объясняются, если предположить, что свет распространяется такими же квантами $h\nu$, какими он по предположению Планка, испускается и поглощается. Часть энергии $h\nu$, которую получает электрон от фотона, затрачивается на то, чтобы электрон мог покинуть облученную поверхность вещества. Эта величина, называемая работой выхода $A_{вых}$, является характерной для каждого металла и зависит от состояния его поверхности. Остальная часть энергии идет на сообщение электрону кинетической энергии.

Если пренебречь потерями энергии в результате неупругих столкновений электрона с атомами вещества, то должно выполняться соотношение, называемое формулой Эйнштейна (закон сохранения энергии):

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

где V - максимальная скорость фотоэлектрона, вырванного с поверхности металла.

Из формулы (1) вытекает, что для выполнения фотоэффекта необходимо, чтобы выполнялось условие $h\nu_{кр} = A_{вых}$ (красная граница фотоэффекта).

Приборы, действие которых основано на явлении фотоэффекта, называются фотоэлементами. Различают вакуумные и газонаполненные фотоэлементы.

Зависимость силы тока от напряжения между катодом и анодом называется вольтамперной характеристикой (ВАХ).

При некотором напряжении фототок достигает насыщения (горизонтальный участок характеристики). Это означает, что все электроны, испущенные катодом, попадают на анод. При $U = 0$ фототок не исчезает, так как электроны покидают катод со скоростью, отличной от нуля. Для того, чтобы фототок стал равным нулю, необходимо приложить напряжение U_3 обратной полярности (задерживающий потенциал).

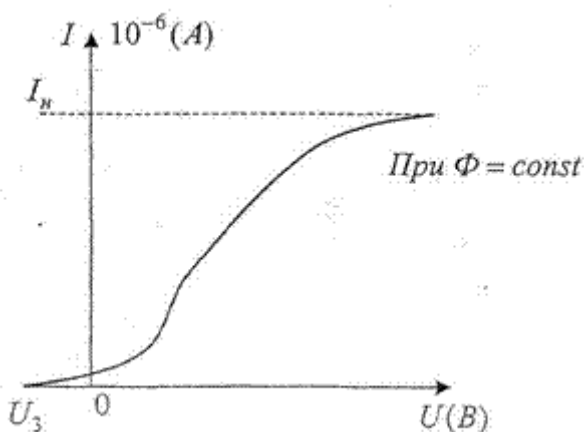
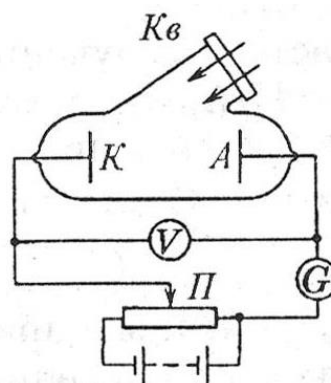


Рисунок 1

Вакуумные фотоэлементы изготавливаются в виде стеклянного баллона, внутренняя поверхность которого покрыта слоем чувствительного к свету вещества, являющегося эмиттером фотоэлектронов. Для работы в видимой части спектра особенно широко применяются сурьмяно-цезиевые фотокатоды. Вакуумные фотоэлементы практически безинерционны.

Порядок выполнения работы

1. Соберите установку для наблюдения фотоэффекта.
2. Замкните ключ и направьте свет на кварцевое окно.
3. Снимите показания амперметра и вольтметра.



4. Увеличьте напряжение и снимите показания амперметра во второй раз.
5. Измените полярность батареи.
6. Снимите показания вольтметра в тот момент, когда сила тока будет равна нулю.
7. Постройте вольт – амперную характеристику по снятым значениям силы тока и напряжения.
8. Сделайте вывод к работе.

Контрольное задание

1. Рассчитайте, с какой скоростью двигались электроны при достижении запирающего напряжения.
2. В чем состоят основные законы фотоэффекта?

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям, приведенным выше.

Практическая работа № 16
«Конструкция и виды лазеров»

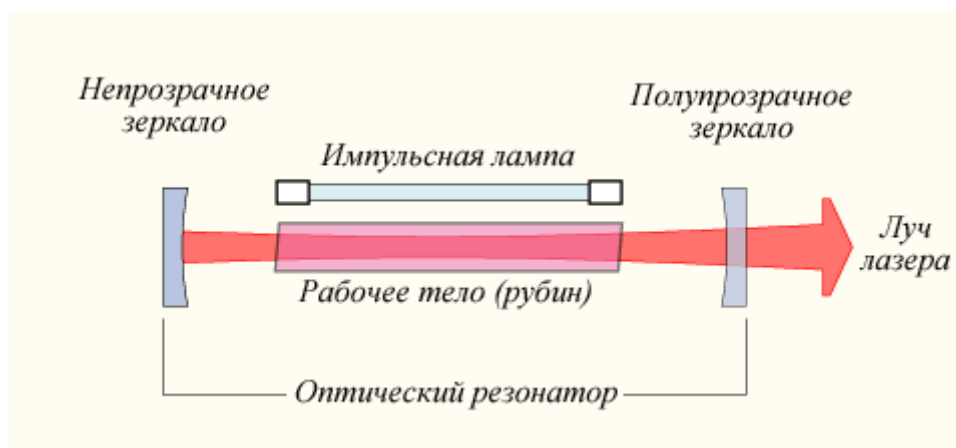
Цель работы: изучить принцип работы лазеров.

Оборудование: методические рекомендации по выполнению работы.

Теоретическая часть

Лáзер — квантовый генератор, источник когерентного монохроматического электромагнитного излучения оптического диапазона. Обычно состоит из трёх основных элементов:

- Источник энергии (механизм «накачки» лазера).
- Рабочее тело лазера.
- Система зеркал («оптический резонатор»).



Накачка лазера — процесс перекачки энергии внешнего источника в рабочую среду лазера. Поглощённая энергия переводит атомы рабочей среды в возбуждённое состояние. Когда число атомов в возбуждённом состоянии превышает количество атомов в основном состоянии, возникает инверсия населённости. В этом состоянии начинает действовать механизм вынужденного излучения и происходит излучение лазера или же оптическое усиление. Мощность накачки должна превышать порог генерации лазера. Энергия накачки может предоставляться в виде света, электрического тока, энергии химической или ядерной реакций, тепловой или механической энергии.

