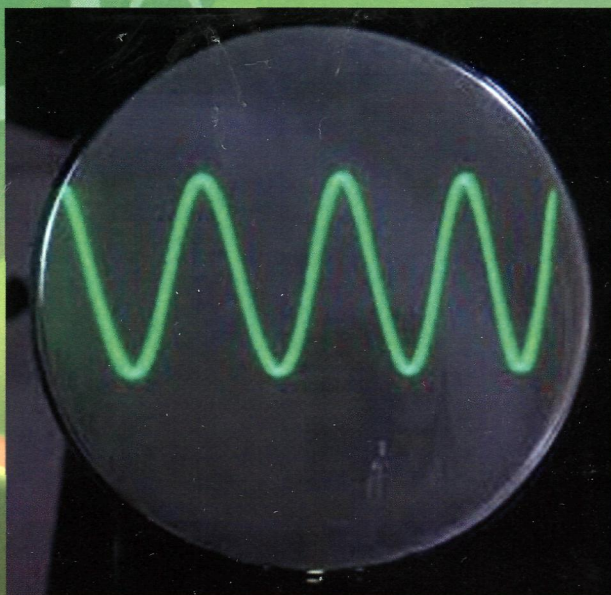
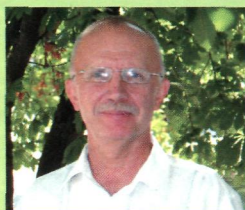


А.Ф. Волков, Т.П. Лумпиева

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ





Волков Александр Федорович в 1975 году окончил факультет экспериментальной и теоретической физики Московского инженерно-физического института по специальности «Физика твердого тела». Профессор кафедры физики Донецкого национального технического университета. Член-корреспондент Инженерной академии Украины. Опубликовано более 100 научных, научно-методических и методических работ.



Лумпиева Таисия Петровна в 1977 году с отличием окончила физико-математический факультет Карельского государственного педагогического института по специальности «Физика». Доцент кафедры физики Донецкого национального технического университета. Опубликовано более 70 научных, научно-методических и методических работ.

Эксперимент - неотъемлемая основа любого прогресса наук, эксперимент, из которого мы всегда исходим и к которому мы всегда возвращаемся - лишь он один может служить нам источником знаний о реальных фактах, которые стоят выше любой теоретической концепции, либо предвзятой теории.

*Луи де Бройль,
лауреат Нобелевской премии 1929 года*

Ни учебник, ни учитель недостаточны, чтобы научить физике. Учащийся должен хоть немного работать опытно сам. Он должен хоть поверхностно, но сам видеть, сам слышать, сам осязать те явления, о которых ему говорят.

*Л.И. Мандельштам,
академик*

А.Ф. Волков, Т.П. Лумпиева

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

Рекомендовано Ученым Советом Донецкого
национального технического университета
в качестве учебного пособия для студентов
инженерно-технических специальностей

Донецк
Издательство ДонНТУ
2011

ББК 22.3я7
В 67
УДК 53(071)

*Гриф надано Вченою Радою Донецького
національного технічного університету,
протокол № 5 від 18.06.2010 р.*

Рецензенти:

В.Д. Александров, доктор химических наук, кандидат физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики и физического материаловедения Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, академик Академии наук высшего образования Украины.

А.Г. Петренко, доктор физико-математических наук, профессор кафедры нанофизики Донецкого национального университета, член-корреспондент Академии технологических наук Украины.

Волков А.Ф., Лумпиева Т.П.

В 67 Лабораторный практикум по физике. Учебное пособие для студентов инженерно-технических специальностей высших учебных заведений.– Донецк: ДонНТУ, 2011. – 389 с.

Учебное пособие содержит описания лабораторных работ по физике. Предназначено для студентов инженерно-технических и технологических специальностей Донецкого национального технического университета.

Лабораторный практикум охватывает все разделы курса физики, предусмотренные программой: механика, молекулярная физика, электростатика, постоянный ток, электромагнетизм, колебания и волны, оптика, физика твердого тела и физика атомного ядра.

Пособие имеет вводный раздел, который знакомит с правилами выполнения и оформления лабораторных работ, методами расчета погрешностей, правилами построения графиков, с простейшими измерительными инструментами и электроизмерительными приборами, а также с техникой безопасности при работе с электрооборудованием.

В книгу включен справочный материал. В приложение вынесено краткое описание используемых в практикуме приборов. Эти сведения позволяют студентам, еще не подготовленным к чтению специальной литературы, сознательно пользоваться современными приборами.

Табл. 141, ил. 153.

© Волков А.Ф., Лумпиева Т.П., 2011

© Донецкий национальный технический университет, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	8
Раздел 1. ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ	9
1.1. Некоторые советы и указания по выполнению лабораторных работ	9
1.2. Представление результатов измерений	10
1.2.1. Составление таблиц. Расчеты	10
1.2.2. Построение графиков	11
1.2.3. Оформление отчетов	13
1.2.4. Вычисление погрешностей	14
1.2.4.1. Погрешность прямых измерений	16
1.2.4.2. Погрешность косвенных измерений	17
1.3. Измерительные инструменты	18
1.4. Электрические измерения	20
1.4.1. Электроизмерительные приборы	20
1.4.2. Основные характеристики электроизмерительных приборов	23
1.5. Основные правила безопасной эксплуатации электрических установок	24
1.5.1. Основные положения	24
1.5.2. Опасность поражения электрическим током	25
1.5.3. Действие электрического тока на организм человека. Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током	25
1.5.4. Меры безопасности при эксплуатации приборов и аппаратов	27
1.5.5. Первая доврачебная помощь пострадавшим от действия электрического тока	28
Раздел 2. ОПИСАНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	29
Механика	
Лабораторная работа № 3. Определение плотности твердых тел	30
Лабораторная работа № 4. Измерение коэффициента трения скольжения	35
Лабораторная работа № 5. Изучение законов кинематики и динамики поступательного движения на машине Атвуда	40
Лабораторная работа № 6. Изучение вращательного движения на маятнике Обербека	45
Лабораторная работа № 7. Изучение законов вращательного движения на маятнике Обербека	50
Лабораторная работа № 8. Упругий центральный удар шаров	55
Лабораторная работа № 9. Определение мощности электродвигателя методом ленточного тормоза	60
Лабораторная работа № 10. Изучение деформации растяжения	64
Лабораторная работа № 23. Измерение коэффициента трения скольжения	69

Молекулярная физика

Лабораторная работа № 11. Определение среднего коэффициента линейного расширения методом Д.И. Менделеева	74
Лабораторная работа № 12. Определение молярной газовой постоянной методом откачки	78
Лабораторная работа № 14. Определение удельной теплоты плавления олова	81
Лабораторная работа № 15. Определение отношения молярных теплоемкостей воздуха	86
Лабораторная работа № 17. Определение вязкости жидкости методом падающего шарика	91
Лабораторная работа № 19. Изучение зависимости коэффициента поверхностного натяжения раствора от его концентрации методом максимального давления в пузырьке	95
Лабораторная работа № 20. Определение коэффициента внутреннего трения и средней длины свободного пробега молекул воздуха	100

Электростатика и постоянный ток

Лабораторная работа № 41. Изучение электростатического поля	105
Лабораторная работа № 42. Определение электроемкости конденсатора и батареи конденсаторов	111
Лабораторная работа № 43. Измерение удельного сопротивления металлов методом вольтметра и амперметра	115
Лабораторная работа № 44. Измерение сопротивлений при помощи моста постоянного тока	119
Лабораторная работа № 46. Исследование зависимости электрического сопротивления металлов от температуры	123
Лабораторная работа № 49. Исследование зависимости полезной мощности и коэффициента полезного действия источника эдс от силы тока	128
Лабораторная работа № 50. Измерение эдс и внутреннего сопротивления источника постоянного тока	132

Электромагнетизм

Лабораторная работа № 54. Измерение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли и магнитного момента магнита методом Гаусса	136
Лабораторная работа № 55. Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли	142
Лабораторная работа № 57. Исследование зависимости индукции магнитного поля тороида от напряженности намагничивающего поля	146
Лабораторная работа № 58. Измерение индукции магнитного поля в железе по подъемной силе электромагнита	151
Лабораторная работа № 59. Измерение магнитного потока	156
Лабораторная работа № 60. Измерение температуры Кюри ферромагнетика	160
Лабораторная работа № 61. Знакомство с работой электронного осциллографа. Изучение петли магнитного гистерезиса при помощи осциллографа	165
Лабораторная работа № 62. Измерение удельного заряда электрона методом поперечного магнитного поля	172

Колебания и волны

Лабораторная работа № 64. Знакомство с работой электронного осциллографа ..	177
Лабораторная работа № 65. Знакомство с работой электронного осциллографа. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний . .	182
Лабораторная работа № 66. Измерение ускорения свободного падения с помощью физического маятника	187
Лабораторная работа № 67. Определение характеристик затухающих колебаний	191
Лабораторная работа № 68. Измерение скорости звука в воздухе методом интерференции	195
Лабораторная работа № 69. Измерение момента инерции с помощью маятниковых колебаний	199
Лабораторная работа № 70. Изучение затухающих электромагнитных колебаний	203
Лабораторная работа № 71. Исследование аperiodического разряда конденсатора и определение его емкости	208
Лабораторная работа № 72. Вынужденные электромагнитные колебания. Резонанс в колебательном контуре	213

Волновая оптика

Лабораторная работа № 80. Определение шага нарезки лазерного диска	218
Лабораторная работа № 81. Определение силы света электрической лампочки и изучение ее светового поля	223
Лабораторная работа № 82. Определение радиуса кривизны линзы и длины световой волны с помощью колец Ньютона	228
Лабораторная работа № 83. Определение длины световой волны с помощью дифракционной решетки на гониометре	232
Лабораторная работа № 84. Определение длины световой волны с помощью дифракционной решетки на оптической скамье	237
Лабораторная работа № 85. Знакомство с работой сахариметра. Определение концентрации сахарных растворов	242
Лабораторная работа № 86. Изучение дисперсии с помощью гониометра	247
Лабораторная работа № 90. Исследование зависимости показателя преломления газов от давления с помощью газового интерферометра	253

Квантовая оптика

Лабораторная работа № 87. Исследование спектров поглощения и определение теплового эффекта реакции по краю полосы поглощения	259
Лабораторная работа № 88. Знакомство с работой оптического пирометра. Определение постоянной Стефана – Больцмана	264
Лабораторная работа № 89. Определение показателя степени абсолютной температуры в законе Стефана – Больцмана	269
Лабораторная работа № 91. Изучение вакуумных элементов и определение их характеристик	274
Лабораторная работа № 92. Определение постоянной Планка и работы выхода электрона	278
Лабораторная работа № 94. Знакомство с работой универсального монохроматора-спектрометра. Определение длин волн спектральных линий атома водорода	283
Лабораторная работа № 95. Знакомство с работой гелий-неонового лазера и изучение свойств лазерного излучения	289

Лабораторная работа № 97. Снятие вольт-амперной характеристики электровакуумного фотоэлемента и определение работы выхода	294
Лабораторная работа № 109. Изучение спектров излучения атомов с помощью монохроматора-спектрометра и определение постоянной Ридберга	300

Физика твердого тела

Лабораторная работа № 104. Измерение температуры при помощи термопары . .	306
Лабораторная работа № 105. Исследование зависимости сопротивления полупроводников от температуры и определение ширины запрещенной зоны	310
Лабораторная работа № 106. Снятие вольт-амперной характеристики полупроводникового диода	315
Лабораторная работа № 107. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника по фотоэмиссии	320
Лабораторная работа № 108. Исследование фотопроводимости полупроводников	325

Физика атомного ядра

Лабораторная работа № 114. Снятие счетной характеристики счетчика Гейгера .	330
Лабораторная работа № 115. Определение коэффициента ослабления гамма-лучей в веществе	336
Лабораторная работа № 116. Определение концентрации калия в растворах по его естественной радиоактивности	342

Раздел 3. СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ 346

3.1. Некоторые сведения по математике	347
3.2. Основные физические постоянные. Единицы физических величин	353
3.3. Таблицы физических величин	356
3.3.1. Астрономические величины	356
3.3.2. Плотность и модуль упругости твердых тел	356
3.3.3. Тепловые свойства твердых тел	357
3.3.4. Свойства жидкостей при 20°C	357
3.3.5. Свойства газов при 20°C	357
3.3.6. Скорость звука при 20°C	358
3.3.7. Состав сухого атмосферного воздуха	358
3.3.8. Критические параметры и поправки Ван-дер-Ваальса	358
3.3.9. Элементы периодической системы	359
3.3.10. Электрические свойства веществ	360
3.3.11. Удельное электрическое сопротивление ρ_0 и температурный коэффициент сопротивления α некоторых проводников при 0°C	360
3.3.12. Связь между магнитной индукцией B поля в ферромагнетике и напряженностью H намагничивающего поля	361
3.3.13. Показатели преломления	361
3.3.14. Интервалы длин волн и частот и соответствующие им цвета видимой части спектра	362

3.3.15. Шкала электромагнитных волн	362
3.3.16. Длины волн ярких линий в спектре ртутной лампы	363
3.3.17. Длины волн некоторых ярких линий в спектре неона	363
3.3.18. Спектральные линии атома водорода в видимой части спектра	364
3.3.19. Основные физические свойства некоторых полупроводниковых материалов	364
3.3.20. Работа выхода для химически чистых элементов и элементов, покрытых слоем адсорбата	365
3.3.21. Зависимость удельной энергии связи от массового числа	366
3.3.22. Зависимость линейного коэффициента ослабления от энергии падающих фотонов для некоторых материалов	366
3.3.23. Основные свойства некоторых изотопов	367
ПРИЛОЖЕНИЯ	371
Приложение А. Образец оформления лабораторной работы	371
Приложение Б. Краткое описание основных приборов	381
Приложение В. Периодическая система химических элементов Д.И.Менделеева	388
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	389

ПРЕДИСЛОВИЕ

Преподавание физики, в котором эксперимент не составляет основы и краеугольного камня всего изложения, должно быть признано бесполезным и даже вредным.

О.Д. Хвольсон

В предлагаемом учебном пособии обобщен многолетний опыт работы коллектива кафедры физики Донецкого национального технического университета по созданию и модернизации лабораторного практикума по физике. Представленные в пособии описания лабораторных работ соответствуют программе курса физики для инженерно-технических и технологических специальностей высших учебных заведений.

Прежде, чем приступить к лабораторным работам, необходимо изучить раздел «Введение в физический практикум», в котором рассказывается, как представлять результаты измерений, проводить расчеты, строить графики и оформлять лабораторные работы.

Выполнение лабораторных работ иногда предшествует изложению соответствующего материала на лекциях. Поэтому в начале описания каждой лабораторной работы приведены краткие теоретические сведения, позволяющие самостоятельно подготовиться к ее выполнению. Объем этих сведений определяется тем, насколько подробно изучаемый в практикуме материал излагается в лекционном курсе.

На лабораторные занятия студент приходит, самостоятельно проработав «Общие положения», изложенные в инструкции, а также письменно ответив на блок вопросов «Подготовка к работе». Перед началом работы производится допуск. Каждая работа рассчитана на два часа, и в большинстве случаев она выполняется двумя студентами. После проведения измерений и расчетов необходимо письменно ответить на блок вопросов «Защита работы».

В пособие включен справочный материал, необходимый для выполнения лабораторных работ и обработки результатов измерений, сопоставления экспериментальных данных с табличными. Приведенные таблицы и графики не претендуют на полноту охвата всех справочных сведений по тому или иному разделу курса физики. Из многочисленных сведений отобраны те, которые необходимы при выполнении лабораторных работ практикума и обработки результатов измерений.

В приложения вынесено краткое описание используемых в практикуме приборов. Здесь же находится образец оформления лабораторной работы.

Авторы выражают глубокую благодарность рецензентам: заведующему кафедрой физики и физического материаловедения Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, доктору химических наук, кандидату физико-математических наук, академику Академии наук высшего образования Украины, профессору **В.Д. Александрову**; доктору физико-математических наук, профессору кафедры нанофизики Донецкого национального университета, член-корр. Академии технологических наук Украины **А.Г. Петренко**, а также всему **коллективу кафедры физики** Донецкого национального технического университета за полезные замечания и советы, которые были учтены при подготовке рукописи к печати.

Также выражаем свою искреннюю благодарность и признательность **И.В. Лумпиеву** и **В.А. Фабре** за оформление графического материала книги.

С замечаниями и предложениями по книге к авторам можно обратиться по электронной почте: afv@fizmet.dgtu.donetsk.ua

Раздел 1. ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ

Физика – наука экспериментальная. Это означает, что физические законы устанавливаются и проверяются путем накопления и сопоставления экспериментальных, опытных данных.

Физика – наука количественная. Это означает, что результаты физических экспериментов представляются чаще всего набором некоторых чисел. Выведенные в результате исследований физические законы и закономерности представляются в виде математических формул, связывающих между собой числовые значения физических величин.

Цель физического практикума заключается в том, чтобы научиться правильно измерять числовые значения физических величин и правильно сопоставлять их с формулами.

Цель работающего в физическом практикуме заключается в том, чтобы изучить на опыте основные физические явления, воспроизвести их самому и научиться правильно их анализировать.

1.1. Некоторые советы и указания по выполнению лабораторных работ

1. Извлечь из экспериментальной работы максимальную пользу можно, только относясь к каждой задаче как к небольшой самостоятельной научной работе. Объем навыков и сведений, которые будут получены студентом при выполнении работы, определяется главным образом не описанием, а подходом студента к выполнению работы. Самое ценное, что может дать практикум, – умение применять теоретические знания в экспериментальной работе, умение думать по поводу своих опытов, умение правильно построить эксперимент и избежать ошибок, умение видеть важные и интересные особенности и мелочи, из которых нередко вырастают потом серьезные научные исследования, – все эти навыки студент должен развить в себе сам в процессе упорного, вдумчивого, сознательного, сосредоточенного труда.

2. Приступая к выполнению лабораторной работы, прежде всего, необходимо внимательно изучить общие положения, приведенные в инструкции. Если после этого теория и сущность изучаемого явления остаются недостаточно ясными, то надо обратиться к конспекту лекций или учебнику. Затем необходимо не менее внимательно ознакомиться с приборами, используемыми в работе, т.е. с их устройством, принципом действия, а также с планом проведения измерений, которые предстоит сделать.

Никогда не следует приступать к работе, если в ней что-либо остается неясным. Успешное выполнение лабораторной работы всегда требует значительной доли навыка и умения обращаться с приборами; поэтому очень часто вначале работа кажется очень трудной, отнимает много времени, а результаты измерений часто бывают совершенно ошибочными. Этих обстоятельств не следует бояться, так как умение производить точные и правильные измерения приходит не сразу и требует значительной работы.

3. Особое внимание надо обратить на правильную установку приборов. Эту часть работы надо делать особенно тщательно, так как можно получить

ошибочные результаты измерений, если установка прибора была сделана неправильно. Пример: для того, чтобы получить правильное значение массы тела при взвешивании, необходимо предварительно уравновесить весы.

4. Работу с незнакомыми приборами можно начинать, лишь прочтя до конца инструкции и выяснив все необходимые предосторожности. Не следует вскрывать приборы, прикасаться пальцами к оптическим поверхностям и тонким деталям, переносить с места на место гальванометры и весы в неарретированном состоянии. Нужно выработать в себе умение бережно обращаться с оборудованием.

5. Измерения должны производиться с максимальной точностью. В точности измерений большую роль играет внимание и сосредоточенность экспериментатора, умение выбрать разумный план измерений и спокойно, удобно организовать измерение.

6. Следует всемерно стремиться к аккуратности и полноте записей, делаемых в лаборатории. Записи результатов делаются на отдельном листе, который называется протоколом измерений. В протоколе указывается название работы, дата выполнения работы. Записи измерений лучше всего вести в виде таблиц с указанием единиц измерения величин. Из записи должно быть совершенно ясно, в какой последовательности производились измерения. В протоколе необходимо указывать цену деления используемых приборов.

7. При обработке результатов следует тщательно обдумывать возможные источники ошибок. Промежуточные вычисления должны делаться с точностью, несколько превосходящей точность измерений, чтобы избежать внесения неоправданных ошибок, связанных с вычислениями. При вычислениях обычно сохраняют на один знак больше, чем будет оставлено в окончательном ответе.

8. Сравнивая результаты с данными таблиц, не следует при несовпадении сразу считать свои данные ошибочными. Нужно тщательно продумать методику измерений, стараясь найти причины расхождения, обращаясь к книгам, прибегать к помощи преподавателя. При сдаче работы с «плохими» результатами студент, после обсуждения с преподавателем, часто получает значительно больше пользы, чем при наличии «хороших» результатов.

1.2. Представление результатов измерений

Результаты измерений необходимо записывать и обрабатывать определенным образом. Разумная схема записи предупреждает грубые ошибки при выполнении измерений, экономит время, позволяет по записи быстро понять смысл работы. Также существенным является умение оценивать погрешность измерений.

1.2.1. Составление таблиц. Расчеты

Результаты измерений рекомендуется записывать в таблицы, которые оформляются заранее, накануне выполнения работы. Оформление таблиц выполняется следующим образом:

1. Над таблицей записывается ее номер и название.

2. Каждый столбец (или строка) таблицы должны включать обозначение физической величины и единицу ее измерения. Значения физических величин записывают в тех единицах, в которых производятся измерения.

3. Обычно в первых столбцах записывают величины, играющие роль аргумента (температура, время, и т.д.), а в последующих – играющие роль функции (сопротивление, ускорение и т.д.).

После окончания измерений проводятся расчеты. Для каждой рассчитываемой величины сначала записывается расчетная формула, затем переписывается та же формула с подставленными значениями, и, наконец, приводится результат вычислений. Таким образом, рекомендуется придерживаться схемы: расчетная формула – арифметическое выражение – результат расчета. Данные в расчетные формулы необходимо подставлять в СИ. Сами расчеты выполняются с помощью калькулятора или на компьютере. Окончательный ответ следует записывать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо 3520 надо записать $3,52 \cdot 10^3$, а вместо 0,0000129 записать $1,29 \cdot 10^{-5}$.

1.2.2. Построение графиков

Очень важным методом обработки результатов опыта является представление их в виде графика. Графики дают менее точное, но более наглядное представление о результатах измерений, чем таблицы. По графику, строящемуся непосредственно во время эксперимента, очень удобно следить за его ходом и выявлять промахи. При построении графиков необходимо придерживаться следующих правил:

1. Графики выполняются на миллиметровой бумаге или любой другой бумаге, имеющей координатную сетку, размером не более тетрадного листа.

2. Выбрать масштаб по осям координат. Масштаб выбирают таким образом, чтобы график не был сжат или растянут вдоль одной из осей. Кривые должны занимать все поле чертежа. За единицу масштаба разумно принимать числа, соответствующие 1, 2, 5 единицам откладываемой величины, или кратным и дольным им.

3. По оси ординат откладывают значение функции, по оси абсцисс – значение аргумента. Начало отсчета не обязательно совмещать с нулем. На осях координат наносят метки через равные промежутки. Около осей координат (слева и внизу) необходимо написать обозначения величин и единицы их измерения. **Полученные в эксперименте значения величин откладывать на осях координат нельзя!** Экспериментальные точки наносятся на чертеже в виде условных знаков (точки, кружочки, квадратики, крестики и т.д.).

4. Как правило, зависимости одних физических величин от других – это гладкие, плавные линии, без резких изломов. Экспериментальные точки вследствие погрешностей измерений не ложатся на гладкие кривые зависимостей физических величин, а группируются вокруг них случайным образом. Поэтому **не следует соединять соседние экспериментальные точки на графике отрезками прямой** и получать, таким образом, некоторую ломаную линию. Кривую на графике проводят так, чтобы она лежала как можно ближе к экспери-

ментальным точкам, и чтобы по обе ее стороны оказывалось приблизительно одинаковое количество точек.

5. Гладкие кривые, соответствующие экспериментальным точкам, проводят с помощью линейки или лекала. Если имеется несколько кривых, то каждой кривой присваивается номер, а на свободном поле чертежа указывают название, обозначение, соответствующее этому номеру. Каждый график должен иметь номер и наименование, которое отражает основное содержание графика.

Рассмотрим построение графика на примере исследования зависимости сопротивления металлов от температуры. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1

$t, ^\circ\text{C}$	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$R, \text{Ом}$	100,82	101,10	101,86	101,84	102,42	102,75	102,96	103,43	103,84

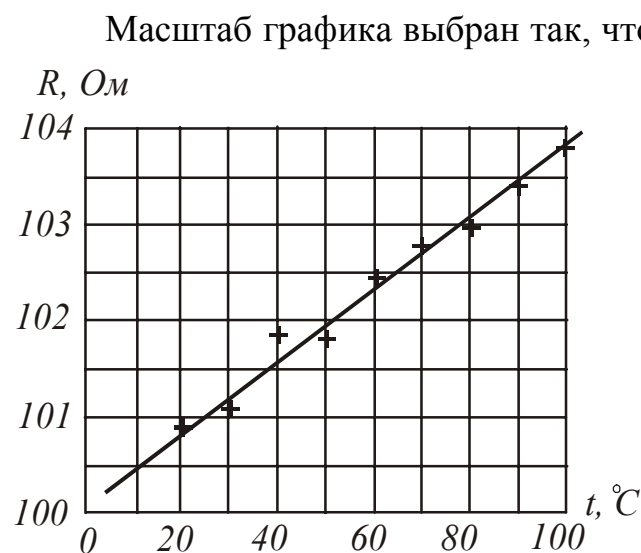


Рисунок 1

Масштаб графика выбран так, чтобы получить примерно равные размеры по длине и высоте. Экспериментальные точки отмечены крестиками (+). Теоретическая зависимость сопротивления металлов от температуры описывается уравнением: $R = R_0(1 + \alpha t)$. Это означает, что график должен иметь вид прямой линии. Рассмотрение результатов показывает, что при температуре 40°C величина сопротивления, по-видимому, измерена неверно. Эту точку следует перемерить. Остальные точки достаточно хорошо ложатся на прямую, изображенную на рис. 1. Прямая проведена так, что она

лежит как можно ближе к точкам, и по обе ее стороны оказалось приблизительно равное их количество. Нельзя точки соединять ломаной линией!

Не всегда теоретическая зависимость имеет вид прямой. Например, зависимость пути S тела, которое движется равноускоренно, от времени t (при условии, что начальная скорость тела $v_0=0$) описывается уравнением:

$$S = \frac{at^2}{2}.$$

Результаты измерений представлены в таблице 2.

Таблица 2

$S, \text{см}$	20	25	30	35	40	45
$t, \text{с}$	2,02	2,20	2,45	2,70	2,87	2,97
$t^2/2, \text{с}^2$	2,04	2,43	3,00	3,65	4,12	4,41

Если изобразить результаты опыта на графике, по осям которого отложены S и t , то точки расположатся вокруг параболы, провести которую на глаз очень трудно. Поэтому лучше по оси абсцисс (оси x) отложить не время t , а $t^2/2$; а по оси ординат (оси y) – путь S . При этом точки расположатся около прямой линии, которую нетрудно провести на глаз с достаточной точностью (рис. 2).

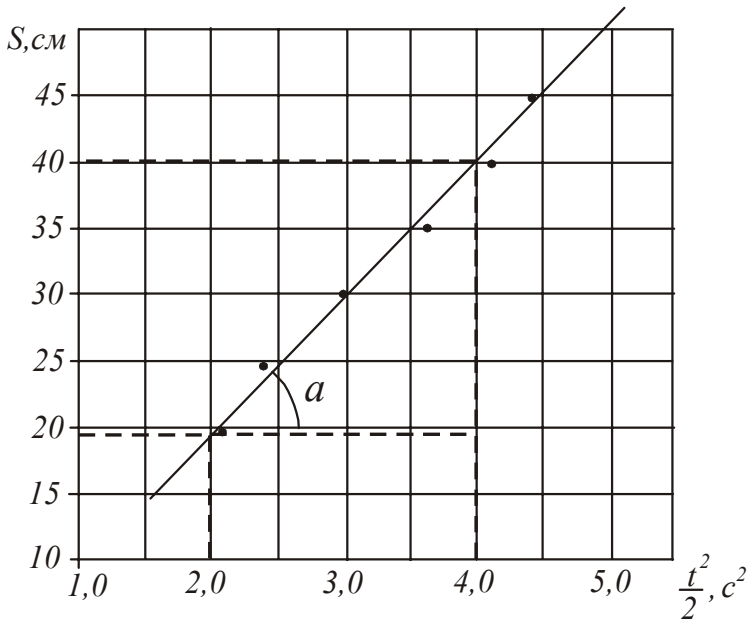


Рисунок 2

Из полученных данных можно определить ускорение a , с которым двигалось тело. Если исходить из формулы $a = \frac{S}{t^2/2}$, то достаточно взять из таблицы любую пару значений S и t . Однако каждое измерение проводилось с какой-то погрешностью, поэтому искомое значение ускорения a должно учитывать не какое-то одно измерение, а всю совокупность данных. Это можно сделать с помощью графика. Как следует из формулы, ускорение численно

равно тангенсу угла наклона прямой. Выберем произвольно на графике значение $t_1^2/2$ и найдем соответствующее ему значение S_1 . Затем также произвольно выбираем $t_2^2/2$ и находим S_2 .

$$a = \operatorname{tg} \alpha = \frac{S_2 - S_1}{\frac{t_2^2}{2} - \frac{t_1^2}{2}}.$$

Для графика, изображенного на рис. 2, $\frac{t_1^2}{2} = 2 \text{ с}^2$, $S_1 = 19 \text{ см}$; $\frac{t_2^2}{2} = 4 \text{ с}^2$, $S_2 = 40 \text{ см}$.

$$a = \frac{40 - 19}{4 - 2} = 10,5 \text{ см/с}^2.$$

Метод определения физических величин по тангенсу угла наклона прямой очень часто используют при проведении экспериментов. Обращаем Ваше внимание на то, что нельзя измерять угол транспортиром, а затем определять тангенс угла, так как в этом случае значение величины будет зависеть от выбранного Вами масштаба.

1.2.3. Оформление отчетов

Правильно оформленная лабораторная работа – это отчет, основу которого составляют три части: конспект, основная и итоговая. В *конспект* входят:

1. Титульный лист, на котором указывается название лабораторной работы, фамилия и группа студента и т.д.

2. Текст инструкции к лабораторной работе.

3. Ответы на контрольные вопросы и задания по допуску к работе, приведенные в инструкции. Ответы представляются в письменном виде.

В *основной части* должны содержаться результаты всех прямых измерений в виде таблиц и расчеты. Оформление расчетов физических величин рекомендуется по схеме:

алгебраическая формула – арифметическое выражение – результат расчета. В случае необходимости результаты представляют в графическом виде на координатной бумаге.

Затем, если это возможно, рассчитывается среднеарифметическое значение определяемой величины, оценивается полная ошибка проведенного измерения. В *итоговой части* приводятся:

1. Запись окончательного результата в стандартной форме.

Пример: $E = (2,10 \pm 0,12) 10^{11} \text{ Н/ м}^2$.

2. Ответы на контрольные вопросы и задания по защите работы, приведенные в инструкции. Ответы представляются в письменном виде

3. Вывод по результатам работы, в котором оценивается достоверность полученного результата, т.е. полученные значения сравниваются с табличными, проверяется их физическая разумность. В случае недостоверности полученного результата объясняются причины. К работе прикладывается протокол измерений, подписанный преподавателем.

1.2.4. Вычисление погрешностей

Измерить физическую величину – значит определить, во сколько раз она отличается от соответствующей величины, принятой за единицу. Измерения делят на:

– прямые;

– косвенные.

Прямые измерения – это измерения, при которых измеряемая величина определяется непосредственно при помощи измерительного прибора. Пример:

1) линейный размер тела измеряют при помощи линейки, штангенциркуля или микрометра;

2) напряжение измеряют вольтметром, силу тока – амперметром.

Косвенные измерения – это измерения, при которых измеряемая величина определяется (рассчитывается) по результатам прямых измерений. Пример:

1) плотность твердого тела вычисляют по измеренной массе и геометрическим размерам;

2) сопротивление проводника вычисляют по измеренным силе тока и напряжению.

Никакие измерения нельзя выполнить абсолютно точно. Любое измерение всегда содержит ошибку (погрешность). Это обусловлено отсутствием идеально точных приборов, несовершенством наших органов чувств, несовершенством методики измерений и т.д.

Ошибки, возникающие при измерениях, условно делят на следующие типы:

1. Грубые ошибки (промахи). Они обусловлены недостатком внимания экспериментатора, неправильной записью результата и т.д. Для избежания промахов измерения повторяют несколько раз. В случае обнаружения грубой ошибки результат измерения отбрасывают.

2. Систематические ошибки. Математических формул, позволяющих определить систематические ошибки, не существует. Пределы, в которых может быть заключена систематическая ошибка, иногда указываются на приборах.

Пример:

1) на микрометре указана точность измерения – 0,01 мм;

2) для электроизмерительных приборов приборная погрешность определяется классом точности (класс точности 0,5 означает, что показания правильны с точностью 0,5% от полной величины шкалы прибора).

3. Случайные ошибки обусловлены большим числом случайных факторов. Это может быть влияние температуры, не идеальная обработка поверхности, влияние внешних электрических или магнитных полей при измерении силы тока и т.д. Влияние случайных ошибок на результат измерений можно существенно уменьшить при многократном повторении опыта.

Оценивают величину случайных ошибок методами математической статистики, которая основана на понятиях и законах теории вероятности.

При выполнении лабораторных работ по физике мы, как правило, будем выполнять небольшое количество измерений. Для небольшого количества измерений применяют метод расчета ошибки, разработанный английским математиком В. Гассетом (свои работы он опубликовал под псевдонимом Стьюдент). В соответствии с этим методом за наиболее вероятное значение измеряемой величины принимается ее среднее арифметическое значение, которое можно обозначать любым из следующих способов: $x_{\text{сред}}$, \bar{x} , $\langle x \rangle$.

Введем два понятия из теории вероятности.

Доверительная вероятность (α) – количественная оценка возможности появления того или иного события. Доверительная вероятность может принимать значения от нуля до единицы $0 \leq \alpha \leq 1$. Если $\alpha = 0$, то событие не наступит никогда (недостоверно). Если $\alpha = 1$, то событие наступает всегда (достоверно). С точки зрения теории вероятности правильное измерение – это тоже событие. Если Δx – это величина абсолютной ошибки измерений, то α покажет вероятность того, что результат измерений отличается от истинного значения на величину не большую, чем Δx . Для технических измерений обычно принимают $\alpha = 0,95$. Доверительную вероятность, выраженную в процентах, называют надежностью и обозначают p , т.е. для технических измерений $p=95\%$.

Доверительный интервал – это интервал значений измеряемой величины, в котором с доверительной вероятностью α находится ее истинное значение (см. рис. 3). Так как за наиболее вероятное значение принимается ее среднее арифметическое значение, то

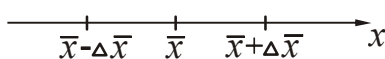


Рисунок 3

$$\bar{x} - \Delta x < x_{\text{ист}} < \bar{x} + \Delta x,$$

или

$$x_{\text{ист}} = \bar{x} \pm \Delta x.$$

Рассмотрим порядок расчета величины абсолютной ошибки Δx измерений, т.е. порядок нахождения доверительного интервала.

1.2.4.1. Погрешность прямых измерений

1. Пусть некоторую физическую величину x измерили n раз. Результаты заносим в таблицу. Рассчитываем среднее арифметическое значение измеряемой величины:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (1.1)$$

2. Находим среднее квадратичное отклонение среднего арифметического (стандарт отклонения):

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad (1.2)$$

3. Для выбранной доверительной вероятности ($\alpha = 0,95$) и проведенного количества измерений n по таблице определяем коэффициент Стьюдента $t_{\alpha,n}$. Например, для $n=5$ и $\alpha = 0,95$: $t_{\alpha,n} = 2,78$.

Коэффициенты Стьюдента $t_{\alpha,n}$

Таблица 3

$n \setminus \alpha$	0,9	0,95	0,98	0,999
2	6,31	12,71	31,82	636,62
3	2,92	4,30	6,97	31,60
4	2,35	3,18	4,54	12,94
5	2,13	2,78	3,75	8,61
6	2,02	2,57	3,37	6,86
7	1,94	2,45	3,14	5,96
8	1,90	2,37	3,00	5,41
9	1,86	2,31	2,90	5,04
10	1,83	2,26	2,82	4,78

4. Рассчитываем случайную составляющую абсолютной ошибки измерений:

$$\Delta x_{случ} = t_{\alpha,n} \cdot S_{\bar{x}}. \quad (1.3)$$

С учетом приборной погрешности полная ошибка измерений:

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_{случ}^2 + \Delta x_{приб}^2}, \quad (1.4)$$

где $\Delta x_{случ}$ – случайная ошибка; $\Delta x_{приб}$ – приборная ошибка. Обычно за приборную ошибку принимают половину цены деления прибора δ : $\Delta x_{приб} = \frac{\delta}{2}$. Если измерение проводилось только один раз, то $\Delta x = \Delta x_{приб}$.

5. Находим относительную погрешность измерений:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\% . \quad (1.5)$$

6. Записываем окончательный результат в виде

$$x_{\text{ист}} = \bar{x} \pm \Delta x . \quad (1.6)$$

Пример:

$$d = (12,18 \pm 0,14) \text{ мм}$$

$$m = (35,2 \pm 0,1) \text{ г}$$

1.2.4.2. Погрешность косвенных измерений

Пусть некоторая физическая величина является функцией нескольких переменных $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k)$, где k – число переменных. Расчет погрешности можно выполнить двумя способами.

Способ 1 (не воспроизводимые условия).

1. Каждую переменную измеряем несколько n раз. Рассчитываем y_1, y_2, \dots, y_n .
2. Находим среднее арифметическое значение \bar{y} :

$$\bar{y} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} . \quad (1.7)$$

Далее рассчитываем Δy как случайную составляющую ошибки прямых измерений (приборная погрешность при этом не учитывается!), находим относительную погрешность измерений, записываем результат измерений в стандартном виде (см. п. 1.2.4.1).

Способ 2 (воспроизводимые условия).

Абсолютная погрешность Δy вычисляется по формуле

$$\Delta y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_k} \Delta x_k\right)^2} , \quad (1.8)$$

где $\frac{\partial y}{\partial x_k}$ – частные производные функции $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k)$ вычисленные по средним значениям $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k$,

Δx_i – определяется методом расчета ошибок прямых измерений.

Пример: Плотность материала цилиндра рассчитывается по формуле: $\rho = \frac{4m}{\pi d^2 h}$.

Если взять частные производные плотности по массе, диаметру и высоте, то можно получить следующую формулу для расчета абсолютной погрешности:

$$\Delta \rho = \bar{\rho} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{\bar{m}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{\bar{h}}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta d}{\bar{d}}\right)^2} .$$

Относительная ошибка косвенных измерений:

$$\varepsilon = \frac{\Delta y}{\bar{y}} \cdot 100\% . \quad (1.9)$$

Окончательный результат записываем в виде

$$y = \bar{y} \pm \Delta y.$$

Примеры:

$$\rho = (2700 \pm 100) \text{ кг/м}^3$$

$$E = (2,16 \pm 0,12) \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2.$$

1.3. Измерительные инструменты

Штангенциркуль – универсальный измерительный инструмент, предназначенный для измерения наружных и внутренних диаметров, глубин, длин, толщин и т.п.

Основной частью штангенциркуля является линейка с миллиметровыми делениями. Штангенциркули снабжаются нониусами. Нониус – это дополнительная линейка, которая может перемещаться вдоль основной линейки. С его помощью производят отсчет дольных частей миллиметра. Выпускаются штангенциркули с точностью нониуса 0,1 мм и 0,05 мм.

Порядок проведения измерений с помощью штангенциркуля:

1. Проверить установку нуля: при сдвинутых губках штангенциркуля нулевая отметка нониуса должна совпадать с нулевой отметкой основной линейки.
2. Зажать измеряемое тело между губками штангенциркуля.
3. Произвести отсчет целых делений (мм) по основной шкале до нуля нониуса.
4. Найти на нониусе деление, совпадающее с любым делением основной шкалы

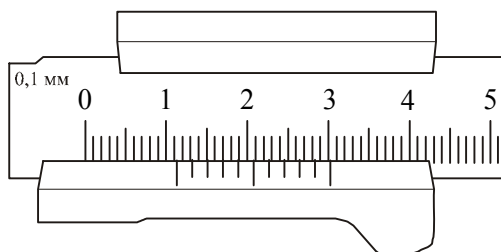


Рисунок 4

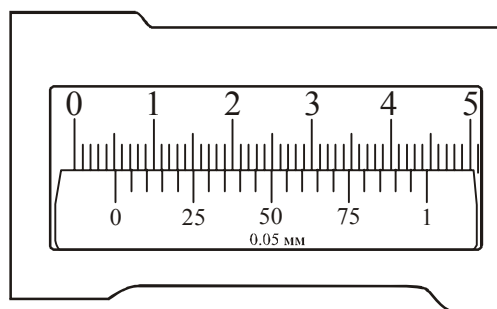


Рисунок 5

штангенциркуля. Это деление нониуса показывает доли миллиметра.

Примеры отсчетов штангенциркулей с различной точностью нониуса показаны на рис. 4 и рис. 5.

Рассмотрим рис. 4. Точность нониуса 0,1 мм. До нуля нониуса на основной линейке 11 делений (11 мм). С одним из делений основной шкалы совпадает третье деление нониуса. Отсчет – 11,3 мм.

Рассмотрим рис. 5. Точность нониуса 0,05 мм. До нуля нониуса на основной линейке 5 делений (5 мм). С одним из делений основной шкалы совпадает шестое деление нониуса. Отсчет – 5,30 мм.

Микрометр – это измерительный инструмент, снабженный микрометрическим винтом – винтом с малым и очень точно выдержанным шагом. Его применяют при точных измерениях расстояний.

Основной частью микрометра является втулка, имеющая с внутренней стороны микрометрическую резьбу. На наружной поверхности втулки проведе-

на продольная черта, ниже которой нанесены миллиметровые деления, а выше нее – полумиллиметровые. Один поворот винта микрометра передвигает его стержень на 0,5 мм. Барабан, связанный со стержнем, разбит на 50 делений. Поворот барабана на одно деление соответствует смещению стержня на 0,01 мм. С этой же точностью производятся измерения с помощью микрометра.

При работе с измерительными инструментами следует иметь в виду, что результат измерения зависит от того, с какой силой сжимается измеряемый объект штангенциркулем или микрометром. Это в первую очередь относится к микрометру. Во-первых, винт с малым шагом превращает незначительные усилия руки, поворачивающей барабан микрометра, в большие силы, действующие на предмет. Во-вторых, точность микрометра обычно на порядок выше точности штангенциркуля, и небольшие деформации предмета становятся более заметными. Чтобы уменьшить ошибку, связанную со слишком сильным (и неодинаковым в разных опытах) сжатием измеряемых предметов, рукоятка микрометра снабжена специальной головкой с трещоткой, позволяющей создавать при измерении постоянное в разных опытах давление на измеряемый объект.

Порядок проведения измерений с помощью микрометра.

1. Проверить установку микрометра на нуль. При этом окончательная точная установка производится трещоткой, иначе можно испортить нарезку винта. Если установка сбита, то настроить микрометр может только специалист. В этом случае студент должен обратиться к преподавателю.

2. Установить измеряемое тело между наковаленкой и микрометрическим винтом. Окончательную установку провести трещоткой.

3. Произвести отсчет целых миллиметров по нижней шкале втулки, отсчет полумиллиметров – по верхней шкале.

4. Отсчитать сотые доли миллиметра по нониусу барабана по делению, ближе всего расположенному к продольной черте.

Примеры отсчетов с помощью микрометра показаны на рис. 6 и 7.

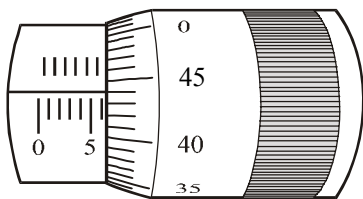


Рисунок 6

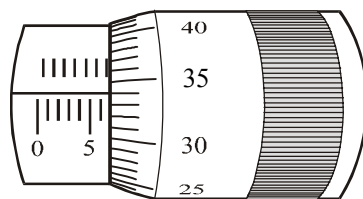


Рисунок 7

Рассмотрим рис. 6. По нижней шкале втулки определяем целое число миллиметров – 6 мм. На верхней шкале втулки не видно полумиллиметровое деление, поэтому отсчитываем сотые доли миллиметра по нониусу барабана – 0,44 мм. Отсчет – 6,44 мм.

Рассмотрим рис. 7. По нижней шкале втулки определяем целое число миллиметров – 6 мм. На верхней шкале втулки отсчитываем полумиллиметровое деление – 0,5 мм. По нониусу барабана отсчитываем сотые доли миллиметра – 0,34 мм. Отсчет – 6,84 мм.

Существуют не только линейные, но и угловые нониусы. Ими снабжаются гониометры, теодолиты и многие другие приборы.

Весы технические. Предельная нагрузка –200 г. Имеют набор гирь 100 – 0,01 г. Основными частями являются (рис. 8):

- платформа 1 с двумя установочными винтами 2 и одной ножкой;
- колонка 3, в которой находится стойка. Стойка поднимается и опускается поворотом арретира 5;
- коромысло 4, закрепляемое в гнезде стойки;
- чашки 6 с крестовинами, которые с помощью серег 7 надеваются на боковые призмы коромысла.