Рабочее тело является основным определяющим фактором рабочей длины волны, а также остальных свойств лазера. Существует большое количество различных рабочих тел, на основе которых можно построить лазер. Рабочее тело подвергается «накачке», чтобы получить эффект инверсии электронных населённостей, что вызывает вынужденное излучение фотонов и эффект оптического усиления.

В лазерах используются следующие рабочие тела:

Жидкость, например в лазерах на красителях. Состоят из органического растворителя, например метанола, этанола или этиленгликоля, в которых растворены химические красители, например кумарин или родамин. Конфигурация молекул красителя определяет рабочую длину волны.

Газы, например, углекислый газ, аргон, криптон или смеси, такие как в гелий-неоновых лазерах. Такие лазеры чаще всего накачиваются электрическими разрядами.

Твёрдые тела, такие как кристаллы и стёкла. Такие материалы обычно легируются (*активируются*) добавкой небольшого количества ионов хрома, неодима, эрбия или титана. Типичные используемые кристаллы: алюмо-иттриевый гранат (YAG), литиево-иттриевый фторид (YLF), сапфир (оксид алюминия). Используемые стёкла: фосфатные и силикатные. Самые распространённые варианты: Nd:YAG, титан-сапфир, хром-сапфир (известный также как рубин), легированный хромом стронций-литий-алюминиевый фторид (Cr:LiSAF), Er:YLF и Nd: glass (неодимовое стекло). Твердотельные лазеры обычно накачиваются импульсными лампами или другими лазерами.

Полупроводники. Материал, в котором переход электронов между энергетическими уровнями может сопровождаться излучением. Полупроводниковые лазеры очень компактны, накачиваются электрическим током, что позволяет использовать их в бытовых устройствах, таких как проигрыватели компакт-дисков.

Твердотельные лазеры

Твердотельные лазеры делятся на импульсные и непрерывные. Среди импульсных лазеров более распространены устройства на рубине и неодимовом стекле. Длина волны неодимового лазера составляет $\lambda = 1,06$ мкм. Эти устройства представляют собой относительно большие стержни, длина которых достигает 100 см, а диаметр - 4-5 см. Энергия импульса генерации такого стержня - 1000 дж за 10-3 сек.

Лазер на рубине также отличается большой мощностью импульса, при длительности 10-3 сек его энергия составляет сотни дж. Частота повторения импульсов может достигать нескольких кГц.

Самые известные лазеры непрерывного действия изготавливаются на флюорите кальция с примесью диспрозия и лазеры на иттриево-алюминиевом гранате, в котором присутствуют примеси атомов редкоземельных металлов. Длина волны этих лазеров находится в области от 1 до 3 мкм. Мощность импульса составляет примерно 1 Вт либо его доли. Лазеры на иттриево-алюминиевом гранате способны обеспечить мощность импульса до нескольких десятков Вт.

Как правило, в твердотельных лазерах используется многомодовый режим генерации. Одномодовая генерация может быть получена при введении в резонатор селектирующих элементов. Подобное решение было вызвано снижением генерируемой мощности излучения.

Сложность производства твердотельных лазеров заключается в необходимости выращивания больших монокристаллов или варки больших образцов прозрачного стекла. Преодолеть эти трудности позволило изготовление жидкостных лазеров, где активная среда представлена жидкостью, в которую введены редкоземельные элементы. Тем не менее жидкостные лазеры имеют ряд недостатков, ограничивающих область их использования.

Жидкостные лазеры

Жидкостными называются лазеры с жидкой активной средой. Основным преимуществом этого вида устройств является возможность циркуляции жидкости и, соответственно, ее охлаждения. В результате и в импульсном, и в непрерывном режиме можно получить больше энергии.

Первые жидкостные лазеры производились на основе редкоземельных хелатов. Недостатком этих лазеров является низкий уровень достижимой энергии и химическая неустойчивость хелатов. В результате эти лазеры не нашли применения. Советские ученые предложили использовать в лазерной среде неорганические активные жидкости. Лазеры на их основе отличаются высокими импульсными энергиями и обеспечивают показатели средней мощности. Жидкостные лазеры на такой активной среде способны генерировать излучение с узким спектром частот.

Еще один вид жидкостных лазеров - устройства, работающие на растворах органических красителей, отличающихся широкими спектральными линиями люминесценции. Такой лазер способен обеспечить непрерывную перестройку длин излучаемых волн света в широком диапазоне. При замене красителей обеспечивается перекрытие всего видимого спектра и части инфракрасного. Источником накачки в таких устройствах являются, как правило, твердотельные лазеры, но возможно использование газосветных ламп, обеспечивающих короткие вспышки белого света (менее 50 мксек).

Газовые лазеры

Существует много разновидностей. Одна из них - фотодиссоционный лазер. В нем применяется газ, молекулы которого под влиянием оптической накачки диссоциируют

(распадаются) на две части, одна из которых оказывается в возбужденном состоянии и используется для лазерного излучения.

Большую группу газовых лазеров составляют газоразрядные лазеры, в которых активной средой является разреженный газ (давление 1-10 мм рт. ст.), а накачка осуществляется электрическим разрядом, который может быть тлеющим или дуговым и создается постоянным током или переменным током высокой частоты (10-50 МГц).

Существует несколько типов газоразрядных лазеров. В ионных лазерах излучение получается за счет переходов электронов между энергетическими уровнями ионов. Примером служит аргоновый лазер, в котором используется дуговой разряд постоянного тока.

Лазеры на атомных переходах генерируют за счет переходов электронов между энергетическими уровнями атомов. Эти лазеры дают излучение с длиной волны 0,4-100 мкм. Пример - гелий-неоновый лазер, работающий на смеси гелия и неона под давлением около 1 мм рт. ст. Для накачки служит тлеющий разряд, создаваемый постоянным напряжением примерно 1000 В.

К газоразрядным относятся также молекулярные лазеры, в которых излучение возникает от переходов электронов между энергетическими уровнями молекул. Эти лазеры имеют широкий диапазон частот, соответствующий длинам волн от 0,2 до 50 мкм.

Наиболее распространен из молекулярных лазер на диоксиде углерода (CO₂-лазер). Он может давать мощность до 10 кВт и имеет довольно высокий КПД - около 40%. К основному углекислому газу обычно ещё добавляют примеси азота, гелия и других газов. Для накачки применяют тлеющий разряд постоянного тока или высокочастотный. Лазер на диоксиде углерода создает излучение с длиной волны около 10 мкм.

Разновидность CO₂-лазеров - газодинамические. В них инверсная населенность, необходимая для лазерного излучения, достигается за счет того, что газ, предварительно нагретый до 1500 К при давлении 20-30 атм, поступает в рабочую камеру, где он расширяется, а его температура и давление резко снижаются. Такие лазеры могут дать непрерывное излучение мощностью до 100 кВт.

К молекулярным относятся так называемые эксимерные лазеры, у которых рабочей средой является инертный газ (аргон, ксенон, криптон и др.), либо его соединение с хлором или фтором. В таких лазерах накачка осуществляется не электрическим разрядом, а потоком так называемых быстрых электронов (с энергией в сотни кэВ). Излучаемая волна получается наиболее короткой, например, у лазера на аргоне 0,126 мкм.

Большие мощности излучения можно получить, если повысить давление газа и применить накачку с помощью ионизирующего излучения в сочетании с внешним

электрическим полем. Ионизирующим излучением служит поток быстрых электронов либо ультрафиолетовое излучение. Такие лазеры называются электроионизационными или лазерами на сжатом газе.

Возбужденные молекулы газа за счет энергии химических реакций получают в химических лазерах. Здесь используются смеси некоторых химически активных газов (фтор, хлор, водород, хлористый водород и др.). Химические реакции в таких лазерах должны протекать очень быстро. Для ускорения применяются специальные химические агенты, которые получают при диссоциации молекул газа под действием оптического излучения, или электрического разряда, или электронного пучка. Примером химического лазера может служить лазер на смеси фтора, водорода и углекислого газа.

Особый тип лазера - плазменный лазер. В нем активной средой служит высокоионизированная плазма паров щелочноземельных металлов (магний, барий, стронций, кальций). Для ионизации применяют импульсы тока силой до 300 А при напряжении до 20 кВ. Длительность импульсов 0,1-1,0 мкс. Излучение такого лазера имеет длину волны 0,41-0,43 мкм, но может также быть в ультрафиолетовой области.

Полупроводниковые лазеры

Хотя полупроводниковые лазеры и являются твердотельными, их принято выделять в особую группу. В этих лазерах когерентное излучение получается вследствие перехода электронов с нижнего края зоны проводимости на верхний край валентной зоны. Существует два типа полупроводниковых лазеров. Первый имеет пластину беспримесного полупроводника, в котором накачка производится пучком быстрых электронов с энергией 50-100 кэВ. Возможна также оптическая накачка. В качестве полупроводников используются арсенид галлия GaAs, сульфид кадмия CdS или селенид кадмия CdSe. Накачка электронным пучком вызывает сильный нагрев полупроводника, отчего лазерное излучение ухудшается. Поэтому такие лазеры нуждаются в хорошем охлаждении. Например, лазер на арсениде галлия принято охлаждать до температуры 80 К.

Накачка электронным пучком может быть поперечной или продольной. При поперечной накачке две противоположные грани полупроводникового кристалла отполированы и играют роль зеркал оптического резонатора. В случае продольной накачки применяются внешние зеркала. При продольной накачке значительно улучшается охлаждение полупроводника. Пример такого лазера - лазер на сульфиде кадмия, генерирующий излучение с длиной волны 0,49 мкм и имеющий КПД около 25%.

Второй тип полупроводникового лазера - так называемый инжекционный лазер. В нем имеется р-n-переход, образованный двумя вырожденными примесными полупроводниками, у которых концентрация донорных и акцепторных примесей

составляет 1018-1019 см⁻³. Грани, перпендикулярные плоскости р-п-перехода, отполированы и служат в качестве зеркал оптического резонатора. На такой лазер подается прямое напряжение, под действием которого понижается потенциальный барьер в р-п-переходе и происходит инжекция электронов и дырок. В области перехода начинается интенсивная рекомбинация носителей заряда, при которой электроны переходят из зоны проводимости в валентную зону и возникает лазерное излучение. Для инжекционных лазеров применяют главным образом арсенид галлия. Излучение имеет длину волны 0,8-0,9 мкм, КПД довольно высок - 50-60%.

Миниатюрные инжекционные лазеры с линейными размерами полупроводников около 1 мм дают мощность излучения в непрерывном режиме до 10 мВт, а в импульсном режиме могут иметь мощность до 100 Вт. Получение больших мощностей требует сильного охлаждения.

Следует отметить, что в устройстве лазеров имеется много различных особенностей. Оптический резонатор лишь в простейшем случае составлен из двух плоскопараллельных зеркал. Применяются и более сложные конструкции резонаторов, с другой формой зеркал.

В состав многих лазеров входят дополнительные устройства для управления излучением, расположенные либо внутри резонатора, либо вне его. С помощью этих устройств отклоняется и фокусируется лазерный луч, изменяются различные параметры излучения. Длина волны у разных лазеров может составлять 0,1-100 мкм. При импульсном излучении длительность импульсов бывает в пределах от 10⁻³ до 10⁻¹² с. Импульсы могут быть одиночными или следовать с частотой повторения до нескольких гигагерц. Достижимая мощность составляет 10⁹ Вт для наносекундных импульсов и 10¹² Вт для сверхкоротких пикосекундных импульсов.

Лазеры на красителях

Лазеры, использующие в качестве лазерного материала органические красители, обычно в форме жидкого раствора. Они принесли революцию в лазерную спектроскопию и стали родоначальником нового типа лазеров с длительностью импульса менее пикосекунды (Лазеры сверхкоротких импульсов).

В качестве накачки сегодня обычно применяют другой лазер, например Nd: YAG с диодной накачкой, или Аргоновый лазер. Очень редко можно встретить лазер на красителях с накачкой лампой-вспышкой. Основная особенность лазеров на красителях - очень большая ширина контура усиления. Ниже приведена таблица параметров некоторых лазеров на красителях.

Существует две возможности использовать такую большую рабочую область лазера:

перестройка длины волны на которой происходит генерация -> лазерная спектроскопия,

генерация сразу в широком диапазоне -> генерация сверх коротких импульсов.