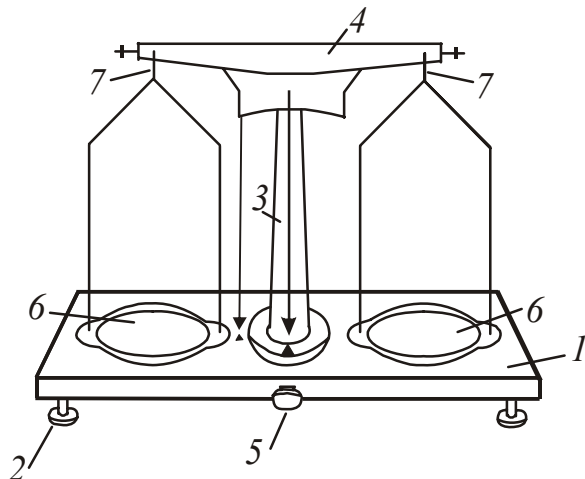


Рисунок 8

Порядок взвешивания:

1. Выровнять положение подставки весов при помощи установочных винтов 2, контролируя его по отвесу. Острие отвеса должно находиться против указателя.
2. Поднять стойку с чашками поворотом арретира. Убедиться, что весы уравновешены. В случае необходимости для уравновешивания на более легкую чашку нужно добавить полоски бумаги и т.п.
3. Нагрузку и разгрузку чашек производят при опущенной стойке (при арретированных весах).
4. Взвешиваемое тело кладут на левую чашку весов, а гири – на правую. Во избежание порчи весов взвешиваемое тело и гири опускают на чашки осторожно, не роняя их даже с небольшой высоты.
5. Положив взвешиваемое тело на левую чашку весов, на правую кладут гирю, имеющую массу, примерно равную массе тела (подбирают на глаз с последующей проверкой). При несоблюдении этого правила нередко случается, что мелких гирь не хватает и приходится взвешивание начинать сначала. Если гиря перевесит чашку, то ее кладут обратно в футляр, если нет – оставляют на чашке. Затем то же самое проделывают со следующей гирей меньшей массы и т.д., пока не будет достигнуто равновесие. Мелкие разновески берут пинцетом. Уравновесив тело, подсчитывают общую массу гирь, лежащих на чашке.
6. По окончании работы стойку опускают с помощью арретира. Гири переносят в футляр.

1.4 Электрические измерения

1.4.1 Электроизмерительные приборы

Электроизмерительный прибор – это совокупность технических средств, при помощи которых происходит измерение той или иной электрической величины. Электроизмерительные приборы делятся на приборы непосредственной оценки и приборы сравнения. В приборах непосредственной оценки

измеряемая величина определяется непосредственно по показанию стрелки на шкале прибора или светового «зайчика» на градуированной шкале. В цифровых приборах показания снимаются с цифрового табло. К таким приборам относятся амперметры, вольтметры, ваттметры, омметры, гальванометры. К приборам сравнения относятся многочисленные компенсаторы и электрические мосты. В них измеряемая величина определяется сравнением с известной однородной величиной.

Для измерения электрических величин в приборах непосредственной оценки используются физические явления, создающие вращательный момент и перемещение подвижной системы прибора. Вращательный момент может быть создан взаимодействием магнитного поля постоянного магнита и тока в катушке, магнитного поля катушки с током и ферромагнетика, взаимодействием магнитных полей катушек с током, взаимодействием заряженных тел.

В зависимости от используемого в приборах явления взаимодействия различают следующие системы электроизмерительных приборов: магнитоэлектрическую, электромагнитную, электродинамическую, индукционную, электростатическую, термоэлектрическую и т. д.

1. **Силу тока** в цепи измеряют амперметрами, миллиамперметрами, микроамперметрами. Эти приборы включают в цепь последовательно. На рис. 9 показано их условное изображение на схемах.

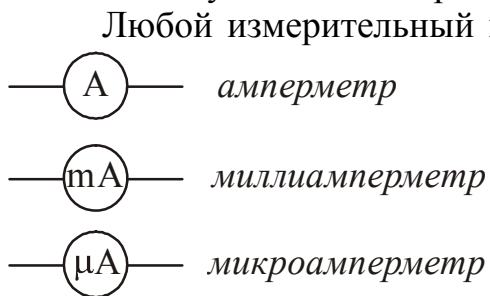


Рисунок 9

Любой измерительный прибор должен как можно меньше влиять на измеряемую величину. Нужно иметь в виду, что сам амперметр обладает некоторым сопротивлением R_A . Поэтому сопротивление участка цепи с включенным амперметром увеличивается, и при неизменном напряжении сила тока уменьшается в соответствии с законом Ома. Чтобы амперметр не влиял на измеряемый ток, его сопротивление делают очень малым. Это нужно

помнить и никогда не пытаться измерять силу тока в осветительной сети, подключая амперметр к розетке. Произойдет **короткое замыкание**: сила тока при малом сопротивлении прибора достигнет столь большой величины, что обмотка амперметра сгорит.

Для расширения пределов измерения амперметра используют шунтирование – подключение параллельно амперметру сопротивления $R_{ш}$. (рис. 10).

Приведем пример расчета сопротивления шунта, который нужно подключить для увеличения предела измерения тока в n раз, т.е. для значений $I > I_0$:

$$n = \frac{I}{I_0}$$

где I_0 – ток, на который рассчитан амперметр;
 I – ток в цепи.

Ток $I_{ш}$, текущий через шунт, по законам параллельного соединения равен:

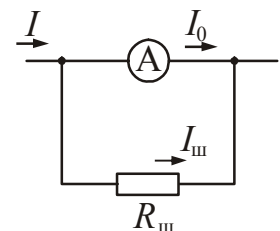


Рисунок 10

$$I_{\text{ш}} = nI_0 - I_0 = I_0(n - 1)$$

Напряжение на амперметре U_A равно напряжению на шунте $U_{\text{ш}}$: $U_A = U_{\text{ш}}$. По закону Ома для однородного участка цепи:

$$U_A = I_0 R_A; \quad U_{\text{ш}} = I_{\text{ш}} R_{\text{ш}}.$$

где R_A – сопротивление амперметра;
 $R_{\text{ш}}$ – сопротивление шунта.

$$I_0 R_A = I_{\text{ш}} R_{\text{ш}}.$$

Отсюда:

$$R_{\text{ш}} = \frac{I_0 R_A}{I_{\text{ш}}}.$$

Заменяв $I_{\text{ш}}$ по записанной выше формуле, получим

$$R_{\text{ш}} = \frac{I_0 R_A}{I_0(n - 1)} = \frac{R_A}{(n - 1)}.$$

Таким образом, сопротивление шунта должно быть в $(n-1)$ раз меньше сопротивления амперметра.

2. **Напряжение** измеряют вольтметрами, милливольтметрами и т.д. Эти приборы включают в цепь параллельно участку, на котором измеряется напряжение. На рис. 11 показано их условное изображение на схемах.

— (V) — вольтметр

— (mV) — милливольтметр

— (kV) — киловольтметр

Показание вольтметра равно падению напряжения на сопротивлении прибора:

$$U_V = I_V R_V.$$

Напряжение на вольтметре совпадает с напряжением на участке цепи.

Если сопротивление вольтметра R_V , то после включения его в цепь, сопротивление участка будет уже не R , а $R' = \frac{RR_V}{R + R_V} < R$. Из-за этого измеряемое напряжение на участке цепи уменьшится. Для того чтобы вольтметр не вносил заметных искажений в измеряемое напряжение его сопротивление должно быть большим по сравнению с сопротивлением участка цепи, на котором измеряется напряжение. Вольтметр можно включать в сеть без риска, что он сгорит, если только он рассчитан на напряжение, превышающее напряжение сети.

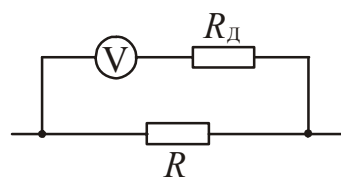


Рисунок 12

Чтобы расширить пределы измерения напряжения в n раз и измерять напряжения до значений $U > U_0$, последовательно вольтметру нужно присоединить добавочное сопротивление $R_{\text{д}}$ (рис. 12).

Приведем пример расчета добавочного сопротивления. Вольтметр имеет сопротивление R_V и рассчитан на

напряжение U_0 . Нужно расширить пределы измерения, т.е. сделать возможным измерение напряжений в n раз больших, чем указано на шкале прибора:

$$n = \frac{U}{U_0}.$$

Без внешнего добавочного сопротивления предел измерений вольтметра равен U_0 . Ток, отклоняющий стрелку вольтметра на всю шкалу, определится по закону Ома:

$$I = \frac{U_0}{R_V}.$$

При подключении добавочного сопротивления предел измерения будет равен nU_0 , а общее сопротивление окажется равным $R_V + R_d$.

Следовательно,

$$I = \frac{nU_0}{R_V + R_d}.$$

В первом и во втором случаях токи одинаковые. На основании этого можно записать:

$$\frac{U_0}{R_V} = \frac{nU_0}{R_V + R_d},$$

или

$$R_d = R_V(n - 1).$$

Таким образом, добавочное сопротивление должно быть в $(n-1)$ раз больше сопротивления вольтметра.

3. Для регулировки силы тока в цепи и напряжения используют реостат со скользящим контактом.

а). Для регулировки силы тока реостат включается в цепь последовательно.

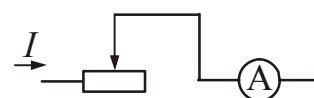


Рисунок 13

Практический совет: перед началом измерений реостат включают (вводят) полностью. На рис. 13 это соответствует крайнему правому положению скользящего контакта.

б). Для регулировки напряжения реостат включается параллельно источнику. В этом случае его называют потенциометром или делителем напряжения. *Практический совет: перед началом измерений потенциометр выводят на нуль.* На рис. 14 это соответствует крайнему левому положению скользящего контакта.

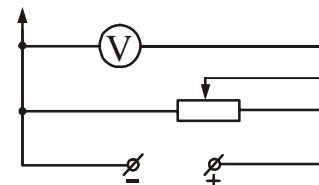


Рисунок 14

1.4.2. Основные характеристики электроизмерительных приборов

Качество электроизмерительных приборов определяется их чувствительностью, классом точности, пределами измерений, равномерностью шкалы и т.д.

1. **Чувствительность** – отношение линейного отклонения $\Delta\alpha$ стрелки прибора к изменению измеряемой величины Δx , вызвавшему это отклонение:

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x}.$$

Пример: Предел измерений миллиамперметра с равномерной шкалой 150 мА, шкала имеет 75 делений.

$$S = \frac{75}{150} = 0,5 \left(\frac{\text{дел}}{\text{мА}} \right).$$

2. **Цена деления прибора** – это значение изменения Δx измеряемой величины, вызывающей отклонение стрелки прибора на одно деление:

$$C = \frac{\Delta x}{\Delta\alpha}.$$

Пример: Предел измерений вольтметра с равномерной шкалой 3 В, шкала имеет 75 делений.

$$C = \frac{3}{75} = 0,04 \left(\frac{\text{В}}{\text{дел}} \right).$$

3. **Класс точности прибора** показывает абсолютную ошибку, допускаемую этим прибором, выраженную в процентах от максимального значения измеряемой величины. Класс точности указывается на шкале прибора. Существуют следующие классы точности: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 и т.д. У приборов с высоким классом точности шкала, как правило, зеркальная.

Так, например, при выполнении измерений силы тока миллиамперметром класса точности $\varepsilon_{\text{п}}=1,0$ с использованием шкалы, позволяющей регистрировать значения до $I_{\text{max}}=150$ мА, максимальная погрешность измерений, обусловленная конструкцией прибора и разбросом параметров его элементов, не будет превышать величину

$$\Delta I_{\text{max}} \leq \frac{I_{\text{max}} \cdot \varepsilon_{\text{п}}}{100\%} = \frac{150 \cdot 1,0}{100} = 1,5 \text{ мА}.$$

Ошибка 1,5 мА составляет небольшую долю от измеренного тока лишь при измерении токов порядка 150 мА, т.е. при отклонении стрелки на всю шкалу. При отклонении стрелки на 1/2 шкалы ошибка составит уже 3% от измеряемой величины, а при измерении еще меньших токов может составить 10% или даже 20% от величины измеряемого тока. Поэтому рекомендуется выбирать такой прибор, на котором измеряемый ток вызовет отклонение больше чем на половину шкалы.

1.5 Основные правила безопасной эксплуатации электрических установок

1.5.1. Основные положения

При выполнении лабораторных работ по физике может возникнуть опасность поражения работающего электрическим током, поэтому каждый студент

должен знать, чем опасен электрический ток, и какие меры безопасности необходимо соблюдать при работе с электрооборудованием. Кроме этого, необходимо знать правила оказания первой доврачебной помощи пострадавшим от действия электрического тока.

Прежде всего, надо помнить, что действующими считаются электроустановки, содержащие в себе источники электроэнергии, которые находятся под напряжением полностью или частично, а также те, на которые в любой момент может быть подано напряжение. По условиям электробезопасности электроустановки разделяются на электроустановки напряжением до 1000 В включительно и электроустановки напряжением выше 1000 В. Для работы на электроустановках напряжением свыше 1000 В нужен специальный допуск.

В лабораторном физическом практикуме используются, как правило, электроустановки напряжением до 1000 В. Допуск студентов к работе с этими установками проводит преподаватель, ведущий занятия. В каждой учебной лаборатории обязательно проводится инструктаж по технике безопасности с личной росписью в журнале инструктажа по технике безопасности.

Подавать напряжение на установку можно только после проверки схемы преподавателем.

1.5.2. Опасность поражения электрическим током

Опасность поражения человека электрическим током может возникнуть:

- а) при нарушении правил эксплуатации электроприборов;
- б) при случайном прикосновении к токоведущим частям или металлическим нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением из-за неисправности изоляции или по другим причинам.

Опасность электрического тока состоит в том, что электричество не воздействует на органы чувств человека до момента соприкосновения с частями, находящимися под напряжением. Поэтому человек не может почувствовать наличие напряжения и предвидеть грозящую ему опасность.

1.5.3. Действие электрического тока на организм человека.

Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током

Электрический ток, проходя через тело человека, производит термическое, химическое и биологическое воздействие, нарушая нормальную жизнедеятельность органов человека.

Термическое действие тока проявляется в ожогах отдельных участков тела, нагреве до высокой температуры кровеносных сосудов, нервов, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути тока, что вызывает в них серьезные функциональные расстройства.

Электрические ожоги могут быть вызваны действием электрической дуги, когда ее пламя непосредственно воздействует на наружные ткани тела. Могут быть ожоги, вызванные непосредственным протеканием электрического тока, особенно в месте контакта кожи с токоведущими частями.

Металлизация кожи может возникнуть в результате проникновения частичек металла в верхние ее слои, например при горении электрической дуги.

Химическое действие тока ведет к электролизу крови и других, содержащихся в организме, растворов, что приводит к изменению их химического состава и, следовательно, к нарушению их функций.

Биологическое действие тока проявляется в опасном возбуждении живых клеток организма, в частности, нервных клеток и всей нервной системы. Такое возбуждение может сопровождаться судорогами, явлениями паралича. В ряде случаев возможен паралич дыхательного аппарата (паралич мышц грудной клетки) и паралич сердца, что может привести к смертельному исходу.

По результатам действия электрического тока на человека выделяют два основных вида поражения:

- электрическая травма;
- электрический удар.

Характерными признаками электрических травм являются:

- электрические ожоги;
- электрические знаки (пятна серого или бледно-желтого цвета на коже);
- воспаление наружных оболочек глаз в результате воздействия электрической дуги;
- металлизация кожи;
- механические повреждения вследствие резких непроизвольных судорожных сокращений мышц под действием тока, проходящего через тело человека.

Электрические удары в зависимости от исхода поражения разделяют условно на пять степеней:

I – судорожное, едва ощутимое сокращение мышц;

II – судорожное сокращение мышц без потери сознания;

III – судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранением дыхания и работой сердца;

IV – потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания;

V – клиническая смерть, т. е. отсутствие дыхания и кровообращения (продолжительность – 4–6 мин).

Основными факторами, влияющими на исход поражения электрическим током, являются: величина тока, длительность прохождения тока, путь тока через тело человека, а также индивидуальные свойства человека. Если человек находится в состоянии опьянения, нервного возбуждения, имеет нарушение кожных покровов, поражение током будет более тяжелым.

Действие электрического тока на организм человека оценивают следующим образом:

0,5 – 1,5 мА – ощутимый ток;

10 – 15 мА – неотпускающий ток;

20 – 70 мА – поражает органы дыхания и сердечнососудистую систему;

более 100 мА – наступает фибрилляция сердца, заключающаяся в беспорядочном хаотическом сокращении и расслаблении мышечных волокон сердца. Такой ток считается смертельным.

1.5.4. Меры безопасности при эксплуатации приборов и аппаратов

Правильное пользование электроэнергией в сухих помещениях с деревянными или другими, не проводящими электрический ток, полами практически исключает случаи поражения электрическим током. При этом следует соблюдать одно основное условие: все электроприборы должны быть удалены от труб отопления, водопровода и других металлических коммуникаций настолько, чтобы исключалось одновременное прикосновение к этим коммуникациям и к прибору, шнуру или розетке (отдаленность розетки – 0,5 м, электроприборов – 1,5 м от металлических коммуникаций).

Одним из основных условий электробезопасности является сохранение исправного состояния изоляции электропроводки, электроприборов и аппаратов, выключателей, штепсельных разъемов (розетка и вилка), ламповых патронов, светильников, а также шнуров, с помощью которых включается в сеть электроприборы. Категорически запрещается пользоваться неисправными приборами и аппаратами.

Внешним признаком неисправности электрической проводки или электроприбора является искрение, перегрев деталей штепсельного разъема, запах подгоревшей резины.

Если при прикосновении к корпусу электроприбора «бьет током», то это значит, что данный предмет находится под напряжением. В этом случае следует немедленно отключить прибор от сети, обязательно предупредить окружающих об опасности, сообщить об этом преподавателю и лаборантам, для того чтобы они вызвали электрика.

Во избежание порчи изоляции шнуров к электрическим приборам следует тщательно оберегать электропроводку от повреждений:

- не вытягивать вилку из розетки за шнур;
- не подвешивать провод на гвоздях и других предметах;
- не завязывать или перекручивать провода;
- не закладывать провода на газовые и водопроводные трубы, за батареи отопления;
- не вешать что-либо на провода;
- не заземлять провода дверями, форточками и т. п.

Электронагревательные приборы следует заполнять водой только отключенными от сети.

Если электрический прибор или аппарат имеет шнур с двумя разъемами, подключать шнур необходимо сначала к прибору, затем к сети. Выключение производится в обратной последовательности – из сети, а затем от электроприборов.

Категорически запрещается включать в сеть электроприборы без штепсельных вилок.

Необходимо обращать внимание на состояние изоляции гибких проводов и шнуров, питающих электроприборы и аппараты. На сгибах у вилок и в местах, где шнур входит в электроприбор, наиболее вероятны повреждения изоляции. Прикосновение к оголенному проводу в этих местах приводит к поражению электрическим током.

Вне помещения опасность поражения электрическим током может возникнуть при перемещении по земле вблизи замыкания токоведущих частей на землю. К любым проводам, лежащим на земле, нельзя подходить ближе, чем на 5-8 м, поскольку в этом случае можно попасть под «шаговое напряжение». В случае попадания в эту зону, из нее нужно выходить прыжками на одной ноге.

При коротком замыкании (иногда по другим причинам) электропроводка или шнур, питающие электроприбор или аппарат, могут загореться. В этом случае категорически запрещается применять воду для тушения. Необходимо пользоваться порошковыми огнетушителями. Использовать воду для тушения можно лишь после отключения электроприбора от сети.

1.5.5. Первая доврачебная помощь пострадавшим от действия электрического тока

Первая доврачебная помощь – это комплекс мероприятий, направленных на восстановление или сохранение жизни и здоровья пострадавшего, осуществляемых не медицинскими работниками. Одним из важнейших положений оказания первой помощи является ее срочность – чем быстрее она оказана, тем больше надежды на благоприятный исход.

Оказывать помощь необходимо в следующей последовательности:

- а) устранить воздействие на организм электрического тока;
- б) определить характер и тяжесть травмы;
- в) восстановить проходимость дыхательных путей;
- г) поддерживать основные жизненные функции пострадавшего до прибытия медицинского работника;
- д) вызвать скорую медицинскую помощь или врача.

Спасение пострадавшего в большинстве случаев зависит от быстроты освобождения его от действия электрического тока. Прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением, вызывает в большинстве случаев непроизвольное судорожное сокращение мышц. Если пострадавший держит провод руками, его пальцы так сильно сжимаются, что высвободить провод из его рук становится невозможным. Поэтому, прежде всего, необходимо немедленно отключить ту часть электроустановки, которой касается пострадавший. Отключение производится с помощью выключателя, разъема штепсельного соединения, автоматического выключателя на щитке освещения.

После освобождения человека от действия электрического тока при необходимости выполняют искусственное дыхание и непрямой массаж сердца.

Существует два способа искусственного дыхания «рот в рот» и «рот в нос». Для выполнения искусственного дыхания необходимо очистить полость рта пострадавшего и запрокинуть его голову. На нижнюю часть грудины наложить основание ладони и, усиливая давление второй руки, произвести 4-6 надавливаний, после чего сделать 2-3 глубоких вдувания воздуха в рот или в нос. Надавливание следует производить рывком. Искусственное дыхание выполняют до приезда врача. Заключение о целесообразности или бесполезности мероприятий по оживлению пострадавшего имеет право дать только врач.

Раздел 2

Описания лабораторных работ

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЁРДЫХ ТЕЛ

Цель работы – научиться пользоваться измерительными инструментами, определить плотность твёрдого тела, научиться рассчитывать погрешность прямых и косвенных измерений.

Принадлежности: технические весы, набор разновесов, микрометр, штангенциркуль, измеряемый цилиндр.

Общие положения

Плотность однородного тела – скалярная физическая величина, характеристика вещества, численно равная массе единицы объема:

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (1)$$

Единица измерения плотности в СИ – $\text{кг}/\text{м}^3$. На практике часто используют единицу плотности – $\text{г}/\text{см}^3$. Соотношение между единицами: $1 \text{ г}/\text{см}^3 = 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Существуют различные методы определения плотности твердых тел.

1. Метод гидростатического взвешивания, в котором тело сначала взвешивают в воздухе, а затем в некоторой жидкости, плотность которой известна. Используя закон Архимеда, рассчитывают плотность тела.
2. Метод пикнометра, в котором искомую плотность определяют по результатам трех взвешиваний: тела в воздухе; пикнометра со вспомогательной жидкостью; пикнометра с той же жидкостью и погруженным в неё телом (в зависимости от свойств тела вспомогательной жидкостью служит вода или органическая жидкость). Пикнометр – это стеклянная колба специальной формы и определенной вместимости, применяемая для точных измерений плотности.
3. Флотационный метод, основанный на том, что тело, погруженное в жидкость, плотность которой равна плотности тела, находится в состоянии безразличного равновесия. Изменяя плотность жидкости (добавлением другой жидкости или изменением температуры) до момента приведения тела во взвешенное состояние, измеряют затем плотность этой жидкости (например, ареометром).
4. Метод, основанный на определении массы тела взвешиванием, а объёма – по объёму вытесненной жидкости, в которую погружено тело. Если тело имеет правильную геометрическую форму (параллелепипед, шар, цилиндр и т.д.), то объём можно рассчитать по геометрическим размерам. Этот метод используется в настоящей работе.

Методика эксперимента и обработка результатов измерений

Объем и плотность тела получают в результате косвенных измерений, используя прямые измерения геометрических размеров и массы тела. Масса тела определяется путём взвешивания на технических весах.

Если тело имеет правильную геометрическую форму, то измеряют его линейные размеры и по соответствующей формуле рассчитывают объём. Объём цилиндра равен:

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4}. \quad (2)$$

Подставив (2) в (1), получим формулу для расчета плотности:

$$\rho = \frac{4m}{\pi d^2 h}, \quad (3)$$

где h – высота цилиндра, d – его диаметр.

Высоту цилиндра измеряют штангенциркулем, а диаметр – микрометром. Для учёта не вполне правильной формы тела повторные измерения линейных размеров необходимо произвести в разных местах тела. Значения плотности находят по формуле (3), подставляя средние значения диаметра и высоты:

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}; \quad (4)$$

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}. \quad (5)$$

При многократном измерении одной и той же величины полная ошибка прямого измерения содержит приборную $\Delta x_{\text{пр}}$ и случайную $\Delta x_{\text{сл}}$ составляющие погрешности измерения. Определяется она следующим образом:

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_{\text{пр}}^2 + \Delta x_{\text{сл}}^2}$$

Случайные погрешности измерений высоты и диаметра цилиндра равны соответственно:

$$\Delta h_{\text{случ}} = t_{\alpha, n} \cdot S_{\bar{h}}, \quad (6)$$

где
$$S_{\bar{h}} = \sqrt{\frac{(h_1 - \bar{h})^2 + (h_2 - \bar{h})^2 + \dots + (h_n - \bar{h})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n(n-1)}}$$

и
$$\Delta d_{\text{случ}} = t_{\alpha, n} \cdot S_{\bar{d}}, \quad (7)$$

где

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{(d_1 - \bar{d})^2 + (d_2 - \bar{d})^2 + \dots + (d_n - \bar{d})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)}},$$

h_i и d_i – значение высоты и диаметра, получаемые при i -м измерении, $t_{\alpha, n}$ – коэффициент Стьюдента, соответствующий n измерениям при надежности α .

Полная ошибка прямого измерения равна

$$\Delta h = \sqrt{\Delta h_{\text{случ}}^2 + \Delta h_{\text{приб}}^2}, \quad (8)$$

$$\Delta d = \sqrt{\Delta d_{\text{случ}}^2 + \Delta d_{\text{приб}}^2}. \quad (9)$$

Приборная погрешность штангенциркуля и микрометра равна половине цены деления нониуса каждого прибора. Приборная точность весов с имеющимся набором разновесов равна $\Delta m = \frac{m_0}{2}$, где m_0 – масса наименьшего разновеса в наборе.

Результаты прямых измерений записывают в виде:

$$h = (\bar{h} \pm \Delta h), \text{ мм}$$

$$d = (\bar{d} \pm \Delta d), \text{ мм}$$

$$m = (m \pm \Delta m), \text{ г}$$

Плотность тела, вычисляемая по формуле (3), является функцией трёх переменных $\rho = f(m, d, h)$. Поэтому абсолютную ошибку определения плотности $\Delta \rho$ рассчитывают по формуле:

$$\Delta \rho = \bar{\rho} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2}. \quad (10)$$

Окончательный результат записывают в виде:

$$\rho = (\bar{\rho} \pm \Delta \rho) \text{ кг/м}^3$$

Относительная ошибка измерений равна

$$\varepsilon = \frac{\Delta \rho}{\bar{\rho}} \cdot 100\% \quad (11)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие измерительные приборы используются при выполнении данной работы?
3. Какие физические величины измеряется непосредственно (прямые измерения)?
4. По какой формуле Вы будете рассчитывать плотность тела?
5. Изучите правила пользования микрометром, штангенциркулем и весами (см. «Введение в физический практикум»).

Выполнение работы

1. Определить массу тела, взвесив его на весах один раз. Результат занести в таблицу. Записать массу наименьшего разновеса.
2. Измерить штангенциркулем высоту цилиндра 5 раз в разных местах. Результаты занести в таблицу. Записать цену деления штангенциркуля.
3. Измерить микрометром диаметр цилиндра 5 раз в разных местах. Результаты занести в таблицу. Записать цену деления микрометра.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Найти средние значения диаметра \bar{d} и высоты \bar{h} по формулам (4) и (5).
2. Вычислить среднее значение плотности $\bar{\rho}$ тела по формуле (3) по средним значениям массы, высоты, диаметра.
3. Вычислить случайную составляющую абсолютной погрешности измерений высоты и диаметра цилиндра по формулам (6) и (7).
4. Вычислить полную погрешность измерений высоты и диаметра цилиндра по формулам (8) и (9).
5. Вычислить по формуле (10) абсолютную и по формуле (11) относительную погрешности косвенного измерения плотности.
6. Записать полученные результаты прямых и косвенных измерений в стандартном виде.

$$h = (\bar{h} \pm \Delta h), \text{ мм}$$

$$d = (\bar{d} \pm \Delta d), \text{ мм}$$

$$m = (m \pm \Delta m), \text{ г}$$

$$\rho = (\bar{\rho} \pm \Delta \rho) \text{ кг/м}^3$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Дайте определение плотности.
2. От чего зависит плотность тела?
3. Какие измерения называются прямыми, какие – косвенными?
4. Как определяется доверительный интервал прямых измерений?
5. Какие методы определения плотности Вы знаете?
6. Укажите, измерение какой величины вносит наибольший вклад в ошибку.
7. Пользуясь справочными таблицами, определите возможный материал образца. Сделайте вывод по результатам работы.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №3

Выполнил(а) _____

Группа _____

Цена деления приборов:

штангенциркуля $C_{шт} =$ _____микрометра $C_m =$ _____масса наименьшего разновеса $m_0 =$ _____

№ п/п	m , г	h , мм	d , мм	ρ , кг/м ³
1				
2				
3				
4				
5				
среднее				

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 4

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

Цель работы – измерить коэффициент трения покоя и коэффициент трения скольжения двух пар материалов.

Приборы и принадлежности: наклонная плоскость, транспортер, груз, секундомер, линейка.

Общие положения

Внешним трением называется взаимодействие между различными соприкасающимися телами, препятствующее их относительному перемещению. Сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$ всегда направлена вдоль поверхности соприкосновения тел противоположно скорости их относительного перемещения.

Трение между поверхностями двух соприкасающихся твердых тел при отсутствии между ними жидкой или газообразной прослойки называется сухим трением.

Сухое трение подразделяется на:

- а) трение покоя – трение при отсутствии относительного перемещения соприкасающихся тел.
- б) трение скольжения – трение при относительном движении соприкасающихся тел.

Сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$, препятствующая возникновению движения одного тела по поверхности другого, называется силой трения покоя. Относительное движение тела возникает при условии $F_{\text{внеш}} > F_{\text{тр}0}^{\text{max}}$. Силу $F_{\text{тр}0}^{\text{max}}$ называют предельной силой трения покоя. Обычно, говоря о силе трения покоя, имеют в виду предельную силу трения покоя.

Сила трения покоя вызывается зацеплением неровностей поверхностей тел, упругими деформациями этих неровностей и сцеплением (слипанием) тел в тех местах, где расстояния между их частицами оказываются малыми и достаточными для возникновения межмолекулярного притяжения. В связи с этим силу трения покоя можно рассматривать как разновидность проявления сил упругости.

В приближенных расчетах полагают, что

$$F_{\text{тр}0}^{\text{max}} = \mu_0 N, \quad (1)$$

Силу \vec{N} , действующую на данное тело со стороны опоры перпендикулярно к его поверхности, называют силой нормальной реакции. Безразмерный коэффициент пропорциональности μ_0 называется коэффициентом трения покоя. Он зависит от материала соприкасающихся тел, от качества обработки соприкасающихся поверхностей, наличия между ними инородных веществ и многих других факторов. Значения коэффициентов трения покоя получают экспериментальным путем.

Сила трения скольжения $\vec{F}_{\text{тр}}$ между поверхностями соприкасающихся тел при их относительном движении пропорциональна силе нормальной реакции:

$$F_{\text{тр}} = \mu N, \quad (2)$$

где μ – коэффициент трения скольжения, зависящий от тех же факторов, что и коэффициент трения покоя μ_0 , а также при небольших скоростях от скорости относительного движения соприкасающихся тел.

Коэффициент трения скольжения определяется опытным путем и в большинстве случаев при малых скоростях относительного движения соприкасающихся тел оказывается меньше коэффициента трения покоя ($\mu < \mu_0$).

Экспериментально установлено, что максимальная сила трения покоя $F_{\text{тр}0}^{\text{max}}$, а также сила трения скольжения $F_{\text{тр}}$ не зависят от площади соприкосновения трущихся тел.

Рассмотрим тело массы m , которое находится на наклонной плоскости с углом наклона α (рис.1). На тело действуют силы: $m\vec{g}$ – сила тяжести, \vec{N} – сила нормальной реакции опоры, $\vec{F}_{\text{тр}}$ – сила трения.

Если груз движется с ускорением \vec{a} вдоль наклонной плоскости, то по второму закону Ньютона сумма всех сил, действующих на тело, равна произведению массы этого тела на ускорение, с которым движется тело:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a}. \quad (3)$$

Введем систему координат xOy (см. рис. 1) и запишем второй закон Ньютона в проекциях на выбранные оси:

$$\begin{aligned} 0x: \quad mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} &= ma \\ 0y: \quad mg \cos \alpha - N &= 0 \\ F_{\text{тр}} &= \mu N \end{aligned}$$

Из системы уравнений выражаем коэффициент трения скольжения:

$$\mu = \text{tg } \alpha - \frac{a}{g \cos \alpha}. \quad (4)$$

Если тело покоится или движется равномерно, то $a = 0$, т.е. сумма проекций на каждую ось равна нулю. Тогда коэффициент трения покоя будет равен

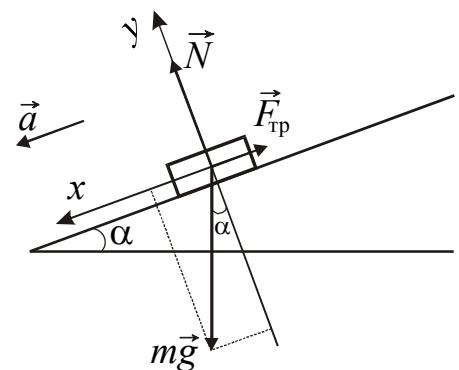


Рисунок 1

$$\mu_0 = \operatorname{tg} \alpha_0, \quad (5)$$

где α_0 – угол, при котором тело движется по наклонной плоскости равномерно.

Ускорение a можно найти из закона равноускоренного движения

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2.$$

При $v_0 = 0$

$$a = \frac{2S}{t^2}. \quad (6)$$

Подставляя (6) в формулу (4), получим расчётную формулу для коэффициента трения скольжения:

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha - \frac{2S}{g \cos \alpha \cdot t^2}. \quad (7)$$

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка представляет собой штатив, на котором укреплен желоб с транспортом, измеряющим угол наклона α желоба к горизонту. Изменение угла α регулируется с помощью винта. Тело представляет собой стальной прямоугольный параллелепипед, одна грань которого покрыта тонким слоем целлулоида. Время прохождения телом расстояния S измеряется с помощью электронного секундомера.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие измерительные приборы используются при выполнении данной работы?
3. Какие физические величины Вы будете измерять непосредственно (прямые измерения)?
4. По каким формулам Вы будете рассчитывать коэффициенты трения покоя и коэффициент трения скольжения? Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

Задание 1. Определение коэффициента трения покоя

1. Укрепить желоб в горизонтальном положении и положить на него груз. Медленно опуская желоб, определить угол наклона желоба в момент начала движения тела. Измерения проделать 5 раз для каждой пары соприкасающихся материалов: сталь–сталь и сталь–целлулоид. Результаты занести в таблицу.

Задание 2. Определение коэффициента трения скольжения

1. Из пяти измеренных углов наклона для пары соприкасающихся материалов сталь–сталь выбрать максимальное значение α_{\max} . Установить угол α наклона желоба больший α_{\max} на один градус ($\alpha = \alpha_{\max} + 1^\circ$).
2. Измерить расстояние S , проходимое телом от метки до конца желоба.
3. Измерить 5 раз время движения груза по наклонному желобу от метки до конца желоба.
4. Выполнить аналогичные измерения для пары соприкасающихся материалов сталь–целлулоид согласно п.1-3. Данные измерений для каждой пары соприкасающихся поверхностей занести в таблицу.

Оформление отчета**1. Расчеты****Задание 1. Определение коэффициента трения покоя**

1. Найти среднее арифметическое значение угла наклона для каждой пары материалов. Вычислить коэффициенты трения покоя по формуле (5).

Задание 2. Определение коэффициента трения скольжения

1. Рассчитать по формуле (7) коэффициент трения скольжения для каждой пары материалов по результатам каждого опыта.
2. Найти среднее арифметическое значение коэффициентов трения скольжения для каждой пары материалов.
3. Рассчитать абсолютную погрешность для каждой пары материалов как для прямых измерений.
4. Рассчитать относительную погрешность измерений.
5. Окончательный результат записать в виде:

сталь-сталь: $\mu = \mu_{cp} \pm \Delta\mu$

сталь-целлулоид: $\mu = \mu_{cp} \pm \Delta\mu$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Что называется трением? В чем причина его появления?
2. Какие виды сухого трения Вы знаете?
3. Что называется силой трения покоя?
4. Укажите силы, действующие на тело на наклонной плоскости.
5. От чего зависит коэффициент трения покоя?
6. От чего зависит коэффициент трения скольжения?
7. Какой вывод можно сделать из результатов работы?

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №4

Выполнил(а) _____

Группа _____

Задание 1

№ п/п	Сталь–сталь		Сталь–целлулоид	
	α°	μ_0	α°	μ_0
1				
2				
3				
4				
5				
среднее				

Задание 2

№ п/п	Сталь-сталь				Сталь-целлулоид			
	α°	$S,$ м	$t,$ с	μ	α°	$S,$ м	$t,$ с	μ
1								
2								
3								
4								
5								
среднее								

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №5

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ КИНЕМАТИКИ И ДИНАМИКИ
ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА МАШИНЕ АТВУДА

Цель работы – исследовать законы равномерного и равноускоренного движений тел, проверить второй закон Ньютона.

Приборы и принадлежности: машина Атвуда, перегрузки, электронный секундомер, ключ, блок питания.

Описание экспериментальной установки

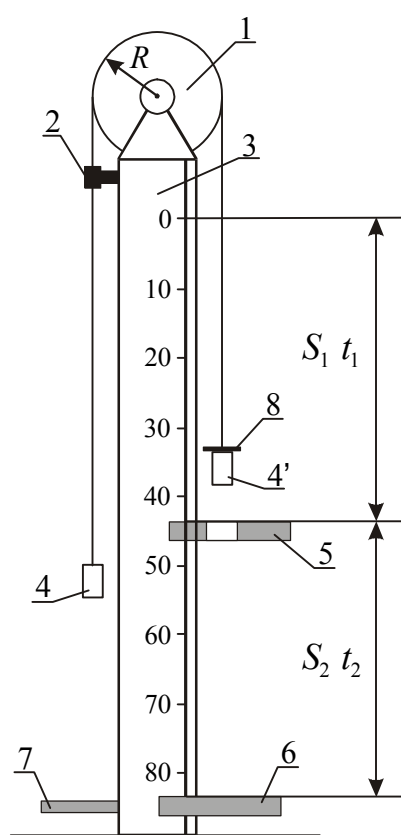


Рисунок 1

Машина Атвуда (рис. 1) состоит из вертикальной стойки 3 со шкалой с сантиметровыми делениями, градуированная часть которой составляет 86 см. В верхней части стойки крепится легкий блок 1, вращающийся с незначительным трением. Через блок перекинута тонкая нить с прикрепленными грузами 4 и 4' одинаковой массы m . Значение массы указано на грузе. Слева, ниже блока, на стойке укреплен электромагнитный пускатель 2, служащий для пуска и остановки грузов. Включение пускателя осуществляется через ключ от блока питания. При замкнутой цепи пускатель зажимает нить и не дает грузам перемещаться. Слева, снизу, к стойке прикреплен ограничитель 7, предназначенный для установки торца груза 4' напротив нулевой отметки на шкале (груз 4 при этом находится на поверхности 7).

Справа на стойке имеются две платформы: приемный столик 6 и подвижное кольцо 5. Обе платформы при помощи зажимных винтов могут закрепляться в любом месте шкалы. Движение грузов вызывается перегрузками 8 массой m_1 (1 г, 3 г, 5 г), которые надеваются на груз 4' сверху.

Общие положения

Пренебрегая массой нити по сравнению с массой грузов можно с большей степенью точности считать, что грузы двигаются равноускоренно. Если не учитывать растяжение нити, то в каждый момент времени грузы на её концах будут иметь одинаковые по величине ускорения. Блок вращается с незначительным трением, поэтому можно считать равными силы натяжения нити в любом её сечении.

На рис. 2 показаны силы, действующие на грузы 4 и 4' и перегрузок 8. Применим второй закон Ньютона к движению грузов и перегрузка. Для груза 4' в проекции на направление движения можно записать:

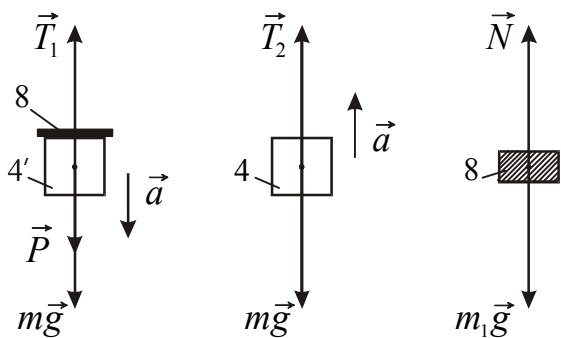


Рисунок 2

$$mg + P - T_1 = ma, \quad (1)$$

где P – сила давления перегрузка 8 на груз 4';

T_1 – сила натяжения правой нити.

В проекции на направление движения для груза 4 имеем:

$$-mg + T_2 = ma. \quad (2)$$

Закон движения перегрузка 8:

$$m_1g - N = m_1a. \quad (3)$$

где N – сила реакции груза 4' на перегрузок.

По третьему закону Ньютона

$$|N| = P.$$

Решая систему уравнений (1) – (3), получим:

$$a = \frac{m_1g}{2m + m_1}. \quad (4)$$

При решении системы было учтено, что $T_1 = T_2$.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какой закон проверяется в упражнении 1?
2. Какой закон проверяется в упражнении 2?
3. Какой закон проверяется в упражнении 3?
4. Какие графики необходимо построить в каждом упражнении? Схематически изобразите, какой вид должны иметь эти графики по теории.
5. Как по графику зависимости $S_1 = f\left(\frac{t_1^2}{2}\right)$ определить ускорение a ?

Выполнение работы

Задание 1. Исследование закона равномерного движения

Равномерным называется движение, при котором численное значение скорости с течением времени не изменяется. Для равномерного движения зависимость пути от времени имеет вид:

$$S = vt.$$

Силами трения в условиях данного эксперимента мы пренебрегаем, поэтому можно считать, что после снятия перегрузка груз 4' движется равномерно.

1. Установить систему в исходное состояние (верхний торец груза 4' напротив отметки 0 шкалы), включить электромагнит 2 и положить на груз 4' перегрузок в $m_1 = 3$ г.
2. Кольцевую платформу установить напротив отметки шкалы 20 см ($S_1 = 20$ см), а нижнюю 6 так, чтобы в первом опыте после снятия перегрузка он проходил путь $S_2 = 20$ см плюс высота груза $h = 28$ мм.
3. Выключить электромагнит и в момент снятия перегрузка включить секундомер. Когда груз ударится о нижнюю платформу, секундомер выключить.
4. Оставляя платформу 5 на месте ($S_1 = 20$ см = const), передвинуть платформу 6 вниз на 5 см и повторить те же измерения.
5. Повторить измерения, описанные в пп. 1–4, пять раз, каждый раз опуская платформу на 5 см вниз.

Задание 2. Исследование закона равноускоренного движения

Равноускоренным называется движение, при котором значение ускорения с течением времени не изменяется. Для равноускоренного движения зависимость пути от времени имеет вид:

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

Если $v_0 = 0$, то

$$S = \frac{at^2}{2}.$$

1. Установить грузы в исходное положение, включить электромагнит; положить на груз 4' перегрузок 3 г. Записать значение массы груза и перегрузка.
2. Закрепить кольцевую платформу 5 на расстоянии 30 см от верхнего края груза 4'. Сплошную платформу опустить в крайнее нижнее положение.
3. Выключить электромагнит, одновременно включив секундомер. В момент снятия перегрузка секундомер выключить.
4. Повторить опыт не менее 5 раз, опуская каждый раз платформу на 5 см вниз, т.е. увеличивая S_1 .

Задание 3. Проверка второго закона Ньютона

Согласно второму закону Ньютона произведение массы m тела на его ускорение \vec{a} равно равнодействующей всех сил, действующих на тело:

$$m\vec{a} = \vec{F}. \quad (5)$$

Ускорение \vec{a} сообщается системе силой тяжести перегрузка

$$m_1 g = F. \quad (6)$$

Линейная зависимость ускорения \vec{a} системы от силы тяжести перегрузка F должна подтвердить правильность второго закона Ньютона.

1. Установить систему в исходное положение. Включить электромагнит.
2. Кольцевую платформу 5 установить на расстояние $S=40$ см=const для всех дальнейших измерений.
3. Провести измерение времени t как в упражнении 2 для разных значений массы перегрузка m_1 , комбинируя перегрузки в различных сочетаниях.
4. Вычислить ускорение a по результатам каждого опыта: $a = \frac{2S}{t^2}$.
5. Рассчитать силу F по формуле (6).
6. Построить график зависимости ускорения от силы: $a = f(F)$.

Оформление отчета

1. Расчеты

Задание 1. Исследование закона равномерного движения

1. Построить график зависимости $S_2 = f(t_2)$.
2. Используя график, рассчитать скорость движения груза, как тангенс угла наклона прямой (см. «Введение в физический практикум»).

Задание 2. Исследование закона равноускоренного движения

1. Построить график зависимости $S_1 = f\left(\frac{t_1^2}{2}\right)$.
2. Используя график, рассчитать экспериментальное значение ускорения $a_{\text{эксп}}$, как тангенс угла наклона прямой (см. «Введение в физический практикум»).
3. Вычислить теоретическое значение ускорения $a_{\text{теор}}$ по формуле (4).
4. Сравнить $a_{\text{эксп}}$ и $a_{\text{теор}}$. Сделать вывод.