В соответствии с этими двумя возможностями различаются и конструкции лазеров. Если для перестройки длины волны используется обычная схема, только добавляются дополнительные блоки для термостабилизации и выделения излучения со строго определённой длиной волны (обычно призма, дифракционная решётка, или более сложные схемы), то для генерации сверх коротких импульсов требуется уже гораздо более сложная установка. Изменяется конструкция кюветы с активной средой. Из-за того, что длительность импульса лазера в конечном итоге составляет $100 \div 30 \cdot 10^{-15}$ (свет в вакууме успеваает пройти лишь $30 \div 10$ мкм за это время), инверсия населённости должна быть максимальна, этого можно добиться только очень быстрой прокачкой раствора красителя. Для того чтобы это осуществить применяют специальную конструкцию кюветы со свободной струёй красителя (краситель прокачивается из специального сопла со скоростью порядка 10 м/с). Наиболее короткие импульсы получаются при использовании кольцевого резонатора.

Лазер на свободных электронах

Вид лазера, излучение в котором генерируется моноэнергетическим пучком электронов, распространяющимся в ондуляторе - периодической системе отклоняющих (электрических или магнитных) полей. Электроны, совершая периодические колебания, излучают фотоны, энергия которых зависит от энергии электронов и параметров ондулятора.

В отличие от газовых, жидкостных или твердотельных лазеров, где электроны возбуждаются в связанных атомных или молекулярных состояниях - у FEL источником излучения является пучок электронов в вакууме, проходящий сквозь ряд расположенных специальным образом магнитов - ондулятор (вигглер), заставляющий пучок двигаться по синусоидальной траектории, теряя энергию, которая преобразуется в поток фотонов. В результате вырабатывается мягкое рентгеновское излучение, применяемое, например, для исследования кристаллов и других наноструктур.

Меняя энергию электронного пучка, а также параметры ондулятора (силу магнитного поля и расстояние между магнитами), можно в широких пределах менять частоту лазерного излучения, вырабатываемого FEL, что является главным отличием FEL от лазеров других систем. Излучение, получаемое с помощью FEL, применяется для изучения нанометровых структур - есть опыт получения изображений частиц размером всего 100 нанометров (этот результат был достигнут с помощью рентгеновской

микроскопии с разрешением около 5 нм). Проект первого лазера на свободных электронах был опубликован в 1971 году Джоном М. Дж. Мэйди в рамках своего PhD-проекта в Стэнфордском университете. В 1976 году Мэйди и его коллеги продемонстрировали первые опыты с FEL, используя электроны с энергией 24 МэВ и 5-метровый вигглер для усиления излучения.

Мощность лазера составляла 300 мВт, а эффективность всего 0,01 %, но была показана работоспособность такого класса устройств, что привело к огромному интересу и резкому увеличению количества разработок в области FEL.

Порядок выполнения работы

1. Начертить схему лазера и записать принцип его работы.
2. Изучить виды и характеристики лазеров и заполнить таблицу 1.

Таблица 1

Вид лазеров	Рабочее тело	Характеристики	Применение

3. Сделать вывод к работе.

Контрольное задание

1. Что такое лазер?
2. Какие основные области применения лазеров?

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям, приведенным выше.

«Регистрирование ядерных излучений с помощью счетчика Гейгера»

Цель работы: ознакомиться с устройством, принципом работы счетчика Гейгера и методикой измерения радиоактивного излучения.

Оборудование: счетчик Гейгера – Мюллера.

Теоретическая часть

Космические лучи – это поток частиц, приходящих на Землю из межзвездного пространства. Первичные космические лучи состоят главным образом (на 90 %) из протонов, α -частиц и более тяжелых ядер. Основная доля первичного излучения имеет энергию до 10^{10} эВ, но встречаются также частицы со значительно большей энергией (до 10^{20} эВ). В результате взаимодействия первичных космических лучей с ядрами газов атмосферы появляются новые (вторичные) частицы – мезоны различных сортов, распад которых приводит к появлению электронов, позитронов и фотонов большой энергии. Таким образом, вторичные космические лучи, наблюдаемые на высоте до 10 км, совершенно не похожи по своему составу на первичные космические лучи. Космические лучи, приходящие в низшие слои атмосферы, принято делить на мягкую и жесткую компоненты.

Мягкая компонента состоит из электронов, протонов и γ -квантов, которые сильно поглощаются в веществе. Поглощение частиц мягкой компоненты существенным образом зависит от порядкового номера z вещества. Частицы мягкой компоненты целиком поглощаются десятисантиметровым слоем свинца.

Жесткая компонента состоит из μ -мезонов, которые слабо поглощаются веществом, причем приблизительно одинаково веществами с разными z . Столь большое различие проникающей способности частиц обоих компонент объясняется тем, что электроны и позитроны мягкой компоненты при взаимодействии с веществом тратят большую часть своей энергии на излучение, а потери μ -мезонов на излучение сравнительно малы.

Принцип расчета счетчика. Устройство.

Счетчик представляет собой газоразрядный промежуток с сильно неоднородным электрическим полем. Чаще всего применяются счетчики с коаксиально расположенными электродами: внешний цилиндр – катод, тонкая нить, натянутая вдоль его оси, – анод. Электроды располагаются в герметически замкнутом резервуаре, наполненном каким-либо газом (гелием, аргоном) под давлением порядка сотен мм рт. ст.

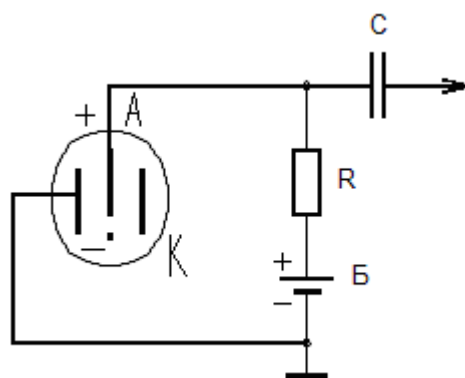


Рис. 1

Схема включения счетчика приведена на рис.1. Напряжение между собирающим электродом и анодом счетчика подается от высоковольтного источника. Конденсатор C разделяет цепь питания и входную цепь. Сопротивление R ограничивает ток через счетчик в момент разряда. Импульсы напряжения пересчитываются частотомером в автоматическом режиме.

Количественно правильная регистрация может производиться счетчиком после исследования его счетной характеристики, которая дает зависимость скорости счета от приложенного напряжения при постоянной интенсивности ионизирующего излучения.

Методика обработки результатов измерения

В физике часто приходится встречаться с измерениями, результаты которых представляются в виде целых чисел. Например, через счетчик Гейгера за время измерения проходит не очень большое и при этом целое число частиц. Статистические закономерности, которые имеют место в этом случае, несколько отличаются от правил обработки полученных результатов и вычисления погрешностей при непрерывном изменении переменной величины.

Рассмотрим счетчик, регистрирующий космические частицы. В то время как число отсчетов счетчика за любой промежуток времени является целым числом, интенсивность космического излучения целым числом не выражается. Если счетчик исправен, то в числе частиц, зарегистрированных счетчиком, например за 10 с, погрешности не будет. Тем не менее, если будем повторять эксперимент, то обязательно получим различные значения числа частиц M . Причиной различия являются характерные свойства процесса образования космических частиц, а не погрешности в работе счетчика. Появление каждой частицы в некотором временном интервале связано с определенной

вероятностью. Знание этой вероятности позволило бы рассчитать ожидаемое среднее число частиц, проходящих через счетчик за 10 секунд.

Если эксперимент повторяется много раз, то распределение числа частиц M , наблюдаемых в этом интервале, не отличается от функции, называемой распределением Пуассона, т. е.

$$R_{\lambda}(M) = e^{-\lambda} \cdot \frac{\lambda^M}{M!}, \quad (1)$$

где $P_{\lambda}(M)$ – вероятность появления числа M ; λ – параметр распределения.

Можно показать, что параметр распределения λ – это среднее количество частиц, ожидаемое в случае многократного повторения счетного эксперимента, т. е. $\lambda = M$.

Интересным свойством распределения Пуассона является то, что параметр распределения λ связан со средним стандартным отклонением соотношением $S = \sqrt{\lambda}$.

Для определения ожидаемого числа частиц за рассматриваемый промежуток времени P_i надо вероятность появления числа M_i умножить на число временных интервалов (опытов) N :

$$P_i = P_{\lambda}(M_i)N. \quad (2)$$

Распределение Пуассона определено только для положительных значений. На практике оно часто применяется тогда, когда нужно оценить надежность измерений и погрешности в случае наблюдения редких событий.

В качестве конкретного примера распределения Пуассона рассмотрим эксперимент с космическими частицами. Предположим, что число частиц, попадающих в счетчик за данное время, должно быть распределено в соответствии с законом Пуассона.

Выберем N временных интервалов. Измерим с помощью счетчика Гейгера число M -частиц в каждом интервале. Подсчитаем количество интервалов N_i с одинаковым числом M_i и построим таблицу (M_i, N_i, P_i) , расположив M_i в порядке возрастания. Эта таблица может быть использована для построения графика (гистограммы) в координатах (M_i, N_i) , являющегося экспериментальным распределением космических частиц. Определим среднее значение числа частиц за один временной интервал по формуле

$$M = \frac{\sum M_i N_i}{N}, \quad (3)$$

где M является наилучшей оценкой для параметра распределения Пуассона.

Учитывая, что $M = \lambda$, абсолютную погрешность можно определить по формуле

$$S = D\lambda = \sqrt{\lambda} \quad \text{или} \quad DM = \sqrt{M},$$

а относительную $\frac{D\lambda}{\lambda} = \frac{S}{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{\lambda}}$ или $\frac{DM}{M} = \frac{\sqrt{M}}{M} = \frac{1}{\sqrt{M}}$.

Используя $M\Gamma = 1$, по формуле (1) рассчитаем вероятность $P_i(M_i)$ для всех M_i , по формуле (2) найдем ожидаемое число частиц P_i , занесем его в таблицу (M_i, N_i, P_i) . Эти значения P_i можно использовать для построения графика распределения Пуассона в координатах (M_i, P_i) , в виде гладкой кривой. Гистограмма же имеет ступенчатый вид.

Исследование проблемы достоверности гипотез производится с помощью критериев значимости. Наиболее удобным из критериев значимости является так называемый критерий “хи-квадрат”, в котором в качестве меры принимается сумма квадратов отклонений от предлагаемой зависимости, поделенная на число степеней свободы:

$$\chi^2 = \frac{1}{d} \sum a_i \frac{(N_i - P_i)^2}{P_i} \quad \text{– критерий Пирсона, (4)}$$

где d – число степеней свободы, которое определяется из формулы;

$$d = k - 2; \quad k = M_{\max} - M_{\min} + 1. \quad (5)$$

Здесь вычитается число 2 потому, что в распределении Пуассона используются две связи для определения параметра распределения и стандартного отклонения $S = \sqrt{l}$, которые исключаются из общего числа наблюдений K . Отклонение экспериментальных точек от значений принятой гипотезы измеряется в долях стандартной погрешности измерения. Найденное значение “хи-квадрат” должно быть сопоставлено с теорией. Для этого следует воспользоваться таблицей приложения, где для различного числа степеней свободы приведены значения вероятностей в процентах. При сравнении отклонений с данными обычно применяют следующую терминологию: если найденная из эксперимента величина “хи-квадрат” такая, что вероятность составляет, например 95 %, то отклонение данных от ожидаемых совершенно не существенно: если 5 %, то ожидаемую гипотезу нельзя исключить, но она ставится под сомнение: если – 0,1 %, то можно утверждать, что проверяемая гипотеза, возможно, является ошибочной (отклонения являются “высоко значимыми”). Вероятность от 1 до 5 % называют “почти значимыми”. При вероятности больше 5 % следует считать, что экспериментальные данные недостаточны для того, чтобы отвергнуть гипотезу. В этом заключается краткое изложение метода обработки результатов наблюдений.

Порядок выполнения работы

1. Начертите схему включения счетчика Гейгера и объясните принцип ее работы.

2. Опишите характер распределения космических частиц в верхних слоях атмосферы.
3. Покажите, используя таблицу "хи-квадрат", подтверждают ли проведенные измерения предполагаемое распределение космических частиц.
4. Напишите формулы для вычисления: распределения Пуассона; дисперсии для распределения Пуассона; критерия Пирсона "хи-квадрат".
5. Сделайте вывод к работе.