Задание 3. Проверка второго закона Ньютона

1. Вычислить ускорение a по результатам каждого опыта: $a = \frac{2S}{t^2}$.
2. Рассчитать силу F по формуле (6).
3. Построить график зависимости ускорения от силы: $a = f(F)$.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какое движение называется равномерным? Запишите формулу зависимости пути от времени для этого движения.
2. Какое движение называется равноускоренным? Запишите формулу зависимости пути от времени для этого движения.
3. Сформулируйте второй закон Ньютона. Запишите формулу.
4. Объясните, почему график $a = f(F)$ не проходит через начало координат.
5. Сравните полученные экспериментально графики с теоретическими зависимостями. Сделайте вывод по результатам работы.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №5

Выполнил(а) _____

Группа _____

Задание 1

№ п/п	S_2 , см	t_2 , с	v , см/с
1			
2			
3			
4			
5			

Задание 2

Масса движущегося груза $m =$ _____Масса перегрузка $m_1 =$ _____

№ п/п	S_1 , см	t_1 , с	$t_1^2/2$, с ²
1			
2			
3			
4			
5			

Задание 3

№ п/п	S , см	m_1 , г	t , с	a , см/с ²	F , Н
1					
2					
3					
4					
5					

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 6

ИЗУЧЕНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА МАЯТНИКЕ ОБЕРБЕКА

Цель работы – проверить основной закон динамики вращательного движения.

Приборы и принадлежности: маятник Обербека, грузы, секундомер, штангенциркуль.

Описание экспериментальной установки

Для выполнения работы используется маятник Обербека, который схематически показан на рис. 1. Он представляет собой крестовину, состоящую из четырех стержней, укрепленных на втулке под прямым углом. На ту же втулку насажены два шкива различных радиусов (r_1 и r_2). На стержнях находятся грузы массой m_1 каждый. Ось закреплена в подшипниках так, что вся система может вращаться вокруг горизонтальной оси. Передвигая грузы по стержням, можно изменять момент инерции J маятника. На шкивы наматывается нить, к которой привязана платформа с грузом известной массы m . Нить натягивается и создает вращающий момент, который можно изменять, перематывая нить со шкива на шкив.

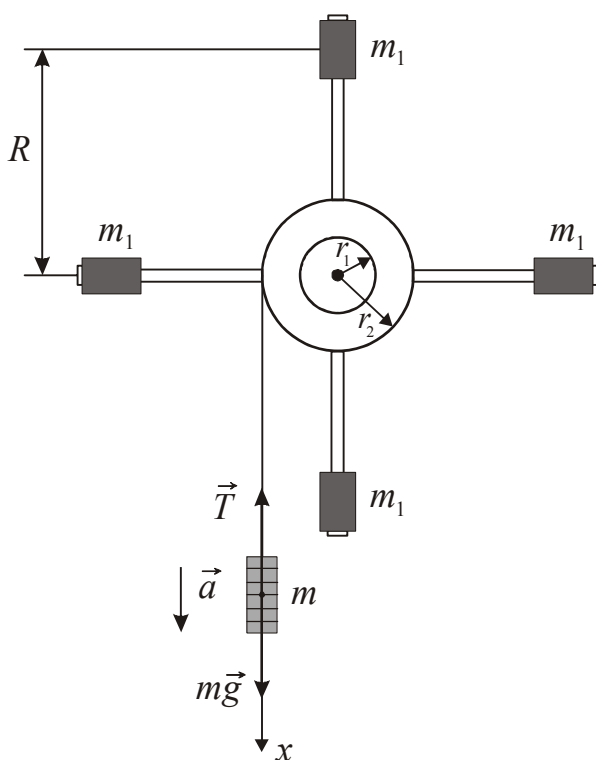


Рисунок 1

На шкивы наматывается нить, к которой привязана платформа с грузом известной массы m . Нить натягивается и создает вращающий момент, который можно изменять, перематывая нить со шкива на шкив.

Общие положения

Вращение твердого тела постоянной массы вокруг неподвижной оси описывается основным законом динамики вращательного движения

$$M = J\varepsilon, \quad (1)$$

где M – момент внешних сил, действующих на тело;

J – момент инерции тела;

ε – угловое ускорение.

Момент инерции J_1 всей вращающейся системы относительно оси вращения складывается из момента инерции крестовины и момента инерции грузов:

$$J_1 = J_0 + 4m_1R_1^2, \quad (2)$$

где J_0 – момент инерции крестовины без грузов относительно оси вращения;
 R_1 – расстояние от оси вращения до середины груза;
 m_1 – масса груза на стержне.

При изменении расстояния R от оси вращения до грузов m_1 , момент инерции системы изменится и станет равным:

$$J_2 = J_0 + 4m_1R_2^2 \quad (3)$$

Вычтем одно выражение из другого

$$J_2 - J_1 = 4m_1(R_2^2 - R_1^2) \quad (4)$$

Правая часть равенства может быть вычислена по данным m_1, R_1, R_2

Значения J_1 и J_2 определим с помощью основного закона динамики вращательного движения (1). Вращающий момент M создается силой натяжения нити T . Он равен произведению силы натяжения нити на плечо. Плечом является радиус шкива.

Силу натяжения нити определим из второго закона Ньютона. На груз массой m действуют две силы: сила тяжести mg и сила натяжения нити T . Под действием этих сил он движется вниз равноускоренно с ускорением a . Запишем второй закон Ньютона в проекции на направление движения:

$$mg - T = ma.$$

отсюда

$$T = m(g - a) \quad (5)$$

Вращающий момент:

$$M = Tr = m(g - a)r. \quad (6)$$

Подставив выражение (6) в формулу (1), найдем момент инерции вращающейся системы:

$$J = \frac{M}{\varepsilon} = \frac{m \cdot (g - a) \cdot r}{\varepsilon} \quad (7)$$

Угловое и линейное ускорения связаны соотношением:

$$a = \varepsilon r. \quad (8)$$

Груз m движется равноускоренно, поэтому:

$$h = \frac{at^2}{2}.$$

Отсюда

$$a = \frac{2h}{t^2},$$

тогда

$$\varepsilon = \frac{2h}{t^2 r}.$$

Подставляя значения a и ε в выражение (7), получим:

$$J = mr^2 \left(\frac{gt^2}{2h} - 1 \right) \quad (9)$$

По формуле (9) можно вычислить J_1 и J_2 , затем разность моментов инерции и проверить равенство (4), выполнение которого подтверждает справедливость основного закона динамики вращательного движения.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины измеряются непосредственно?
3. Запишите формулу, по которой рассчитывается момент инерции системы. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Измерить штангенциркулем диаметр d большого шкива.
2. Измерить высоту h падения груза m от нуля линейки до пола.
3. Закрепить грузы m_1 посередине стержней так, чтобы система находилась в состоянии безразличного равновесия. Записать значение массы m_1 груза на спице, указанное на установке.
4. Измерить расстояние R_1 от оси вращения до середины груза m_1 .
5. Записать значение массы m груза, который крепится к нити.
6. Прикрепить к свободному концу нити груз массы m и намотать нить на большой шкив так, чтобы нижний торец груза установился напротив нулевой отметки линейки.
7. Отпустить груз m , одновременно пустив в ход электрический секундомер, и измерить время t падения груза.
8. Опыт повторить три раза. Найти среднее значение времени падения груза.
9. Измерить штангенциркулем диаметр d малого шкива.
10. Прикрепить к свободному концу нити груз массы m и намотать нить на малый шкив так, чтобы нижний торец груза установился напротив нулевой отметки линейки. Провести измерения согласно п. 7-8.
11. Расположить грузы m_1 на концах стержней. Измерить расстояние R_2 от оси вращения до середины груза m_1 .
12. Выполнить измерения согласно п. 6, 7, 8, наматывая нить сначала на большой шкив, а затем на малый.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Вычислить моменты инерции J_1 и J_2 по формуле (9). Найти среднее значение момента инерции для каждого положения грузов.
2. Рассчитать разность моментов инерции (левая часть формулы (4)).
3. Рассчитать правую часть формулы (4), используя измеренные значения R_1 , R_2 и известное значение m_1 .
4. Сравнить результаты, полученные в п. 14 и п. 15

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Сформулируйте основной закон динамики вращательного движения. Запишите формулу.
2. Дайте определение момента силы. Как определяется его направление?
3. Сформулируйте теорему Штейнера. Запишите формулу.
4. Какой вывод можно сделать из сравнения результатов, полученных в пунктах 14 и 15?

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №6

Выполнил(а) _____

Группа _____

Масса грузов, закрепленных на спице $m_1 =$ _____Масса падающего груза $m =$ _____Высота падения груза $h =$ _____Диаметр большого шкива $d =$ _____Диаметр малого шкива $d =$ _____

№ п/п	r , мм	R , см	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	$t_{\text{ср}}$, с	J , кг·м ²	Примечание
1								Грузы находятся на середине спиц
2								
среднее								
3								Грузы находятся на концах спиц
4								
среднее								

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 7

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ
НА МАЯТНИКЕ ОБЕРБЕКА

Цель работы – проверить основной закон динамики вращательного движения, исследовать зависимость момента инерции от квадрата расстояния между центром масс груза и осью вращения маятника.

Приборы и принадлежности: маятник Обербека, набор грузов, секундомер, штангенциркуль.

Описание экспериментальной установки

Маятник Обербека представляет собой крестовину, состоящую из четы-

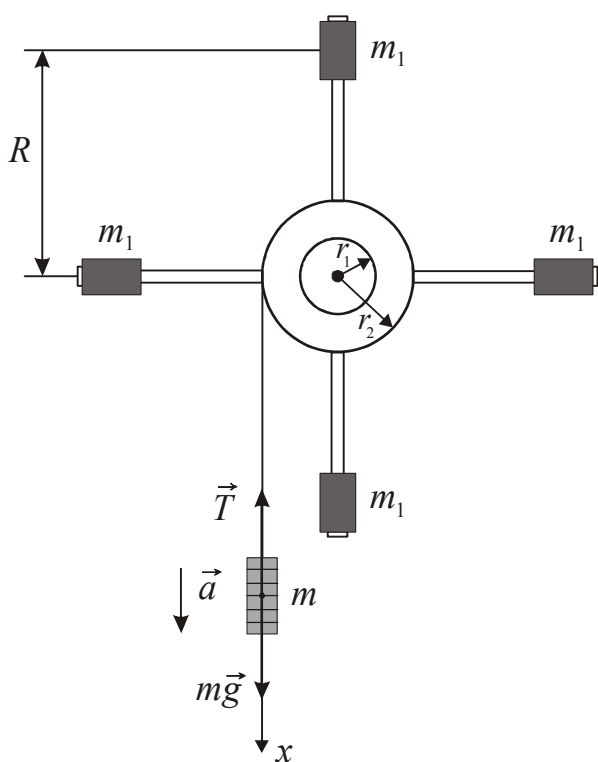


Рисунок 1

рех стержней, укрепленных на втулке с осью (рис. 1). На стержни надеваются одинаковые грузы в виде цилиндров массой m_1 , которые могут быть закреплены на различных расстояниях от оси вращения. Втулка и два шкива различных радиусов (r_1 и r_2) насажены на ось вращения маятника. На один из шкивов маятника наматывается тонкая нить, к свободному концу которой прикрепляется груз массой m . Вся эта система может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси. Вращающий момент можно изменять, перематывая нить со шкива на шкив. Момент инерции системы изменяют, передвигая грузы m_1 вдоль спиц.

Общие положения

Для тела, которое вращается относительно неподвижной оси, основной закон динамики вращательного движения имеет вид:

$$J\varepsilon = M_{\text{внеш}}, \quad (1)$$

где J – момент инерции тела относительно оси вращения, ε – угловое ускорение, $M_{\text{внеш}}$ – проекция суммарного момента внешних сил на ось вращения.

Момент сил создается силой натяжения нити T и силой трения $F_{\text{тр}}$. Сумма проекций моментов внешних сил $M_{\text{внеш}}$ на ось вращения равна:

$$M_{\text{внеш}} = M - M_{\text{тр}},$$

где M – момент силы натяжения нити, $M_{\text{тр}}$ – момент силы трения.

С учётом этого уравнение (1) примет вид:

$$M - M_{\text{тр}} = J\varepsilon.$$

Момент силы натяжения нити

$$M = T \cdot r, \quad (2)$$

где T – сила натяжения нити; r – радиус шкива.

Силу натяжения нити T определим из второго закона Ньютона. На груз массой m действуют две силы: сила тяжести и сила натяжения нити, под действием которых он движется вниз с ускорением a (см. рис.1). В проекции на ось Ox это уравнение примет вид:

$$mg - T = ma,$$

Отсюда

$$T = m(g - a). \quad (3)$$

В условиях данного эксперимента $a \ll g$, поэтому можно записать:

$$T \approx mg.$$

Тогда

$$M \approx mgr. \quad (4)$$

Отсюда

$$\varepsilon = \frac{1}{J}(M - M_{\text{тр}}). \quad (5)$$

С учётом (4) уравнение (5) имеет вид:

$$\varepsilon = \frac{1}{J}(mgr - M_{\text{тр}}). \quad (6)$$

Если момент инерции системы J и момент силы трения $M_{\text{тр}}$ остаются постоянными, то угловое ускорение ε будет линейно зависеть от момента $M = mgr$, т.е. график зависимости $\varepsilon = f(M)$ должен представлять собой прямую. Тангенс угла наклона прямой равен $1/J$, а точка пересечения с осью Ox даст $M_{\text{тр}}$. Угловое ускорение ε можно найти, измерив высоту h и время t падения груза:

$$h = \frac{at^2}{2}.$$

Отсюда:

$$a = \frac{2h}{t^2}.$$

Линейное ускорение a связано с угловым ускорением ε соотношением

$$a = \varepsilon \cdot r.$$

Тогда

$$\varepsilon = \frac{2h}{r \cdot t^2}. \quad (7)$$

С помощью маятника Обербека также можно исследовать зависимость момента инерции J от R – расстояния от центра масс грузов до оси вращения. Момент инерции системы:

$$J = J_0 + 4m_1R^2, \quad (8)$$

где J_0 – момент инерции крестовины без грузов; m_1R^2 – момент инерции одного груза m_1 , центр масс которого находится на расстоянии R от оси вращения.

Формулу для вычисления момента инерции J получаем из основного уравнения динамики вращательного движения (1):

$$J = \frac{M_{\text{внеш}}}{\varepsilon}. \quad (9)$$

Если момент силы трения на оси $M_{\text{тр}}$ много меньше mgr , то этой величиной можно пренебречь. Из (2) и (3) получим:

$$M = m(g - a)r. \quad (10)$$

Подставим (10) в уравнение (9), получим:

$$J = \frac{mr(g - a)}{\varepsilon}. \quad (11)$$

Угловое ε и линейное a ускорения заменим согласно соотношениям (7), получим:

$$J = mr^2 \left(\frac{gt^2}{2h} - 1 \right). \quad (12)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какая зависимость проверяется в упражнении 1? Нарисуйте схематический график этой зависимости.
3. Запишите формулы, по которым рассчитываются угловое ускорение и момент силы. Поясните смысл обозначений.
4. Какая зависимость проверяется в упражнении 2? Нарисуйте схематический график этой зависимости.
5. Запишите формулу, по которой рассчитывается момент инерции системы. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

Задание 1.

Исследование зависимости углового ускорения от момента внешних сил

Исследуемая зависимость $\varepsilon = f(M)$ получена в предположении, что $a \ll g$.

Для выполнения этого условия необходимо нить намотать на шкив меньшего диаметра, а грузы на спицах разместить на наибольшем расстоянии R от оси.

1. Установить грузы m_1 на концах спиц.
2. Измерить диаметр шкива d .

3. Подвесить на нити платформу с грузом общей массой 100 г так, чтобы её нижняя поверхность находилась на нулевой отметке линейки. Три раза измерить время падения груза t до пола. Найти среднее значение времени.
4. Повторить измерения пункта 3 для пяти значений массы m груза, добавляя на платформу по одному грузу массой 50 г.
5. Измерить высоту h падения груза.

Задание 2.

Исследование зависимости момента инерции от квадрата расстояния между центром масс груза и осью вращения маятника

Исследуемая зависимость $J = f(R^2)$ получена в предположении, что $M_{mp} \ll M$. Для выполнения этого условия выбираем больший диаметр d шкива и максимальную массу падающего груза ($m=300$ г).

1. Записать массу падающего груза m .
2. Измерить диаметр d шкива.
3. Закрепить грузы m_1 в начале спиц.
4. Измерить расстояние R от оси вращения до центра масс груза m_1 .
5. Подвесить груз m на нити так, чтобы его нижняя поверхность находилась на нулевом делении линейки. Три раза измерить время падения груза t до пола. Найти среднее значение времени падения.
6. Передвигая грузы m_1 вдоль спиц на $\Delta R=2$ см, провести измерения для пяти разных положений груза согласно пп.4–5.

Оформление отчета

1. Расчеты

Задание 1

1. Вычислить момент силы M по формуле (4) для каждой массы.
2. Вычислить угловое ускорение ε по формуле (7), используя среднее значение времени падения.
3. Построить график зависимости $\varepsilon = f(M)$.
4. Используя график, определить момент силы трения $M_{тр}$.

Задание 2

1. Вычислить по результатам каждого опыта момент инерции маятника по формуле (12), используя среднее значение времени.
2. Построить график зависимости $J = f(R^2)$.
3. Используя график, определить момент инерции J_0 крестовины маятника.

2. Защита работы (ответы представить в письменном виде)

1. Сформулируйте основной закон динамики вращательного движения. Запишите формулу.
2. Сформулируйте теорему Штейнера. Запишите формулу.
3. Сделайте вывод о том, соответствуют ли результаты эксперимента теоретическим зависимостям.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №7

Выполнил(а) _____

Группа _____

Задание 1

Высота падения груза $h =$ _____ Диаметр малого шкива $d =$ _____

№ п/п	r , мм	m , г	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	$t_{\text{ср}}$, с	ε , рад/с	M , Н·м	Примечание
1									Нить наматывается на малый шкив
2									
3									
4									
5									

Задание 2

Высота падения груза $h =$ _____Масса падающего груза $m =$ _____ Диаметр большого шкива $d =$ _____

№ п/п	r , мм	R , см	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	$t_{\text{ср}}$, с	R^2 , см ²	J , кг·м ²	Примечание
1									Нить наматывается на большой шкив
2									
3									
4									
5									

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 8

УПРУГИЙ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ УДАР ШАРОВ

Цель работы – определить скорость соударяющихся шаров, время соударения, среднюю силу соударения.

Приборы и принадлежности: экспериментальная установка для изучения упругого центрального удара шаров.

Описание экспериментальной установки

Принципиальная схема дана на рис. 1. Установка состоит из двух стальных шаров 1 и 2, подвешенных на проводящих нитях, конденсатора $C1$, сопротивления $R1$, источника напряжения, электромагнитов $L1$ и $L2$, баллистического гальванометра Γ , ключа $K3$, переключателей $K1$ и $K2$.

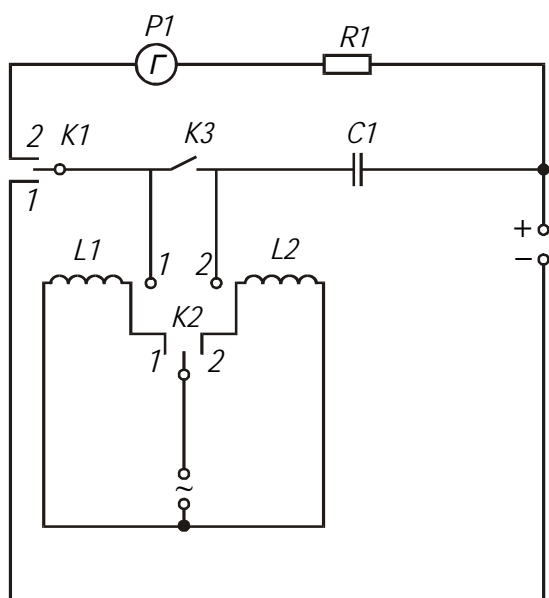


Рисунок 1

При замыкании переключателя $K1$ в положение 1 происходит зарядка конденсатора $C1$ (ключ $K3$ замкнут). Переключая $K1$ в положение 2, конденсатор можно полностью разрядить через гальванометр Γ .

Для того, чтобы разрядить конденсатор $C1$ при разомкнутом ключе $K3$ необходимо шары 1 и 2 привести в соприкосновение, что и происходит во время удара.

Происходит во время удара.

Параметры установки: $R = 220$ Ом; $l = 0,83$ м; $C = 0,5$ мкФ; $U = 100$ В.

Общие положения

Абсолютно упругим называется такой удар, при котором полная механическая энергия тел сохраняется. Удар называется центральным, если шары до удара движутся по прямой, проходящей через их центры.

Задание 1. Определение времени соударения шаров

При ударе шары замыкают электрическую цепь, составленную из заряженного конденсатора, сопротивления и гальванометра. Время, в течение которого шары соударяются, будет равно времени разрядки конденсатора. При разрядке заряд на конденсаторе убывает по закону:

$$q = q_0 e^{-t/RC}, \quad (1)$$

где q_0 – заряд конденсатора в начальный момент времени; q – заряд, оставшийся на конденсаторе через время t ; C – емкость конденсатора; R – сопротивление цепи.

Прологарифмировав соотношение (1), можно найти время соударения шаров:

$$t = RC \ln \frac{q_0}{q}. \quad (2)$$

Для измерения величины заряда используют баллистический гальванометр, отклонение указателя которого пропорционально величине заряда, прошедшего через него. Тогда можно записать следующие соотношения:

$$q_0 = \beta n_0, \quad q = \beta(n_0 - n_1), \quad (3)$$

где n_0 – показание гальванометра, соответствующее заряду, протекающему при полной разрядке конденсатора; n_1 – показание гальванометра, соответствующее заряду, протекающему через гальванометр за время соударения шаров; β – коэффициент пропорциональности.

Подставив (3) в (2), получим:

$$t = RC \ln \frac{n_0}{n_0 - n_1} \quad (4)$$

Задание 2. Определение скорости шаров при соударении

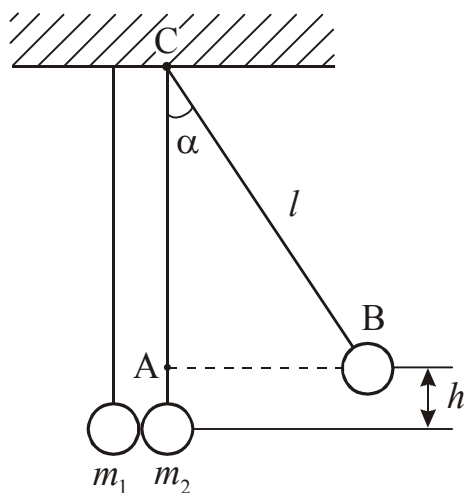


Рисунок 2

Отведем шарик массой m_2 от положения равновесия на угол α (рис. 2). При этом он поднимется на высоту h и приобретет потенциальную энергию

$$W_{\text{п}} = m_2 gh. \quad (5)$$

В момент удара потенциальная энергия полностью переходит в кинетическую энергию

$$W_{\text{к}} = \frac{m_2 v_2^2}{2}. \quad (6)$$

По закону сохранения механической энергии

$$m_2 gh = \frac{m_2 v_2^2}{2}. \quad (7)$$

Отсюда:

$$v_2 = \sqrt{2gh} \quad (8)$$

Из $\triangle ABC$ (см. рис.2) следует, что

$$\cos \alpha = \frac{l - h}{l}.$$

Тогда:

$$h = l(1 - \cos \alpha). \quad (9)$$

Подставим (9) в соотношение (8), получим:

$$v_2 = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha)}. \quad (10)$$

Задание 3. Определение средней силы соударения шаров

При абсолютно упругом ударе выполняются закон сохранения импульса и закон сохранения механической энергии. Обозначим массу первого шарика m_1 , массу второго – m_2 . Первый шарик до удара покоился, т.е. $v_1=0$. Тогда закон сохранения импульса и закон сохранения механической энергии запишутся в виде:

$$m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2 \quad (11)$$

$$\frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}, \quad (12)$$

где v_2 – скорость второго шарика до удара;
 u_1 и u_2 – скорости шариков после удара.

Решив систему уравнений (11) – (12), можно найти скорости шариков после удара:

$$u_1 = \frac{2m_2 v_2}{m_1 + m_2} \quad (13)$$

$$u_2 = \frac{(m_2 - m_1)v_2}{m_1 + m_2} \quad (14)$$

Если массы шариков одинаковы, то из (13) следует, что

$$u_1 = v_2,$$

а из (14) следует, что

$$u_2 = 0$$

Это означает, что шары обменялись скоростями, т.е. второй шарик после удара останавливается, а первый приобретает скорость, которую имел второй до удара.

Для нахождения силы F соударения шаров используем второй закон Ньютона в следующем виде:

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m_2 \Delta \vec{v}, \quad (15)$$

где $\Delta t = t$ – время соударения шариков;

Δv – изменение скорости второго шарика; $\Delta v = u_2 - v_2$.

Так как $u_2 = 0$, то

$$F = \frac{m_2 v_2}{t}. \quad (16)$$

Массу шарика рассчитаем по его плотности и известному радиусу:

$$m_2 = \frac{4}{3} \rho \pi r^3, \quad (17)$$

где $r=0,01$ м – радиус шарика, $\rho=7700$ кг/м³ – плотность материала (сталь).

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно (прямые измерения)?
3. Запишите формулу, по которой рассчитывается время соударения шаров. Поясните смысл обозначений, входящих в формулу.
4. Запишите формулу, по которой рассчитывается скорость шаров при ударе. Поясните смысл обозначений, входящих в формулу.
5. Запишите формулу, по которой рассчитывается средняя сила удара шаров? Поясните смысл обозначений, входящих в формулу.

Выполнение работы

1. Записать в протокол параметры установки.
2. Включить установку и гальванометр в сеть. Замкнуть ключ $K3$.
3. Зарядить конденсатор. Для этого перевести переключатель $K1$ в положение 1.
4. Полностью разрядить конденсатор. Для этого перевести переключатель $K1$ в положение 2. Записать показания гальванометра n_0 .
5. Повторить измерения согласно пп. 3–4 еще два раза.
6. Зафиксировать магнит $L1$ на отметке «5°» (угол отклонения шарика m_2 5°). Магнит $L2$ установить в такое положение, чтобы после соударения шарик m_1 притянулся к нему и не ударялся о шарик m_2 повторно.
7. Перевести ключ $K2$ в положение 1 и подвести шар к магниту $L1$.
8. Зарядить конденсатор, замкнув ключ $K3$ и установив переключатель $K1$ в положение 1.
9. Разомкнуть ключ $K3$, а ключ $K1$ перевести в положение 2.
10. Ключ $K2$ перевести в положение 2. Записать показания гальванометра n_1 . Повторить опыт три раза.
11. Выполнить измерения согласно пп. 6–10, отклоняя шарик m_2 на угол 10°, а затем на 15°.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать среднее значение показаний гальванометра n_0 .
2. Рассчитать среднее значение показаний гальванометра n_1 для каждого угла.
3. По формуле (4) рассчитать время соударения шаров для каждого угла.
4. По формуле (10) рассчитать скорости шаров в момент удара для каждого угла.
5. По формуле (17) рассчитать массу шарика.
6. По формуле (16) рассчитать среднюю силу соударения шаров для каждого угла.

2. Защита работы *(ответы представить в письменном виде)*

1. Какой удар называется абсолютно упругим? Какие законы сохранения применимы к абсолютно упругому удару шаров?
2. Сформулируйте закон сохранения импульса и закон сохранения механической энергии.
3. Какие законы сохранения применимы к неупругому удару шаров?
4. Сделайте вывод по результатам работы.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №8

Выполнил(а) _____

Группа _____

Параметры установки: $R = \underline{\hspace{1cm}}$ Ом; $l = \underline{\hspace{1cm}}$ м; $C = \underline{\hspace{1cm}}$ мкФ; $U = \underline{\hspace{1cm}}$ В.

Радиус шарика $r = \underline{\hspace{1cm}}$ м,Плотность материала шарика $\rho = \underline{\hspace{1cm}}$ кг/м³.

№ п/п	n_0
1	
2	
3	
среднее	

№ п/п	α	n_1	α	n_1	α	n_1
1	5°		10°		15°	
2						
3						
среднее						

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ
МЕТОДОМ ЛЕНТОЧНОГО ТОРМОЗА

Цель работы – исследовать зависимость мощности, развиваемой электродвигателем на валу, от угловой скорости.

Приборы и принадлежности: электродвигатель, динамометр, счетчик оборотов, штангенциркуль, секундомер.

Описание экспериментальной установки

Прибор представляет собой коллекторный электродвигатель мощностью около 40 Вт, рассчитанный на рабочее напряжение 220 В, смонтированный на горизонтальной панели.

На панели установлены: стойка с продольной прорезью (по стойке перемещается планка с прикрепленными к ней двумя динамометрами), держатель шкалы счетчика оборотов и реостат.

Шкив охватывается ленточным тормозом, концы которого связаны с динамометрами, имеющими две шкалы. Ось электродвигателя выходит за торец шкива и имеет фрикционное соединение со счетчиком оборотов. Конструкция держателя дает возможность включить счетчик путем перемещения его в небольших пределах вдоль оси электродвигателя. Шкала счетчика имеет 100 делений. Каждое деление соответствует двум оборотам электродвигателя.

Поворотом верхнего кольца шкалы можно устанавливать указатель на нулевое деление шкалы.

Внимание! В процессе выполнения работы необходимо проявлять особую осторожность, в связи с тем, что:

- 1) шкив вращается с большой скоростью;
- 2) на реостат подано напряжение 220 В.

Общие положения

Элементарная работа, совершаемая при вращательном движении, равна скалярному произведению момента внешних сил на элементарное угловое перемещение:

$$dA = \vec{M} \cdot d\vec{\varphi}, \quad (1)$$

где \vec{M} – момент внешних сил; $d\vec{\varphi}$ – элементарное угловое перемещение.

Мощность – скалярная физическая величина равная скорости совершения работы

$$P = \frac{dA}{dt}. \quad (2)$$

Подставим (1) в (2), получим:

$$P = \vec{M} \frac{d\vec{\phi}}{dt} = \vec{M} \vec{\omega}, \quad (3)$$

где $\vec{\omega} = \frac{d\vec{\phi}}{dt}$ – угловая скорость.

Из формулы (3) следует, что мощность пропорциональна моменту M внешних сил.

На шкив действует вращающий момент M_D , создаваемый электродвигателем и тормозящий момент M_T , создаваемый ленточным тормозом. Момент внешних сил будет равен:

$$M = M_D - M_T. \quad (4)$$

Согласно основному уравнению динамики вращательного движения $\vec{M} = J\vec{\epsilon}$. Шкив вращается равномерно, следовательно, его угловая скорость $\omega = \text{const}$, а угловое ускорение $\epsilon = 0$. Отсюда следует, что $\vec{M} = 0$. Уравнение (4) примет вид: $M_D - M_T = 0$, т.е.

$$M_D = M_T. \quad (5)$$

Тормозящий момент M_T создается силами натяжения F_1 и F_2 ленточного тормоза. Плечом сил является радиус шкива R . Следовательно,

$$M_T = |F_2 R - F_1 R|. \quad (6)$$

Сравнивая (5) и (6), запишем:

$$M_D = R \cdot |F_2 - F_1|. \quad (7)$$

За время t шкив совершает N оборотов, поэтому угловая скорость

$$\omega = \frac{2\pi N}{t}. \quad (8)$$

Подставив выражения (7) и (8) в соотношение (3), и учитывая, что $2R=d$, где d – диаметр шкива, получим формулу для расчета мощности, развиваемой электродвигателем на валу:

$$P = \frac{\pi d N \cdot |F_2 - F_1|}{t}. \quad (9)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно (прямые измерения)?
3. По какой формуле Вы будете рассчитывать угловую скорость?

4. По какой формуле Вы будете рассчитывать мощность на валу электродвигателя. Поясните смысл обозначений, входящих в формулу.
5. Какой график необходимо построить по результатам работы?

Выполнение работы

1. Измерить диаметр d деревянного шкива штангенциркулем.
2. Установить и закрепить планку с динамометрами таким образом, чтобы указатели динамометров показывали нагрузку на шкив 0,5 Н.
3. Установить реостат в среднее положение.
4. Включить прибор в сеть.
5. Снять показания динамометров F_1 и F_2 .
6. Измерить время, за которое двигатель совершает 500 оборотов. Для этого в момент совпадения нулевого деления шкалы счетчика с указателем кольца включить секундомер. После того, как счетчик сделает 2,5 оборота, секундомер выключить.
7. Выключить двигатель (не изменяя положение реостата). Переместить динамометры на 0,2 Н, чтобы нагрузка на шкив увеличилась, и снова выполнить пункты 4, 5, 6.
8. Повторить измерения еще 7 раз, каждый раз увеличивая нагрузку на 0,2 Н.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать угловую скорость вращения шкива по формуле (8).
2. Рассчитать мощность двигателя на валу по формуле (9).
3. Построить график зависимости мощности P от угловой скорости ω :
$$P = f(\omega).$$
4. Определить по графику примерный интервал значений угловой скорости, в котором двигатель развивает максимальную мощность.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Дайте определение работы, запишите формулу. Укажите единицы измерения.
2. Дайте определение мощности, запишите формулу. Укажите единицы измерения.
3. Сформулируйте основной закон динамики вращательного движения. Запишите формулу.
4. Сделайте вывод по результатам работы.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №9

Выполнил(а) _____

Группа _____

Диаметр шкива $d =$ _____

№ п/п	Нагрузка F , Н	F_1 , Н	F_2 , Н	N , оборот	t , с	ω , рад/с	P , Вт
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 10

ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ РАСТЯЖЕНИЯ

Цель работы – исследовать зависимость удлинения стальной проволоки от приложенной нагрузки, определить модуль продольной упругости.

Приборы и принадлежности: переключатель с укрепленной на ней проволокой, набор грузов, индикатор, микрометр.

Общие положения

Под воздействием внешних сил твердые тела деформируются, т.е. изменяют свои размеры и форму. Если после прекращения действия внешних сил первоначальные форма и размеры тела восстанавливаются, то деформация называется упругой. Если первоначальные размеры и форма не восстанавливаются, то деформация называется пластической (неупругой).

Однородные стержни ведут себя при растяжении подобно пружине. Деформация приводит к возникновению в стержне упругих сил.

Если деформация однородная, то силы равномерно распределены по поверхности поперечного сечения S . Величина

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{S} \quad (1)$$

определяет упругую силу, действующую на единицу площади поперечного сечения, перпендикулярного к направлению силы. Она называется нормальным механическим напряжением.

Мерой деформации при растяжении (сжатии) является относительное удлинение

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}, \quad (2)$$

где $\Delta l = l - l_0$ – абсолютное удлинение; l_0 – первоначальная длина.

По закону Гука в пределах упругой деформации нормальное напряжение прямо пропорционально относительному удлинению:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (3)$$

где E – коэффициент пропорциональности, называемый модулем продольной упругости (модулем Юнга) материала образца. Он характеризует упругие свойства вещества, зависит от материала образца.

Модуль Юнга равен такому нормальному напряжению, при котором относительное удлинение было бы равно единице (т.е. абсолютное удлинение Δl равнялось бы первоначальной длине l_0 стержня), если бы столь большие упругие деформации были возможны. В действительности, например, железные стержни разрушаются при σ , равных примерно $0,002E$.

Зависимость нормального напряжения σ от относительного удлинения ε изображена на рис. 1. При малых деформациях (ε изменяется от 0 до $\varepsilon_{\text{пл}}$) на графике наблюдается линейный участок ОА.

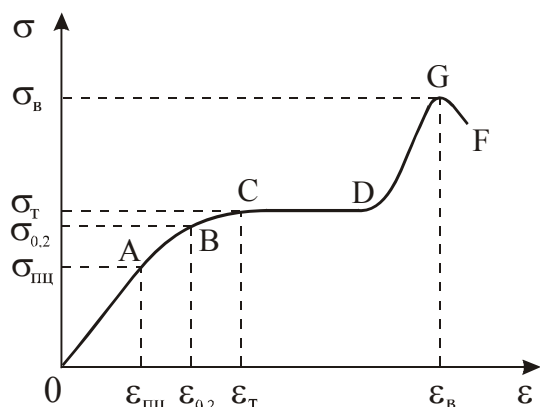


Рисунок 1

При малых деформациях (ε изменяется от 0 до $\varepsilon_{\text{пл}}$) на графике наблюдается линейный участок ОА. Максимальное напряжение $\sigma_{\text{пл}}$, соответствующее этому участку, называется пределом пропорциональности. Предел упругости $\sigma_{0,2}$ – это максимальное напряжение, при котором ещё сохраняются упругие свойства тела.

На участке АВ деформация нелинейная, но ещё упругая. Обычно этот участок очень мал: $\sigma_{0,2}$ больше

$\sigma_{\text{пл}}$ на доли процентов. При напряжениях, больших $\sigma_{0,2}$, деформация становится пластической: в теле после снятия нагрузки наблюдается остаточная деформация ε_T . При напряжениях σ_T удлинение нарастает практически без увеличения нагрузки. Это область текучести материала (участок CD). На участке DG происходит некоторое упрочнение образца. После достижения максимального значения σ_B – предел прочности – напряжение резко уменьшается, и образец разрушается (точка F на графике).

Описание установки

Установка для измерения модуля упругости проволоки представлена на рис. 2. Стальная проволока закреплена одним концом к верхней перекладине в точке А.

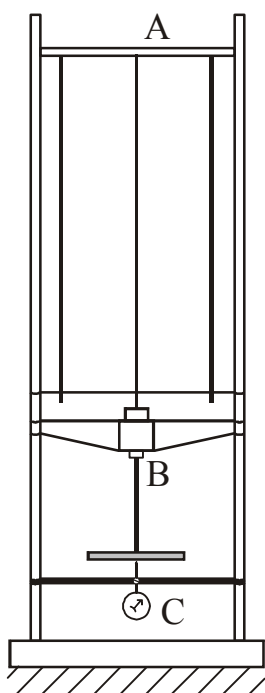


Рисунок 2

К концу проволоки (точка В) прикреплена платформа, на которую помещаются грузы, растягивающие проволоку. Остальные грузы размещаются на верхней платформе. Индикатор С, укрепленный на нижней перекладине опоры, фиксирует абсолютное удлинение Δl проволоки. Длина проволоки измеряется рулеткой, диаметр d – микрометром.

Методика эксперимента

Проволока диаметром d , начальной длиной l_0 , изготовленная из исследуемого материала, растягивается под действием груза P ($P = mg$). Механическое напряжение, возникшее в проволоке $\sigma = \frac{P}{S}$ Закон Гука

(3) в этом случае запишется в виде:

$$\frac{P}{S} = E \cdot \frac{\Delta l}{l_0} \quad (4)$$

Из анализа формулы (4) следует, что абсолютное удлинение Δl должно быть пропорционально нагрузке P , что является подтверждением справедливости закона Гука.

Используя соотношение (4), получим формулу для расчета модуля Юнга. Площадь поперечного сечения проволоки

$$S = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (5)$$

где d – диаметр проволоки.

Подставим (5) в (4), получим:

$$E = \frac{4l_0 P}{\pi d^2 \Delta l} \quad (6)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно (прямые измерения)?
3. По какой формуле Вы будете рассчитывать модуль Юнга? Поясните смысл обозначений.
4. Какой график нужно построить по результатам работы? Схематически изобразите теоретический вид этого графика.

Выполнение работы

1. Положить один груз на нижнюю платформу для выпрямления проволоки. До конца работы груз с платформы не снимать.
2. Чтобы верхняя переключательная всегда находилась под одинаковой нагрузкой, остальные грузы надо положить на верхнюю платформу.
3. Записать цену деления индикатора (указана на индикаторе). Укрепить индикатор на нижней переключательной опоре. При этом индикатор поднять так, чтобы стрелка на маленькой шкале показывала 4 – 5 делений (т.е. ножка индикатора углубилась на 4 – 5 мм).
4. Закрепив индикатор в кронштейне, вращением лимба на индикаторе установить нулевое деление шкалы против большой стрелки индикатора. Это первое значение $N'_0 = 0$ заносим в таблицу.
5. Положить на нижнюю платформу груз P_1 . Записать массу m груза.
6. Снять показание индикатора N по наружной (чёрной) шкале.
7. Переложить груз P_1 на верхнюю платформу и снять показание N''_0 . Если стрелка не дойдёт до нулевого деления, то показание N''_0 снять по наружной (чёрной) шкале. Если стрелка отклонится за нулевое деление, то показание N''_0 снять по внутренней (красной) шкале и занести в таблицу со знаком “–”.
8. Опыт с грузом P_1 повторить три раза.

9. Увеличивая нагрузку P (добавляя грузы), повторить измерения по п.п. 5–8 для двух других значений P . Перед началом каждого опыта вращением лимба на индикаторе устанавливать нулевое деление шкалы против большой стрелки индикатора.
10. Измерить рулеткой длину l_0 проволоки.
11. Измерить диаметр d проволоки микрометром.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. По данным N'_0 и N''_0 из каждой строки найти $N_0 = \frac{N'_0 + N''_0}{2}$, учитывая знак величины N''_0 .
2. Найти разность $N - N_0$.
3. Найти удлинение Δl , умножая значение разности $N - N_0$ на цену деления индикатора.
4. Вычислить среднее значение Δl для каждой нагрузки.
5. Рассчитать величину нагрузки для каждого опыта $P = mg$.
6. Рассчитать модуль Юнга по формуле (6), используя среднее значение Δl для каждой нагрузки.
7. Рассчитать среднее значение $\langle E \rangle$. Абсолютную погрешность ΔE рассчитать как для прямых измерений.
8. Найти относительную погрешность измерений.
9. Результат записать в виде:

$$E = \langle E \rangle \pm \Delta E.$$

10. Построить график зависимости абсолютного удлинения Δl от приложенной нагрузки P : $\Delta l = f(P)$.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Дайте определение упругой деформации.
2. Сформулируйте закон Гука. Укажите границы его применимости.
3. Какая физическая величина называется нормальным напряжением?
4. Какая физическая величина называется абсолютным удлинением?
5. Какая физическая величина называется относительным удлинением?
6. Что характеризует модуль Юнга?
7. Сравните полученное значение модуля Юнга с табличным значением для стали. Сравните полученный экспериментально график с теоретической зависимостью. Сделайте вывод по результатам работы.

ПРОТОКОЛ

измерений к лабораторной работе № 10

Выполнил(а) _____

Группа _____

Цена деления индикатора $C =$ _____Длина проволоки $l_0 =$ _____Диаметр проволоки $d =$ _____

№ п/п	m , кг	P , Н	N'_0	N	N''_0	N_0	$N - N_0$	Δl , мм	E , Па
1									
2									
3									
среднее									
1									
2									
3									
среднее									
1									
2									
3									
среднее									

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №23

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

Цель работы – измерить коэффициент трения скольжения для различных пар материалов.

Приборы и материалы: тела, изготовленные из разных материалов; установка для измерения коэффициента трения скольжения; технический угломер.

Общие положения

Трение – это взаимодействие между различными соприкасающимися телами, препятствующее их относительному перемещению.

Мерой взаимодействия таких тел являются силы трения скольжения. Эти силы всегда действуют на оба тела одновременно. Сила трения скольжения направлена вдоль поверхности соприкасающихся тел противоположно скорости их относительного перемещения. При изменении направления скорости направление силы трения изменяется. Силы тормозящего трения всегда мешают относительному перемещению соприкасающихся тел.

Силы трения вызываются зацеплением поверхностей тел, упругими деформациями этих неровностей и сцеплением (слипанием) тел в тех местах, где расстояния между их частицами оказываются малыми и достаточными для возникновения межмолекулярного притяжения. В связи с этим силу трения можно рассматривать как разновидность проявления сил упругости.

Согласно закону Амонтона – Кулона сила трения скольжения $\vec{F}_{\text{тр}}$, которая действует на твердое тело, прямо пропорциональна силе нормальной реакции опоры N того твердого тела, вдоль поверхности которого оно скользит, и направлена в сторону, противоположную движению.

$$F_{\text{тр}} = \mu N, \quad (1)$$

где μ – коэффициент трения скольжения. Коэффициент трения характеризует не тело, на которое действует сила трения, а сразу два тела, трущиеся друг о друга. Он зависит от материала соприкасающихся тел, от качества обработки соприкасающихся поверхностей, наличия между ними инородных веществ и многих других факторов. Опыты показали, что коэффициент трения не зависит

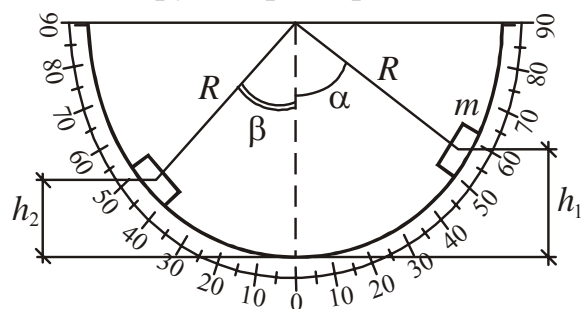


Рисунок 1

от площади соприкасающихся поверхностей. Коэффициент трения скольжения определяют экспериментально.

Для того, чтобы определить коэффициент трения скольжения рассмотрим движение тела массой m , которое может скользить вдоль внутренней поверхности цилиндра (рис. 1). Поверхность тела и цилиндра отшлифованы не идеально.