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям, приведенным выше.

Практическая работа № 18

«Изучение треков заряженных частиц по готовым фотографиям»

Цель работы: познакомиться с методом вычисления отношения заряда к массе частицы (удельного заряда) по фотографии ее трека в камере Вильсона, помещённой в магнитное поле.

Оборудование: фотография треков заряженных частиц в камере Вильсона, помещённой в магнитное поле, линейка измерительная, лист кальки.

Теоретическая часть

Работа проводится с готовой фотографией треков заряженных частиц (см. фото 1 – приложение 1).

Трек I принадлежит протону, остальные треки – неизвестным частицам, которые необходимо идентифицировать. Линии индукции магнитного поля перпендикулярны плоскости фотографии. Начальные скорости обеих частиц одинаковы и перпендикулярны краю фотографии.

Идентификация неизвестной частицы осуществляется путём сравнения её удельного заряда с удельным зарядом протона. Это осуществляется путём измерения радиусов треков частиц на начальных участках треков: 1) вычерчивают две хорды (рис.1) и восставляют к этим хордам в их серединах перпендикуляры, на пересечении которых, лежит центр окружности; её радиус на начальном участке трека измеряют линейкой (рис. 2)

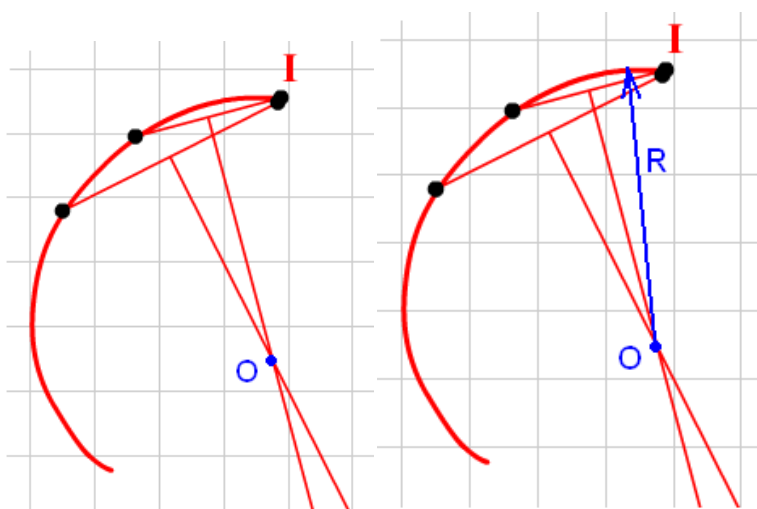


рис.1

рис. 2

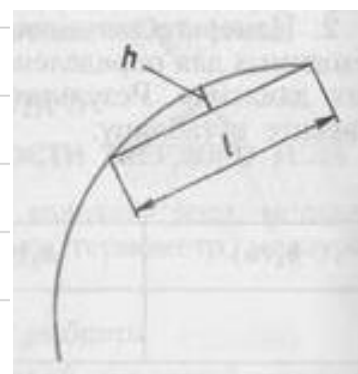


рис.3

2) вычерчивают хорду длиной l на начальном участке трека и восстанавливают в её середину с внутренней поверхности дуги окружности перпендикуляр h (см. рис. 3); радиус окружности на начальном участке трека вычисляют по формуле:

$$R = \frac{l^2 + 4h^2}{8h}.$$

Порядок выполнения работы

1. Решить задачу: в поперечное однородное магнитное поле с одной и той же скоростью в одном и том же направлении влетают две заряженные частицы; чему равно отношение удельных зарядов этих частиц, если радиусы кривизны их траекторий оказались равными R_1 и R_2 .

2. Перенести на кальку треки частиц с фотографии. Трек I принадлежит протону. Измерить радиусы кривизны треков заряженных частиц, скопированных на кальку, на их начальных участках. Для измерения радиуса выбрать один из двух способов описанных в теории и методе выполнения работы.

3. Сравнить удельные заряды неизвестной частицы и протона. Идентифицировать частицу по результатам измерений и вычислений, используя справочный материал (таблица 1).

Таблица 1

Название частицы	электрон	протон	α - частица	тритон
$\frac{q}{m}$ Кл/кг	$-1,76 \cdot 10^{11}$	$9,56 \cdot 10^7$	$4,82 \cdot 10^7$	$3,19 \cdot 10^7$

4. Результаты вычислений и измерений запишите в таблице 2.

Таблица 2

Радиус I трека (протона)	$R_{1 \text{ изм}} = \quad \text{мм}$
Абсолютная погрешность (цена деления линейки)	$\Delta R = \quad \text{мм}$
Радиус I трека (протона) с погрешностью	$R_1 = (R_{1 \text{ изм}} \pm \Delta R) = (\quad \pm \quad) \text{мм}$
Абсолютная погрешность	$\Delta \frac{q_1}{m_1} = 0,005 \cdot 10^7 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$
Радиус II трека (неизвестной частицы)	$R_{2 \text{ изм}} = \quad \text{мм}$
Абсолютная погрешность (цена деления линейки)	$\Delta R = \quad \text{мм}$
Радиус II трека (протона) с погрешностью	$R_2 = (R_{2 \text{ изм}} \pm \Delta R) = (\quad \pm \quad) \text{мм}$

Удельный заряд неизвестной частицы	$\Delta\left(\frac{q_2}{m_2}\right)_{\text{расч}} = \frac{q_1}{m_1} \cdot \frac{R_{1\text{ИЗМ}}}{R_{2\text{ИЗМ}}} = \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$
Относительная погрешность	$\varepsilon = \frac{\Delta\frac{q_1}{m_1}}{\frac{q_1}{m_1}} + \frac{\Delta R}{R_1} + \frac{\Delta R}{R_2} =$
Абсолютная погрешность	$\Delta\frac{q_2}{m_2} = \left(\frac{q_2}{m_2}\right)_{\text{расч}} \cdot \varepsilon = \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$
Удельный заряд неизвестной частицы	$\frac{q_2}{m_2} = \left(\left(\frac{q_2}{m_2}\right)_{\text{расч}} \pm \Delta\frac{q_2}{m_2}\right) = \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$
Идентификация неизвестной частицы	
Числовая ось	

5. Напишите вывод к работе.

Контрольное задание

- Почему к концу пробега в камере Вильсона трек частиц становится толще?
- Как зависит кривизна траектории заряженной частицы в магнитном поле от:
 - ее заряда;
 - скорости движения;
 - индукции магнитного поля?

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям, приведенным выше.

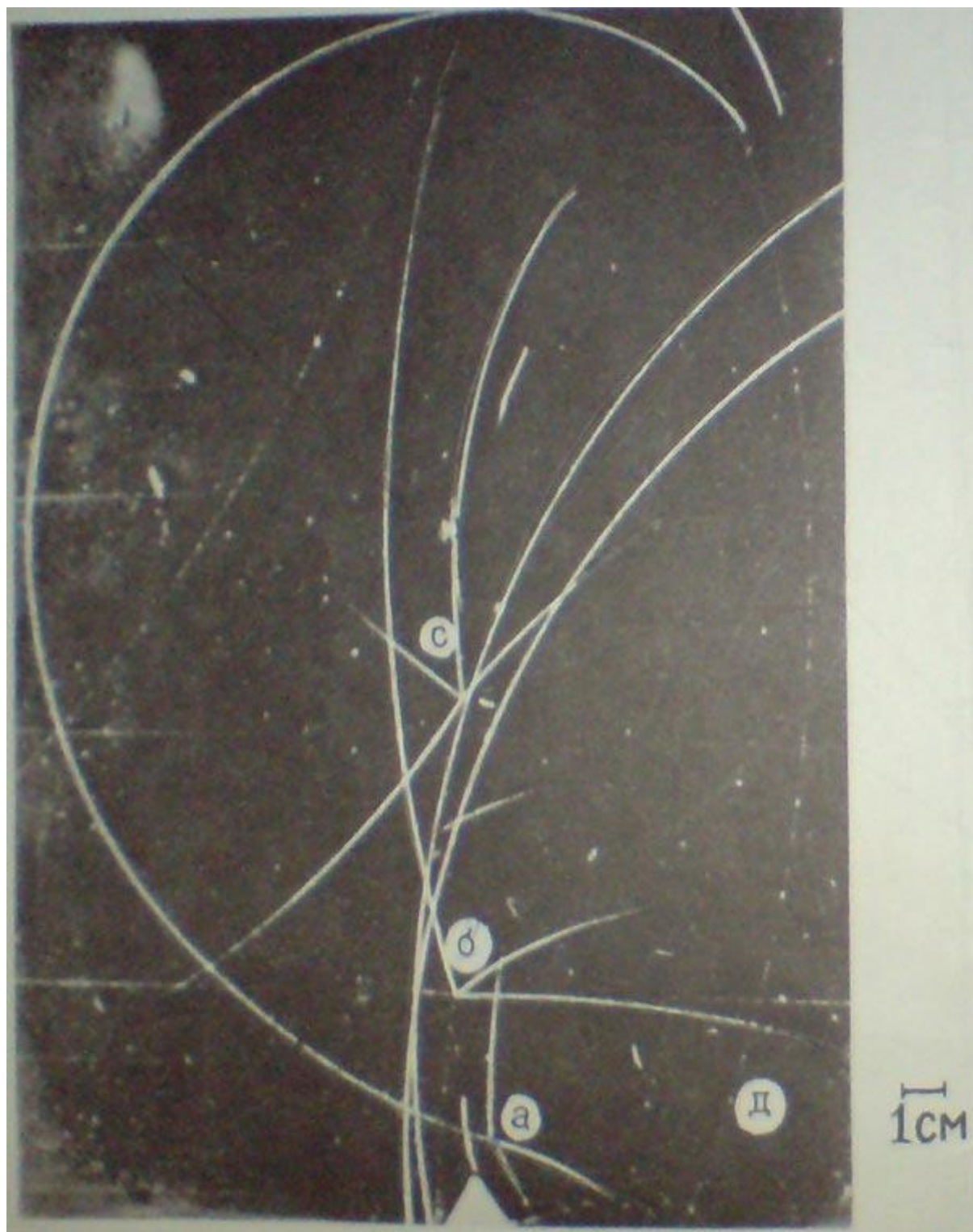


фото 1

Практическая работа № 19

«Определение продуктов ядерной реакции»

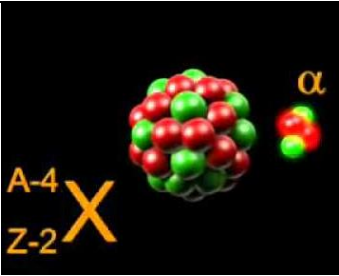
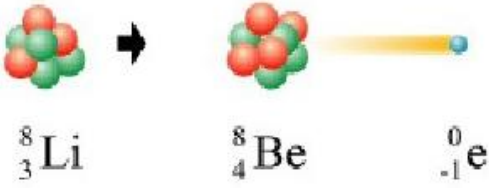
Цель работы: используя ПСХЭ Д. И. Менделеева, определить продукты ядерной реакции.

Оборудование: периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева.

Теоретическая часть

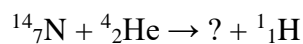
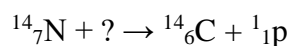
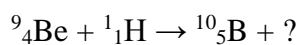
Ядерная реакция — процесс образования новых ядер или частиц при столкновениях ядер или частиц. Впервые ядерную реакцию наблюдал Резерфорд в 1919 году, бомбардируя α -частицами ядра атомов азота, она была зафиксирована по появлению вторичных ионизирующих частиц, имеющих пробег в газе больше пробега α -частиц и идентифицированных как протоны. Впоследствии с помощью камеры Вильсона были получены фотографии этого процесса.