На тело действуют сила тяжести, сила нормальной реакции опоры и сила трения скольжения. Архимедову силу и силу сопротивления воздуха не учитываем. Если тело поместить на некоторую высоту h_1 , то оно отклонится на некоторый угол α . Можно подобрать такое значение угла, при котором тело, если его отпустить, пройдет положение равновесия и остановится на некоторой высоте h_2 , не совершая колебаний (рис. 1). Работа силы трения скольжения будет равна изменению потенциальной энергии тела:

$$A = -\Delta W_{\text{п}} = mgh_1 - mgh_2, \quad (2)$$

Найдем изменение потенциальной энергии. Из чертежа определим h_1 и h_2 .

$$h_1 = R - R \cos \alpha = R(1 - \cos \alpha); \quad (3)$$

$$h_2 = R - R \cos \beta = R(1 - \cos \beta) \quad (4)$$

$$h_1 - h_2 = R(\cos \alpha - \cos \beta). \quad (5)$$

Сделаем замену в (2) и выполним тригонометрические преобразования. Изменение потенциальной энергии тела будет равно:

$$-\Delta W_{\text{п}} = 2mgR \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}. \quad (6)$$

Силу трения выразим через силу тяжести (рис. 2):

$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg \cos \alpha. \quad (7)$$

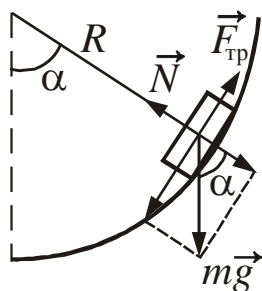


Рисунок 2

Из уравнения (7) следует, что по мере перемещения тела сила трения будет изменяться, так как угол α изменяется. Для нахождения работы переменной силы необходимо записать выражение для элементарной работы и затем проинтегрировать полученное выражение в пределах от α до β . После математических преобразований придем к следующему результату:

$$A = 2\mu mg \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}. \quad (8)$$

Приравняем выражения (6) и (8) и получим формулу для расчета коэффициента трения скольжения:

$$\mu = \text{tg} \frac{\alpha - \beta}{2}, \quad (9)$$

где α – угол между радиусом R и вертикалью в начальном положении тела m (на высоте h_1 относительно уровня положения равновесия);

β – угол между радиусом R и вертикалью в конечном положении тела m (на высоте h_2 относительно уровня положения равновесия).

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка представляет собой технический угломер, на котором нанесена шкала с делениями, позволяющая измерять угол отклонения от вертикали. Поверхность угломера, по которой перемещаются тела, выполнена из стали. Коэффициент трения определяется для трех пар тел.

Тела представляют собой прямоугольные параллелепипеды, изготовленные соответственно из стали, алюминия и бронзы. На телах нанесены риски, по положению которых замеряются углы.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какой измерительный прибор используется при выполнении данной работы?
3. Какие физические величины Вы будете измерять непосредственно (прямые измерения)?
4. По какой формуле Вы будете рассчитывать коэффициент скольжения? Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Поместить первое тело m_1 на шкале угломера, отклонив его от положения равновесия на некоторый угол α . Тело удерживать рукой. Отпустить тело и предоставить ему возможность двигаться без начальной скорости вдоль поверхности цилиндра до остановки. Отпустив тело несколько раз, подобрать такое значение угла α , при котором тело пройдет положение равновесия и остановится на некоторой высоте h_2 , не совершая колебаний.
2. Записать в протокол значение угла α . Выполнить 5 измерений угла β для данного тела при выбранном угле α .
3. Выполнить измерения согласно п.1-2 для тел m_2 и m_3 , изготовленных из других материалов.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать коэффициент трения скольжения по результатам каждого опыта по формуле (9).
2. Найти среднее арифметическое значение коэффициентов трения для каждой пары материалов.
3. Рассчитать абсолютную погрешность определения коэффициента трения скольжения для каждой пары материалов как для прямых измерений.
4. Рассчитать относительную погрешность измерений.

5. Окончательный результат для каждой пары материалов записать в виде:

$$\mu = \mu_{\text{ср}} \pm \Delta\mu$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Что называется трением? В чем причина его появления?
2. Запишите формулу, по которой рассчитывается сила трения?
3. От чего зависит коэффициент трения скольжения?
4. Приведите примеры «полезного» и «вредного» действия сил трения.
5. Какой вывод можно сделать из результатов работы?

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №23

Выполнил(а) _____

Группа _____

Материалы, из которых изготовлены тела:

 m_1 – _____; m_2 – _____; m_3 – _____;

Материал поверхности цилиндра – сталь.

№ п/п	Сталь –			Сталь –			Сталь –		
	α , град	β , град	μ	α , град	β , град	μ	α , град	β , град	μ
1									
2									
3									
4									
5									
Среднее значение									

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО КОЭФФИЦИЕНТА ЛИНЕЙНОГО
РАСШИРЕНИЯ МЕТОДОМ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

Цель работы: Определить коэффициент линейного расширения твёрдых тел.

Приборы и принадлежности: прибор для определения линейного расширения тел, индикатор, штангенциркуль, термометр, металлические и стеклянный стержни, пробирка с держателем.

Общие положения

Тепловым расширением называется увеличение линейных размеров и объемов тел, происходящих при повышении их температуры. Линейное тепловое расширение характерно для твердых тел. Объемное тепловое расширение происходит как в твердых телах, так и в жидкостях.

Линейное тепловое расширение характеризуется коэффициентом линейного расширения (средним коэффициентом линейного расширения) α в данном интервале температур. Экспериментальное определение α осуществляется методами дилатометрии. *Дилатометрия* – раздел физики и измерительной техники, изучающий зависимость изменения размеров тел от внешних воздействий: температуры, давления и т.д. Приборы, применяемые в дилатометрии, называют *дилатометрами*.

Если l_1 – начальная длина тела при температуре t_1 , а $\Delta l = l - l_1$ – увеличение длины тела при нагревании его на Δt градусов, то α характеризует относительное удлинение $\frac{\Delta l}{l_1}$ тела, которое происходит при его нагревании на один градус:

$$\alpha = \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta l}{l_1}. \quad (1)$$

Длина тела при температуре t определяется формулой

$$l = l_0(1 + \alpha t), \quad (2)$$

в этом случае l_0 – длина тела при температуре 0°C .

Коэффициент линейного расширения зависит от природы вещества, его численное значение обычно малая величина порядка $(10^{-5} \div 10^{-6}) \cdot 1/^\circ\text{C}$. При изменении температуры в широком интервале коэффициент линейного расширения растёт с увеличением температуры.

В интервале температур, исследуемом в данной работе, коэффициент линейного расширения можно считать величиной постоянной. Получим расчётную формулу для определения коэффициента линейного расширения, используя уравнение (2).

Длина тела при температуре t_1 :

$$l_1 = l_0(1 + \alpha t_1).$$

Длина этого же тела при температуре t_2 :

$$l_2 = l_0(1 + \alpha t_2).$$

Решая систему двух уравнений, получим:

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1 t_2 - l_2 t_1}. \quad (3)$$

Удлинение Δl образца определяют экспериментально методом Д.И. Менделеева, нагревая его от начальной температуры t_1 до температуры кипения воды t_2 , а затем рассчитывают коэффициент линейного расширения. Так как удлинение $\Delta l \ll l$, то можно считать, что $l_2 \approx l_1$, и для расчета использовать формулу:

$$\alpha = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \cdot \frac{\Delta l}{l_1}. \quad (4)$$

Тепловое расширение тел учитывается при конструировании всех установок, приборов, машин, работающих в переменных температурных условиях.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно (прямые измерения)?
3. По какой формуле Вы будете рассчитывать коэффициент линейного расширения? Поясните смысл обозначений, входящих в формулу.

Выполнение работы

1. Измерить длину l_1 образца штангенциркулем. Поместить образец в пробирку.
2. Заполнить пробирку на $3/4$ ее длины водой и измерить начальную температуру t_1 воды.
3. Привести в контакт толкатель индикатора с образцом и зафиксировать индикатор. Записать цену деления индикатора $C_{и}$.
4. Совместить нулевое деление шкалы индикатора со стрелкой.
5. Включить нагреватель и довести воду в пробирке до кипения.
6. Снять отсчет удлинения N образца по индикатору и выключить нагреватель. Вынуть из пробирки образец.
7. Заменить горячую воду холодной.
8. Провести измерения со вторым и третьим образцами по пунктам 1–7.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать абсолютное удлинение каждого образца, умножив отсчет удлинения N на цену деления индикатора $C_{и}$.
2. Рассчитать коэффициенты линейного расширения по формуле (4) для каждого образца.
3. Абсолютная погрешность $\Delta\alpha$ коэффициента линейного расширения α определяется приборными погрешностями, так как для каждого образца расчеты проводились по результатам одного измерения. В этом случае:

$$\Delta\alpha = \alpha \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta t}{t_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l_1}{l_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(\Delta l)}{\Delta l}\right)^2},$$

где Δt – приборная погрешность измерения температуры;

Δl_1 – приборная погрешность измерения длины образца;

$\Delta(\Delta l)$ – приборная погрешность измерения удлинения.

Приборные погрешности равны половине цены деления измерительных приборов.

4. Записать окончательные результаты для каждого образца в стандартном виде:

$$\alpha = (\alpha \pm \Delta\alpha).$$

5. Рассчитать относительную погрешность измерений для каждого образца.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Запишите формулу зависимости линейных размеров тела от температуры. Поясните смысл обозначений.
2. Почему следует говорить о среднем коэффициенте линейного расширения в данном интервале температур?
3. Сравните полученные значения коэффициентов линейного расширения с табличными значениями для соответствующих материалов. Сделайте вывод.
4. Длина медной проволоки при 0°C равна 5 м. До какой температуры нагрета проволока, если она удлинилась на 51 мм?

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №11

Выполнил(а) _____

Группа _____

Цена деления приборов:

штангенциркуля $C_{шт} =$ _____индикатора $C_{и} =$ _____термометра $C_{т} =$ _____

№ п/п	материал	$l_1,$ мм	$t_1,$ °C	$t_2,$ °C	$N,$ дел	$\Delta l,$ мм	$\alpha,$ 1/°C
1							
2							
3							

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЯРНОЙ ГАЗОВОЙ ПОСТОЯННОЙ
МЕТОДОМ ОТКАЧКИ

Цель работы: определить молярную газовую постоянную.

Приборы и принадлежности: сосуд с зажимом, насос Комовского, вакуумметр, аналитические весы, разновесы.

Общие положения

Молярная газовая постоянная R – универсальная физическая постоянная, входящая в уравнение состояния. Молярная газовая постоянная численно равна работе расширения 1 моля идеального газа под постоянным давлением при нагревании на 1 К.

Один из методов определения R основан на использовании уравнения состояния идеального газа:

$$pV = \frac{m}{M} RT, \quad (1)$$

где p – давление газа;

V – объем, занимаемый данной массой газа;

m – масса газа;

T – абсолютная температура;

M – молярная масса.

Взвесим сосуд с воздухом при атмосферном давлении $p_{атм} = p_1$. Запишем уравнение Менделеева – Клапейрона для первого состояния:

$$p_1 V = \frac{m_1 - m_0}{M} RT \quad (2)$$

где V – внутренний объем сосуда;

m_1 – масса сосуда с воздухом;

m_0 – собственная масса сосуда;

M – молярная масса воздуха, равная $29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Соединим сосуд с вакуумметром и откачаем воздух. Запишем уравнение Менделеева – Клапейрона для второго состояния:

$$p_2 V = \frac{m_2 - m_0}{M} RT \quad (3)$$

где p_2 – давление в сосуде после откачки;

m_2 – масса сосуда с воздухом после откачки.

Вычтем из уравнения (2) уравнение (3):

$$(p_1 - p_2)V = \frac{m_1 - m_2}{M} RT \quad (4)$$

Откуда:
$$R = \frac{p_1 - p_2}{m_1 - m_2} \cdot \frac{MV}{T}. \quad (5)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно (прямые измерения)?
3. По какой формуле Вы будете рассчитывать молярную газовую постоянную? Поясните смысл обозначений, входящих в формулу.
4. Газ занимает объем 150 см^3 при температуре 23°C . Выразите объем в м^3 , а температуру – в кельвинах.

Выполнение работы

1. Определить по термометру температуру воздуха в лаборатории.
2. Записать значение объема колбы.
3. Соединить сосуд с вакуумной тарелкой насоса. Откачать воздух из сосуда.
4. Пережать резиновую трубку зажимом и снять по вакуумметру отсчет Δp , который представляет собой разность между атмосферным давлением p_1 и давлением в сосуде: $\Delta p = p_1 - p_2$.
5. Взвесить на аналитических весах сосуд с оставшимся воздухом.
6. Не снимая сосуд с весов, открыть зажим и взвесить сосуд с воздухом при атмосферном давлении.
7. Опыт произвести три раза, меняя степень откачки.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать молярную газовую постоянную R по формуле (5) по результатам каждого опыта.
2. Найти среднее значение R .
3. Рассчитать абсолютную погрешность ΔR как для прямых измерений.
4. Найти относительную погрешность измерений.
5. Результат записать в стандартном виде:

$$R = R_{cp} \pm \Delta R$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какой газ называется идеальным?
2. Запишите уравнение состояния идеального газа. Поясните смысл обозначений.
3. Сравните полученное значение молярной газовой постоянной с табличным значением. Сделайте вывод.
4. В стальном баллоне емкостью 40 л при температуре 23°C под давлением $2,0 \text{ МПа}$ находится кислород. Определите массу кислорода в баллоне.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №12

Выполнил(а) _____

Группа _____

Температура воздуха в аудитории $t =$ _____ °С, $T =$ _____ КОбъем колбы $V =$ _____

$$1 \text{ кГс/см}^2 = 9,80 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

№ п/п	m_1 , г	m_2 , г	Δp , кГс/см ²	Δp , Па	R , Дж/(моль·К)
1					
2					
3					

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ ПЛАВЛЕНИЯ ОЛОВА

Цель работы: определить удельную теплоту плавления олова.

Приборы и принадлежности: фарфоровый тигель с оловом, трубчатая печь, милливольтметр, хромель–алюмелевая термопара, секундомер.

Общие положения

При плавлении вещества поглощается количество теплоты Q пропорциональное массе металла m :

$$Q = m\lambda, \quad (1)$$

где λ – удельная теплота плавления (кристаллизации), т.е. количество теплоты, которое необходимо сообщить 1 кг твердого вещества, взятого при температуре плавления, для перехода его в жидкое состояние.

Такое же количество теплоты выделяется при кристаллизации. Температура жидкого металла при кристаллизации остается постоянной. Отсюда следует, что количество теплоты, выделяющееся в единицу времени при кристаллизации, должно быть равно количеству тепла, отдаваемому в окружающую среду в единицу времени (скорости теплоотдачи). На этом и основан применяющийся в данной работе метод определения величины λ .

Количество теплоты, отдаваемой в окружающую среду, обозначим через Q_0 . Скорость теплоотдачи $\frac{Q_0}{\Delta\tau}$ равна скорости выделения теплоты кристаллизации:

$$\frac{Q_0}{\Delta\tau} = \frac{\lambda m}{\tau_3 - \tau_2}, \quad (2)$$

где $\tau_3 - \tau_2$ – длительность процесса кристаллизации (рис. 1).

Отсюда:
$$\lambda = \frac{Q_0}{m\Delta\tau}(\tau_3 - \tau_2). \quad (3)$$

Метод определения скорости теплоотдачи состоит в следующем. После того, как металл в тигле расплавится и достигнет температуры, превышающей на $20 - 30^\circ$ температуру плавления, печь выключают и через равные промежутки времени фиксируют показания милливольтметра. По градуировочному графику, приведенному на рис. 2, находят соответствующие этим показаниям значения температуры. Затем строят график зависимости температуры от времени, примерный вид которого приведен на рис. 1.

Участок АВ на графике соответствует остыванию жидкого металла до начала кристаллизации, участок ВС – кристаллизации металла, а участок СД – охлаждению твердого металла (T_2 – температура плавления).

Заменим полученный график идеализированным, соединив точки А и В, С и Д прямыми линиями.

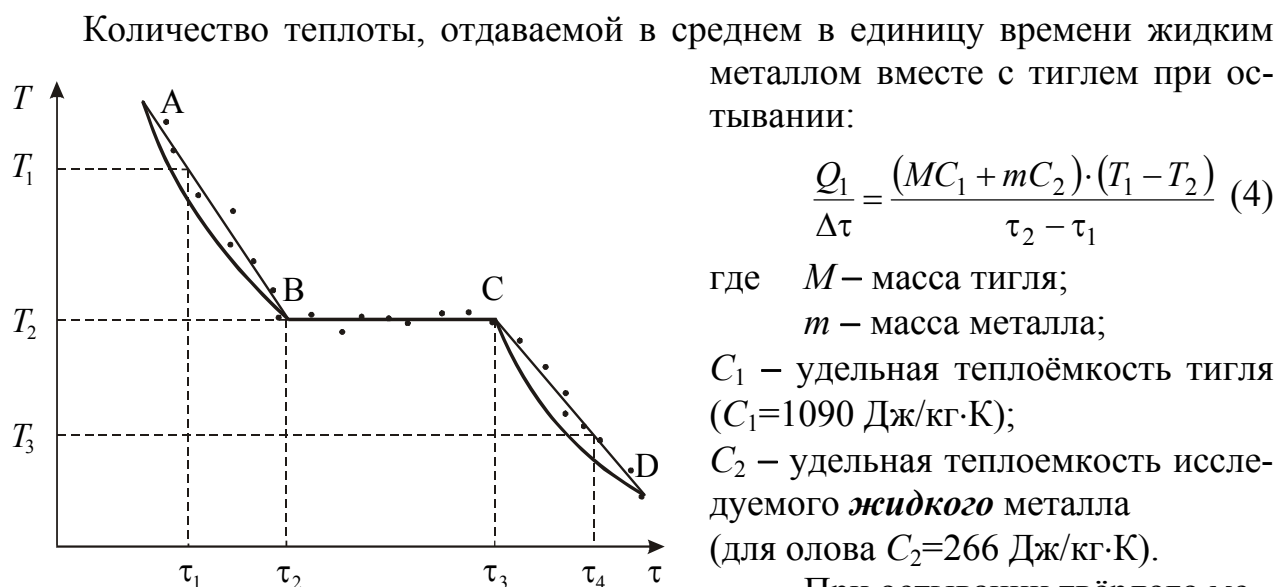


Рисунок 1

При остывании твёрдого металла в единицу времени отдаётся количество теплоты:

$$\frac{Q_2}{\Delta\tau} = \frac{(MC_1 + mC'_2) \cdot (T_2 - T_3)}{\tau_4 - \tau_3}, \quad (5)$$

где C'_2 – удельная теплоёмкость исследуемого **твёрдого** металла ($C'_2=230$ Дж/кг·К).

Так как в процессе кристаллизации температура металла не изменяется, то скорость теплоотдачи в этот период не может быть измерена непосредственно. Скорость теплоотдачи при прочих равных условиях зависит от разности температур между нагретым телом и окружающей средой, поэтому среднее значение скорости охлаждения до наступления процесса кристаллизации и после него будет приблизительно равно скорости теплоотдачи в период затвердевания. Воспользовавшись этим, можно написать:

$$\frac{Q_0}{\Delta\tau} = \frac{1}{2} \left(\frac{Q_1}{\Delta\tau} + \frac{Q_2}{\Delta\tau} \right), \quad (6)$$

Используя уравнения (4), (5) и (6), находим:

$$\frac{Q_0}{\Delta\tau} = \frac{1}{2} \left[(MC_1 + mC_2) \frac{T_1 - T_2}{\tau_2 - \tau_1} + (MC_1 + mC'_2) \frac{T_2 - T_3}{\tau_4 - \tau_3} \right]. \quad (7)$$

Моменты времени τ_1 и τ_4 на графике выбираются так, чтобы:

$$\begin{aligned} \tau_2 - \tau_1 &= \tau_3 - \tau_2 \\ \tau_4 - \tau_3 &= \tau_3 - \tau_2 \end{aligned} \quad (8)$$

Подставим соотношение (7) в выражение (3). С учетом равенства (8), получим:

$$\lambda = \frac{1}{2m} \left[(MC_1 + mC_2) \cdot (T_1 - T_2) + (MC_1 + mC'_2) \cdot (T_2 - T_3) \right]. \quad (9)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно (прямые измерения)?
3. Какой график надо построить по результатам эксперимента? Схематически изобразите, какой вид должен иметь этот график по теории. Как на графике выбираются моменты времени τ_1 и τ_4 ?
4. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать удельную теплоту плавления. Поясните смысл обозначений, входящих в формулу.
5. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать скорость теплоотдачи. Поясните смысл обозначений, входящих в формулу.

Выполнение работы

1. По термометру определить и записать значение комнатной температуры.
2. Записать в протокол массу тигля M и массу олова m , указанные на установке.
3. Определить цену деления милливольтметра
4. Опустить в трубчатую печь тигель с оловом.
5. Включить печь. Когда олово расплавится (показание милливольтметра достигнет величины 5 mV), выключить печь.
6. Поднять тигель и через 10 секунд записывать показания милливольтметра ε . Измерения прекратить при достижении эдс 2,5 mV.

Оформление отчета

Расчеты

1. По градуировочному графику (см. рис. 2) определить разность температур Δt , соответствующую каждому показанию милливольтметра.
2. Определить температуру олова для каждого момента времени по формуле
$$T = \Delta t + t_{\text{комн}}$$
где $t_{\text{комн}}$ – комнатная температура.
3. Построить график $T = f(\tau)$.
4. По графику определить температуру плавления T_2 .
5. Определить по графику температуры T_1 и T_3 . Для этого отложить от точек В и С влево и вправо равные отрезки $\tau_2 - \tau_1$ и $\tau_4 - \tau_3$ (см. рис. 1).
6. Рассчитать удельную теплоту плавления олова по формуле (9).
7. Рассчитать скорость теплоотдачи по формуле (2).

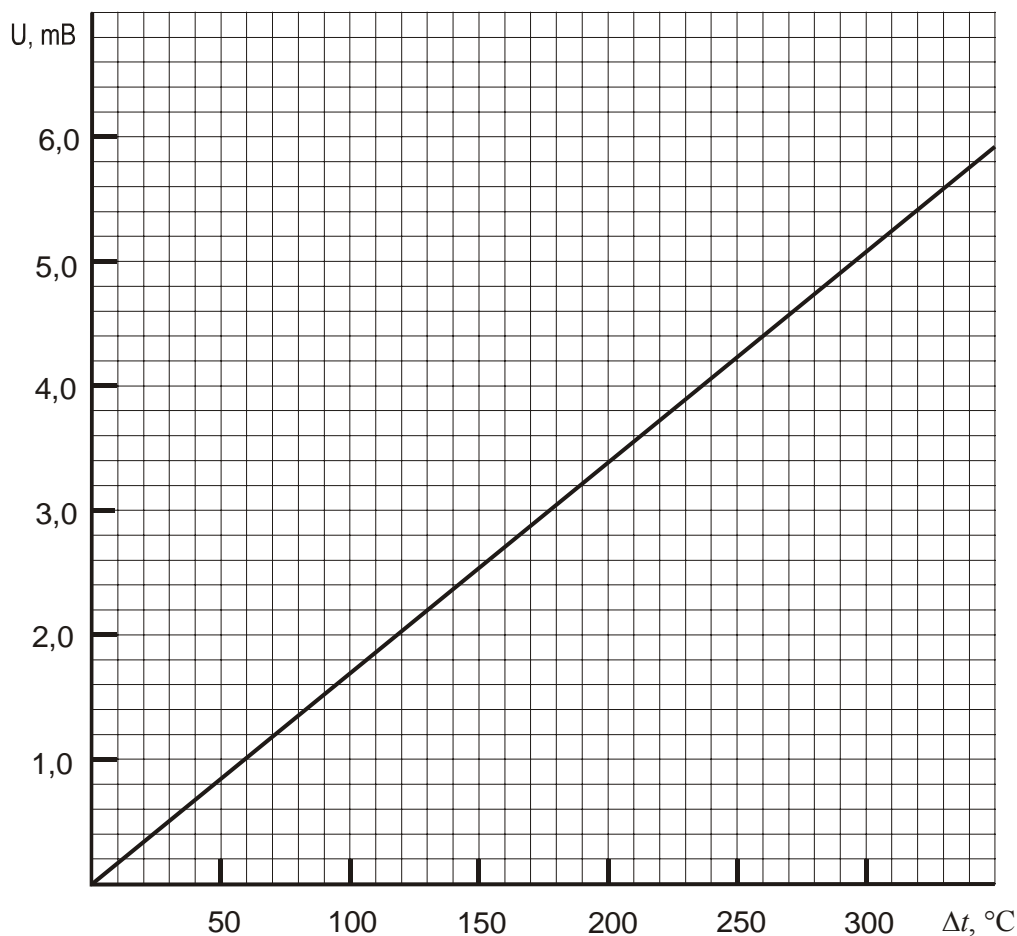


Рисунок 2

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Дайте определение удельной теплоты плавления. От чего зависит ее значение?
2. Почему температура кристаллического тела во время плавления остается неизменной, несмотря на то, что к нему подводится теплота?
3. Каким агрегатным состояниям соответствуют участки АВ, ВС, СД на графике, приведенном на рис. 1?
4. Сравните полученный экспериментально график с теоретической зависимостью. Сравните полученное значение удельной теплоты плавления олова с табличным значением. Сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №14

Выполнил(а) _____

Группа _____

Комнатная температура $t_{\text{комн}} =$ _____Цена деления милливольтметра $C_{\text{mV}} =$ _____Масса тигля $M =$ _____Масса олова $m =$ _____Температура плавления $T_2 =$ _____

№ п/п	$\tau,$ с	$\varepsilon,$ mB	$\Delta t,$ °C	$T,$ °C
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ МОЛЯРНЫХ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ
ВОЗДУХА

Цель работы: определить отношение молярных теплоёмкостей воздуха (показатель адиабаты).

Приборы и принадлежности: стеклянный баллон, U – образный манометр, насос, секундомер.

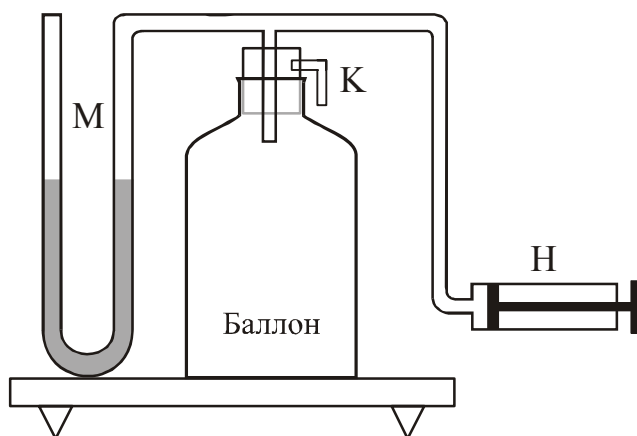


Рисунок 1

Описание экспериментальной
установки

Установка состоит из стеклянного баллона, соединенного с открытым U-образным манометром М и насосом Н (рис. 1). Баллон закрыт пробкой, в которую вставлен клапан К.

Общие положения

Адиабатический (адиабатный) процесс – это процесс, при котором физическая система не получает извне теплоты и не отдает ее. Адиабатные процессы протекают в системах, окруженных теплоизолирующей (адиабатной) оболочкой, но их можно реализовать и при отсутствии такой оболочки. Для этого процесс должен протекать настолько быстро, чтобы за время его осуществления не произошло теплообмена между системой и окружающей средой.

В баллон нагнетается воздух до определённой разности уровней жидкости в коленах манометра. По истечении 3-4 минут температура воздуха в баллоне становится равной температуре окружающей среды. При этом объем газа будет V_1 , давление p_1 и температура T_1 (состояние 1 на рис. 2).

Затем на короткое время открывается клапан К баллона и воздух адиабатически переходит в состояние 2 (рис. 2). Для адиабатного перехода из первого состояния во второе справедливо уравнение Пуассона:

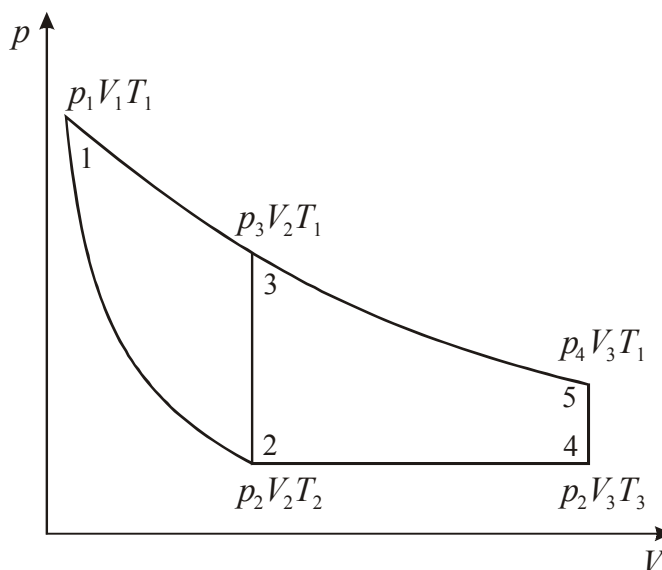


Рисунок 2

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma \quad (1)$$

где γ – отношение молярной теплоемкости газа при постоянном давлении к молярной теплоемкости при постоянном объеме. Этот коэффициент называют показателем адиабаты.

При этом $\Delta T < 0$, т.к. работа расширения газа совершается за счет его внутренней энергии.

Через 3-4 минуты после закрытия клапана воздух нагревается изохорно до комнатной температуры T_1 , причем давление повышается до величины p_3 (состояние 3 на рис. 2). Сравнивая третье состояние газа с первым состоянием, мы видим, что они принадлежат одной изотерме. По закону Бойля – Мариотта:

$$p_1 V_1 = p_3 V_2 \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) можно определить γ . Для этого возводим уравнение (2) в степень γ и делим его на уравнение (1):

$$\frac{p_1^\gamma V_1^\gamma}{p_1 V_1^\gamma} = \frac{p_3^\gamma V_2^\gamma}{p_2 V_2^\gamma}$$

Логарифмируя это выражение, находим γ :

$$\gamma = \frac{\ln(p_1/p_2)}{\ln(p_1/p_3)} \quad (3)$$

Полученную формулу можно упростить. Обозначим разность уравнений жидкости в манометре в первом состоянии через H , а в третьем через h_0 .

В этом случае:

$$\begin{aligned} p_1 &= p_2 + \alpha H \\ p_3 &= p_2 + \alpha h_0 \end{aligned} \quad (4)$$

где α – переводной коэффициент для перехода от разности Δh к p .

В каждом из этих выражений второе слагаемое в правой части мало по сравнению с первым слагаемым. Из соотношения (4) получим:

$$\begin{aligned} p_2 &= p_1 - \alpha H \\ p_3 &= p_1 - \alpha(H - h_0) \end{aligned}$$

и подставим в формулу (3). Разделив числитель и знаменатель на p_1 , получим:

$$\gamma = \frac{\ln \frac{1}{1 - \alpha H/p_1}}{\ln \frac{1}{1 - \alpha(H - h_0)/p_1}}$$

Величины $\frac{\alpha H}{p_1}$ и $\frac{\alpha(H - h_0)}{p_1}$ много меньше единицы. Для малых значений

x справедливо приближенное выражение:

$$\ln(1 - x) = -x.$$

Применяя его, получаем:

$$\gamma = \frac{\alpha \frac{H}{p_1}}{\alpha \frac{(H - h_0)}{p_1}} = \frac{H}{H - h_0}. \quad (5)$$

По этой формуле и производится вычисление γ . Величина h_0 , входящая в формулу (5), получена в предположении, что клапан К закрывается в момент окончания адиабатического процесса 1-2. Если клапан закрыть до или после завершения процесса 1-2, то это приведет соответственно к завышению или занижению величины γ по сравнению с её действительным значением.

Для получения правильного результата измерений клапан необходимо закрыть в тот момент, когда газ находится в состоянии 2, что не представляется возможным. Ввиду этого ординату 2-3, соответствующую разности уровней h_0 , приходится определять косвенным путем. Рассмотрим с этой целью процесс адиабатического расширения при открытом клапане с учетом теплообмена с окружающей средой во время протекания процесса 2-4 (рис.2).

Предположим, что газ находится в состоянии 1. Нажатием клапана К произведем адиабатическое расширение (1-2). При этом температура газа понизится относительно комнатной температуры T_1 до величины T_2 , давление станет равным атмосферному p_2 . Если клапан оставить открытым в течение времени τ после окончания процесса 1-2, то температура газа в баллоне за это время несколько повысится за счет теплообмена до величины T (изобарический процесс 2-4). Закроем после этого клапан и оставим баллон на некоторое время, пока температура внутри баллона не станет равной температуре окружающей среды T_1 (изохорический процесс 4-5). При этом давление газа в сосуде повысится на величину Δp , которую определим по манометру по разности уровней жидкости. С уменьшением времени τ величина h , как это видно из рис. 3, возрастает и в пределе при $\tau \rightarrow 0$ стремится к искомому значению h_0 .

Следовательно, величину h_0 , можно определить, имея полученный на опыте график зависимости $\ln h$ от τ . Можно показать, что в условиях нашего опыта имеет место соотношение:

$$\ln h = \ln h_0 - A\tau$$

т.е. наблюдается линейная зависимость $\ln h$ от времени τ , причем начальная ордината равна логарифму искомой величины h_0 . Здесь A есть угловой коэффициент прямой, зависящей от условий опыта.

Получив на опыте ряд значений $\ln h$ соответствующих различным длительностям расшире-

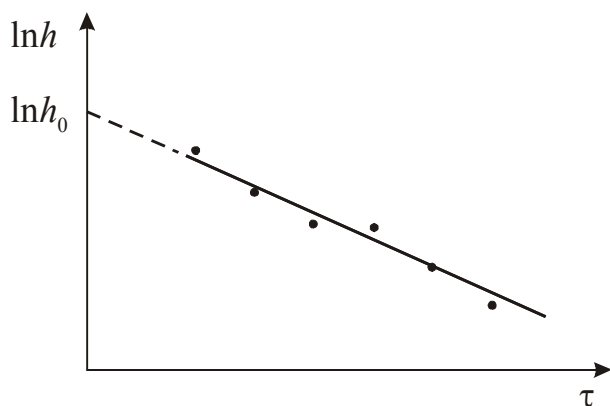


Рисунок 3

ния τ от одного и того же начального давления p , можно построить график зависимости $\ln h = f(\tau)$. Зная, что график представляет собой линейную функцию, можем экстраполировать его до пересечения с осью ординат. Точка пересечения графика с осью ординат соответствует $\ln h_0$ (рис. 3).

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно (прямые измерения)?
3. Какой график необходимо построить по результатам эксперимента? Как при помощи графика определить h_0 ?
4. По какой формуле Вы будете рассчитывать показатель адиабаты? Поясните смысл обозначений, входящих в формулу.

Выполнение работы

1. Накачать в баллон воздух так, чтобы разность уровней жидкости в манометре стала равна 25-30 см. Оставить баллон на 3-4 минуты, пока температура внутри его не станет равной температуре окружающей среды. После этого отсчитать показания манометра L_1 и L_2 . Отчеты делать по нижнему краю мениска.
2. Быстрым нажатием открыть клапан К и одновременно включить секундомер. Выдержать клапан открытым 5 секунд и закрыть. Давление в баллоне станет равным атмосферному (уровни жидкости сравнялись), а температура понизится. Подождав 3-4 минуты, чтобы температура в баллоне повысилась до комнатной (уровни жидкости разошлись), отсчитать показания манометра l_1 и l_2 .
3. Повторить измерения согласно п.1-2, открывая клапан на 10, 15, 20, 25 и 30 секунд. **При этом начальный уровень жидкости в коленях манометра каждый раз устанавливать на то же деление, что и в первом опыте.**

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать $H = L_1 - L_2$ и $h = l_1 - l_2$.
2. Найти значения $\ln h$.
3. По полученным данным построить график $\ln h = f(\tau)$.
4. Найти значение $\ln h_0$, соответствующее $\tau = 0$ (рис. 3), и определить h_0 .
5. Рассчитать показатель адиабаты по формуле (5).

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какой процесс называется адиабатическим (адиабатным)?
2. Запишите уравнение, описывающее адиабатный процесс (уравнение Пуассона). Приведите схематичный график этого процесса.
3. Рассчитайте теоретическое значение показателя адиабаты воздуха и сравните его со значением, найденным экспериментально. Сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №15

Выполнил(а) _____

Группа _____

№, п/п	τ , с	L_1 , см	L_2 , см	H , см	l_1 , см	l_2 , см	h , см	$\ln h$
1	5							
2	10							
3	15							
4	20							
5	25							
6	30							

 $\ln h_0 =$ _____

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 17

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ
МЕТОДОМ ПАДАЮЩЕГО ШАРИКА

Цель работы: определить коэффициент вязкости жидкости.

Приборы и принадлежности: цилиндр с исследуемой жидкостью, секундомер, аналитические весы и разновесы, микрометр, шарики.

Описание экспериментальной установки

Прибор для определения коэффициента вязкости представляет собой стеклянный цилиндр, заполненный исследуемой жидкостью. На поверхности цилиндра имеются две метки, расположенные на расстоянии S друг от друга.

Общие положения

Всем реальным жидкостям в большей или меньшей степени присуща вязкость или внутреннее трение. Внутреннее трение (вязкость) – взаимодействие между слоями жидкости, движущимися с различными скоростями. Явление сопровождается переносом импульса направленного движения из более быстрых слоев в более медленные. В результате этого переноса между соприкасающимися слоями возникают силы внутреннего трения, тормозящие движение быстрого слоя и ускоряющие движение медленного.

Рассмотрим падение тела (шарика) внутри покоящейся жидкости. При соприкосновении тела с жидкостью к его поверхности прилипают молекулы жидкости, образуя мономолекулярный слой. Этот слой жидкости движется вместе с телом со скоростью движения тела и увлекает соседние частицы, которые в свою очередь увлекают более удаленные частицы.

Частицы жидкости более удаленные от тела, движутся медленнее, чем более близкие к нему. В этих условиях между частицами, движущимися с различными скоростями, действуют силы трения. Они тормозят движение тела, являясь силами сопротивления, и направлены в сторону, противоположную перемещению тела.

Сила сопротивления среды, действующая на шарик, падающий в покоящейся жидкости, рассчитывается по формуле Стокса:

$$F = 3\pi\eta v d \quad (1)$$

где d – диаметр шарика;
 v – скорость шарика;

η – коэффициент внутреннего трения (коэффициент вязкости жидкости или просто вязкость). В СИ коэффициент вязкости измеряется в Па·с (читается: паскаль-секунда). Коэффициент вязкости жидкостей зависит от температуры: с повышением температуры он сильно уменьшается.

Кроме силы сопротивления, на шарик, находящийся в жидкости, действуют сила тяжести mg и выталкивающая сила (сила Архимеда) F_A (рис. 1).

Сила сопротивления возрастает по мере увеличения скорости шарика. Когда сумма сил станет равной нулю, шарик будет дальше двигаться равномерно. Обозначим скорость равномерного движения через v_0 . Запишем второй закон Ньютона:

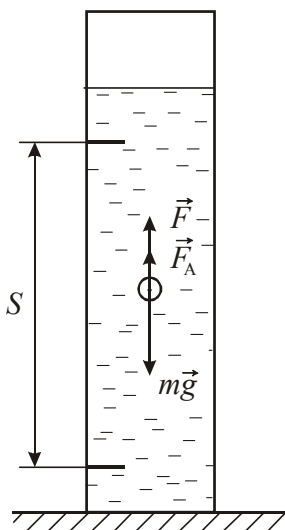


Рисунок 1

$$mg - F_A - F = 0. \quad (2)$$

Заменим массу шарика через плотность ρ и объем V :

$$m = \rho V \quad (3)$$

Выталкивающая сила определяется законом Архимеда:

$$F_A = \rho_1 g V, \quad (4)$$

где ρ_1 – плотность жидкости,
 g – ускорение свободного падения.

Подставим соотношения (1), (3) и (4) в уравнение (2) и, заменив скорость на v_0 , получим:

$$\rho V g - \rho_1 g V - 3\pi\eta v_0 d = 0, \quad (5)$$

где $V = \frac{\pi d^3}{6}$ – объем шарика.

Подставим значение объема шарика в уравнение (5) и найдем коэффициент вязкости η :

$$\eta = \frac{1}{18} g d^2 \frac{\rho - \rho_1}{v_0}. \quad (6)$$

Скорость v_0 можно определить по измерениям времени t , за которое шарик проходит путь S . Тогда:

$$\eta = \frac{1}{18} g d^2 t \frac{\rho - \rho_1}{S}. \quad (7)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно (прямые измерения)?
3. По какой формуле Вы будете рассчитывать коэффициент вязкости жидкости? Поясните смысл обозначений, входящих в формулу.

Выполнение работы

1. Взвесить все шарики вместе на аналитических весах.
2. Измерить диаметр каждого шарика 3 раза по различным направлениям.
3. Измерить расстояние S между метками.
4. Измерить время падения каждого шарика между метками. Для этого, фиксируя глазом верхнюю метку, бросить шарик в цилиндр (ближе к центру) и включить секундомер в момент прохождения шарика через метку. Затем, фиксируя глаз на нижней метке, в момент прохождения шарика через нее выключить секундомер.
5. Измерить ареометром плотность ρ_1 жидкости.
6. Измерить температуру воздуха в лаборатории.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Вычислить среднее значение диаметра \bar{d} каждого шарика.
2. Определить среднюю плотность ρ материала шарика по формуле:

$$\bar{\rho} = \frac{m_{\text{общ}}}{V_{\text{общ}}} = \frac{m_{\text{общ}}}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5} = \frac{6m_{\text{общ}}}{\pi(\bar{d}_1^3 + \bar{d}_2^3 + \bar{d}_3^3 + \bar{d}_4^3 + \bar{d}_5^3)}$$

где $m_{\text{общ}}$ – общая масса шариков.

3. Рассчитать коэффициент вязкости по формуле (7) по результатам каждого опыта.
4. Найти среднее значение коэффициента вязкости.
5. Абсолютную погрешность $\Delta\eta$ рассчитать как для прямых измерений.
6. Найти относительную погрешность измерений.
7. Результаты измерений записать в стандартном виде:

$$\eta = (\eta_{\text{ср}} \pm \Delta\eta)$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. От чего зависит коэффициент вязкости жидкости?
2. С каким явлением переноса Вы ознакомились в данной работе? В чем суть этого явления?
3. Укажите на рисунке, какие силы действуют на шарик, падающий в жидкости? Запишите соотношение между силами, которое выполняется при равномерном движении шарика.
4. Сравните полученное значение вязкости жидкости с табличным значением для исследуемой жидкости при данной температуре. Сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №17

Выполнил(а) _____

Группа _____

Общая масса шариков $m_{\text{общ}} =$ _____Расстояние между метками $S =$ _____Плотность жидкости $\rho_1 =$ _____

Температура воздуха в лаборатории _____ °С

№ п/п	$d_1,$ мм	$d_2,$ мм	$d_3,$ мм	$\bar{d},$ мм	$t,$ с	$\eta,$ Па·с
1						
2						
3						
4						
5						

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 19

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ РАСТВОРА ОТ ЕГО КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТОДОМ МАКСИМАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПУЗЫРЬКЕ

Цель работы: исследовать зависимость коэффициента поверхностного натяжения раствора этилового спирта в воде от его концентрации.

Приборы и принадлежности: установка для определения коэффициента поверхностного натяжения, набор растворов этилового спирта в воде.

Общие положения

Молекулы жидкости располагаются настолько близко друг к другу, что силы притяжения между ними имеют значительную величину. Каждая молекула испытывает притяжение со стороны всех соседних с ней молекул. Равнодействующая всех этих сил для молекулы, находящейся внутри жидкости, в среднем равна нулю. Иначе обстоит дело, если молекула находится вблизи поверхности. Так как плотность пара (или газа, с которым граничит жидкость) во много раз меньше плотности жидкости, то на каждую молекулу, находящуюся в приповерхностном слое, будет действовать сила, направленная перпендикулярно поверхности внутрь жидкости.

Для перенесения молекулы из глубины жидкости в поверхностный слой необходимо совершить работу против сил, действующих в поверхностном слое. Эта работа совершается молекулой за счет запаса ее кинетической энергии и идет на увеличение потенциальной энергии молекулы. При обратном переходе молекулы в глубь жидкости потенциальная энергия, которой обладала молекула в поверхностном слое, переходит в кинетическую энергию молекулы. Таким образом, молекулы в приповерхностном слое обладают дополнительной потенциальной энергией. Поверхностный слой в целом обладает дополнительной энергией, которая входит составной частью во внутреннюю энергию жидкости.

Для того, чтобы изотермически увеличить площадь поверхностного слоя жидкости на величину ΔS за счет молекул, находящихся в ее объеме, необходимо совершить работу A , равную изменению потенциальной энергии:

$$A = \Delta W = \alpha(S_2 - S_1) = \alpha \cdot \Delta S$$

где α – коэффициент поверхностного натяжения.

Коэффициентом поверхностного натяжения называется величина, равная отношению изменения потенциальной энергии поверхностного слоя к изменению площади поверхности этого слоя:

$$\alpha = \frac{\Delta W}{\Delta S}.$$

Коэффициент поверхностного натяжения измеряется в $\text{Дж}/\text{м}^2 = \text{Н}/\text{м}$.

Величина коэффициента поверхностного натяжения зависит от природы жидкости, температуры и наличия примесей. Примеси оказывают большое влияние на коэффициент поверхностного натяжения. Так, например, растворение в воде мыла снижает ее коэффициент поверхностного натяжения, а растворение поваренной соли – увеличивает. Если молекулы растворенного вещества взаимодействуют между собой с меньшей силой, чем молекулы растворителя, то они выталкиваются в поверхностный слой. Вещества, собирающиеся в поверхностном слое при растворении их в жидкости, называются *поверхностно-активными веществами* (ПАВ). Явление увеличения концентрации молекул поверхностно-активных веществ в поверхностном слое растворителя называется *адсорбцией*. Адсорбция молекул газа или жидкости может происходить и на поверхности твердого тела. Примером может служить активированный уголь.

ПАВ нашли широкое применение в технике резания металлов, бурения горных пород, во флотационных процессах.

Описание экспериментальной установки и методики эксперимента

Установка, представленная на рис. 1, состоит из наполненного водой аспиратора А, соединённого с помощью резиновых трубок и четырёхконечной трубки с манометром М и с верхним воздушным пространством плотно закрытого сосуда В, в который наливается некоторое количество исследуемой жидкости.

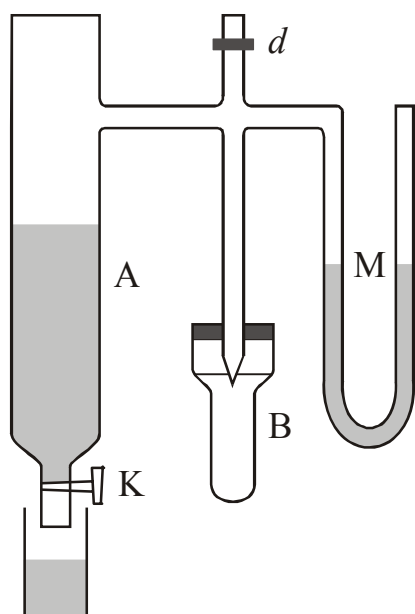


Рисунок 1

В, в который наливается некоторое количество исследуемой жидкости.

Через отверстие в пробке в этот сосуд вводится так называемый «кончик», представляющий собой стеклянную трубку, нижний конец которой оттянут так, что выход канала весьма узок. Этот «кончик» помещается на уровне исследуемой жидкости так, чтобы он соприкасался с её поверхностью. Четвертый отросток четырёхконечной трубки, который может закрываться, соединяет всю эту систему с атмосферой. Если, закрыв отросток d , слегка приоткрыть кран К аспиратора, то вода начнёт медленно вытекать из него, и в верхней части сосуда и в левом колене манометра образуется разреженное пространство. При некотором определенном разрежении избыток атмосферного давления проталкивает через «кончик» в сосуд пузырьки воздуха. Это происходит тогда, когда разность давления атмосферного воздуха и воздуха в сосуде В, измеряемая разностью высот уровней жидкости в коленах манометра, уравнивается давлением, вызываемое поверхностным натяжением исследуемой жидкости, стремящимся сжать образующийся пузырёк.

Обозначим разность уровней жидкости в коленах манометра через H , а коэффициент поверхностного натяжения исследуемой жидкости через α . Тогда

Обозначим разность уровней жидкости в коленах манометра через H , а коэффициент поверхностного натяжения исследуемой жидкости через α . Тогда

в момент отрыва пузырька между ними будет существовать следующее соотношение:

$$\alpha = AH \quad (1)$$

где A – коэффициент пропорциональности, зависящий от размера «кончика», т.е. это величина, постоянная для данного прибора.

Для ее определения необходимо произвести опыт с какой-либо жидкостью, поверхностное натяжение которой известно, например, с водой. Тогда, подставив соответствующие значения H_0 и α_0 в формулу (1), получим:

$$\alpha_0 = AH_0. \quad (2)$$

Определив постоянную прибора, можно определить коэффициент поверхностного натяжения любой жидкости:

$$\alpha = \alpha_0 \frac{H}{H_0}. \quad (3)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно (прямые измерения)?
3. По какой формуле Вы будете рассчитывать коэффициент поверхностного натяжения? Поясните смысл обозначений, входящих в формулу.
4. Какой график надо построить по результатам эксперимента?

Выполнение работы

1. Налить в аспиратор воду до уровня бокового отростка.
2. Опустить «кончик» в сосуд В так, чтобы он только чуть-чуть погрузился в воду.
3. Открыть отросток d соединительной трубки, устанавливая этим внутри прибора атмосферное давление. Когда уровни жидкости в коленах выровняются, отросток закрыть.
4. Открыть кран К аспиратора настолько, чтобы изменение давления происходило достаточно медленно, и можно было отсчитать высоты уровней жидкости в коленах манометра в момент отрыва пузырька. Когда частота образования пузырьков установится, необходимо произвести отсчёты по манометру. Отсчёты произвести для 5 пузырьков и из них взять среднее значение H_0 .
5. Сосуд В, наполненный водой, заменить сосудом, наполненным раствором этилового спирта концентрации c_1 . Во избежание ошибки необходимо каждый раз при смене сосудов предварительно прополаскивать «кончик». Измерить разность уровней жидкости в коленах манометра H согласно п. 1-4.
6. Провести такие же измерения для растворов других концентраций.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Определить значение α_0 для воды при данной температуре по справочной таблице.

Зависимость коэффициента поверхностного натяжения воды от температуры

$t^{\circ}\text{C}$	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
α_0 , мН/м	73,34	73,18	73,02	72,87	72,70	72,78	72,40	72,24	72,08	71,94	71,78	71,63

2. Рассчитать коэффициент поверхностного натяжения α по формуле (3) по результатам каждого опыта.
3. Построить график зависимости коэффициента поверхностного натяжения α от концентрации c .

Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Дайте определение коэффициента поверхностного натяжения. В каких единицах он измеряется?
2. От чего зависит значение коэффициента поверхностного натяжения?
3. Какие вещества называются поверхностно-активными?
4. Используя полученный график, сделайте вывод о том, как зависит коэффициент поверхностного натяжения от концентрации раствора.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №19

Выполнил(а) _____

Группа _____

Температура воздуха в лаборатории $t =$ _____

Коэффициент поверхностного натяжения воды при данной температуре

 $\alpha_0 =$ _____

Таблица 1. Результаты измерений

№ п/п	H_0 , мм	H , мм				
		5%	10%	15%	20%	25%
1						
2						
3						
4						
5						
среднее						

Таблица 2. Результаты расчетов

№ п/п	Концентрация раствора, с, %	Коэффициент поверхностного натяжения α , Н/м
1	5	
2	10	
3	15	
4	20	
5	25	

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 20

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ И СРЕДНЕЙ ДЛИНЫ СВОБОДНОГО ПРОБЕГА МОЛЕКУЛ ВОЗДУХА

Цель работы: определить коэффициент внутреннего трения и среднюю длину свободного пробега молекул воздуха при атмосферном давлении.

Приборы и принадлежности: установка для определения коэффициента внутреннего трения, секундомер, термометр, барометр.

Описание экспериментальной установки

Для определения коэффициента внутреннего трения используется установка, изображенная на рис. 1.

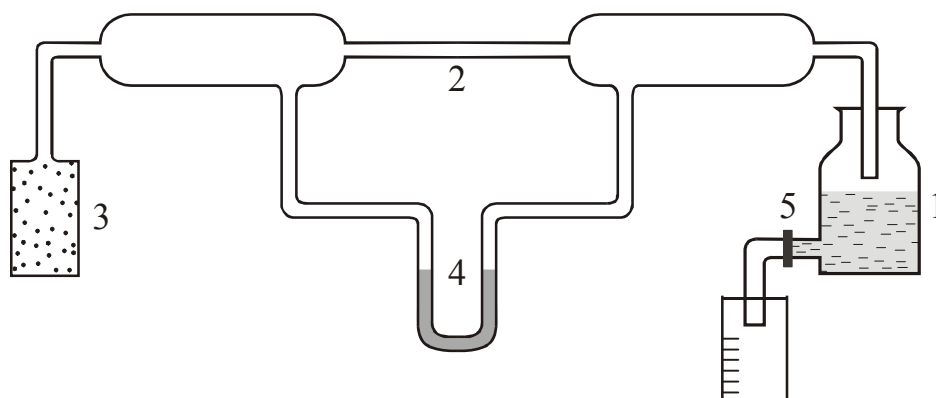


Рисунок 1

При вытекании воды из аспиратора 1 через кран 5 в капилляре 2 создается поток воздуха, осушаемого фильтром 3. Манометром 4 измеряется разность давлений Δp между концами капилляра. Объем воздуха V , протекающего через капилляр за время τ , равен объему вытекшей из аспиратора воды. Значения радиуса r капилляра и его длины L указаны на установке.

Общие положения

Всем реальным газам в большей или меньшей степени присуща вязкость или внутреннее трение. Внутреннее трение (вязкость) – взаимодействие между слоями газа, движущимися с различными скоростями. Явление сопровождается переносом импульса направленного движения из более быстрых слоев в более медленные. В результате этого переноса между соприкасающимися слоями возникают силы внутреннего трения, тормозящие движение быстрого слоя и ускоряющие движение медленного.

Природа этих сил заключается в том, что слои, движущиеся с разными скоростями, обмениваются молекулами. Молекулы из быстрого слоя передают молекулам из медленного слоя некоторый импульс, вследствие чего последний начи-

нает двигаться быстрее. Молекулы из медленного слоя, переходя в быстрый слой, получают некоторый импульс, что приводит к торможению этого слоя.

Рассмотрим движение газа в направлении оси x (см. рис. 2). Пусть слои движутся с разными скоростями. На оси z возьмём два слоя, находящиеся на расстоянии dz .

Скорости слоёв отличаются на величину dv . Отношение $\frac{dv}{dz}$ численно равно градиенту скорости, т.е. изменению скорости слоёв, приходящемуся на единицу длину в направлении оси Z .

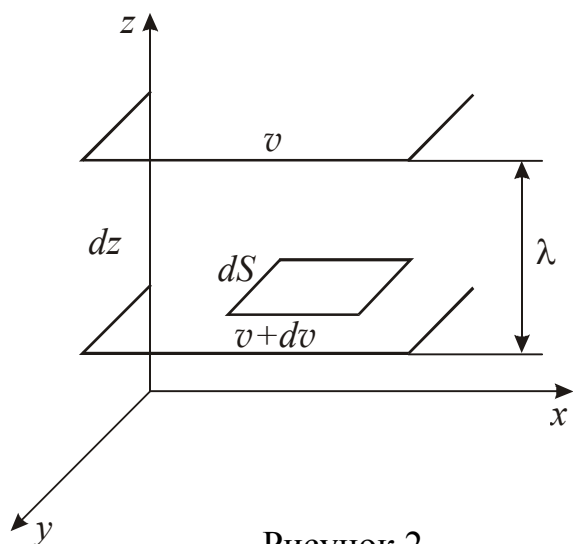


Рисунок 2

Сила внутреннего трения (вязкости), действующая между двумя слоями, пропорциональна площади их соприкосновения и градиенту скорости:

$$F = \eta \frac{dv}{dz} dS, \quad (1)$$

где η – коэффициент внутреннего трения (коэффициент вязкости).

Единицей вязкости в СИ служит такая вязкость, при которой градиент скорости с модулем, равным 1 м/с на 1 м, приводит к возникновению силы внутреннего трения в 1 Н на 1 м² поверхности касания слоев. Эта единица называется паскаль-секундой (Па·с). Коэффициент вязкости зависит от температуры: у газов он растет с повышением температуры.

Коэффициент вязкости воздуха можно рассчитать по формуле Пуазейля:

$$\eta = \frac{\pi r^4 \Delta p \tau}{8VL}, \quad (2)$$

где r – радиус капилляра;

L – длина капилляра.

Средней длиной свободного пробега $\langle l \rangle$ молекул называется среднее расстояние, которое проходит молекула без соударения, иными словами – это расстояние между двумя последовательными соударениями. На длине свободного пробега молекула движется равномерно и прямолинейно. Средняя длина свободного пробега молекул связана с коэффициентом внутреннего трения η соотношением:

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \langle v \rangle \langle l \rangle, \quad (3)$$

где ρ – плотность воздуха при данной температуре;

$\langle v \rangle$ – средняя арифметическая скорость молекул воздуха.

Используя уравнение состояния идеального газа $pV = \frac{m}{M}RT$ и выражение для средней арифметической скорости $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$, получаем:

$$\langle l \rangle = 1,9 \sqrt{\frac{RT}{M}} \frac{\eta}{p_{атм}}, \quad (4)$$

где $p_{атм}$ – внешнее атмосферное давление;
 R – молярная газовая постоянная;
 M – молярная масса воздуха;
 T – абсолютная температура воздуха.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно (прямые измерения)?
3. По каким формулам Вы будете рассчитывать коэффициент внутреннего трения и среднюю длину свободного пробега молекул воздуха? Поясните смысл обозначений, входящих в формулы.
4. Атмосферное давление составляет 750 мм рт. ст. Выразить давление в единицах СИ – паскалях.

Выполнение работы

1. Записать значения радиуса r и длины L капилляра, указанные на установке.
2. Открыть кран аспиратора и установить мерный стакан так, чтобы вода стекала по его стенкам (это нужно для того, чтобы уровень воды в стакане не колебался).
3. Когда на манометре установится постоянная разность уровней жидкости, записать показания манометра h_1 и h_2 и рассчитать величину $\Delta h = h_1 - h_2$.
4. Измерить время вытекания 100 см^3 воды, после чего закрыть кран.
5. Вылить из стакана воду в аспиратор и повторить опыт согласно пп. 2-3 еще 2 раза при другой скорости истечения воды.
6. Определить по термометру температуру воздуха в лаборатории, а по барометру – атмосферное давление.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать разность давлений Δp между концами капилляра: $\Delta p = \rho g \Delta h$, где ρ – плотность жидкости (воды).
2. Рассчитать коэффициент вязкости воздуха η по результатам каждого опыта по формуле (2).

3. Найти среднее значение коэффициента вязкости воздуха.
4. Рассчитать абсолютную погрешность $\Delta\eta$ как для прямых измерений.
5. Найти относительную погрешность измерения коэффициента вязкости.
6. Результат записать в стандартном виде:

$$\eta = (\eta_{cp} \pm \Delta\eta).$$

7. Рассчитать среднюю длину свободного пробега $\langle l \rangle$ молекул по формуле (4), используя среднее значение коэффициента вязкости.
8. Рассчитать абсолютную погрешность Δl как для косвенных измерений по формуле:

$$\Delta l = \langle l \rangle \sqrt{\left(\frac{\Delta\eta}{\eta}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p}{p}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2},$$

где Δp и ΔT – приборные погрешности барометра и термометра соответственно, равные половине цены деления приборов.

9. Найти относительную погрешность измерения средней длины свободного пробега.
10. Результат записать в стандартном виде:

$$\langle l \rangle = (\langle l \rangle \pm \Delta l).$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Что называется средней длиной свободного пробега молекул?
2. Как зависит средняя длина свободного пробега молекул от температуры, давления?
3. Как зависит коэффициент внутреннего трения газов от температуры?
4. Сравните полученное значение коэффициента внутреннего трения воздуха с табличным при данной температуре. Сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №20

Выполнил(а) _____

Группа _____

Радиус капилляра $r =$ _____Длина капилляра $L =$ _____Плотность жидкости (воды) $\rho =$ _____Температура воздуха в лаборатории $t =$ _____ °СВнешнее атмосферное давление $p_{атм} =$ _____Объем вытекшей воды $V =$ _____Цена деления термометра $C_T =$ _____Цена деления барометра $C_p =$ _____

№ п/п	$h_1,$ мм	$h_2,$ мм	$\Delta h,$ мм	$\Delta p,$ Па	$\tau,$ с	$\eta,$ Па·с
1						
2						
3						

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №41

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Цель работы – исследовать электростатическое поле, созданное электрически заряженными телами, используя метод электростатических моделей. Определить значение напряжённости для однородного электрического поля.

Приборы и принадлежности: источник тока, вольтметр, гальванометр, набор электродов; ванна, заполненная водой.

Общие положения

Электрическое поле – материальная среда, существующая вокруг заряженных тел и проявляющая себя силовым действием на заряды. Основными характеристиками электростатического поля являются напряженность \vec{E} и потенциал φ .

Напряженность электрического поля (\vec{E}) – векторная физическая величина, силовая характеристика электрического поля, численно равная силе, действующей на единичный положительный заряд q_0 , помещенный в данную точку поля:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}. \quad (1)$$

Если величина и направление вектора напряженности поля в каждой точке одинаковы, то поле называется однородным.

Потенциал (φ) – скалярная физическая величина, энергетическая характеристика электростатического поля, численно равная потенциальной энергии, которой обладал бы в данной точке поля единичный положительный заряд q_0 :

$$\varphi = \frac{W}{q_0}. \quad (2)$$

Между напряженностью \vec{E} и потенциалом φ существует следующая взаимосвязь

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi. \quad (3)$$

Вектор напряженности направлен в сторону убывания потенциала. В случае однородного поля

$$E = \frac{\Delta\varphi}{\Delta r}, \quad (4)$$

где $\Delta\varphi$ – разность потенциалов;

Δr – расстояние между поверхностями (линиями) с потенциалами φ_1 и φ_2 .

Графически электростатические поля изображаются с помощью силовых линий и поверхностей равного потенциала (эквипотенциальных поверхностей). Силовые линии перпендикулярны эквипотенциальным поверхностям.

Экспериментально проще измерить потенциал поля, чем его напряжённость. При изучении распределения потенциала электростатического поля используется метод зондов (метод электростатических моделей). Сущность метода зон-

дов заключается в том, что в исследуемую точку поля вводится специальный дополнительный электрод-зонд. Он устроен так, чтобы минимально нарушать своим присутствием исследуемое поле.

Описание экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. В ванну, сделанную из электроизоляционного материала, помещают металлические электроды А и В (рис. 1).

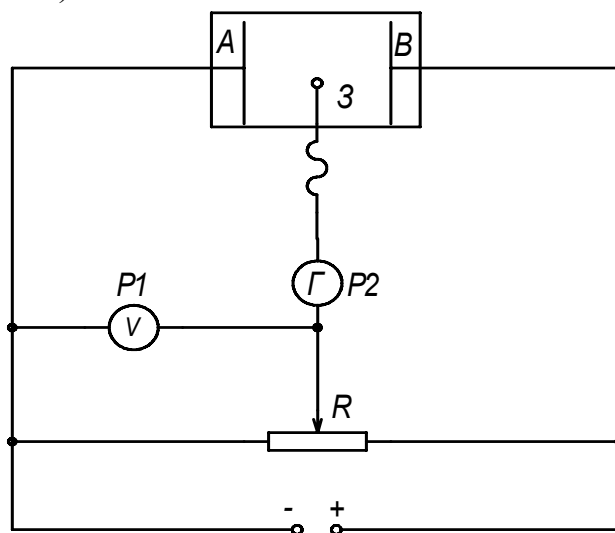


Рисунок 1

Ванна заполняется водой, проводимость которой незначительна. В измерительную часть цепи, кроме зонда 3, входят гальванометр Γ , вольтметр V и потенциометр R .

Если ток, проходящий через гальванометр, равен нулю, то потенциал зонда равен потенциалу движка потенциометра, и вольтметр показывает разность потенциалов между электродом А и зондом 3.

В наборе имеются электроды для исследования электростатического поля плоского и цилиндрического конденсаторов, поля точечных зарядов (рис. 2).

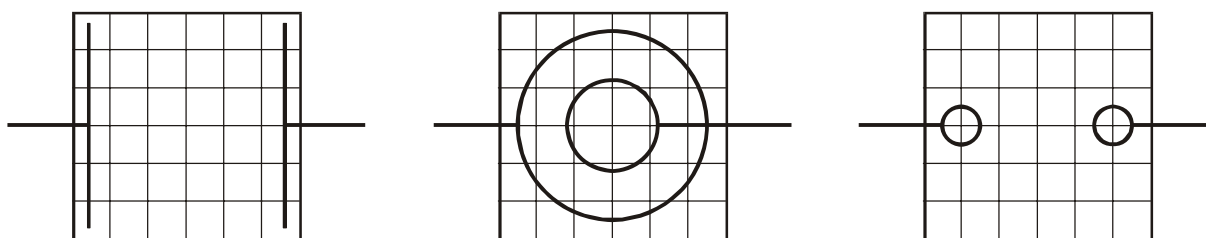


Рисунок 2. Схема расположения электродов для исследования электростатического поля

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Поле каких электродов необходимо исследовать в данной работе?

3. Нарисуйте примерную картину распределения силовых линий и поверхностей равного потенциала для каждого случая электродов (по теории).

Выполнение работы

1. Заполнить ванну водой.
2. Собрать цепь (рис. 1). Движок потенциометра установить в крайнее левое положение.
3. Определить цену деления вольтметра (рекомендуемый предел измерения 3 В).
4. Установить в ванне плоские электроды (рис. 2). На лист бумаги перенести копию координатной сетки, нанесённой на дно ванны в уменьшенном масштабе (масштаб: 1:2). Нанести контуры электродов.
5. Установить разность потенциалов, соответствующую 30-40 делениям вольтметра. Записать соответствующее показание вольтметра U . Перемещая зонд в ванне от А к В, найти точку, в которой гальванометр показывает «0». Эту точку нанести на координатную сетку. Потенциал точки φ будет равен напряжению на вольтметре. Найти ещё 5-6 точек с таким же значением потенциала.
6. Повторить измерения согласно п. 5, изменив реостатом разность потенциалов. Опыты провести при трех различных значениях разности потенциалов.
7. Заменить плоские электроды на цилиндрические (рис. 2). **Схему не разбирать!** Исследовать поле цилиндрического конденсатора согласно п. 4, 5 и 6.
8. Заменить цилиндрические электроды на точечные (рис. 2). **Схему не разбирать!** Исследовать поле цилиндрического конденсатора согласно п. 4, 5 и 6.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. По полученным точкам провести линии равного потенциала для каждого вида электродов. Начертить картину силовых линий.
2. Для плоских электродов рассчитать три раза напряженность E по формуле (4). Найти среднее значение напряженности.
3. Абсолютную погрешность рассчитать как для прямых измерений. Записать результат в стандартном виде:

$$E = \bar{E} \pm \Delta E .$$

4. Найти относительную погрешность измерений.

2. Защита работы (ответы представить в письменном виде)

1. Дайте определение напряжённости электростатического поля. Запишите формулу. Укажите единицы измерения.
2. Дайте определение потенциала. Запишите формулу. Укажите единицы измерения.
3. Какое поле называется однородным? Поле каких электродов в данной работе является однородным?
4. Каково взаимное расположение силовых линий и эквипотенциальных поверхностей?
5. Как по распределению потенциала определить направление силовых линий?

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 41

Выполнил(а) _____

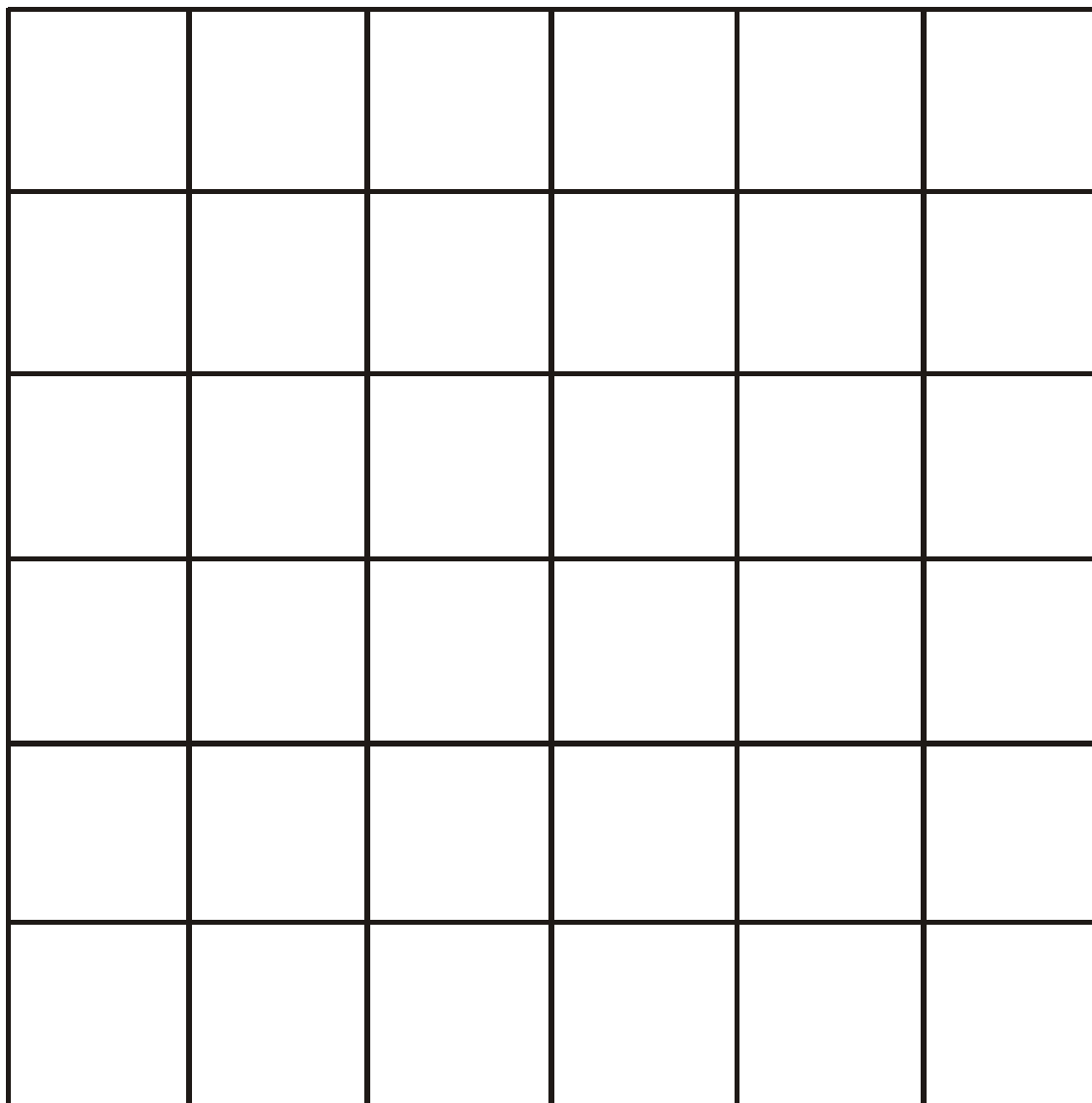
Группа _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число делений на шкале	Цена деления с указанием единицы измерения
1	Вольтметр			

Координатная сетка изображена в масштабе 1: 2

Поле плоских электродов (масштаб: 1:2)

 $\varphi_1 =$ _____ $\varphi_2 =$ _____ $\varphi_3 =$ _____

Дата _____

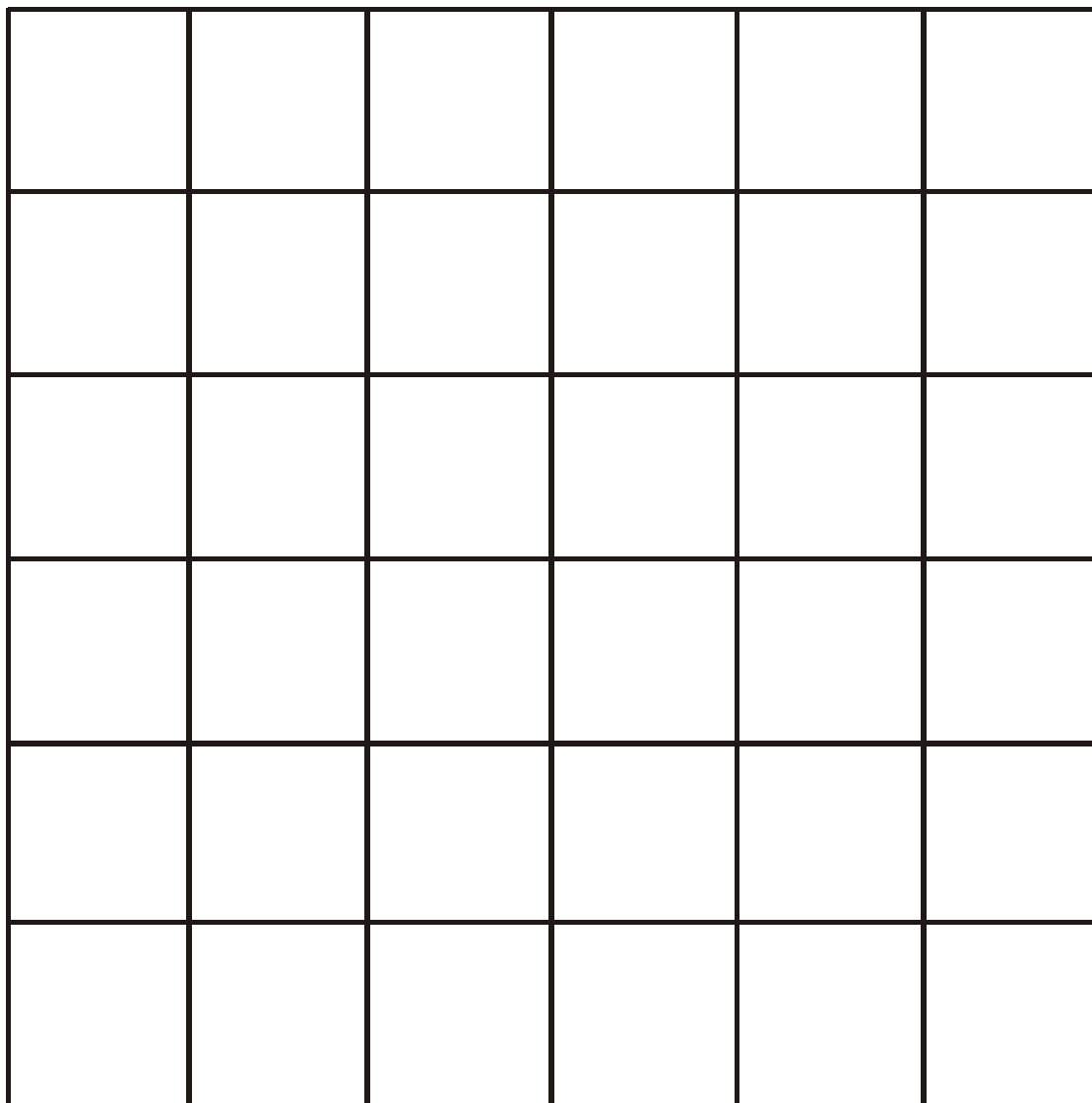
Подпись преподавателя _____

Поле цилиндрических электродов (масштаб: 1:2)

$\varphi_1 =$ _____

$\varphi_2 =$ _____

$\varphi_3 =$ _____



Дата _____

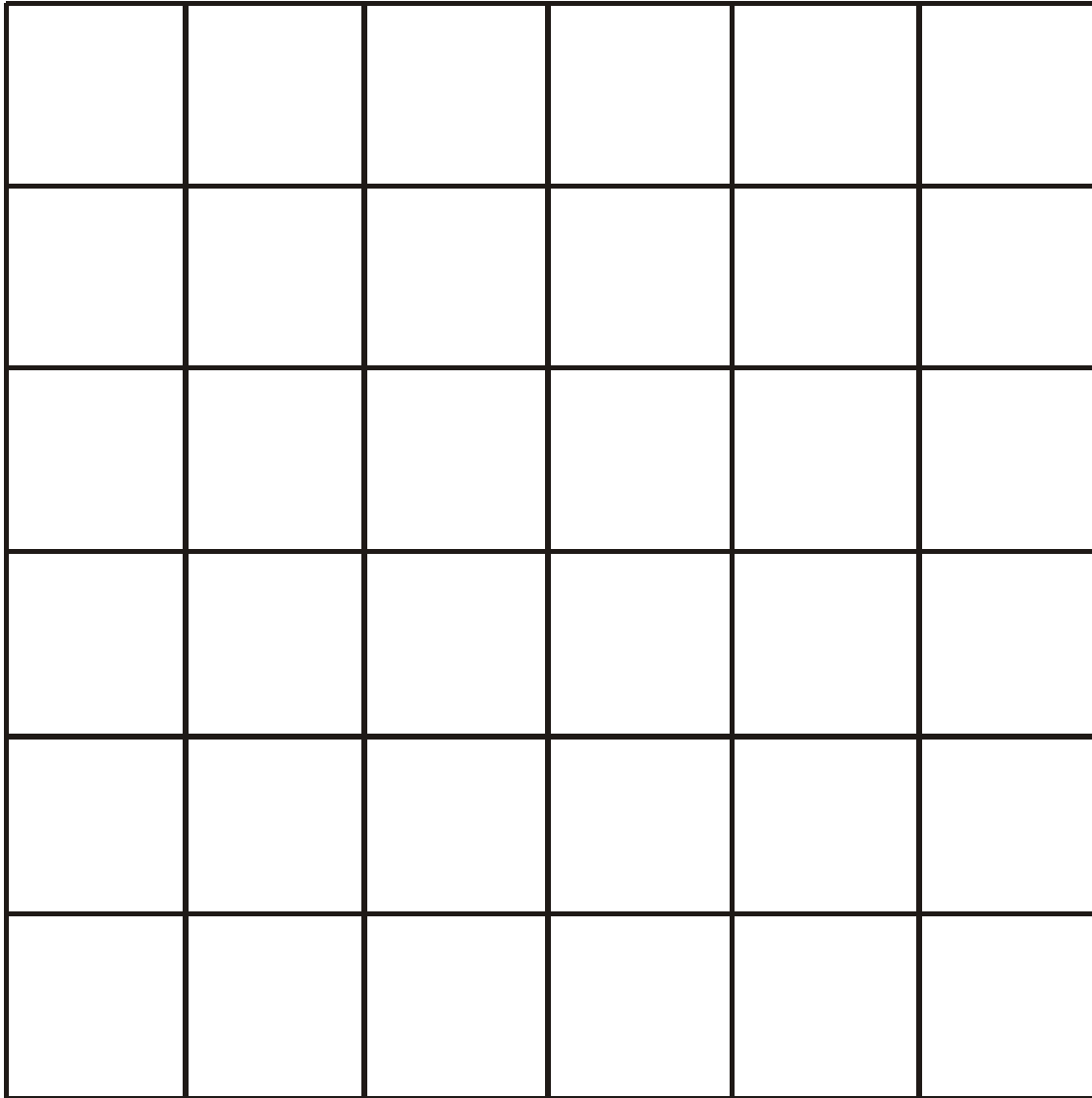
Подпись преподавателя _____

Поле точечных электродов (масштаб: 1:2)

$\varphi_1 =$ _____

$\varphi_2 =$ _____

$\varphi_3 =$ _____



Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 42

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА
И БАТАРЕИ КОНДЕНСАТОРОВ

Цель работы – определить электроёмкости конденсаторов и батареи конденсаторов, соединённых последовательно и параллельно.

Приборы и принадлежности: конденсатор известной ёмкости, конденсаторы неизвестной ёмкости, микроамперметр, вольтметр, потенциометр, источник питания, выключатель.

Общие положения

Конденсатор – система из двух проводников, разделенных слоем диэлектрика. Электроёмкость конденсатора равна отношению заряда q к разности потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ между обкладками. Обозначим $\varphi_1 - \varphi_2 = U$, тогда

$$C = \frac{q}{U}. \quad (1)$$

Электроёмкость конденсаторов зависит от их размеров и формы, электрических свойств диэлектрика и практически не зависит от окружающих тел. В случае плоского конденсатора электроёмкость определяется выражением:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}, \quad (2)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость среды, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная, S – площадь пластин, d – расстояние между пластинами.

Конденсаторы можно соединять в батарею. При последовательном соединении ёмкость батареи рассчитывается по формуле:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}. \quad (3)$$

При параллельном соединении ёмкость батареи рассчитывается по формуле:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n. \quad (4)$$

Описание экспериментальной установки

Для определения ёмкости конденсатора в данной работе используется установка, электрическая схема которой приведена на рис. 1. Она включает в себя: R – потенциометр, V – вольтметр, $CI=C_0$ – конденсатор известной ёмкости, SI – переключатель, позволяющий подключать конденсатор к источнику GI (при зарядке конденсатора) или, при его разрядке, к измерительному прибору (микроамперметру), KI – ключ цепи источника питания, C_x – конденсаторы неизвестной ёмкости (на схеме не указаны, ими замещают CI).

Если с помощью потенциометра установить определенное напряжение и зарядить конденсатор, а затем переключить конденсатор на микроамперметр, то

конденсатор разрядится через него. При разрядке конденсатора через микро-
берметр протекает кратковременный ток.

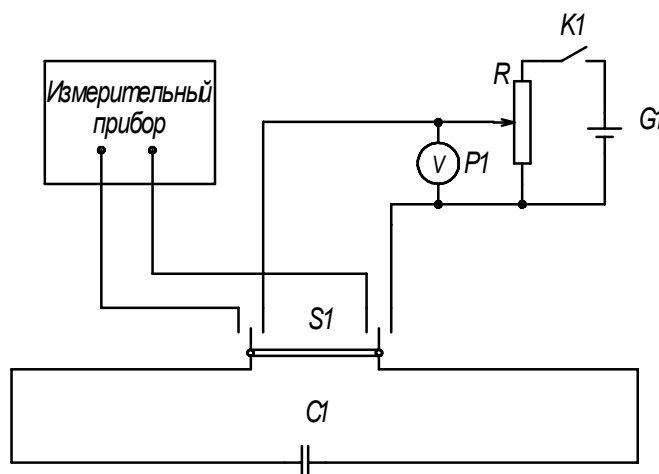


Рисунок 1

Разрядим через микро-
берметр конденсатор известной емкости C_0 , за-
ряженный до известного напряжения U_0 . Заряд конденсатора равен:

$$q_0 = C_0 U_0.$$

Показания микро-
берметра пропорциональны величине заряда:

$$q_0 = B n_0, \quad (5)$$

где B – постоянная прибора (коэффициент пропорциональности);

n_0 – показание микро-
берметра. Из (5) определим постоянную прибора:

$$B = \frac{C_0 U_0}{n_0}. \quad (6)$$

Зная значение прибора, можно определить ёмкость любого конденсатора по формуле

$$C = \frac{Bn}{U} \quad (7)$$

где U – напряжение на конденсаторе, n – показание микро-
берметра.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие величины в работе измеряются непосредственно?
3. Для чего в работе используется эталонный конденсатор?
4. Нарисуйте схему последовательного и параллельного соединения конденса-
торов.

Выполнение работы

Задание 1. Определение постоянной прибора

1. Подготовить микро-
берметр к работе. Для этого установить ручки управ-
ления в следующие положения: $R_{внеш} = 0$; переключатель пределов – 1; ка-
либровка – отжата.

2. Подключить микроамперметр к клеммам переключателя SI (рис. 1).
3. Включить микроамперметр в сеть.
4. Записать значение емкости эталонного конденсатора C_0 . Подключить его к клеммам переключателя SI .
5. Замкнуть выключатель KI и, передвигая контакт потенциометра, установить указанное преподавателем напряжение U_0 .
6. Установить переключатель SI в положение, при котором конденсатор заряжается. Нажать кнопку «Пуск» на передней панели микроамперметра и не позже чем через 2 сек перекинуть переключатель SI в положение для разрядки конденсатора. Снять показание n_0 . Опыт следует повторить не менее пяти раз.

Задание 2. Определение емкости конденсатора

1. Заменить конденсатор C_0 конденсатором неизвестной емкости C_{1x} .
2. Установить напряжение U , указанное преподавателем.
3. Провести измерения согласно пункту 6 задания 1, снимая показания n .
4. Аналогично провести измерения для второго конденсатора C_{2x} .

Задание 3. Измерение емкости параллельно и последовательно соединенных конденсаторов

1. Включить в цепь (рис.1) два конденсатора, соединенных последовательно.
2. Провести измерения согласно пункту 6 задания 1, снимая показания n .
3. Включить в цепь (рис.1) два конденсатора, соединенных параллельно.
4. Провести измерения согласно пункту 6 задания 1, снимая показания n .

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать постоянную установки B по формуле (6) для каждого опыта. Найти среднее значение постоянной.
2. Рассчитать емкости первого и второго конденсаторов по формуле (7) для каждого опыта.
3. Найти среднее значение емкости каждого конденсатора.
4. Рассчитать емкость батареи для каждого опыта по формуле (7).
5. Найти среднее значение емкости каждой батареи конденсаторов.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Что представляет собой конденсатор? Дайте определение электроемкости конденсатора. В каких единицах она измеряется?
2. От чего зависит электроемкость конденсатора?
3. Как рассчитывается электроёмкость батареи последовательно и параллельно соединённых конденсаторов? Используя средние значения емкостей конденсаторов C_{1x} и C_{2x} , найденные в п. 6 задания 2, рассчитать емкости батареи при последовательном соединении, параллельном соединении. Сравнить полученные значения с экспериментальными результатами задания 3.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №42

Выполнил(а) _____

Группа _____

Ёмкость эталонного конденсатора $C_0 =$ _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число делений на шкале	Цена деления с указанием единицы измерения
1	Вольтметр			

Задание 1

№ п/п	U_0 , В	n_0 , дел	B , (мкФ·В)/дел
1			
2			
3			
4			
5			
среднее			

Задание 2

№ п/п	1-й конденсатор			2-й конденсатор		
	U , В	n , дел	C , мкФ	U , В	n , дел	C , мкФ
1						
2						
3						
4						
5						
среднее						

Задание 3

№ п/п	Последовательное соединение			Параллельное соединение		
	U , В	n , дел	C , мкФ	U , В	n , дел	C , мкФ
1						
2						
3						
4						
5						
среднее						

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 43

ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ
МЕТОДОМ ВОЛЬТМЕТРА И АМПЕРМЕТРА

Цель работы – определить удельное электрическое сопротивление металлов методом вольтметра и амперметра.

Приборы и принадлежности: подставка с натянутыми проводниками из различных металлов, амперметр, вольтметр, выключатель, источник тока.

Общие положения

Электрическое сопротивление (R) – скалярная физическая величина, характеризующая свойство проводника противодействовать пропусканию электрического тока и равная отношению напряжения U на концах проводника к силе тока I , протекающего по нему:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (1)$$

Величина сопротивления зависит от формы и размеров проводника, а также от свойств материала, из которого он сделан. Для однородного цилиндрического проводника

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (2)$$

где l – длина проводника, S – площадь поперечного сечения, ρ – удельное электрическое сопротивление материала проводника.

Отсюда

$$\rho = R \frac{S}{l}. \quad (3)$$

Удельное сопротивление численно равно сопротивлению цилиндрического проводника единичной длины и единичной площади поперечного сечения. Удельное сопротивление зависит от природы вещества.

Чтобы определить ρ , необходимо измерить электрическое сопротивление R проводника, его длину l и диаметр d проводника. Площадь сечения

$$S = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (4)$$

В данной лабораторной работе для измерения сопротивления используется метод амперметра и вольтметра, который по-другому называется техническим методом. В основе этого метода лежит закон Ома. По закону Ома сила тока, текущего по однородному металлическому проводнику, пропорциональна напряжению на этом проводнике

$$I = \frac{1}{R} \cdot U \quad (5)$$

Сделав замены в формуле (3) в соответствии с выражениями (1) и (4), получим:

$$\rho = \frac{U \pi d^2}{I 4l}. \quad (6)$$

Описание экспериментальной установки

Для измерения сопротивления собирают электрическую цепь, схема которой представлена на рис. 1.

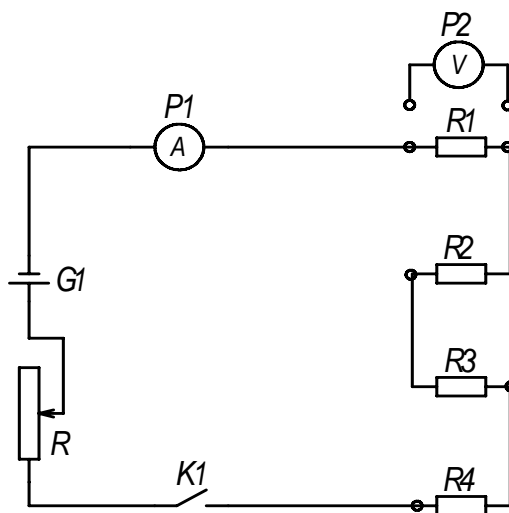


Рисунок 1

$G1$ – источник тока, $K1$ – ключ, R_1, R_2, R_3, R_4 – исследуемые проводники, натянутые на специальной подставке. Длина каждого проводника $l = 1$ м. Диаметр проводников d указан на подставке. A – амперметр для измерения тока в цепи, V – вольтметр для измерения напряжения на отдельных участках проводников R_1, R_2, R_3 и R_4 . Реостат R служит для регулировки тока в цепи.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какой закон лежит в основе метода амперметра и вольтметра?
3. Какие величины в работе измеряются непосредственно?
4. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать удельное сопротивление проводника. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Собрать электрическую цепь по схеме (рис. 1).
2. Определить цену деления амперметра и вольтметра.
3. Подключить установку к источнику тока.
4. Замкнуть ключ $K1$ и установить определенный ток I в цепи с помощью реостата R .

- Измерить напряжение U на участках: а) длиной $l_1=0,5$ м; б) длиной $l_2=1$ м; для каждого проводника.
- Изменить силу тока и измерить напряжение U на участках длиной $l_3=1$ м для каждого проводника.

Оформление отчета

1. Расчеты

- Рассчитать удельное сопротивление для каждого опыта по формуле (6).
- Определить для каждого проводника среднее значение удельного сопротивления $\bar{\rho}$.
- Рассчитать абсолютную погрешность $\Delta\rho$ как для прямых измерений. Найти относительную погрешность измерений каждого опыта.
- Окончательный результат для каждого исследуемого проводника представить в стандартном виде:

$$\rho = \bar{\rho} \pm \Delta\rho.$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

- Дайте определение сопротивления проводника. От каких величин оно зависит? Запишите формулу. Поясните смысл обозначений. Укажите единицы измерения.
- Сформулируйте закон Ома для однородного участка цепи. Запишите формулу.
- Каков физический смысл удельного сопротивления? От чего оно зависит?
- Сравните полученные результаты с табличными значениями удельных сопротивлений и определите возможный материал проводников.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №43

Выполнил(а) _____

Группа _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число делений на шкале	Цена деления с указанием единицы измерения
1	Вольтметр			
2	Амперметр			

Проводник 1

Диаметр первого проводника $d =$ _____

№ п/п	l , м	I , А	U , В	ρ , мкОм·м
1	0,5			
2	1,0			
3	1,0			
Среднее				

Проводник 2

Диаметр второго проводника $d =$ _____

№ п/п	l , м	I , А	U , В	ρ , мкОм·м
1	0,5			
2	1,0			
3	1,0			
Среднее				

Проводник 3

Диаметр третьего проводника $d =$ _____

№ п/п	l , м	I , А	U , В	ρ , мкОм·м
1	0,5			
2	1,0			
3	1,0			
Среднее				

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №44

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ
МОСТА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы – ознакомиться с методом измерения сопротивлений при помощи моста постоянного тока, определить неизвестное сопротивление R_x .