Ядерных реакций с этого времени осуществлено великое множество. Отметим лишь важнейшие типы:

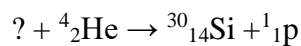
<p>α - распад</p>	${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 \text{He}$	
<p>β - распад</p>	${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + {}^0_{-1} e$	
<p>γ - распад</p>	${}^{24}_{11} \text{Na} \rightarrow {}^{24}_{12} \text{Mg} + {}^0_{-1} e + \gamma$ <p>у γ-кванта нет m, нет q</p>	
<p>Реакция термоядерного синтеза</p>	${}^2_1 \text{H} + {}^3_1 \text{H} \rightarrow {}^4_2 \text{He} + {}^1_0 n$	

Порядок выполнения работы

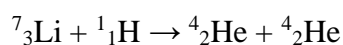
1. Используя данные периодической системы химических элементов Д.И.Менделеева, определить продукты ядерных реакций:



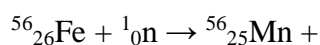
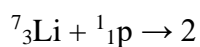
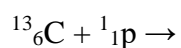
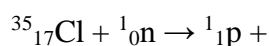
${}^{27}_{13}\text{Al} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{30}_{15}\text{P} + ?$ (1934 г. Ирен Кюри и Фредерик Жолио-Кюри получили радиоактивный изотоп фосфора)



2. Объясните, почему образовавшиеся ядра гелия разлетаются в противоположные стороны?



3. Закончите уравнение ядерных реакций:

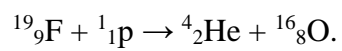
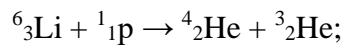


4. Напишите уравнения следующих ядерных реакций:

1) фосфор (${}^{31}_{15}\text{P}$) захватывает нейтрон и испускает протон;

2) алюминий (${}^{27}_{13}\text{Al}$) бомбардируется протонами и испускает α -частицу.

5. Определите энергетический выход реакций:



5. Напишите вывод к работе.

Контрольное задание

1. Назовите основные виды ядерных реакций.
2. Что такое энергия связи? Напишите формулу ее расчета.
3. Что такое дефект масс?

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям, приведенным выше.

Практическая работа № 20
«Расчет энергии связи атомных ядер»

Цель работы: вычислить энергию связи атомных ядер.

Оборудование: ПСХЭ Д.И.Менделеева.

Теоретическая часть

Для того, чтобы атомные ядра были устойчивыми, протоны и нейтроны должны удерживаться внутри ядер огромными силами, во много раз превосходящими силы кулоновского отталкивания протонов. Силы, удерживающие нуклоны в ядре, называются *ядерными*. Они представляют собой проявление самого интенсивного из всех известных в физике видов взаимодействия – так называемого сильного взаимодействия. Ядерные силы примерно в 100 раз превосходят электростатические силы и на десятки порядков превосходят силы гравитационного взаимодействия нуклонов. Важной особенностью ядерных сил является их короткодействующий характер. Ядерные силы заметно проявляются, как показали опыты Резерфорда по рассеянию α -частиц, лишь на расстояниях порядка размеров ядра (10^{-12} – 10^{-13} см). На больших расстояниях проявляется действие сравнительно медленно убывающих кулоновских сил.

На основании опытных данных можно заключить, что протоны и нейтроны в ядре в отношении сильного взаимодействия ведут себя одинаково, т. е. ядерные силы не зависят от наличия или отсутствия у частиц электрического заряда.

Важнейшую роль в ядерной физике играет понятие *энергии связи ядра*.

Энергия связи ядра равна минимальной энергии, которую необходимо затратить для полного расщепления ядра на отдельные частицы. Из закона сохранения энергии следует, что энергия связи равна той энергии, которая выделяется при образовании ядра из отдельных частиц.

Энергию связи любого ядра можно определить с помощью точного измерения его массы. В настоящее время физики научились измерять массы частиц – электронов, протонов, нейтронов, ядер и др. – с очень высокой точностью. Эти измерения показывают, что **масса любого ядра $M_{\text{я}}$ всегда меньше суммы масс входящих в его состав протонов и нейтронов:**

$$M_{\text{я}} < Zm_{\text{p}} + Nm_{\text{n}}.$$

Разность масс

$$\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}}.$$

называется *дефектом массы*.

По дефекту массы с помощью формулы Эйнштейна $E = mc^2$ можно определить энергию, выделившуюся при образовании данного ядра, т. е. энергию связи ядра $E_{\text{св}}$:

$$E_{\text{св}} = \Delta Mc^2 = (Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}})c^2.$$

Эта энергия выделяется при образовании ядра в виде излучения γ -квантов.

В качестве примера рассчитаем энергию связи ядра гелия He , в состав которого входят два протона и два нейтрона. Масса ядра гелия $M_{\text{я}} = 4,00260$ а. е. м. Сумма масс двух протонов и двух нейтронов составляет $2m_p + 2m_n = 4,03298$ а. е. м. Следовательно, дефект массы ядра гелия равен $\Delta M = 0,03038$ а. е. м. Расчет по

формуле $E_{\text{св}} = \Delta Mc^2$ приводит к следующему значению энергии связи ядра: $E_{\text{св}} = 28,3$ МэВ. Это огромная величина. Образование всего 1 г гелия сопровождается выделением энергии порядка 10^{12} Дж. Примерно такая же энергия выделяется при сгорании почти целого вагона каменного угля. Энергия связи ядра на много порядков превышает энергию связи электронов с атомом. Для атома водорода например, энергия ионизации равна 13,6 эВ.

В таблицах принято указывать *удельную энергию связи*, т. е. энергию связи на один нуклон. Для ядра гелия удельная энергия связи приблизительно равна 7,1 МэВ/нуклон.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с предоставленными задачами.
2. Оформить данные в тетради и решить задачи, используя следующий алгоритм:
 - 1) оформить данные задачи;
 - 2) записать, что необходимо найти;
 - 3) в решении записать уравнение реакции (если таковая дана);

- 4) используя ПСХЭ Менделеева определить количество протонов и нейтронов у данных химических элементов;
 - 5) записать уравнение дефекта массы, вычислить его;
 - 6) перевести найденный дефект массы из атомных единиц массы в килограммы;
 - 7) записать уравнение для нахождения энергии связи атомного ядра, вычислить ее;
 - 8) перевести найденную энергию связи из джоулей в электрон-вольты;
 - 9) записать ответ к задаче.
3. Написать вывод к работе.

Контрольное задание

1. Что такое дефект массы атомного ядра? Почему реальное значение (практическое) массы ядра атома меньше рассчитываемого?
2. Что такое энергия связи (энергия расщепления) атомного ядра?

Отчет по выполнению работы оформляется согласно методическим указаниям, приведенным выше.