Приборы и принадлежности: реохорд, гальванометр, магазин сопротивлений (R_0), источник постоянного напряжения, ключ, неизвестные сопротивления (R_x), соединительные проводники.

Общие положения

Одним из методов определения сопротивлений проводников является метод моста постоянного тока. На рис.1 изображена схема простейшего моста, называемого мостиком Уитстона.

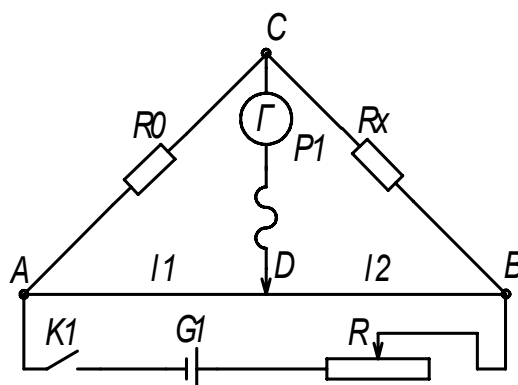


Рисунок 1

Он составлен из четырех последовательно соединенных сопротивлений, образующих «четырёхугольник» ACBDA. В одну из диагональных ветвей – CD, являющуюся мостиком – включается чувствительный гальванометр $G(PI)$, в другую – источник $G1$. Измеряемое сопротивление R_x образует ветвь CB, а в ветвь AC включается магазин сопротивлений R_0 . Ветвь ADB образуется реохордом. Реохорд представляет собой однородную прокалиброванную проволоку, закрепленную на линейке. По проволоке перемещается подвижный контакт D, разделяющий её на два участка l_1 и l_2 , сопротивления которых R_1 и R_2 . Ток, протекающий через гальванометр, зависит от сопротивлений R_x , R_0 , R_1 , R_2 . Перемещая контакт D, можно найти такое положение на реохорде, при котором этот ток станет равным нулю. В этом случае разность потенциалов между точками C и D равна нулю:

$$\varphi_C - \varphi_D = 0.$$

Обозначив ток в ветви CCA через I_1 , а в ветви BDA – через I_2 , получим:

$$\varphi_C - \varphi_D = I_1 R_x - I_2 R_2 = 0 \quad (1)$$

$$\varphi_C - \varphi_D = I_1 R_0 - I_2 R_1 = 0 \quad (2)$$

Из (1) и (2) следует, что

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{R_2}{R_1}. \quad (3)$$

Сопротивление однородного проводника пропорционально его длине, т.е.

$$R_1 = \rho \frac{l_1}{S} \quad \text{и} \quad R_2 = \rho \frac{l_2}{S},$$

где ρ – удельное сопротивление, l – длина, S – площадь поперечного сечения проводников. Отношение сопротивлений

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1}{l_2}. \quad (4)$$

Из (3) и (4) следует, что

$$R_x = R_0 \frac{l_2}{l_1}. \quad (5)$$

Измерение сопротивлений сводится, таким образом, к измерению длин.

Если проводники соединяются последовательно (рис. 2), то общее сопротивление участка:



$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (6)$$

Рисунок 2

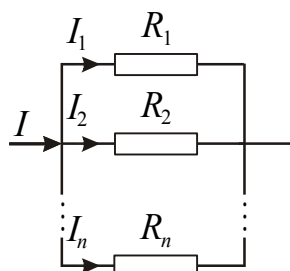


Рисунок 3

Если проводники соединяются параллельно (рис. 3), то общее сопротивление участка:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (7)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. В чём заключается сущность метода моста постоянного тока?
3. Какие величины при проведении работы измеряются непосредственно?
4. Нарисуйте схему последовательного и параллельного соединения проводников.

Выполнение работы

1. Собрать электрическую цепь (рис. 1), включив сопротивление R_{1x} .
2. Установить на магазине сопротивлений значение R_0 , близкое по величине к измеряемому сопротивлению (в интервале от 10 до 15 Ом). Включить установку в сеть.

3. Замыкая выключатель на короткое время, и перемещая подвижный контакт D по реохорду, добиться нулевого показания гальванометра и измерить l_1 , и l_2 . Необходимо следить за тем, чтобы контакт в точке D не нарушался в процессе эксперимента.

Примечание: *мостик Уитстона дает наиболее точные результаты в том случае, когда подвижный контакт D находится посередине реохорда.*

4. Рассчитать сопротивление R_{1x} по формуле (5). Установить на магазине сопротивлений полученное значение. Повторить измерения согласно п.3.
5. Рассчитать сопротивление R_{1x} по формуле (5).
6. Заменить сопротивление R_{1x} на R_{2x} и провести для него измерения согласно пунктам 2, 3, 4, 5.
7. Включить сопротивления R_{1x} и R_{2x} в цепь последовательно и провести измерения согласно пунктам 2, 3, 4, 5.
8. Включить сопротивления R_{1x} и R_{2x} в цепь параллельно и провести измерения согласно пунктам 2, 3, 4, 5.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Найти средние значения сопротивлений R_{1x} , R_{2x} , $R_{\text{послед}}$ и $R_{\text{парал}}$.
2. Используя средние значения R_{1x} и R_{2x} , рассчитайте сопротивление при их последовательном и параллельном соединении. Сравните полученные значения с экспериментальными результатами $R_{\text{послед}}$ и $R_{\text{парал}}$ пункта 1. Сделайте вывод.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Дайте определение сопротивления проводника. От каких величин оно зависит? Запишите формулу. Поясните смысл обозначений.
2. Сформулируйте закон Ома для однородного участка цепи. Запишите формулу.
3. Как рассчитать сопротивление при: а) последовательном, б) параллельном соединении проводников?

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №44

Выполнил(а) _____

Группа _____

Сопротивление 1

№ п/п	R_0 , Ом	l_1 , м	l_2 , м	R , Ом
1				
2				
3				
Среднее				

Сопротивление 2

№ п/п	R_0 , Ом	l_1 , м	l_2 , м	R , Ом
1				
2				
3				
Среднее				

Последовательное соединение сопротивлений

№ п/п	R_0 , Ом	l_1 , м	l_2 , м	R , Ом
1				
2				
3				
Среднее				

Параллельное соединение сопротивлений

№ п/п	R_0 , Ом	l_1 , м	l_2 , м	R , Ом
1				
2				
3				
Среднее				

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 46

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Цель работы – исследовать зависимость электрического сопротивления металлов от температуры, определить температурный коэффициент сопротивления исследуемых материалов.

Приборы и принадлежности: исследуемые проводники, нагреватель, термометр, вольтметр универсальный В7-21А.

Общие положения

Электрическое сопротивление R – скалярная физическая величина, характеризующая свойство проводника противодействовать пропусканию электрического тока и равная отношению напряжения U на концах проводника к силе тока I , протекающего по нему:

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

Сопротивление проводников, наличие электрического тока в которых приводит к выделению тепла, называется омическим или активным. Сопротивление однородного проводника зависит от материала проводника и его геометрических размеров и может быть рассчитано по формуле:

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

где l – длина проводника,

S – площадь поперечного сечения проводника

ρ – удельное электрическое сопротивление, характеризующее материал проводника.

Электрическое сопротивление измеряют омметрами и измерительными мостами. Единица электрического сопротивления в СИ – Ом.

Электрическое сопротивление металлов связано с рассеянием электронов проводимости на тепловых колебаниях кристаллической решетки и структурных неоднородностях. Поэтому сопротивление металлов зависит от температуры. С большой степенью точности можно считать, что зависимость сопротивления металлов от температуры является линейной:

$$R = R_0(1 + \alpha t), \quad (2)$$

где R – сопротивление при температуре $t^\circ\text{C}$,

R_0 – сопротивление при 0°C ,

α – температурный коэффициент сопротивления.

Температурный коэффициент сопротивления – это величина, численно равная относительному изменению сопротивления проводника при изменении его температуры на 1°C :

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R_0} \cdot \frac{1}{\Delta t}.$$

Для чистых металлов температурный коэффициент представляет величину порядка $\alpha \approx 0,004 \text{ 1/}^\circ\text{C}$. Для некоторых электротехнических сплавов (манганин, константан) α настолько мало, что им можно пренебречь и в достаточно широком интервале температур считать сопротивление независящим от температуры.

Из формулы (2) следует, что

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0} \cdot \frac{1}{t},$$

т.е. для определения α необходимо знать сопротивление при 0°C , которое, как правило, неизвестно. Поэтому для определения α можно воспользоваться различными методами.

Первый метод состоит в том, чтобы использовать два значения сопротивления, измеренного при двух различных температурах. В соответствии с формулой (1), можно записать:

$$R_1 = R_0(1 + \alpha t_1), \quad (3)$$

$$R_2 = R_0(1 + \alpha t_2). \quad (4)$$

где R_1 – сопротивление проводника при температуре $t_1^\circ\text{C}$, R_2 – сопротивление этого же проводника при температуре $t_2^\circ\text{C}$.

Решая систему (3) – (4), получим:

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_1}. \quad (5)$$

Несмотря на кажущуюся простоту, этот метод не очень хорош, т.к. возможные случайные ошибки при измерениях сопротивления и температуры могут дать значительную ошибку в определении α .

Второй метод заключается в нахождении температурного коэффициента

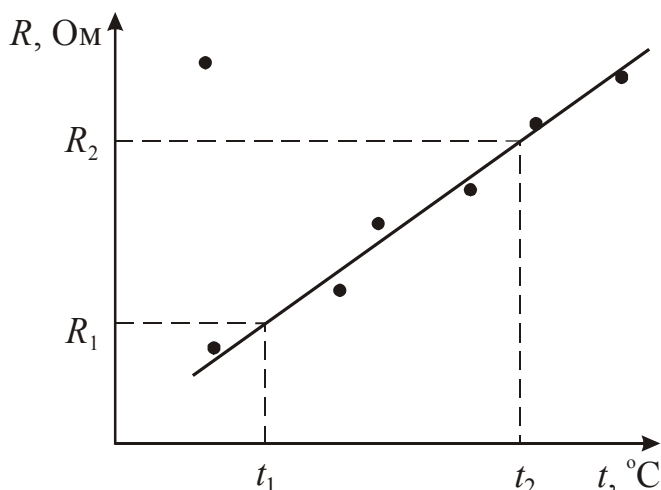


Рисунок 1

сопротивления с помощью графика зависимости сопротивления проводника от температуры. Теоретическая зависимость должна иметь вид прямой линии.

Температурный коэффициент сопротивления α также рассчитывается по формуле (4), но сопротивления R_1 и R_2 и соответствующие им температуры t_1 и t_2 определяются из графика $R = f(t)$ (см. рис.1).

Этот метод имеет существенные преимущества перед расчетным. При построении графика можно легко обнаружить грубые ошибки и исключить их влияние на результат.

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка состоит из нагревателя, внутрь которого помещены исследуемые проводники; термометра для измерения температуры и прибора для измерения сопротивления.

Схема установки представлена на рис. 2. На схеме обозначены:

- 1 – вольтметр универсальный В7-21А,
- 2 – нагреватель,
- 3 – переключатель,
- 4 – термометр.

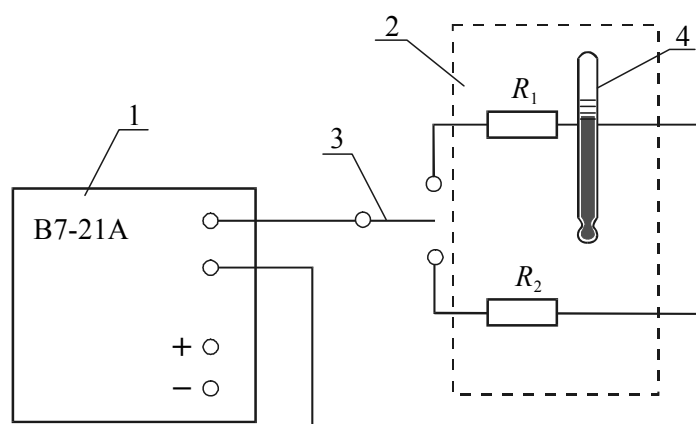


Рисунок 2

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Какой график необходимо построить по результатам эксперимента? Нарисуйте схематический график этой зависимости (по теории).
4. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать температурный коэффициент сопротивления. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Ознакомиться с инструкцией к универсальному вольтметру.
2. Измерить сопротивление каждого из двух исследуемых проводников при комнатной температуре.
3. Включить нагреватель и в процессе повышения температуры измерять сопротивление проводников с выбранным шагом (через каждые 5°C – 10°C) до 60°C – 70°C .

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Построить графики зависимости $R = f(t)$ для каждого проводника.
2. Рассчитать температурный коэффициент сопротивления α по формуле (5) для каждого проводника. Значения сопротивлений R_1 и R_2 и соответствующие им температуры t_1 и t_2 определить из графиков $R = f(t)$.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Что называется электрическим сопротивлением?
2. От чего зависит сопротивление проводника? Запишите формулу для расчета.
3. Как зависит электрическое сопротивление металлов от температуры? Запишите формулу.
4. Дайте определение температурного коэффициента сопротивления.
5. Сравните полученный экспериментально график с теоретической зависимостью. Сравните найденные значения температурных коэффициентов сопротивления α_1, α_2 с табличными. Сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №46

Выполнил(а) _____

Группа _____

Проводник 1

$t,$ $^{\circ}\text{C}$										
$R,$ Ом										

Проводник 2

$t,$ $^{\circ}\text{C}$										
$R,$ Ом										

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 49

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОЛЕЗНОЙ МОЩНОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ИСТОЧНИКА ЭДС ОТ СИЛЫ ТОКА

Цель работы – исследовать зависимость полезной мощности P , выделяющейся во внешней электрической цепи, от силы тока I ; исследовать зависимость коэффициента полезного действия источника эдс от силы тока I .

Приборы и принадлежности: источник эдс, амперметр, вольтметр, реостат, выключатели.

Описание экспериментальной установки

Установка (рис. 1) состоит из источника эдс $G1$, вольтметра V , амперметра A , реостата R ; ключей $K1$ и $K2$.

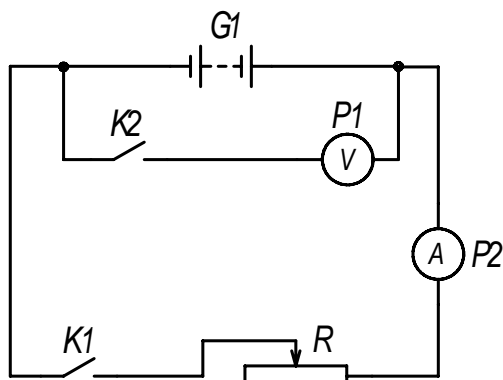


Рисунок 1

Общие положения

Полная мощность P_0 , развиваемая источником электрической энергии, определяется формулой:

$$P_0 = I\varepsilon, \quad (1)$$

где I – сила тока; ε – электродвижущая сила (эдс) источника электрической энергии.

Полезная мощность P , выделяющаяся во внешней части электрической цепи, определяется формулой:

$$P = IU, \quad (2)$$

где U – напряжение на внешней части электрической цепи.

Коэффициент полезного действия η (кпд) источника эдс определяется отношением полезной мощности P к полной мощности P_0 :

$$\eta = \frac{P}{P_0}. \quad (3)$$

Подставив (1) и (2) в формулу (3), получим

$$\eta = \frac{U}{\varepsilon}. \quad (4)$$

Если потребителем электрической энергии служит однородный проводник, то по закону Ома $U = IR$. Для замкнутой цепи, содержащей источник тока

$$\varepsilon = I(R + r), \quad (5)$$

где R – электрическое сопротивление внешнего участка электрической цепи;
 r – внутреннее сопротивление источника эдс.

Подставив записанные соотношения в формулу (4) и проведя преобразования, получим

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{r}{R}}. \quad (6)$$

Мощность, выделяемая на внешнем участке однородной электрической цепи, определяется законом Джоуля – Ленца:

$$P = I^2 R. \quad (7)$$

Используя (5), получим выражение для расчета полезной мощности

$$P = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + r)^2}. \quad (8)$$

С помощью формулы (8) можно получить значение R , при котором полезная мощность достигает максимального значения. Приравнявая первую производную мощности P по R к нулю и учитывая, что R и r всегда положительны, получим $R = r$. Полезная мощность достигает максимального значения, если сопротивление внешней электрической цепи равно внутреннему сопротивлению источника электрической энергии эдс которого ε :

$$P_{\max} = \frac{\varepsilon^2}{4r}$$

Из анализа формулы (6) следует, что КПД в этом случае равен 0,5.

Зная максимальную полезную мощность P_{\max} и эдс ε , можно определить внутреннее сопротивление источника:

$$r = \frac{\varepsilon^2}{4P_{\max}}. \quad (9)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Какие величины необходимо рассчитать в работе?
4. Запишите формулы, по которым рассчитываются полезная мощность, полная мощность и КПД источника тока.
5. Какие графики надо построить по результатам эксперимента?

Выполнение работы

1. Собрать электрическую цепь по схеме (рис.1). Определить цену деления вольтметра и амперметра.
2. Оставляя ключ $K1$ разомкнутым, замкнуть ключ $K2$ и записать показание вольтметра. Показание вольтметра при разомкнутом выключателе $K1$ с достаточной степенью точности можно считать равным значению ЭДС источника электрической энергии.
3. Введя полностью сопротивление R реостата, замкнуть ключ $K1$, записать значения напряжения и силы тока.
4. Постепенно увеличивая ток в электрической цепи от минимального до максимально допустимого значения, выполнить 9–11 измерений силы тока и напряжения.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать полезную мощность P по формуле (2).
2. Рассчитать коэффициент полезного действия η по формуле (4).
3. Построить графики зависимости полезной мощности P и КПД η источника от силы тока I (можно в одной системе координат).
4. Используя график зависимости полезной мощности от силы тока $P = f(I)$, найти максимальное значение мощности.
5. Вычислить внутреннее сопротивление r источника по формуле (9).

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Сформулируйте закон Ома для полной цепи. Запишите формулу.
2. При каком условии полезная мощность достигает максимального значения?
3. Используя полученные графики, определите коэффициент полезного действия в тот момент, когда мощность достигает максимального значения. Совпадает ли полученное значение с рассчитанным теоретически?

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №49

Выполнил(а) _____

Группа _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число делений на шкале	Цена деления с указанием единицы измерения
1	Вольтметр			
2	Амперметр			

ЭДС источника $\varepsilon =$ _____

№ п/п	$I,$ А	$U,$ В	$P,$ Вт	η
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №50

ИЗМЕРЕНИЕ ЭДС И ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы – измерить эдс, ток короткого замыкания и внутреннее сопротивление химического источника тока.

Приборы и принадлежности: гальванический элемент, микроамперметр, милливольтметр, переменный резистор, выключатель.

Общие положения

По закону Ома для замкнутой цепи, содержащей источник тока

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}, \quad (1)$$

где I – сила тока; ε – эдс гальванического элемента, R – сопротивление внешнего участка цепи; r – внутреннее сопротивление элемента.

По закону Ома для однородного участка напряжение U на внешнем участке цепи

$$U = IR. \quad (2)$$

Из формулы (1) следует, что

$$IR = \varepsilon - Ir \quad (3)$$

или, с учетом (2),

$$U = \varepsilon - Ir. \quad (4)$$

Для данного источника эдс ε и внутреннее сопротивление r являются величинами постоянными, следовательно, напряжение U на внешнем участке цепи будет линейно зависеть от силы тока I (рис. 1)

Из анализа формул (1), (2), (4) и графика (рис.1) можно сделать следующие выводы:

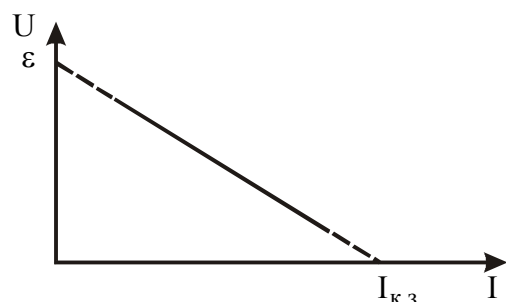


Рисунок 1

1. Если внешнее сопротивление R стремится к нулю, то напряжение на этом сопротивлении также стремится к нулю. Ток $I_{к.з.}$, возникающий в цепи при $R \rightarrow 0$, называется током короткого замыкания. Из формулы (1) следует, что

$$I_{к.з.} = \frac{\varepsilon}{r}. \quad (5)$$

Короткое замыкание нежелательно, так как большие токи вызывают нагрев элементов электрической цепи и быстро разряжают источник.

2. Если внешнее сопротивление R стремится к бесконечности, то ток I в цепи стремится к нулю. Из формулы (4) следует, что при этом

$$U = \varepsilon. \quad (6)$$

В реальных условиях нельзя измерить эдс источника непосредственно, так как сопротивление вольтметра конечно. Но, учитывая линейный характер связи между напряжением и током, можно ограничиться получением зависимости на участке достаточно удаленном от значений малых ($I \rightarrow 0$) и больших ($I \rightarrow I_{к.з.}$) токов.

Описание экспериментальной установки

Установка (рис. 2) состоит из источника тока $G1$ (гальванический элемент), микроамперметра mA , милливольтметра mV , переменного резистора R , ключа $K1$. Схема смонтирована на стенде.

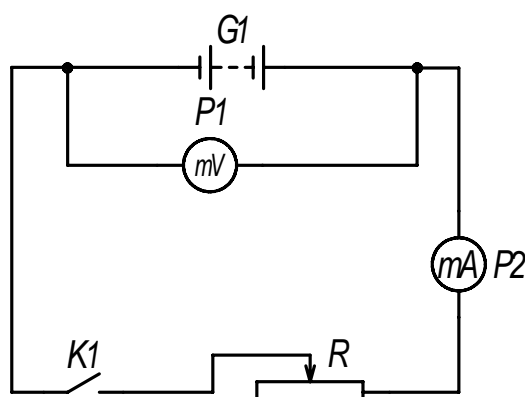


Рисунок 2

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Какие графики надо построить по результатам эксперимента?
4. Какие величины необходимо рассчитать в работе?

Выполнение работы

1. Установить подвижный контакт резистора R в положение R_{\max} . Электрическую цепь замыкать только на короткое время измерений нажатием рычага ключа $K1$. Снять показания микроамперметра и милливольтметра.
2. Изменяя сопротивление нагрузки с помощью переменного резистора R (от R_{\max} до R_{\min}) 10 раз, каждый раз снимать показания микроамперметра и милливольтметра.
3. Повторить измерения согласно пунктам 1 и 2 еще два раза.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Построить три графика зависимости напряжения от силы тока $U = f(I)$.
2. Экстраполируя графики до пересечения с осями, определить три значения эдс \mathcal{E} и тока короткого замыкания $I_{к.з.}$.

3. Используя формулу (5), рассчитать внутреннее сопротивление r источника.
4. Найти средние значения измеренных величин. Абсолютную погрешность рассчитать как для прямых измерений.
5. Найти относительную погрешность измерений.
6. Результаты представить в стандартном виде:

$$I_{\text{к.з.}} = I_{\text{к.з.}}^{\text{ср}} \pm \Delta I_{\text{к.з.}}$$
$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{ср}} \pm \Delta \varepsilon$$
$$r = r_{\text{ср}} \pm \Delta r$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Сформулируйте закон Ома для замкнутой цепи, содержащей источник тока. Запишите формулу.
2. Сформулируйте закон Ома для однородного участка цепи. Запишите формулу.
3. Какой ток называется током короткого замыкания? Как его можно рассчитать?
4. Почему нежелательно короткое замыкание?
5. Почему в реальных условиях нельзя непосредственно измерить эдс?

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №50

Выполнил(а) _____

Группа _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число делений на шкале	Цена деления с указанием единицы измерения
1	Милливольтметр			
2	Миллиамперметр			

Опыт 1

U , mV										
I , mA										

Опыт 2

U , mV										
I , mA										

Опыт 3

U , mV										
I , mA										

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 54

ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ И МАГНИТНОГО МОМЕНТА МАГНИТА МЕТОДОМ ГАУССА

Цель работы – измерить горизонтальную составляющую индукции магнитного поля Земли и магнитный момент магнита.

Приборы и принадлежности: полосовой магнит, буссоль с компасом, секундомер, штангенциркуль.

Общие положения

Вокруг Земного шара существует магнитное поле, линии индукции которого изображены на рис. 1. Вектор индукции (а также и вектор напряженности) магнитного поля Земли в средних широтах направлен под некоторым углом к поверхности Земли и может быть разложен на две составляющие: горизонтальную \vec{B}_0 и вертикальную \vec{B}_\perp .

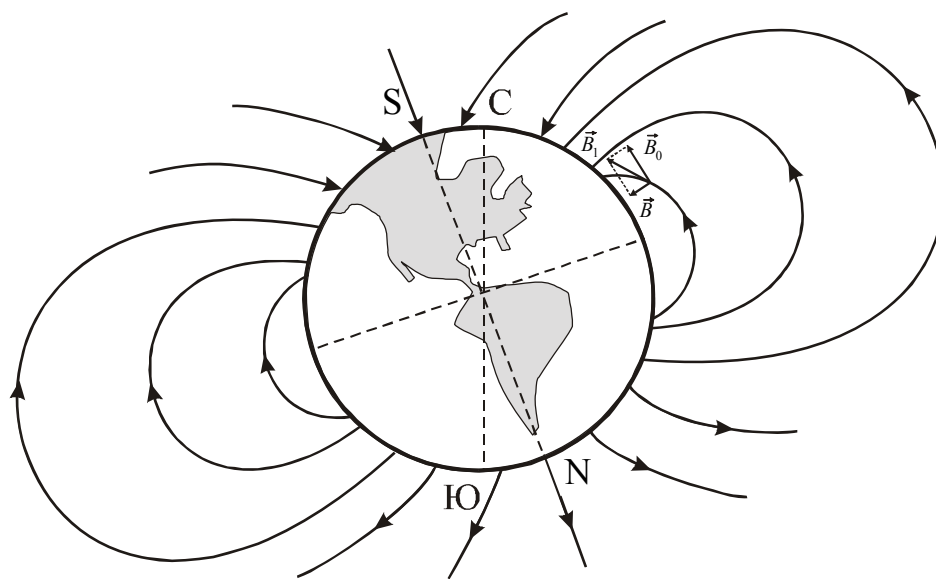


Рисунок 1

Для определения горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли используются различные методы. Суть метода Гаусса заключается в последовательном проведении двух экспериментов: 1) нахождение магнитного момента вспомогательного магнита из его колебаний под действием магнитного поля Земли; 2) сравнение магнитного поля вспомогательного магнита в какой-либо точке с горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли в этой же точке по действию на стрелку компаса.

Магнитный момент \vec{p}_m магнита – это вектор, направленный от южного полюса магнита (S) к северному (N). Величина магнитного момента зависит только от индивидуальных свойств магнита (от размеров и степени намагни-

ченности). Для определения магнитного момента вспомогательного магнита Гаусс предложил определить период колебаний этого магнита.

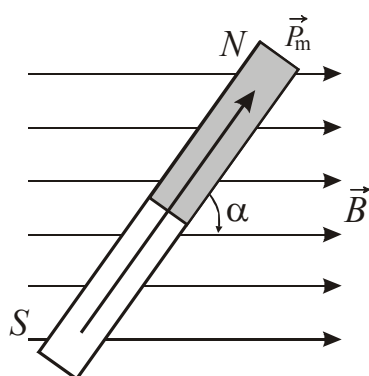


Рисунок 2

Если в однородное магнитное поле индукцией \vec{B} поместить магнит (рис. 2), то на него, как на контур с током, будет действовать вращающий момент:

$$M = p_m B \sin \alpha, \tag{1}$$

где p_m – магнитный момент магнита;
 B – индукция магнитного поля;
 α – угол между направлением \vec{p}_m и \vec{B} .

Для измерения вращающего момента M используют колебания, которые совершает магнит в магнитном поле Земли. Магнит подвешивают на нитке так, чтобы он мог свободно вращаться вокруг вертикальной оси, проходящей через его центр масс. При малых углах отклонения $\sin \alpha \approx \alpha$, следовательно $M = p_m B \alpha$. Согласно основному закону динамики вращательного движения $M = J \varepsilon$. Тогда

$$- p_m B \alpha = J \varepsilon, \tag{2}$$

где J – момент инерции магнита; $\varepsilon = \frac{d^2 \alpha}{dt^2}$ – его угловое ускорение.

Подставив в формулу (2) угловое ускорение ε и проведя преобразования, получим:

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \frac{p_m B}{J} \alpha = 0. \tag{3}$$

Из теории колебаний известно, что уравнение вида

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \omega_0^2 \alpha = 0 \tag{4}$$

описывает гармонические колебания. Сравнив формулы (3) и (4), получим:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{p_m B}{J}}, \tag{5}$$

где ω_0 – циклическая частота колебаний.

Тогда период колебания магнита

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{p_m B}}, \tag{6}$$

где B – горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли.

Если магнит имеет форму прямоугольного параллелепипеда и вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через центр масс (рис. 3), то его момент инерции равен

$$J = \frac{m}{12}(d^2 + l^2), \tag{7}$$

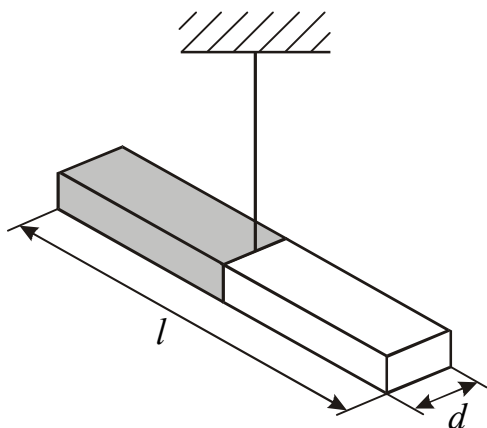


Рисунок 3

где m – масса магнита,
 d – ширина,
 l – длина магнита.

Для определения двух неизвестных величин p_m и B проводятся две части эксперимента. В первой части измеряют период крутильных колебаний. Затем из формулы (6) определяют величину произведения $p_m B$. Во второй части эксперимента определяется величина отношения $\frac{p_m}{B}$. Для этой цели используется буссоль с компасом.

В отсутствие посторонних магнитов стрелка компаса устанавливается под влиянием земного магнитного поля в плоскости магнитного меридиана (направление приблизительно с юга на север). Если расположить ось магнита перпендикулярно к этой стрелке (с запада на восток), то стрелка отклонится и установится по направлению равнодействующей поля \vec{B}_0 (рис. 4). Предполагается, что магнит удален настолько далеко, что в области, занимаемой стрелкой, поле этого магнита однородно и индукция его \vec{B}_1 направлена перпендикулярно горизонтальной составляющей индукции \vec{B} земного магнитного поля.

Из рисунка 4 видно, что при этих условиях

$$B_1 = B \cdot \text{tg}\varphi \tag{8}$$

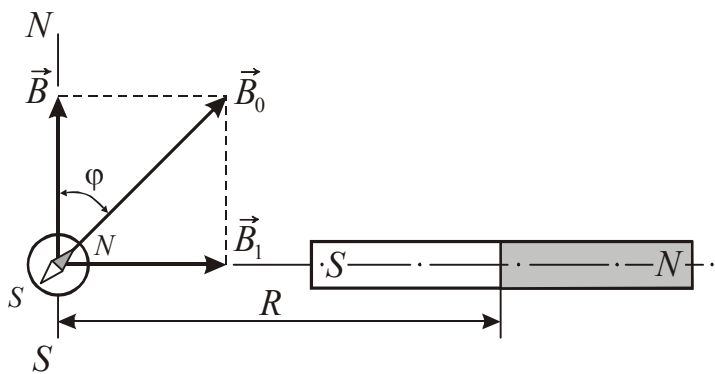


Рисунок 4

где φ – угол отклонения стрелки компаса от магнитного меридиана.

Поле прямого магнита на его оси:

$$B_1 = \frac{\mu_0 p_m}{2\pi R^3}, \tag{9}$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; R – расстояние от центра масс

магнита до центра стрелки компаса.

Подставив (9) в (8), получим

$$\frac{p_m}{B} = \frac{2\pi R^3 \text{tg}\varphi}{\mu_0}. \tag{10}$$

Решив совместно уравнения (6) и (10) относительно B и p_m , получим:

$$B = \frac{1}{T} \sqrt{\frac{2\pi\mu_0 J}{R^3 \operatorname{tg} \varphi}}, \quad (11)$$

$$P_m = \frac{1}{T} \sqrt{\frac{8\pi^3 J R^3 \operatorname{tg} \varphi}{\mu_0}}. \quad (12)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие физические величины в работе измеряются непосредственно?
3. Какие величины необходимо определить в работе?
4. Запишите формулу, по которой рассчитывается горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли. Поясните смысл обозначений.
5. Запишите формулу, по которой рассчитывается магнитный момент магнита. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Измерить длину l и ширину d магнита. Записать значение массы магнита ($m=250$ г).
2. Подвесить магнит так, чтобы он принял горизонтальное положение, и установить его в положение равновесия. Затем отклонить магнит в горизонтальной плоскости на малый угол. Магнит начнет совершать крутильные колебания.
3. Включить секундомер в момент наибольшего отклонения магнита и измерить время t , в течение которого магнит совершит N полных колебаний ($10 \div 15$). Опыт повторить 3 раза.
4. Развернуть буссоль так, чтобы стрелка компаса установилась перпендикулярно шкале доски. Выставить нулевые деления круговой шкалы буссоли напротив концов стрелки компаса.
5. Положить магнит на шкалу доски так, чтобы центр масс магнита лежал на расстоянии $R=60$ см от центра стрелки компаса. Измерить угол отклонения стрелки φ_1 .
6. Уменьшая расстояние R между центром масс магнита и компасом каждый раз на 10 см, провести измерения φ_1 согласно п. 5 еще 5 раз.
7. Повернуть магнит на 180° (поменять полюса местами). Провести измерения угла отклонения стрелки φ_2 согласно п. 5 и п. 6.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать период колебаний магнита по формуле $T=t/N$ для каждого опыта. Найти среднее значение периода.
2. Рассчитать момент инерции магнита по формуле (7).
3. Рассчитать средний угол отклонения $\varphi_{cp.}=(\varphi_1+\varphi_2)/2$.
4. Рассчитать горизонтальную составляющую индукции магнитного поля Земли по формуле (11) для каждого расстояния, используя среднее значение периода.
5. Рассчитать магнитный момент магнита по формуле (12) для каждого расстояния, используя среднее значение периода.
6. Найти средние значения B и p_m . Абсолютную погрешность рассчитать как для прямых измерений.
7. Найти относительную погрешность измерений. Результаты представить в стандартном виде:

$$B = \bar{B} \pm \Delta B$$

$$p_m = \bar{p}_m \pm \Delta p_m$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Что называется магнитной индукцией? В каких единицах она измеряется?
2. Запишите формулу, связывающую индукцию и напряженность магнитного поля. Используя рассчитанное среднее значение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли, вычислите соответствующее значение напряженности для нашей широты.
3. Что называется линиями магнитной индукции? Как определяется их направление?
4. На какой географической широте горизонтальная составляющая вектора индукции магнитного поля Земли равна нулю?

ПРОТОКОЛ

измерений к лабораторной работе №54

Выполнил(а) _____

Группа _____

Масса магнита $m =$ _____

Длина магнита $l =$ _____

Ширина магнита $d =$ _____

Задание 1

№п/п	N	t, c	T, c
1			
2			
3			
среднее			

Задание 2

№ п/п	R, cm	$\varphi_1, ^\circ$	$\varphi_2, ^\circ$	$\varphi_{cp}, ^\circ$	$B, Tл$	$\rho_m, A \cdot m^2$
1						
2						
3						
4						
5						
среднее						

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 55

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Цель работы – определить горизонтальную составляющую магнитного поля Земли с помощью тангенс-гальванометра.

Приборы и принадлежности: тангенс-гальванометр, амперметр, реостат, источник постоянного тока, выключатель.

Общие положения

Вокруг Земного шара существует магнитное поле, линии индукции которого изображены на рис. 1. Вектор индукции (а также и вектор напряженности) магнитного поля Земли в средних широтах направлен под некоторым углом к поверхности Земли и может быть разложен на две составляющие: горизонтальную \vec{B}_0 и вертикальную \vec{B}_\perp .

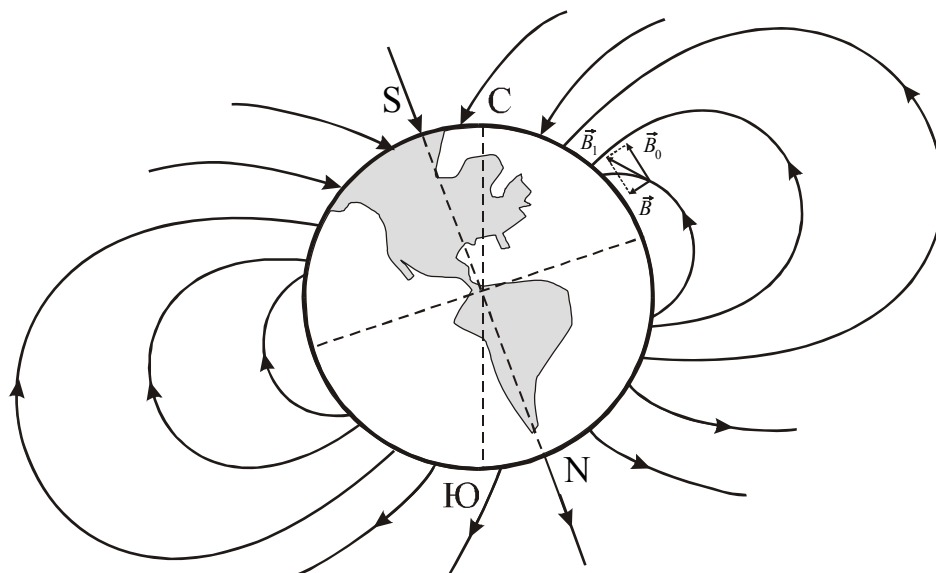


Рисунок 1

В данной работе горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли определяется с помощью тангенс-гальванометра. Он представляет собой плоскую вертикальную катушку, у которой радиус витков R больше длины этой катушки. Число витков, намотанное на катушке, N . В центре катушки в горизонтальной плоскости располагается короткая магнитная стрелка, которая вращается вокруг вертикальной оси.

Для определения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли необходимо рассмотреть суперпозицию какого-нибудь пробного магнитного поля, индукция которого в данной точке направлена горизонтально, и горизонтальной составляющей магнитного поля Земли. В качестве такого поля используется магнитное поле, создаваемое током, протекающим по виткам тангенс-гальванометра.

Тангенс-гальванометр расположим так, чтобы плоскость катушки по магнитной стрелке была установлена в плоскости магнитного меридиана. При пропускании тока по виткам катушки тангенс-гальванометра возникает магнитное поле индукцией \vec{B} . Вектор \vec{B} в центре лежит в горизонтальной плоскости перпендикулярно горизонтальной составляющей магнитного поля земли.

Вектор индукции результирующего поля по принципу суперпозиции равен векторной сумме полей. Стрелка компаса установится по диагонали параллелограмма, сторонами которого будут вектор магнитной индукции магнитного поля кругового тока \vec{B} и горизонтальная составляющая вектора магнитного поля Земли – \vec{B}_0 .

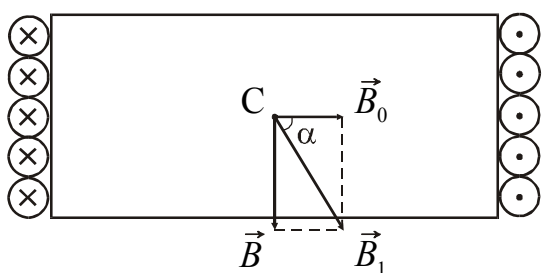


Рисунок 2

На рис. 2 изображено сечение катушки прибора горизонтальной плоскостью и указано направление векторов индукции \vec{B} и \vec{B}_0 .

Из рисунка видно, что

$$B = B_0 \operatorname{tg} \alpha, \tag{1}$$

где α – угол между векторами \vec{B}_0 и \vec{B}_1 .

Индукция магнитного поля, создаваемая в точке C витками катушки:

$$B = \mu_0 \mu \frac{IN}{2R}, \tag{2}$$

где μ_0 – магнитная постоянная ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м);

μ – относительная магнитная проницаемость, для воздуха $\mu \approx 1$;

N – число витков катушки; I – сила тока; R – радиус витков.

Приравняем выражения (1) и (2) и получим формулу для расчета горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли:

$$B_0 = \frac{\mu_0 IN}{2R \operatorname{tg} \alpha}. \tag{3}$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно?
3. По какой формуле Вы будете рассчитывать горизонтальную составляющую индукции магнитного поля Земли? Поясните смысл обозначений.
4. Что называется магнитной индукцией? В каких единицах она измеряется?
5. Что называется линиями магнитной индукции? Как определить их направление?

Выполнение работы

1. Измерить радиус R витков и сосчитать их количество N .
2. Собрать электрическую цепь по схеме, указанной на рис. 3.
3. Определить цену деления амперметра.
4. Установить плоскость катушки тангенс-гальванометра в плоскости магнитного меридиана.
5. Замкнуть цепь переключателем. С помощью реостата установить в цепи такой ток, чтобы магнитная стрелка отклонилась на угол не более 30° . Измерить угол α_1 отклонения стрелки.

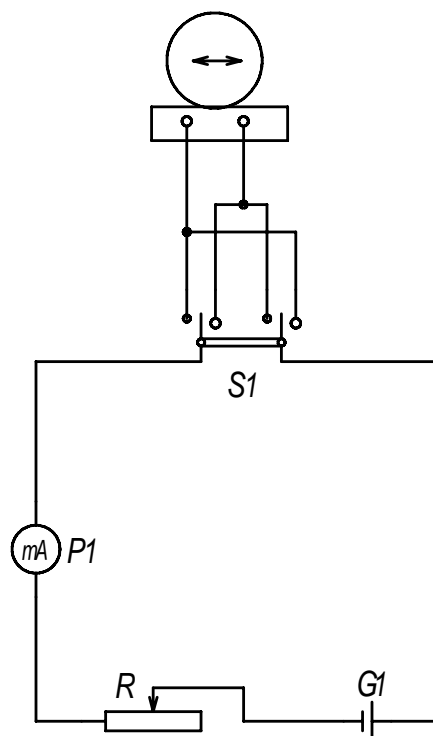


Рисунок 3

6. Изменить переключателем направление тока. Измерить угол α_2 отклонения магнитной стрелки при той же силе тока.
7. Повторить измерения согласно п.п. 5 и 6 еще два раза, изменяя значение силы тока.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Найти среднее значение угла отклонения стрелки для каждого значения силы тока.
2. Рассчитать значение B_0 по результатам каждого опыта по формуле (3).
3. Рассчитать среднее значение B_0 .
4. Рассчитать абсолютную погрешность ΔB_0 как для прямых измерений.
5. Найти относительную погрешность измерений. Результат записать в стандартном виде:

$$B = \bar{B}_0 \pm \Delta B_0$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Запишите формулу, связывающую индукцию и напряженность магнитного поля. Используя рассчитанное среднее значение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли, вычислите соответствующее значение напряженности для нашей широты.
2. Какое положение в пространстве примет магнитная стрелка тангенс-гальванометра при наличии: а) только магнитного поля Земли; б) только магнитного поля кругового тока; в) магнитных полей Земли и кругового тока (виток находится в плоскости магнитного меридиана)?
3. Приведите расчетную формулу индукции магнитного поля в центре кругового тока. Как изменится индукция магнитного поля в центре кругового тока, если: а) ток в витке увеличить в 2 раза? б) радиус витка увеличить в 2 раза?
4. На какой географической широте горизонтальная составляющая вектора индукции магнитного поля Земли равна нулю?

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №55

Выполнил(а) _____

Группа _____

Радиус витков $R =$ _____Число витков $N =$ _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число делений на шкале	Цена деления с указанием единицы измерения
1	Амперметр			

№ п/п	I, A	$\alpha_1, ^\circ$	$\alpha_2, ^\circ$	$\alpha_{cp}, ^\circ$	$B_0, Tл$
1					
2					
3					
среднее					

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 57

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ТОРОИДА ОТ НАПРЯЖЕННОСТИ НАМАГНИЧИВАЮЩЕГО ПОЛЯ

Цель работы – исследовать зависимость индукции магнитного поля тороида и магнитной проницаемости сердечника тороида от напряженности внешнего намагничивающего поля.

Приборы и принадлежности: тороид с железным сердечником, регулируемый источник питания ВС-24М, измеритель магнитной индукции, амперметр.

Общие положения

Совокупность тел, по которым проходит поток магнитной индукции, называется магнитной цепью. Если поток переходит из одной среды в другую среду целиком, то говорят о последовательном соединении сред. Примером неразветвленной магнитной цепи может служить система, представляющая собой

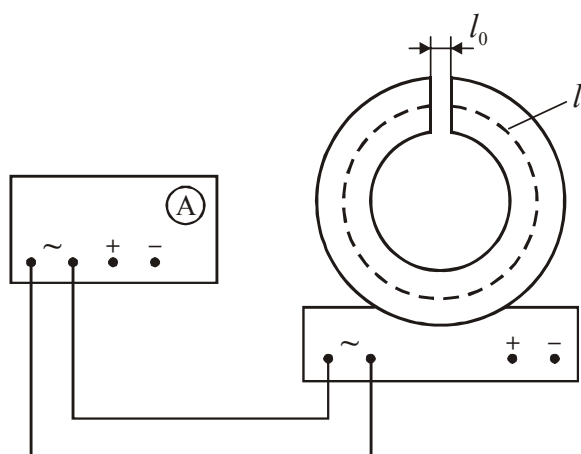


Рисунок 1

электромагнит в виде тороида длиной l (длина средней линии) с воздушным зазором шириной l_0 (рис.1).

Наличие зазора существенно меняет величину напряженности H магнитного поля тороида, поэтому для ее расчета нельзя применять формулу для расчета напряженности поля сплошного тороида:

$$H = \frac{NI}{2\pi r}, \quad (1)$$

где N – число витков тороида; I – сила тока в обмотке тороида, r – расстояние от центра тороида до точки, в которой ищется H .

Для определения напряженности магнитного поля тороида воспользуемся законом полного тока:

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \sum_{k=1}^N I_k = NI \quad (2)$$

В формуле (2) циркуляция вектора \vec{H} считается по контуру L , образованному средней линией тороида и воздушным зазором.

Обозначив H – напряженность магнитного поля внутри тороида, H_0 – напряженность поля в воздушном зазоре, получим

$$Hl + H_0l_0 = NI \quad (3)$$

Так как магнитная проницаемость воздуха $\mu \approx 1$, то индукция B_0 магнитного поля в зазоре связана с напряженностью H_0 магнитного поля соотношением $B_0 = \mu_0 H_0$. Сделав замену в уравнении (3), найдем

$$H = \frac{NI - \frac{B_0 l_0}{\mu_0}}{l} \quad (4)$$

Поскольку ширина l_0 зазора значительно меньше l , то рассеяние магнитного поля невелико, и можно считать, что индукция B_0 магнитного поля в зазоре равна индукции B поля в тороиде, т.е. $B_0=B$. Таким образом, для определения напряженности H магнитного поля внутри тороида надо знать индукцию поля B , силу тока I , длину l железного сердечника и длину l_0 воздушного зазора.

Магнитную проницаемость материала тороида можно рассчитать по формуле

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H} \quad (5)$$

Отметим, что магнитная проницаемость ферромагнетиков зависит от напряженности внешнего поля. Начальной магнитной проницаемостью называется величина, измеренная при небольших значениях H .

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка состоит из электромагнита в виде тороида

- 1 - тороид
- 2 - источник питания
- 3 - датчик Холла

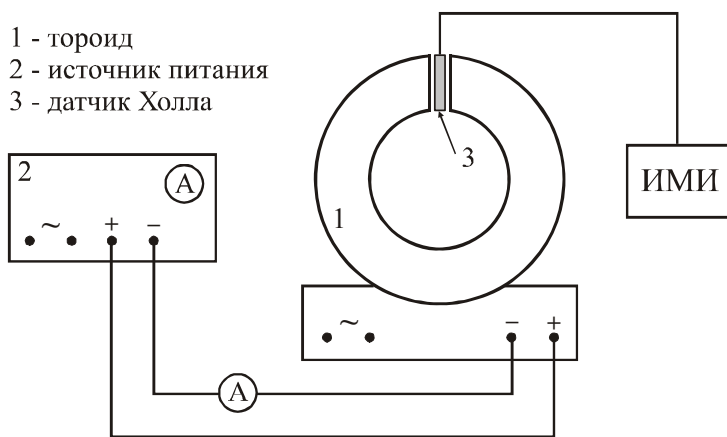


Рисунок 2

1, источника тока 2, измерителя магнитной индукции ИМИ с датчиком Холла 3 (рис.2). Обмотку тороида можно подключать к источнику постоянного или переменного тока. Величина тока плавно меняется при помощи регулятора на передней панели прибора. Переменный ток используется для размагничивания железного сердечника электромагнита. Известно,

что в убывающем переменном магнитном поле ферромагнетик размагничивается, поэтому уменьшение переменного тока в обмотке тороида от некоторого значения до 0 приведет к размагничиванию сердечника.

Индукция B магнитного поля измеряется при помощи измерителя магнитной индукции, работа которого основана на эффекте Холла. Датчик Холла помещают в измеряемое магнитное поле и снимают показания со шкалы прибора.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно (прямые измерения)?
3. Запишите формулу, связывающую индукцию и напряженность магнитного поля.
4. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать напряженность магнитного поля в зазоре сердечника. Поясните смысл обозначений.
5. Какие графики необходимо построить по результатам работы? Схематично нарисуйте теоретический вид проверяемых зависимостей.

Выполнение работы

1. Записать число витков N тороида, длину l средней линии сердечника, ширину l_0 воздушного зазора. Данные указаны на рабочем месте.
2. Собрать схему для размагничивания (рис. 1).
3. Размагнитить сердечник электромагнита. Для этого, включив источник питания, ручкой регулировки выходного напряжения медленно увеличить его до максимального значения и так же медленно уменьшить до нуля.
4. Включить измеритель магнитной индукции. Тумблер предела измерений магнитного поля перевести в положение « $\times 2$ » и ручкой «Уст. 0» установить стрелку прибора на середину шкалы (показание 0).
5. При помощи измерителя магнитной индукции провести проверку размагничивания. Для этого датчик Холла поместить в зазор сердечника тороида.
6. После размагничивания, отключить электромагнит от источника питания.
7. Собрать схему для намагничивания (рис. 2). Регулятор напряжения установить на нулевую отметку.
8. Определить цену деления амперметра.
9. Ввести датчик измерителя магнитной индукции в зазор сердечника. Увеличивая ток в цепи с шагом, указанным преподавателем, снимать показания измерителя магнитной индукции, умножая их на 2. (ни в коем случае не допускать уменьшения тока), Измерения проводить при каждом значении тока дважды, меняя ориентацию датчика на 180° (стрелка прибора при этом должна отклоняться в противоположную сторону по шкале прибора). По двум измерениям индукции магнитного поля берут среднее значение.
10. При достижении максимального значения индукции на пределе « $\times 2$ », перейти на предел « $\times 5$ ». При переходе на данный предел вынуть датчик из зазора электромагнита и ручкой «Уст. 0» установить стрелку прибора на 0. Датчик магнитометра при этом не должен находиться в сердечнике электромагнита.
11. Продолжить измерения согласно п. 8, умножая показания измерителя на 5.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать напряженность магнитного поля по формуле (4).
2. Рассчитать магнитную проницаемость по формуле (5).
3. Построить графики зависимостей $B = f(H)$ и $\mu = f(H)$. При построении графика $\mu = f(H)$, считать, что начальное значение магнитной проницаемости при $H=0$ равно 50.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Дайте определение магнитной индукции.
2. Укажите единицы измерения индукции магнитного поля и напряженности магнитного поля.
3. Какие свойства ферромагнетиков Вы проверили в данной работе?
4. Сравните полученные экспериментально графики $B = f(H)$ и $\mu = f(H)$ с теоретическими зависимостями. Сделайте вывод по результатам работы.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №57

Выполнил(а) _____

Группа _____

Число витков тороида $N =$ _____Длина средней линии сердечника $l =$ _____Ширина воздушного зазора $l_0 =$ _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число делений на шкале прибора	Цена деления с указанием единицы измерения
1	Амперметр			

№ п/п	$I,$ А	$B_1,$ мТл	$B_2,$ мТл	$B_{ср},$ мТл	$H,$ А/м	μ
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 58

ИЗМЕРЕНИЕ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЖЕЛЕЗЕ
ПО ПОДЪЕМНОЙ СИЛЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТА

Цель работы – произвести расчет индукции магнитного поля в железе по подъемной силе электромагнита, исследовать зависимость индукции магнитного поля в железе и магнитной проницаемости от напряженности намагничивающего поля.

Приборы и принадлежности: подковообразный электромагнит на подставке, якорь с набором грузов, амперметр постоянного тока, реостат, лабораторный автотрансформатор.

Описание экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Установка состоит из электрических цепей постоянного и переменного токов. Переменный ток используется для размагничивания сердечника электромагнита 1. Сила тока в этой цепи регистрируется амперметром A_1 и регулируется лабораторным автотрансформатором (ЛАТР). Цепь постоянного тока состоит из источника тока, реостата и амперметра A_2 . Эта цепь используется для намагничивания электромагнита. Сила тока в ней изменяется реостатом. С помощью переключателя K электромагнит можно включать в цепь постоянного или переменного тока. Установка снабжена якорем 2 и пятью грузами, масса которых известна.

Общие положения

Подъемной силой электромагнита называется сила притяжения якоря 2 электромагнита к сердечнику 1 (рис. 1). В данной работе подъемная сила F электромагнита равна весу грузов, которые удерживает электромагнит:

$$F = mg, \quad (1)$$

где m – масса удерживаемых грузов.

Способность удерживать грузы электромагнит приобретает за счет внешнего намагничивающего поля. Напряженность H этого поля найдем, используя закон полного тока. Величина x зазора между сердечником и якорем практически равна нулю, поэтому можно записать:

$$Hl = Ni,$$

где l – длина сердечника, N – число витков в обмотке, I – сила тока в обмотке.

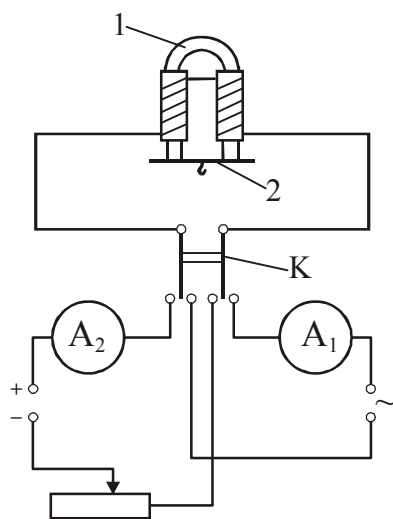


Рисунок 1

Отсюда

$$H = \frac{Ni}{l}. \quad (2)$$

Если под действием подъемной силы якорь смещается на величину dx , то полный магнитный поток, пронизывающий сердечник, изменится на величину $d\Psi$. Это приведет к возникновению в обмотке индукционного тока. В свою очередь индукционный ток изменит энергию, выделяемую источником тока, энергию магнитного поля сердечника и количество тепла, выделяющегося в обмотке. По закону сохранения энергии

$$\delta A = dW + dW_m + dQ, \quad (3)$$

где $\delta A = Fdx$ – элементарная работа, совершаемая при смещении якоря;
 dW – изменение энергии источника;
 dW_m – изменение энергии магнитного поля;
 dQ – величина, на которую изменится количество тепла, выделившегося в обмотке.

Можно показать, что

$$dW = -id\Psi; \quad dW_m = -\frac{id\Psi}{2}; \quad dQ = 2id\Psi.$$

Сделав замену в (3), получим:

$$Fdx = -id\Psi - \frac{id\Psi}{2} + 2id\Psi. \quad (4)$$

Отсюда

$$F = \frac{i}{2} \cdot \frac{d\Psi}{dx}. \quad (5)$$

Полный магнитный поток

$$\Psi = NBS, \quad (6)$$

где B – индукция магнитного поля в сердечнике;
 S – площадь сечения сердечника.

$$S = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (7)$$

где d – диаметр сердечника.

При наличии зазора закон полного тока запишется в виде

$$Hl + H'2x = Ni,$$

где H' – напряженность поля в зазоре,
 x – величина зазора (мы учли, что зазоров два).

Учитывая, что магнитный поток в зазоре и сердечнике одинаков, а также то, что индукция и напряженность магнитного поля связаны соотношением

$$H = \frac{B}{\mu\mu_0}, \quad (8)$$

можно получить выражение для определения полного магнитного потока:

$$\Psi = \frac{\mu\mu_0 N^2 i}{(l + 2\mu x)} S. \quad (9)$$

Сделав замену в (5) по формуле (9) и дифференцируя, получим с учетом того, что зазор очень мал:

$$F = \left(\frac{\mu\mu_0 Ni}{l + 2\mu x} \right)^2 \cdot \frac{S}{\mu_0} = \frac{B^2 S}{\mu_0},$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – Гн/м магнитная постоянная.

Отсюда

$$B = \sqrt{\frac{\mu_0 F}{S}} \quad (10)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно (прямые измерения)?
3. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать напряженность намагничивающего поля. Поясните смысл обозначений.
4. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать индукцию магнитного поля. Поясните смысл обозначений.
5. Какие графики необходимо построить по результатам работы? Схематично нарисуйте теоретический вид проверяемых зависимостей.

Выполнение работы

1. Собрать электрическую цепь по схеме (рис. 1).
2. Определить цену деления амперметра. Записать значения диаметра d и длины l сердечника, количества витков N , которые указаны на установке. Массы m якоря и грузов указаны на них.
3. Включить электропитание установки.
4. Перед началом опыта необходимо размагнитить сердечник. Для этого замкнуть сердечник электромагнита якорем, включить установку в цепь переменного тока и установить с помощью ЛАТРа ток $\sim 1,0$ А. Затем плавно уменьшить ток от этого максимального значения до нуля. Разомкнуть цепь переключателем К.
5. Вывести реостат на максимальное сопротивление. Включить установку в цепь постоянного тока. Увеличивая ток малыми ступенями ($\sim 0,01 - 0,02$ А) с помощью регулятора напряжения, подобрать минимальную силу тока, при которой электромагнит удерживает якорь.

6. Подвесить к якорю платформу без грузов. Подобрать минимальную силу тока, при которой электромагнит удерживает якорь с платформой. Плавную регулировку силы тока можно проводить с помощью реостата. После каждого увеличения тока делать попытку удержать якорь электромагнитом. Если электромагнит не удерживает якорь, то увеличить ток и повторить попытку.
7. Повторить опыт со всеми грузами, последовательно добавляя их на платформу.

Примечание

При подборе минимального значения силы тока подходить к нему следует со стороны меньшей силы тока. Перемещать регулятор напряжения и ползунок реостата следует осторожно. В случае оплошности необходимо снова размагнитить сердечник (см. пункт 4) и повторить намагничивание с самого начала.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Вычислить площадь сечения сердечника электромагнита по формуле (7).
2. Рассчитать подъемную силу электромагнита по формуле (1).
3. По формуле (2) рассчитать напряженность намагничивающего поля для каждого опыта.
4. По формуле (10) рассчитать индукцию магнитного поля для каждого значения напряженности.
5. Рассчитать магнитную проницаемость материала сердечника для каждого значения напряженности поля по формуле $\mu = \frac{B}{\mu_0 H}$.
6. Построить графики зависимостей $B=f(H)$ и $\mu=f(H)$.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Запишите формулу, связывающую индукцию и напряженность магнитного поля.
2. Дайте определение магнитной индукции. Укажите единицы измерения индукции магнитного поля и напряженности магнитного поля.
3. Перечислите основные свойства ферромагнетиков. Какие из них Вы проверяли в данной работе?
4. Сравните полученные экспериментально графики $B = f(H)$ и $\mu = f(H)$ с теоретическими зависимостями. Сделайте вывод по результатам работы.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №58

Выполнил(а) _____

Группа _____

Число витков катушки $N =$ _____Длина сердечника $l =$ _____Диаметр сердечника $d =$ _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число деле- ний на шка- ле прибора	Цена деления с указанием еди- ницы измерения
1	Амперметр			

№ п/п	$m,$ г	$F,$ Н	$i,$ А	$B,$ Тл	$H,$ А/м	μ
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Дата _____

Подпись преподавателя _____

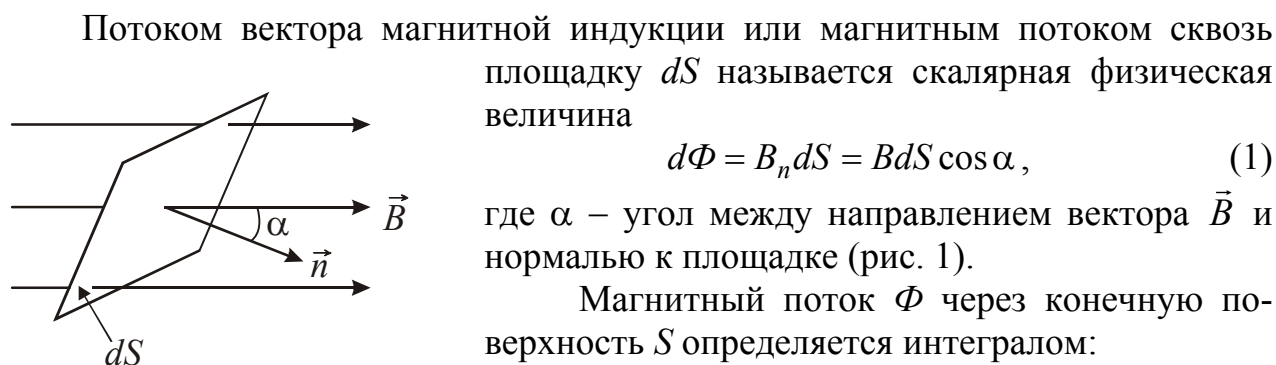
Лабораторная работа №59

ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОТОКА

Цель работы – ознакомиться с методом измерения магнитного потока; исследовать зависимость магнитной индукции поля, создаваемого подковообразным магнитом, от расстояния до нейтральной линии магнита.

Приборы и принадлежности: подковообразный магнит, измерительная катушка, прибор для измерения магнитного потока.

Общие положения



$$d\Phi = B_n dS = B dS \cos \alpha, \quad (1)$$

где α – угол между направлением вектора \vec{B} и нормалью к площадке (рис. 1).

Магнитный поток Φ через конечную поверхность S определяется интегралом:

$$\Phi = \int_S B_n dS. \quad (2)$$

Рисунок 1

Единица измерения магнитного потока в СИ – вебер (Вб). $1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2$.

Если $\vec{B} = \text{const}$, а контур плоский, то

$$\Phi = BS \cos \alpha. \quad (3)$$

Для контура, состоящего из N витков, вводят понятие полного магнитного потока Ψ , который называют потокосцеплением:

$$\Psi = N\Phi. \quad (4)$$

Метод измерения магнитного потока основан на явлении электромагнитной индукции. С измерительным прибором соединяют концы небольшой катушки, число витков которой N . Такая катушка, служащая для измерения магнитного потока, называется *флюксметром*. Расположим плоскость катушки перпендикулярно магнитному полю. При этом её пронизывает магнитный поток Φ . Если быстро убрать катушку из поля, то магнитный поток обратится в нуль. При изменении магнитного потока через катушку течет кратковременный ток

$$I = -\frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt} N, \quad (5)$$

где R – сумма сопротивлений катушки, измерительного прибора и подводящих проводов. За время изменения магнитного потока от Φ до 0 через измерительный прибор пройдет заряд

$$q = -\frac{N}{R} \int_{\Phi}^0 \frac{d\Phi}{dt} dt = \frac{N\Phi}{R}. \quad (6)$$

Отклонение указателя измерительного прибора пропорционально заряду, поэтому он позволяет измерять этот заряд. Прибор можно градуировать таким образом, чтобы он прямо указывал значение магнитного потока.

Измеряя значения полного магнитного потока, рассчитывают индукцию магнитного поля, используя формулы (3) и (4):

$$B = \frac{\Psi}{NS}. \quad (7)$$

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка для измерения магнитного потока состоит

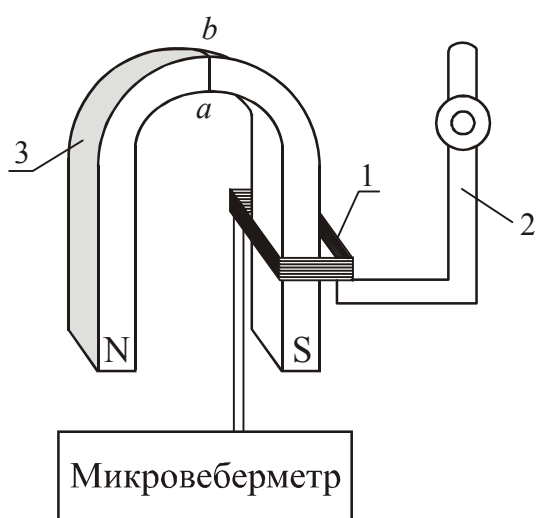


Рисунок 2

из измерительной катушки 1, фиксатора 2, исследуемого подковообразного магнита 3 (рис. 1), измерительного прибора. Им может быть микровеберметр или гальванометр. Измерительная катушка помещается на различных расстояниях l от нейтральной линии (ab) магнита и удерживается в исходном положении фиксатором. Площадь, охватываемая катушкой, почти равна площади сечения магнита.

Микровеберметр представляет собой лабораторный цифровой прибор. Инструкция к нему находится на рабочем месте.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно (прямые измерения)?
3. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать индукцию магнитного поля. Поясните смысл обозначений.
4. Какой график необходимо построить по результатам работы?

Выполнение работы

1. Записать постоянную прибора C (микровеберметра или гальванометра), число витков N и площадь S , ограниченную витками катушки.
2. Ознакомиться с правилами пользования измерительным прибором (микровеберметром или гальванометром). Подготовить прибор к работе.
3. Присоединить концы катушки к зажимам измерительного прибора.

4. Расположить катушку в фиксированном положении, которое ближе всего к нейтральной линии (ab) магнита. Записать значение расстояния l .
5. Убрать фиксатор и дать возможность катушке свободно падать. Снять отсчет n по измерительному прибору. Опыт повторить три раза.
6. Располагая катушку поочередно во всех фиксированных положениях, повторить измерения согласно п. 5. для каждого расстояния.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Найти среднее значение отсчета прибора для каждого расстояния.
2. Рассчитать для каждого расстояния величину полного магнитного потока по формуле

$$\Psi = C n.$$

3. Рассчитать индукцию магнитного поля по формуле (7) для каждого расстояния l .
4. Построить график зависимости индукции магнитного поля от расстояния до нейтральной линии магнита $B=f(l)$.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Дайте определение магнитного потока. В каких единицах он измеряется?
2. Как рассчитывается полный магнитный поток (потокосцепление)?
3. Какое явление лежит в основе метода измерения магнитного потока? В чем оно заключается?
4. Сделайте вывод, как зависит индукция магнитного поля подковообразного магнита от расстояния до нейтральной линии.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №59

Выполнил(а) _____

Группа _____

Постоянная прибора $C =$ _____Площадь катушки $S =$ _____Число витков $N =$ _____

№ п/п	l , см	n_1	n_2	n_3	$n_{\text{ср}}$	Ψ , мВб	B , мТл
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 60

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КЮРИ ФЕРРОМАГНЕТИКА

Цель работы – получить зависимость индукционного тока в измерительной обмотке от температуры ферромагнитного сердечника, определить температуру Кюри ферромагнитного материала.

Приборы и принадлежности: образец исследуемого магнитного материала, измерительная обмотка, миллиамперметр с выпрямительной ячейкой, нагреватель, лабораторный автотрансформатор, термометр, милливольтметр, градуировочный график.

Общие положения

Все вещества являются магнетиками т.е. способны под действием магнитного поля намагничиваться. Намагничивание магнетика принято характеризовать магнитным моментом единицы объема. Эта векторная величина называется намагниченностью и обозначается \vec{J} . В каждой точке магнетика намагниченность связана с напряженностью магнитного поля \vec{H} соотношением:

$$\vec{J} = \chi \vec{H},$$

где χ – магнитная восприимчивость магнетика.

Безразмерная величина

$$\mu = 1 + \chi,$$

называется магнитной проницаемостью вещества. В зависимости от величины магнитной проницаемости все магнетики подразделяются на три группы.

К первой группе относятся вещества, у которых вектор намагниченности \vec{J} направлен противоположно вектору напряженности намагничивающего поля \vec{H} . Для этих тел магнитная проницаемость $\mu < 1$, а магнитная восприимчивость $\chi < 0$. Численное значение χ находится в пределах $(10^{-4} - 10^{-5})$. Такие тела называются *диамагнетиками*. К ним относятся висмут, олово, медь, цинк, вода, кварц и др.

Ко второй группе относятся вещества, у которых направление вектора намагниченности \vec{J} совпадает с вектором напряженности намагничивающего поля \vec{H} . Для этих веществ магнитная проницаемость $\mu > 1$, а магнитная восприимчивость $\chi > 0$. Численное значение χ находится в пределах $(10^{-3} - 10^{-4})$. Такие вещества называются *парамагнетиками*. К ним относятся алюминий, марганец, растворы железных и никелевых солей, кислород, азот, воздух.

К третьей группе магнетиков относятся вещества, способные обладать намагниченностью в отсутствие внешнего магнитного поля. По своему наиболее распространенному представителю – железу – они получили название *ферромагнетиков*. К их числу, кроме железа, принадлежат никель, кобальт, гадо-

линий, их сплавы и соединения, некоторые сплавы и соединения марганца и хрома с неферромагнитными элементами (например, сплав – 61% Cu, 24% Mn, 15% Al), а также сплавы системы неодим–железо–бор. Ферромагнетики являются сильномагнитными веществами. Их намагниченность в огромное число раз (до 10^{10}) превосходит намагниченность диа- и парамагнетиков, принадлежащих к категории слабомагнитных веществ.

Ферромагнетики обладают следующими характерными свойствами:

1. Имеют очень большие значения μ и χ (μ достигает значений 10^4 – 10^5). Это означает, что ферромагнетики создают сильное добавочное магнитное поле.
2. Величины μ и χ не остаются постоянными, а являются функциями напряжённости внешнего поля. Поэтому намагниченность \vec{J} и магнитная индукция \vec{B} не пропорциональны напряжённости магнитного поля \vec{H} , а выражаются сложной зависимостью.
3. Имеет место остаточная намагниченность, т.е. ферромагнетик сохраняет некоторое остаточное намагничивание после устранения намагничивающего поля.
4. Ферромагнетикам свойственно явление магнитного гистерезиса, т.е. наблюдается необратимый характер перемагничивания.
5. При намагничивании ферромагнетиков происходит изменение их линейных размеров и объёма. Это явление называется магнитострикцией.

Большое значение величины магнитной проницаемости μ для ферромагнетиков объясняется наличием в них достаточно малых областей спонтанного намагничивания, называемых доменами. Домены имеют размеры порядка 1–10 мкм. В пределах каждого домена ферромагнетик спонтанно намагничен до насыщения и обладает определенным магнитным моментом. Направления этих моментов для разных доменов различны, так что в отсутствие внешнего поля суммарный момент всего тела равен нулю. При включении внешнего поля происходит ориентация не отдельных молекул, а доменов, путём их поворота и смещения границ между ними. Этим объясняется сильное намагничивание ферромагнетиков вплоть до насыщения в сравнительно слабых полях.

Для каждого ферромагнетика имеется определенная температура T_c , при достижении которой области спонтанного намагничивания распадаются и вещество утрачивает ферромагнитные свойства. Эта температура называется температурой (точкой) Кюри. При температуре выше точки Кюри ферромагнетик становится обычным парамагнетиком, магнитная восприимчивость которого подчиняется закону Кюри – Вейса

$$\chi = \frac{C}{T - T_c},$$

где C – постоянная величина; T – температура; T_c – точка (температура) Кюри.

При понижении температуры ниже точки Кюри в веществе снова возникают домены, т.е. ферромагнитные свойства восстанавливаются.

Описание экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. На схеме обозначены: 1 – первичная (нагревательная) обмотка, 2 – вторичная (измерительная) обмотка, 3 – исследуемый образец, 4 – термопара для измерения температуры. Исследуемый образец помещается в нагревательную электрическую печь, изготовленную в виде спирали, намотанной на фарфоровую трубку. Образец при этом должен быть приведён в соприкосновение с термопарой, соединённой с милливольтметром. Печь питается от лабораторного автотрансформатора, включенного в сеть переменного напряжения. Этот автотрансформатор позволяет регулировать скорость нагрева и температуру печи.

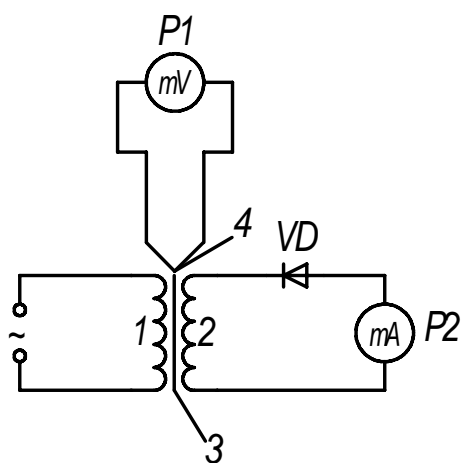


Рисунок 1

Первичная (нагревательная) обмотка печи одновременно является намагничивающей.

Вторичная обмотка из медной проволоки является измерительной, ток в ней регистрируется микроамперметром, включённым последовательно с выпрямительной ячейкой.

При достижении температуры Кюри образец теряет свои ферромагнитные свойства, в результате чего ток во вторичной обмотке резко падает, что отмечается микроамперметром.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно (прямые измерения)?
3. Запишите формулу, связывающую индукцию и напряженность магнитного поля.
4. Какой график необходимо построить по результатам работы? Какую величину Вы будете определять по графику?

Выполнение работы

1. Собрать электрическую цепь по схеме, приведенной на рис. 1.
2. Определить цену деления микроамперметра и милливольтметра.
3. После проверки собранной цепи, перед включением в электрическую сеть, установить движок автотрансформатора на нуль. После включения автотрансформатора в сеть установить напряжение 170–180 В.
4. Ввести исследуемый образец в печь так, чтобы спай термопары вошел в соприкосновение с торцом образца.

5. Через каждые 5 делений милливольтметра записывать в протокол измерений показания микроамперметра и соответствующее значение милливольтметра. Измерения продолжать до тех пор, пока ток в измерительной цепи не упадет до 10 – 15 мкА.

Оформление отчета

1. Расчеты

- Используя градуировочный график, приведенный на лабораторной установке (в протоколе), по значениям термо-эдс определить соответствующие значения разности температур. Градуировочный график представляет собой зависимость термо-эдс от разности температур между холодным и горячим спаями термопары.
- Определить температуру образца в печи по формуле

$$t = \Delta t + t_{\text{комн}},$$

где $t_{\text{комн}}$ – комнатная температура.

- Используя полученные данные, построить график зависимости тока во вторичной обмотке от температуры $I = f(t)$.
- Определить температуру Кюри.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

- Какие вещества называют диамагнетиками?
- Какие вещества называют парамагнетиками?
- Какие вещества называют ферромагнетиками? Перечислите основные свойства ферромагнетиков.
- Что происходит с ферромагнетиком при его нагревании до температуры Кюри?
- Что происходит с ферромагнетиком при его охлаждении ниже температуры Кюри?
- Сравните полученное значение температуры Кюри с табличными значениями и сделайте вывод, какому материалу оно примерно может соответствовать.

Температура Кюри T_c некоторых ферритов

Тип феррита	Химическая формула	T_c , К	t , °С
Простой феррит со структурой шпинели	MnFe_2O_4	573	300
Кобальт-цинковые ферриты	$\text{Co}_{0,4}\text{Zn}_{0,6}\text{Fe}_2\text{O}_4$	410	137
	$\text{Co}_{0,6}\text{Zn}_{0,4}\text{Fe}_2\text{O}_4$	548	275
Никелевые ферриты алюминаты	$\text{NiFe}_{1,75}\text{Al}_{0,25}\text{O}_4$	506	233
	$\text{NiFe}_{1,55}\text{Al}_{0,45}\text{O}_4$	465	192
Редкоземельные ферриты-гранаты	$\text{Yb}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$	549	276
	$\text{Ho}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$	553	280

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №60

Выполнил(а) _____

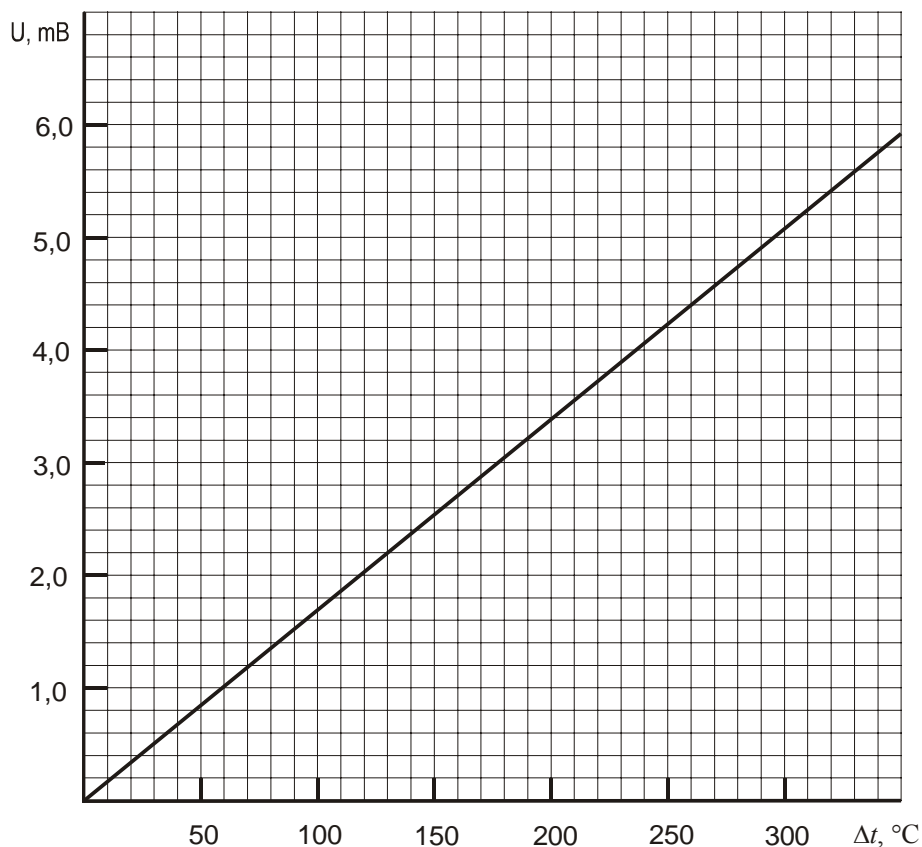
Группа _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число делений на шкале прибора	Цена деления с указанием единицы измерения
1	Милливольтметр			
2	Микроамперметр			

Комнатная температура $t_{\text{комн}} =$ _____

I, mA											
U, mV											
$\Delta t, ^\circ\text{C}$											
$t, ^\circ\text{C}$											



Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 61

**ЗНАКОМСТВО С РАБОТОЙ ЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА.
ИЗУЧЕНИЕ ПЕТЛИ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА ПРИ ПОМОЩИ
ОСЦИЛЛОГРАФА**

Цель работы – ознакомиться с принципом работы электронного осциллографа; получить осциллограмму петли магнитного гистерезиса, определить динамическую проницаемость μ , остаточную индукцию $B_{ост}$, коэрцитивную силу H_c и потери энергии w на перемагничивание ферромагнетика.

Приборы и принадлежности: электронный осциллограф, трансформатор с исследуемым сердечником, амперметр, вольтметр, сопротивления R_1 и R_2 , конденсатор C , источник питания с регулируемым напряжением.

Общие положения

Электронный осциллограф предназначен для визуального наблюдения формы и определения частоты периодических электрических колебаний, а также для измерения различных изменяющихся со временем электрических и магнитных параметров.

Основной деталью электронного осциллографа является электронно-лучевая трубка. Она состоит из электронной пушки, где осуществляется генерация электронного пучка и его фокусировка. В трубку вмонтированы две взаимно перпендикулярные пары отклоняющих пластин. Подавая напряжение на эти пластины, можно отклонять пучок электронов (электронный луч). При этом луч будет попадать в различные точки флуоресцирующего экрана. В этих местах на экране наблюдаются световые пятна. На рис. 1 представлена упрощенная принципиальная схема электронно-лучевой трубки. На рис. 1 обозначены:

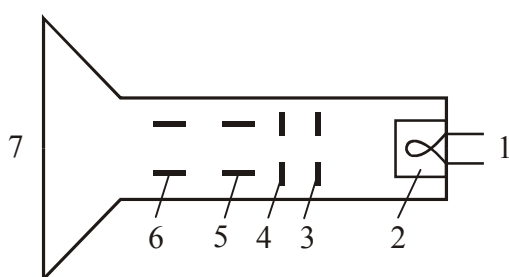


Рисунок 1

- 1 – подогреватель катода
- 2 – катод (источник электронов)
- 3 и 4 – электроды, фокусирующие и ускоряющие электроны
- 5 – горизонтально отклоняющие пластины
- 6 – вертикально отклоняющие пластины
- 7 – флуоресцирующий экран.

В осциллографе имеется генератор развертки, задающий пилообразное напряжение, график которого представлен на рис. 2.

Под действием этого пилообразного напряжения электронный луч относительно медленно перемещается по горизонтали слева направо и, дойдя до конца экрана, быстро возвращается назад. Благодаря этому напряжение, подаваемое на вертикально отклоняющие пластины, можно «развернуть во времени». Для получения неподвижного изображения генератор развертки надо синхронизировать

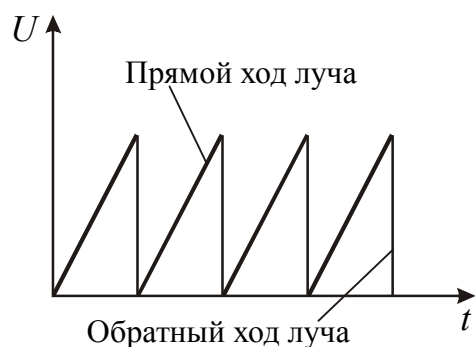


Рисунок 2

описывать динамическую петлю гистерезиса, вид которой представлен на рис. 3. На рисунке обозначены:

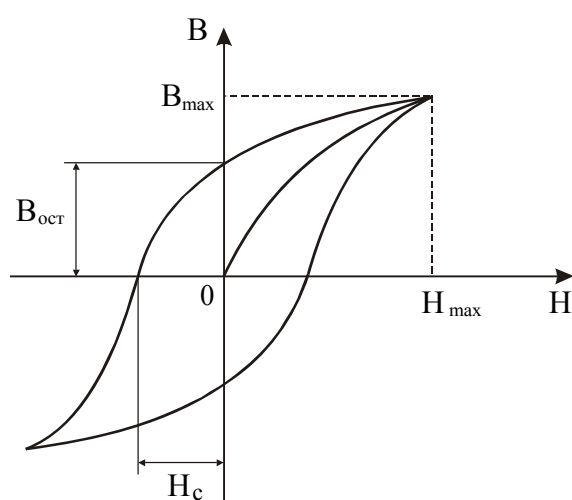


Рисунок 3

(т.е. согласовать во времени) с частотой исследуемого напряжения. В настоящей работе осциллограф используется для наблюдения синусоидального напряжения и получения на экране петли магнитного гистерезиса.

Если ферромагнетик помещен в переменное магнитное поле H_{\sim} , амплитудное значение которого H_{\max} доводит его до состояния насыщения, то при периодическом изменении магнитного поля от $+H_{\max}$ до $-H_{\max}$ магнитная индукция ферромагнетика будет

H_{\max} – максимальное значение напряженности магнитного поля. При этом значении достигается насыщение ферромагнетика;

B_{\max} – максимальное значение индукции магнитного поля в ферромагнетике;

$B_{\text{ост}}$ – остаточная индукция;

H_c – напряженность поля, при которой индукция магнитного поля в ферромагнетике обращается в нуль. Эта напряженность называется коэрцитивной силой.

Для получения на экране изображения динамической петли маг-

нитного гистерезиса на «горизонтальный» усилитель осциллографа подается напряжение, пропорциональное напряженности H_{\sim} намагничивающего поля, а на «вертикальный» усилитель – напряжение, пропорциональное мгновенным значениям магнитной индукции B .

Масштаб изображения получившейся петли может быть установлен на основе показаний электроизмерительных приборов и использован для определения численных значений магнитных характеристик ферромагнетика.

Динамическая магнитная проницаемость μ представляет собой отношение амплитудного значения индукции магнитного поля к произведению амплитудного значения напряженности магнитного поля на магнитную постоянную:

$$\mu = \frac{B_{\max}}{\mu_0 H_{\max}}, \tag{1}$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная.

При перемагничивании ферромагнетика выделяется тепло. Энергия w , затрачиваемая на перемагничивание 1 м^3 ферромагнетика за один цикл, пропорциональна площади $S_{\text{п}}$ петли магнитного гистерезиса

$$w \sim S_{\Pi} h b, \tag{2}$$

где h и b – масштабные единицы изображения петли.

Для получения осциллограммы используется схема, представленная на рис. 4.

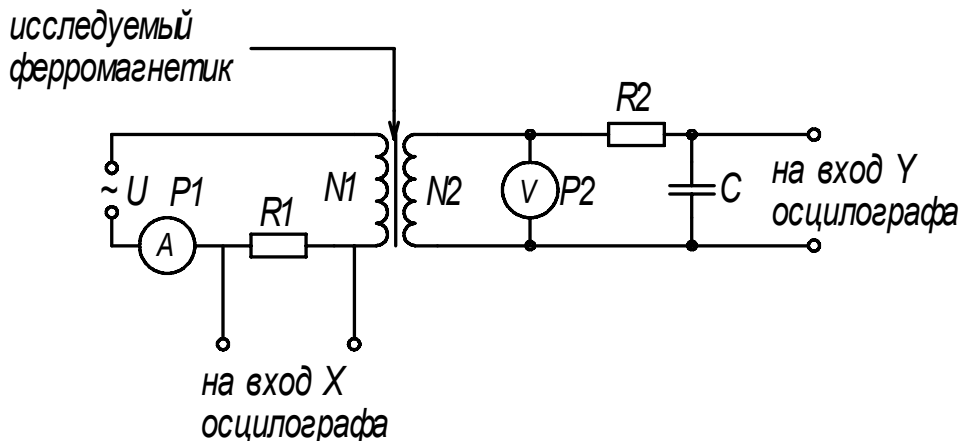


Рисунок 4

В качестве исследуемого ферромагнетика служит материал сердечника трансформатора. Его первичная обмотка с числом витков N_1 питается от другого трансформатора регулируемого напряжения частотой $\nu=50$ Гц и служит для создания переменного магнитного поля H_{\sim} , намагничивающего исследуемый ферромагнетик. В цепь этой обмотки включены амперметр A и сопротивление R_1 , с которого подается напряжение U_x на «горизонтальный» усилитель осциллографа. Мгновенные значения U_x этого напряжения пропорциональны мгновенным значениям H_{\sim} намагничивающего поля

$$H_{\sim} = \frac{IN_1}{l} = \frac{U_x N_1}{R_1 l}, \tag{3}$$

где N_1 – число витков первичной обмотки;
 l – длина, на которую приходятся эти витки.

В цепь индукционной (вторичной) обмотки с числом витков N_2 включены вольтметр V , сопротивление R_2 и конденсатор емкостью C . Напряжение U_y с обкладок конденсатора подводится к пластинам вертикального отклонения электронного пучка. Можно показать, что мгновенное значение напряжения U_y , подаваемого на «вертикальный» усилитель осциллографа, пропорционально мгновенному значению индукции магнитного поля B :

$$U_y = -\frac{SN_2}{CR_2} B. \tag{4}$$

Масштаб изображения динамической петли гистерезиса определяется следующим образом. В первичной цепи амперметр A показывает эффективное значение тока I , пропорциональное его амплитудному значению I_{\max} :

$$I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}. \quad (5)$$

Очевидно, что мгновенному значению I_{\max} тока соответствует максимальное значение напряженности H_{\max} . Поэтому согласно формуле (3) с учетом уравнения (5) можно записать:

$$H_{\max} = \frac{I_{\max} N_1}{l} = \frac{I N_1 \sqrt{2}}{l}. \quad (6)$$

Подставляя в формулу (6) показания амперметра I и указанные на рабочем месте численные значения N_1 и l , можно вычислить значение H_{\max} . По осциллограмме можно найти длину отрезка $Z_H = \theta H_{\max}$ и определить горизонтальный масштаб изображения петли по формуле

$$h = \frac{H_{\max}}{Z_H} \quad (7)$$

Аналогично можно определить вертикальный масштаб. Действительно, показания вольтметра V соответствуют эффективному значению напряжения

$$U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}, \quad (8)$$

где U_{\max} – амплитудное значение напряжения во вторичной обмотке, соответствующее максимальному значению индукции магнитного поля B_{\max} .

Из формулы (4) с учетом (8) следует

$$B_{\max} = \frac{UCR_2 \sqrt{2}}{SN_2}. \quad (9)$$

Зная показания вольтметра U и воспользовавшись данными, указанными на установке, можно найти численное значение B_{\max} . По осциллограмме можно найти длину отрезка $Z_B = \theta B_{\max}$ и вычислить вертикальный масштаб по формуле

$$b = \frac{B_{\max}}{Z_B}. \quad (10)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно (прямые измерения)?
3. Запишите формулы, по которым Вы будете рассчитывать H_{\max} , B_{\max} , h , b .
4. Как пользуясь полученной осциллограммой и найденными значениями h и b , определить численные значения коэрцитивной силы H_c и остаточной индукции $B_{\text{ост}}$?

Выполнение работы

Задание 1. Наблюдение на экране синусоидального напряжения

1. Поставить выключатель «Сеть» в положение «Выкл.» и включить вилку шнура в розетку сети « ~ 220 В». Если на управляющей панели осциллографа есть тумблер «Делитель напряжения», поставить его в положение «До 5 В».
2. Рукоятки управления поставить:
 - «Яркость», «Фокус», «Усиление X», «Усиление Y» и ручки смещения луча по осям X и Y – в среднее положение;
 - «Переключатель диапазона» – в положение «30»;
 - «Синхронизация» – в положение «Внутр.» или «От сети».
3. Включить тумблер «Сеть». Через 50–60 секунд после включения в центре экрана должен появиться горизонтальный штрих. Если изображения нет, то ручками яркости и смещения луча добиться его появления и затем отрегулировать яркость и фокус луча.
4. Выключить тумблер «Сеть». Соединить проводником гнездо «Контр. сигнал» с зажимом «Вход Y», включить тумблер «Сеть». На экране должна появиться синусоида, являющаяся изображением контрольного сигнала. Это гармоническое колебание частотой 50 Гц и эффективным напряжением 6,3 В.
5. Ручками «Усиление X» и «Усиление Y» установить на экране величину изображения, удобную для рассмотрения (3 – 5 делений масштабной сетки).
6. Ручкой «Частота плавно» установить неподвижное изображение одного или нескольких периодов колебаний.
7. Вращая ручку «Синхронизация» окончательно установить неподвижное изображение синусоиды. Зарисовать полученную осциллограмму.

Задание 2. Получение изображения петли гистерезиса и определение магнитных характеристик

1. Записать данные, указанные на установке.
2. Собрать схему, представленную на рис. 4. Для этого соединить клемму U_Y на установке с зажимом «Вход Y» осциллографа, а клемму U_X на установке с зажимом «Вход X» осциллографа. Клеммы, маркированные на установке значком \perp , подсоединить к зажиму \perp осциллографа. Клеммы, маркированные на установке значком \sim , соединить с соответствующими клеммами на источнике питания.
3. Переключатель диапазонов установить в положение 0. Включить осциллограф и установку в сеть. Регулятором источника питания установить ток в первичной обмотке $3,5 \div 4,0$ А, который соответствует насыщению ферромагнетика.
4. Получить на экране крупное изображение петли магнитного гистерезиса при насыщении и записать показания амперметра I и вольтметра U .
5. Ручками смещения луча добиться, чтобы начало осей координат на сетке осциллографа приходилось на центр изображения петли. Перенести изображение петли на бумагу с нанесенной на неё координатной сеткой.
6. Отключить осциллограф и источник питания от сети.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Пользуясь данными, указанными на рабочем месте, и показанием амперметра I по формуле (6) вычислить значение H_{\max} .
2. Пользуясь данными, указанными на рабочем месте, и показанием вольтметра U по формуле (9) вычислить значение B_{\max} .
3. Подставить в формулу (1) величины H_{\max} и B_{\max} и вычислить значение динамической магнитной проницаемости μ .
4. По осциллограмме измерить длину отрезка $Z_H = 0H_{\max}$ и, пользуясь найденным значением H_{\max} , по формуле (7) найти h .
5. По осциллограмме измерить длину отрезка $Z_B = 0B_{\max}$ и, пользуясь найденным значением B_{\max} , по формуле (10) найти b .
6. Воспользовавшись полученной осциллограммой и найденными значениями h и b , определить численные значения коэрцитивной силы H_c и остаточной индукции $B_{\text{ост}}$.
7. По координатной сетке рассчитать площадь $S_{\text{п}}$ петли магнитного гистерезиса.
8. По формуле (2) оценить энергию w , затрачиваемую на перемагничивание 1 м^3 ферромагнетика за один цикл.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какие вещества называются ферромагнетиками? Перечислите основные свойства ферромагнетиков.
2. Схематично изобразите петлю магнитного гистерезиса и укажите основные точки.
3. Что называется коэрцитивной силой?
4. Какие ферромагнитные материалы называют «магнитно-жесткими», а какие – «магнитно-мягкими»? Приведите примеры их использования.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 61

Выполнил(а) _____

Группа _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число делений на шкале прибора	Цена деления с указанием единицы измерения
1	Вольтметр			
2	Амперметр			

Сопротивление $R =$ _____

Емкость конденсатора $C =$ _____

Число витков в обмотках $N_1=N_2 =$ _____

Площадь сечения сердечника $S =$ _____

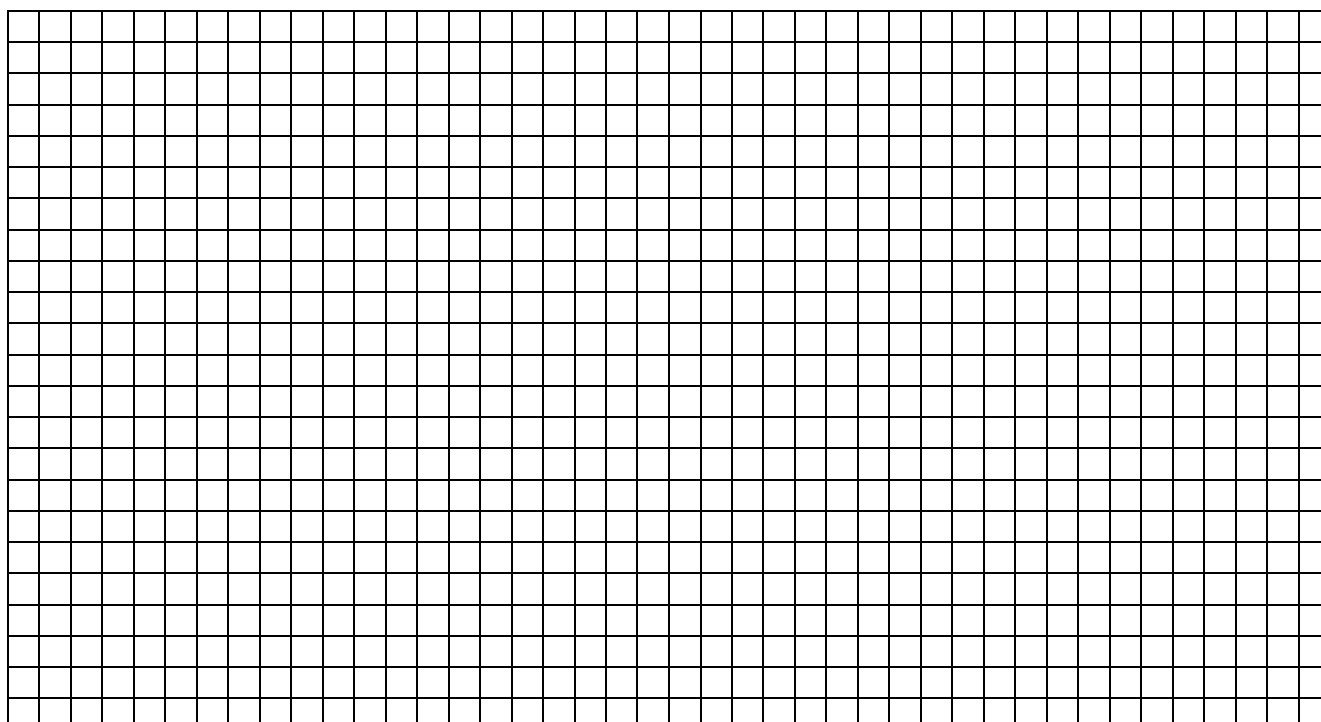
Длина средней линии сердечника $l =$ _____

Ток в первичной обмотке $I =$ _____

Напряжение на вторичной обмотке $U =$ _____

Приложите осциллограммы:

- 1) синусоидального напряжения,
- 2) петли гистерезиса.



Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 62

ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА
МЕТОДОМ ПОПЕРЕЧНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Цель работы – определить удельный заряд электрона с помощью магнетрона.

Приборы и принадлежности: электронная лампа, соленоид, источники питания электронной лампы и соленоида, амперметр, миллиамперметр, вольтметр, реостат, потенциометр.

Общие положения

Удельным зарядом электрона называется отношение заряда к его массе. В данной работе для определения удельного заряда электрона используют магнетрон. Магнетрон представляет собой вакуумную электронную лампу (диод) с цилиндрическим анодом и коаксиальным к нему катодом. Лампа помещается в однородное магнитное поле, направленное параллельно оси анода. Магнитное поле создается соленоидом, питаемым постоянным током. С помощью этого поля осуществляется управление анодным током магнетрона.

В отсутствие внешнего магнитного поля ($B=0$, рис. 1) электроны, испускаемые раскаленным катодом, под действием электрического поля движутся на анод по радиальным траекториям. В режиме насыщения диода все электроны, вылетающие с поверхности катода, достигают анода.

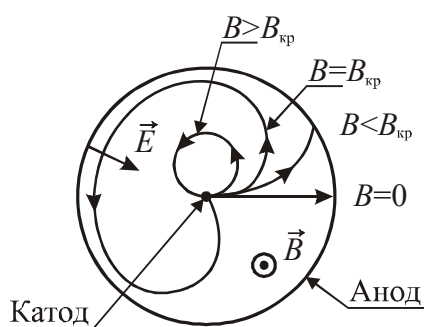


Рисунок 1

В магнитном поле траектории электронов искривляются под действием силы Лоренца. Магнитное поле отклоняет электроны в направлении, перпендикулярном направлению вектора скорости электронов. Движение электрона приобретает сложный характер, т.е. его траектория представляет собой линию с изменяющейся кривизной (рис. 1).

При возрастании индукции магнитного поля траектории электронов будут все больше искривляться и, начиная с некоторого критического значения индукции магнитного поля $B_{кр}$, они не будут достигать анода. При этом электроны возвращаются на катод, и анодный ток резко уменьшается. На рис. 2 приведена примерная зависимость анодного тока магнетрона от тока соленоида, определяющего индукцию магнитного поля.

Следует отметить, что на зависимости $I_a=f(I_c)$ не наблюдается вертикального спада анодного тока при $B=B_{кр}$, а имеет место лишь крутой спад этой кривой. Крутизна спада анодного тока обусловлена как неодинаковой скоростью термоэлектронов, так и другими факторами (отклонение электродов от правильной цилиндрической формы, нарушение их симметрии, а также краевые

эффекты, возникающие вследствие того, что соленоид, катод и анод лампы имеют конечную длину).

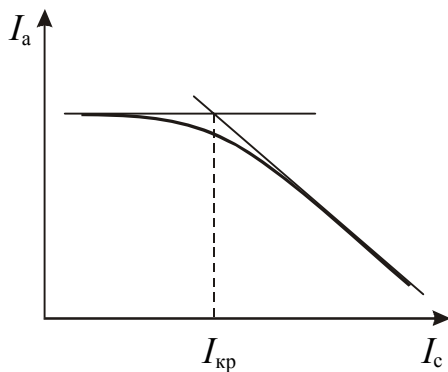


Рисунок 2

Будем считать, что электрическое поле между катодом и анодом однородно. Электрическое поле совершает работу по перемещению электрона. При этом он получает кинетическую энергию, которая численно равна работе поля.

$$\frac{mv^2}{2} = eU. \tag{1}$$

На электрон со стороны магнитного поля действует сила Лоренца

$$F = evB.$$

Эта сила сообщает электрону центростремительное ускорение. По второму закону Ньютона

$$evB = \frac{mv^2}{R}, \tag{2}$$

где R – радиус кривизны траектории электронов.

Исключив из равенств (1) и (2) скорость электрона v , получим

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{R^2 B^2}. \tag{3}$$

Полагая, что радиус катода r значительно меньше радиуса анода ($r \ll R_a$), можно считать, что при $B=B_{кр}$ электрон движется по окружности, радиус которой равен половине радиуса анода, $R = \frac{R_a}{2}$.

Индукцию магнитного поля соленоида можно рассчитать по формуле:

$$B_{кр} = \mu_0 \frac{I_{кр} N}{l} \tag{4}$$

где N – число витков соленоида; l – длина соленоида; $I_{кр}$ – сила тока через соленоид, соответствующая $B_{кр}$; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная.

Подставив значения R и $B=B_{кр}$ в выражение (3), получим формулу для расчета удельного заряда электрона:

$$\frac{e}{m} = \frac{8U l^2}{\mu_0^2 I_{кр}^2 N^2 R_a^2}. \tag{5}$$

Описание экспериментальной установки

На рис. 3 представлена электрическая схема установки, с помощью которой выполняется измерение удельного заряда электрона.

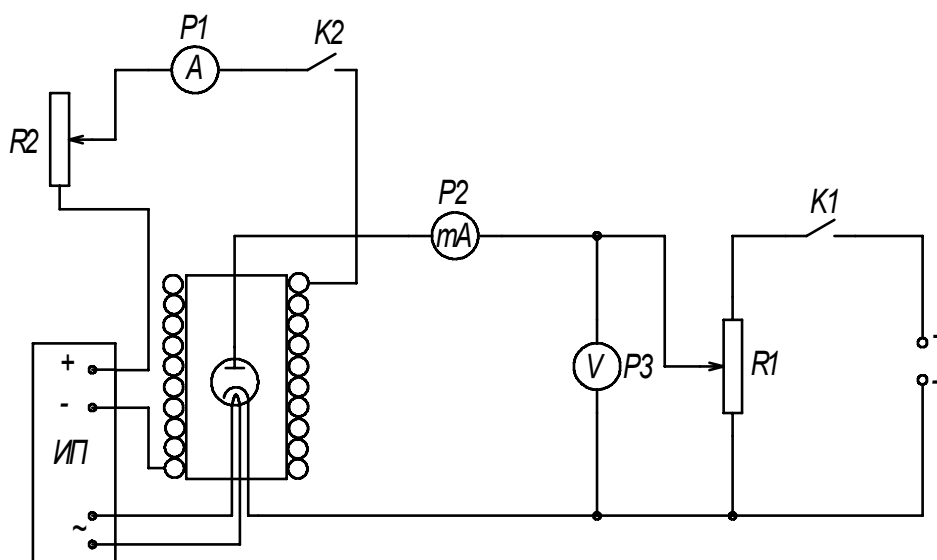


Рисунок 3

В схеме использован цилиндрический диод с катодом косвенного подогрева переменным током. Питание магнетрона (анодное напряжение U_a) осуществляется от источника питания постоянного тока. Потенциометр $R1$ и вольтметр V ($P3$) служат для регулировки и измерения анодного напряжения. Анодный ток измеряется с помощью миллиамперметра mA ($P2$). Цепь соленоида состоит из источника питания, амперметра A ($P1$) и реостата $R2$, предназначенного для изменения тока в соленоиде.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно?
3. По какой формуле Вы будете рассчитывать удельный заряд электрона? Поясните смысл обозначений.
4. Какие графики необходимо построить по результатам работы?
5. Как, пользуясь графиком $I_a=f(I_c)$, определить критическое значение тока соленоида?

Выполнение работы

1. Определить цену деления приборов (вольтметра, амперметра и миллиамперметра). Записать значения радиуса анода R_a , длины соленоида l , количества витков N , которые указаны на установке.
2. Включить электропитание установки.

3. Установить реостатом $R1$ анодное напряжение $U_a=5$ В (если другое значение не указано преподавателем), измерить ток анодной цепи I_a . Затем включить в цепь соленоид и, повышая реостатами $R2$ и $R3$ ток соленоида с наименьшим шагом, который позволяет установка, фиксировать величину тока анода I_a для каждого значения тока соленоида I_c . Ток соленоида изменять во всем диапазоне его изменения, получив 12-15 точек.
4. Повторить опыт для анодного напряжения $U_a=6$ В и $U_a=7$ В (если другие значения не указаны преподавателем).

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Построить график зависимости анодного тока от тока соленоида $I_a=f(I_c)$ для каждого значения анодного напряжения.
2. По графику определить значение критического тока $I_{кр}$ (см. рис. 2) для каждого анодного напряжения.
3. Рассчитать удельный заряд электрона e/m по формуле (5) для каждого анодного напряжения.
4. Рассчитать среднее значение удельного заряда электрона.
5. Рассчитать абсолютную погрешность $\Delta\left(\frac{e}{m}\right)$ как для прямых измерений.
6. Найти относительную погрешность измерений. Окончательный результат записать в стандартном виде

$$\frac{e}{m} = \left(\frac{e}{m}\right)_{cp} \pm \Delta\left(\frac{e}{m}\right)$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Что называется удельным зарядом?
2. Что представляет собой магнетрон?
3. Какая сила действует на электрон, движущийся в магнитном поле? Запишите соответствующую формулу. Как определяется направление этой силы?
4. Какую траекторию описывает электрон при различных значениях индукции магнитного поля в магнетроне?
5. Сравните полученное значение удельного заряда электрона с табличным. Сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 62

Выполнил(а) _____

Группа _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число делений на шкале прибора	Цена деления с указанием единицы измерения
1	Вольтметр			
2	Миллиамперметр			
3	Амперметр			

Радиус анода $R_a =$ _____Длина соленоида $l =$ _____Число витков соленоида $N =$ _____

№ п/п	$U_a =$		$U_a =$		$U_a =$	
	I_{c_2} , А	I_{a_2} , мА	I_{c_2} , А	I_{a_2} , мА	I_{c_2} , А	I_{a_2} , мА
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №64

ЗНАКОМСТВО С РАБОТОЙ ЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

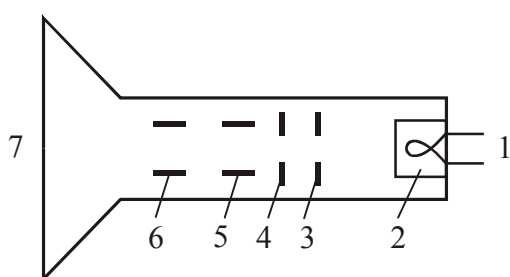
Цель работы – ознакомиться с работой электронного осциллографа, получить на экране изображение контрольного сигнала. Провести градуировку осциллографа для измерения переменного напряжения.

Приборы и принадлежности: электронный осциллограф, источник переменного напряжения ВС-24М, вольтметр переменного тока.

Общие положения

Электронный осциллограф предназначен для визуального наблюдения формы и определения частоты периодических электрических колебаний.

Основной деталью электронного осциллографа является электронно-лучевая трубка, предназначенная для генерации электронного пучка и его фокусировки. В трубку вмонтированы две взаимно перпендикулярные пары отклоняющих пластин. Если подавать напряжение на эти пластины, то между ними возникает электрическое поле, которое отклоняет пучок электронов. При этом луч будет попадать в различные точки флюоресцирующего экрана. Отклонение пучка пропорционально напряженности поля и, соответственно, подаваемому напряжению. На рис. 1 представлена принципиальная схема электронно-лучевой трубки. Трубка состоит из откачанной до высокого вакуума стеклянной колбы, внутри которой помещаются:



- 1 – подогреватель катода
- 2 – катод (источник электронов)
- 3 и 4 – электроды, фокусирующие и ускоряющие электроны
- 5 – горизонтально отклоняющие пластины
- 6 – вертикально отклоняющие пластины
- 7 – флюоресцирующий экран.

Рисунок 1

По пути к экрану электронный луч проходит между двумя парами плоских пластин, из которых одна пара расположена горизонтально, а вторая – вертикально. Если пучок электронов проходит между двумя плоскими металлическими разноименно заряженными пластинами, то электроны будут отклоняться в сторону положительно заряженной пластины. Если изменить полярность пластины, то электроны будут отклоняться в противоположную сторону. Если приложить к пластинам переменное напряжение, то электронный луч будет отклоняться попеременно в сторону той пластины, которая в данный момент окажется положительно заряженной.

Таким образом, регулируя величину приложенного к пластинам напряжения, можно регулировать величину отклонения луча. Описанные способы фокусировки и отклонения называются электростатическими, так как происходят под действием электрических полей.

Пластины, расположенные горизонтально, отклоняют электронный луч вверх или вниз, поэтому их называют вертикально отклоняющими. Пластины, расположенные вертикально, отклоняют луч в горизонтальном направлении, поэтому их называют горизонтально отклоняющими.

Основные органы управления осциллографом делятся на несколько групп:

1. Органы управления электронным лучом. Регулировка яркости производится потенциометром, у ручки которого имеется надпись «Яркость». Фокусировка луча производится потенциометром, у ручки которого имеется надпись «Фокус». Смещение изображения в вертикальном направлении производится потенциометром, у ручки которого имеется маркировка « \updownarrow ». Смещение изображения в горизонтальном направлении производится потенциометром, у ручки которого имеется маркировка « \leftrightarrow »
2. Органы регулировки исследуемого напряжения. Исследуемое напряжение подается на зажим, маркированный знаком «Вход Y», и зажим, маркированный знаком « \perp ».
3. Регулировка усилителей горизонтального и вертикального отклонения. Плавное изменение выходного напряжения производится ручками, имеющими надписи «Усиление X» и «Усиление Y».
4. Управление генератором развертки. Скачкообразное изменение частоты генератора развертки производится переключателем, у ручки которого имеется надпись «Диапазоны». Каждое фиксированное положение ручки отмечено цифрой, обозначающей среднюю частоту в герцах. В положении «0» генератор развертки отключается от усилителя горизонтального отклонения. Плавное изменение частоты производится ручкой «Частота плавно».
5. Вспомогательные органы управления. Гнездо «Контр. сигнал» предназначено для снятия напряжения контрольного сигнала. Это напряжение представляет собой гармоническое колебание частотой 50 Гц и эффективным напряжением 6,3 В.

Чувствительностью электронно-лучевой трубки называется отклонение электронного луча от оси трубки в плоскости экрана (по сути это размер изображения по вертикали или горизонтали), соответствующее изменению напряжения на отклоняющих пластинах на 1 В:

$$h = \frac{l}{U_m}, \quad (1)$$

где $l = \frac{L}{2}$ – отклонение электронного луча от оси электронно-лучевой трубки,

L – длина вертикальной линии на экране осциллографа;

U_m – амплитудное значение напряжения, подаваемого на «Вход Y» осциллографа.

График зависимости отклонения луча от амплитудного значения напряжения U_m будет представлять собой прямую линию. Большинство электроизмерительных приборов показывает не мгновенные значения тока и напряжения, а их действующие (эффективные) значения. Эффективные значения силы тока $I_{\text{эф}}$ и напряжения $U_{\text{эф}}$ определяются мощностью, выделяемой в цепи перемен-

ного тока. Они связаны с амплитудными значениями силы тока и напряжения следующими соотношениями:

$$I_{\text{эф}} = \frac{i_m}{\sqrt{2}}, \quad U_{\text{эф}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (2)$$

Построив график зависимости $l=f(U_m)$, можно определить среднее значение чувствительности h , как тангенс угла наклона прямой (рис. 2). Расчетная формула примет вид:

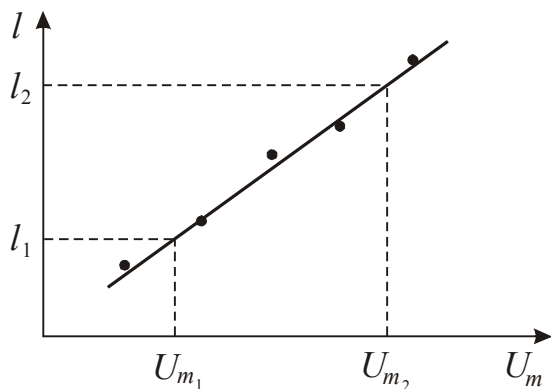


Рисунок 2

$$h = \frac{l_2 - l_1}{(U_{m_2} - U_{m_1})}. \quad (3)$$

При помощи этого графика можно определять амплитудные значения переменных напряжений, т. е. Осциллограф можно использовать как амплитудный вольтметр для напряжений любой частоты.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно?
3. Какой график необходимо построить по результатам работы?
4. Запишите формулу, по которой рассчитывается среднее значение чувствительности осциллографа. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

Задание 1. Наблюдение на экране синусоидального напряжения

1. Поставить выключатель «Сеть» в положение «Выкл.» и включить вилку шнура в розетку сети «~220 В». Если на управляющей панели осциллографа есть тумблер «Делитель напряжения», поставить его в положение «До 5 В».
2. Рукоятки управления поставить:
 - «Яркость», «Фокус», «Усиление X», «Усиление Y» и ручки смещения луча по осям X и Y – в среднее положение;
 - «Переключатель диапазона» – в положение «30»;
 - «Синхронизация» – в положение «Внутр.» или «От сети».
3. Включить тумблер «Сеть». Через 50–60 секунд после включения в центре экрана должен появиться горизонтальный штрих. Если изображения нет, то ручками яркости и смещения луча добиться его появления и затем отрегулировать яркость и фокус луча.
4. Выключить тумблер «Сеть». Соединить проводником гнездо «Контр. сигнал» с зажимом «Вход Y», включить тумблер «Сеть». На экране должна появиться синусоида, являющаяся изображением контрольного сигнала.

5. Ручками «Усиление X» и «Усиление Y» установить на экране величину изображения, удобную для рассмотрения (3 до 5 делений масштабной сетки).
6. Ручкой «Частота плавно» установить неподвижное изображение одного или нескольких периодов колебаний.
7. Вращая ручку «Синхронизация» окончательно установить неподвижное изображение синусоиды. Зарисовать полученную осциллограмму, соблюдая размеры.

Задание 2. Определение чувствительности осциллографа

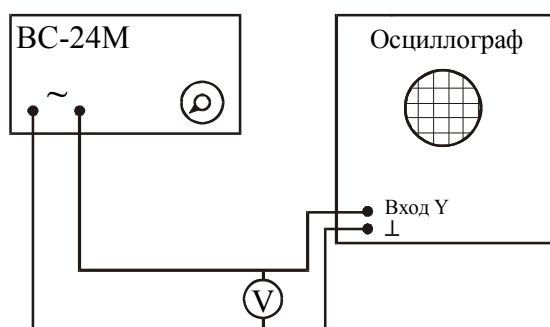


Рисунок 3

1. Собрать схему согласно рис. 3.
2. Ручку «Усиление X» вывести в крайнее левое положение. **Ручку «Усиление Y» не трогать.** Переключатель на передней панели осциллографа установить в положение «До 5 В».
3. Включить осциллограф и выпрямитель ВС-24М в сеть.
4. Вращая ручку потенциометра на выпрямителе, установить такое напряжение, при котором наблюдаемая на экране вертикальная линия не выходит за пределы экрана. Записать значение напряжения и длины линии L .

5. Меняя напряжение от установленного значения до нуля произвести 5-7 измерений длины линии L и напряжения $U_{эф}$. Выключить осциллограф и выпрямитель.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Построить график $l = f(U_m)$, где $l = \frac{L}{2}$ – отклонение электронного луча от оси электронно-лучевой трубки. $U_m = \sqrt{2} U_{эф}$.
2. Рассчитать среднее значение чувствительности h , используя график и формулу (3).
3. Определить амплитудное значение синусоидального напряжения, осциллограмма которого получена в упражнении 1, используя график $l = f(U_m)$.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Каково назначение осциллографа?
2. Каково назначение электронно-лучевой трубки?
3. Что называют чувствительностью осциллографа? В каких единицах она измеряется?
4. Для каких целей можно использовать график $l = f(U_m)$?
5. Сравните полученное амплитудное значение синусоидального напряжения с амплитудным значением контрольного сигнала. Сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 64

Выполнил(а) _____

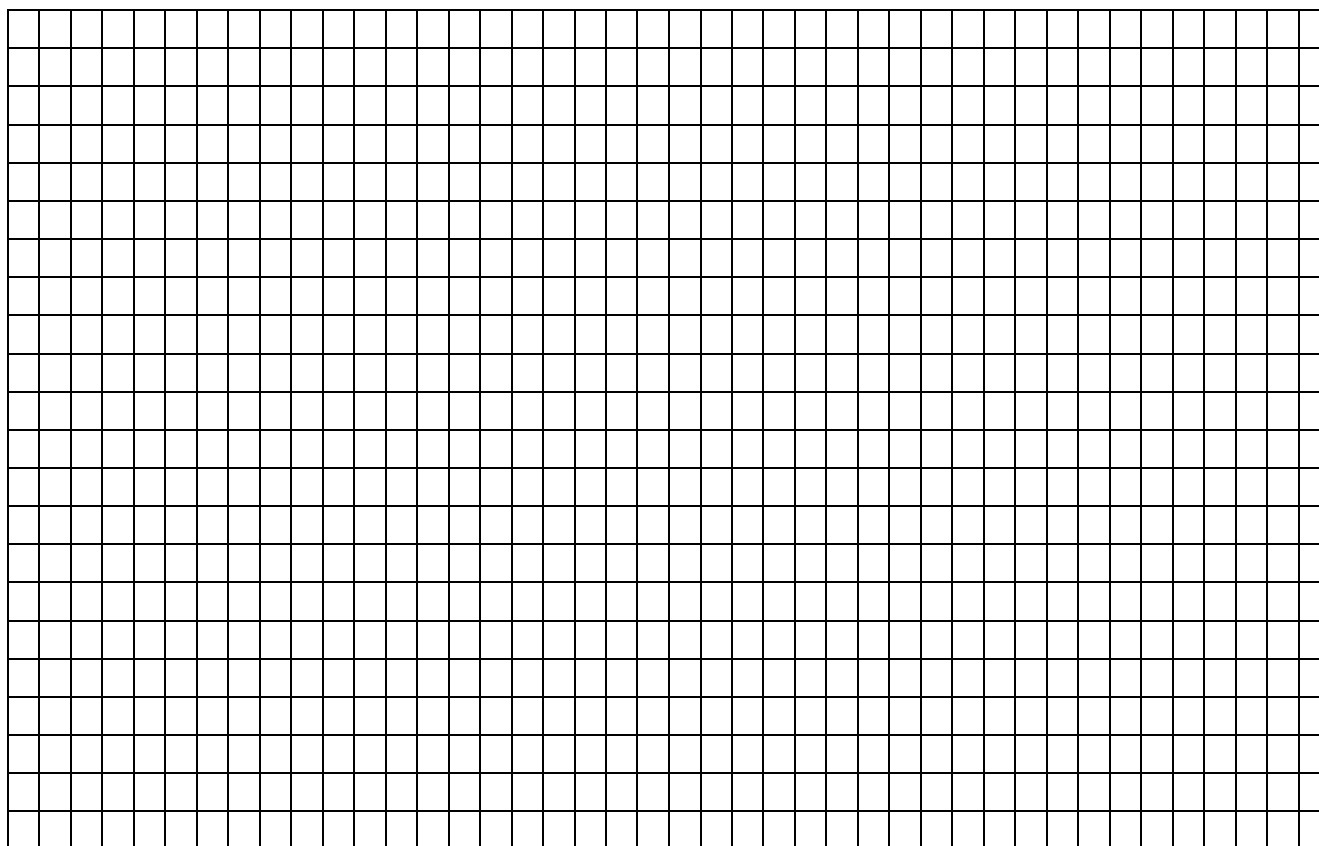
Группа _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число делений на шкале прибора	Цена деления с указанием единицы измерения
1	Вольтметр			

№ п/п	$U_{эф},$ В	$U_m,$ В	$L,$ мм	$l,$ мм
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

Осциллограмма синусоидального напряжения.



Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №65

ЗНАКОМСТВО С РАБОТОЙ ЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА.
СЛОЖЕНИЕ ВЗАИМНО ПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Цель работы – ознакомиться с работой электронного осциллографа, получить на экране изображение контрольного сигнала; используя фигуры Лиссажу, определить частоту контрольного сигнала.

Приборы и принадлежности: электронный осциллограф, генератор звуковых колебаний.

Общие положения

Электронный осциллограф является универсальным измерительным прибором. С его помощью можно измерить напряжение, силу тока, частоту, нелинейные искажения и другие характеристики электрических схем в широком диапазоне частот. Осциллограф позволяет непосредственно наблюдать на экране электронно-лучевой трубки форму исследуемого процесса.

Основной деталью электронного осциллографа является электронно-лучевая трубка, предназначенная для генерации электронного пучка и его фокусировки. В трубку вмонтированы две взаимно перпендикулярные пары отклоняющих пластин. Если подавать напряжение на эти пластины, то между ними возникает электрическое поле, которое отклоняет пучок электронов. При этом луч будет попадать в различные точки флюоресцирующего экрана. Отклонение пучка пропорционально напряженности поля и, соответственно, подаваемому напряжению. На рис. 1 представлена принципиальная схема электронно-лучевой трубки. Трубка состоит из откачанной до высокого вакуума стеклянной колбы, внутри которой помещаются:

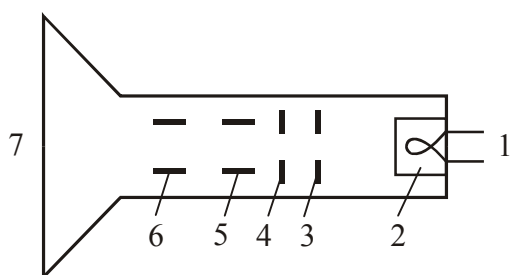


Рисунок 1

- 1 – подогреватель катода
- 2 – катод (источник электронов)
- 3 и 4 – электроды, фокусирующие и ускоряющие электроны
- 5 – горизонтально отклоняющие пластины
- 6 – вертикально отклоняющие пластины
- 7 – флюоресцирующий экран.

По пути к экрану электронный луч проходит между двумя парами плоских пластин, из которых одна пара расположена горизонтально, а вторая – вертикально. Если пучок электронов проходит между двумя плоскими металлическими разноименно заряженными пластинами, то электроны будут отклоняться в сторону положительно заряженной пластины. Если изменить полярность пластины, то электроны будут отклоняться в противоположную сторону. Если приложить к пластинам переменное напряжение, то электронный луч будет отклоняться попеременно в сторону той пластины, которая в данный момент окажется положительно заряженной.

Таким образом, регулируя величину приложенного к пластинам напряжения, можно регулировать величину отклонения луча. Описанные способы фо-

кусировки и отклонения называются электростатическими, так как происходят под действием электрических полей.

Пластины, расположенные горизонтально, отклоняют электронный луч вверх или вниз, поэтому их называют вертикально отклоняющими. Пластины, расположенные вертикально, отклоняют луч в горизонтальном направлении, поэтому их называют горизонтально отклоняющими.

Основные органы управления осциллографом делятся на несколько групп:

1. Органы управления электронным лучом. Регулировка яркости производится потенциометром, у ручки которого имеется надпись «Яркость». Фокусировка луча производится потенциометром, у ручки которого имеется надпись «Фокус». Смещение изображения в вертикальном направлении производится потенциометром, у ручки которого имеется маркировка « \updownarrow ». Смещение изображения в горизонтальном направлении производится потенциометром, у ручки которого имеется маркировка « \leftrightarrow »
2. Органы регулировки исследуемого напряжения. Исследуемое напряжение подается на зажим, маркированный знаком «Вход Y», и зажим, маркированный знаком « \perp ».
3. Регулировка усилителей горизонтального и вертикального отклонения. Плавное изменение выходного напряжения производится ручками, имеющими надписи «Усиление X» и «Усиление Y».
4. Управление генератором развертки. Скачкообразное изменение частоты генератора развертки производится переключателем, у ручки которого имеется надпись «Диапазоны». Каждое фиксированное положение ручки отмечено цифрой, обозначающей среднюю частоту в герцах. В положении «0» генератор развертки отключается от усилителя горизонтального отклонения. Плавное изменение частоты производится ручкой «Частота плавно».
5. Вспомогательные органы управления. Гнездо «Контр. сигнал» предназначено для снятия напряжения контрольного сигнала. С клеммы «Контр. сигнал» снимается гармоническое колебание частотой 50 Гц и эффективным напряжением 6,3 В.

Одним из способов измерения частоты является использование фигур Лиссажу. Фигуры Лиссажу получаются при сложении гармонических колебаний, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях. Полученная фигура вычерчивается электронным лучом на экране электронно-лучевой трубки. Напряжение развертки отключается. На пару пластин горизонтального отклонения подается напряжение U_x исследуемой частоты (в нашем случае напряжение контрольного сигнала частотой f_x), а на пару пластин вертикального отклонения – напряжение U_y от образцового генератора с известной частотой f_y . В данной работе роль образцового генератора играет звуковой генератор. Частоту генератора изменяют до получения на экране осциллографа одной из фигур Лиссажу (см. рис. 2). Если частоты обоих напряжений относятся как целые числа, то фигуры Лиссажу на экране будут неподвижными. По их форме можно определить отношение частот. Для этого мысленно вписывают фигуру в прямоугольник так, чтобы петли фигуры касались его сторон. Отношение числа

$\frac{f_x}{f_0}$	Угол сдвига фаз φ				
	0	45°	90°	135°	180°
$\frac{f_x}{f_0} = \frac{1}{1}$					
$\frac{f_x}{f_0} = \frac{1}{2}$					
$\frac{f_x}{f_0} = \frac{1}{3}$					
$\frac{f_x}{f_0} = \frac{2}{3}$					

Рисунок 2. Фигуры Лиссажу для разного соотношения частот и различных сдвигов фаз между равными по амплитуде напряжениями U_x и U_y .

Рисунку 2. Фигуры Лиссажу для разного соотношения частот и различных сдвигов фаз между равными по амплитуде напряжениями U_x и U_y .
 подано напряжение частотой $f_y = 100$ Гц. Число касаний фигуры с горизонтальной стороной $n_x = 2$, число касаний с вертикальной стороной $n_y = 1$ (рис. 3). Определим неизвестную частоту f_x :

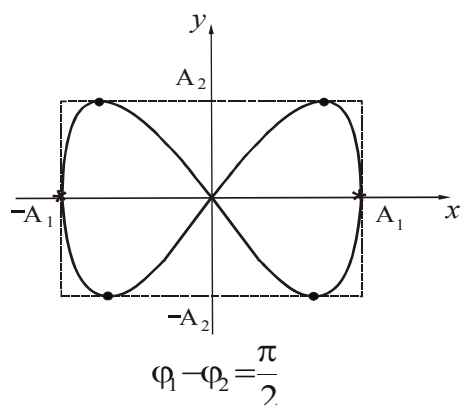


Рисунок 3

точек касания фигурой перпендикулярных сторон прямоугольника обратно отношению частот напряжений, отклоняющих электронный луч по этим направлениям. Исследуемую частоту можно определить по формуле:

$$f_x = \frac{n_y}{n_x} f_y, \tag{1}$$

где n_y – число точек касания фигуры Лиссажу с вертикальной линией; n_x – число точек касания фигуры Лиссажу с горизонтальной линией.

Пример: С генератора на вход y

$$f_x = \frac{1}{2} 100 = 50 \text{ Гц}$$

При небольшой разнице частот фигура на экране медленно вращается, проходя все фазовые соотношения от 0 до 360°. Разницу частот Δf можно определить, если измерить время изменения фазы на 360°, т.е. её период T . Тогда

$$\Delta f = \frac{1}{T}.$$

Так можно определить разность частот до долей герца.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Как получаются фигуры Лиссажу? От чего зависит их форма?
3. Как определить частоту неизвестного сигнала по фигуре Лиссажу?

Выполнение работы

Задание 1. Наблюдение на экране синусоидального напряжения

1. Поставить выключатель «Сеть» в положение «Выкл.» и включить вилку шнура в розетку сети «~220 В». Если на управляющей панели осциллографа есть тумблер «Делитель напряжения», поставить его в положение «До 5 В».

2. Рукоятки управления поставить:
 - «Яркость», «Фокус», «Усиление X», «Усиление Y» и ручки смещения луча по осям X и Y – в среднее положение;
 - «Переключатель диапазона» – в положение «30»;
 - «Синхронизация» – в положение «Внутр.» или «От сети».
3. Включить тумблер «Сеть». Через 50–60 секунд после включения в центре экрана должен появиться горизонтальный штрих. Если изображения нет, то ручками яркости и смещения луча добиться его появления и затем отрегулировать яркость и фокус луча.
4. Выключить тумблер «Сеть». Соединить проводником гнездо «Контр. сигнал» с зажимом «Вход Y», включить тумблер «Сеть». На экране должна появиться синусоида, являющаяся изображением контрольного сигнала.
5. Ручками «Усиление X» и «Усиление Y» установить на экране величину изображения, удобную для рассмотрения (3 до 5 делений масштабной сетки).
6. Ручкой «Частота плавно» установить неподвижное изображение одного или нескольких периодов колебаний.
7. Вращая ручку «Синхронизация» окончательно установить неподвижное изображение синусоиды. Зарисовать полученную осциллограмму. Выключить осциллограф.

Задание 2. Получение фигур Лиссажу.

1. Соединить клемму «Контр. сигнал» осциллографа с клеммой «Вход X».
2. Клемму «5000 Ом» звукового генератора на передней панели соединить с клеммой «Вход Y» осциллографа, а клемму «Общ» с клеммой осциллографа, маркированной \perp . Отключить генератор развертки осциллографа.
3. Установить кратность шкалы звукового генератора $\times 1$.
4. Включить осциллограф и генератор в сеть.
5. Установить на шкале звукового генератора частоту ~ 50 Гц. Плавно регулируя ручкой лимба частоту звукового генератора, получить устойчивую фигуру Лиссажу. Зарисовать полученную фигуру.
6. Последовательно устанавливая на шкале звукового генератора частоты 25 Гц, 100 Гц и 150 Гц, получить на экране устойчивые фигуры Лиссажу. Зарисовать полученные фигуры. Выключить осциллограф и генератор.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Используя полученные фигуры, определить частоту контрольного сигнала для каждого случая по формуле (1). Пример расчета дан в тексте работы.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Каково назначение осциллографа?
2. Каково назначение электронно-лучевой трубки?
3. Что представляет собой контрольный сигнал?
4. Сравните полученное значение частоты с частотой контрольного сигнала. Сделайте вывод.

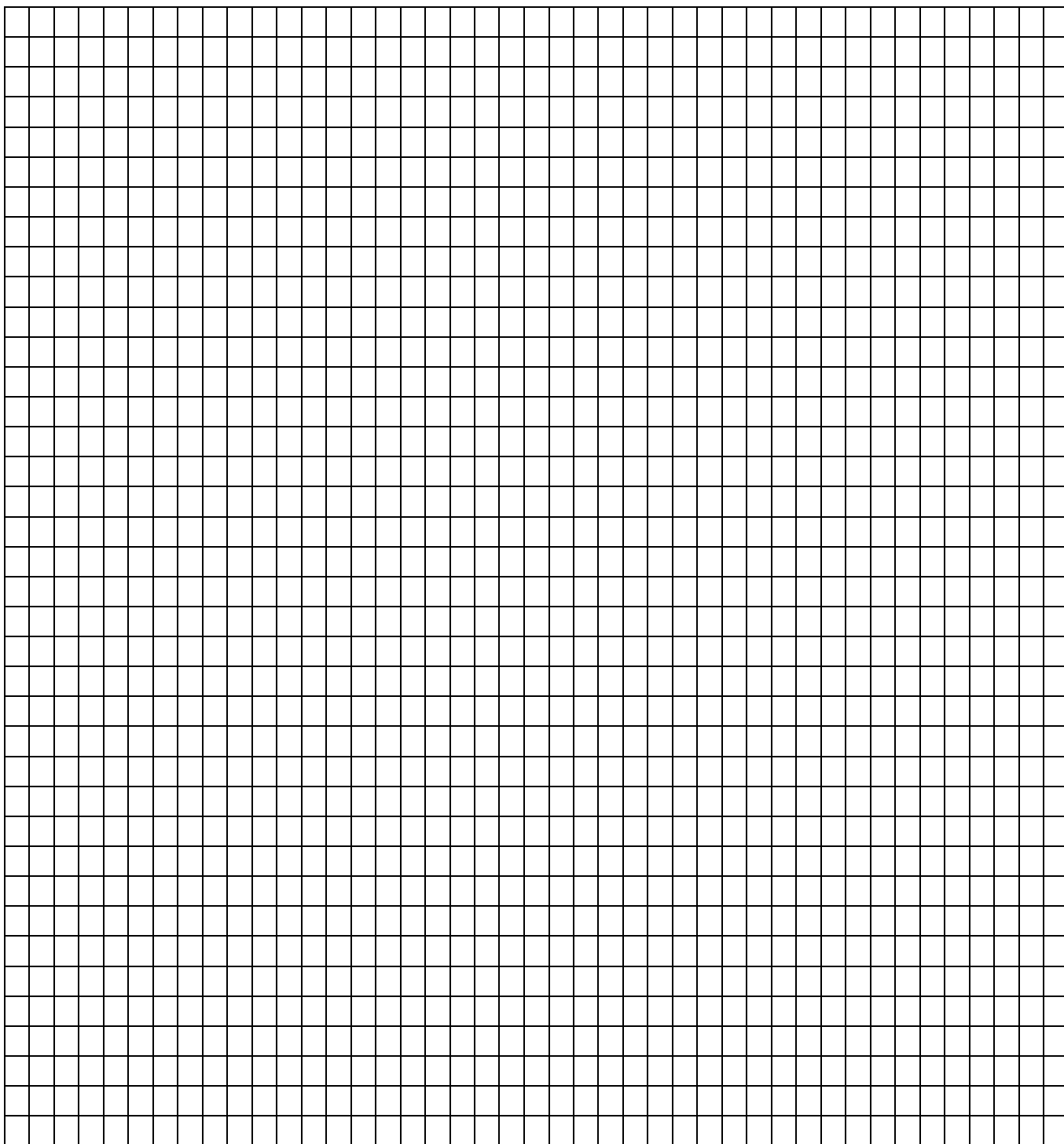
ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 65

Выполнил(а) _____

Группа _____

К протоколу приложить;

1. Осциллограмму синусоидального напряжения.
2. Осциллограмму фигур Лиссажу, указав для каждой фигуры установленную на генераторе частоту $-f_y$.



Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №66

ИЗМЕРЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ
С ПОМОЩЬЮ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы: Измерить ускорение свободного падения с помощью физического маятника.

Приборы и принадлежности: маятник, секундомер, приспособление для определения центра масс маятника.

Общие положения

Физическим маятником называется твердое тело, совершающее под действием силы тяжести колебания относительно неподвижной горизонтальной оси, не проходящей через центр масс.

Используемый в работе физический маятник состоит из металлического стержня с опорными призмами R_1 и R_2 и чечевицами D_1 и D_2 , которые можно закреплять в любом месте стержня (рис.1).

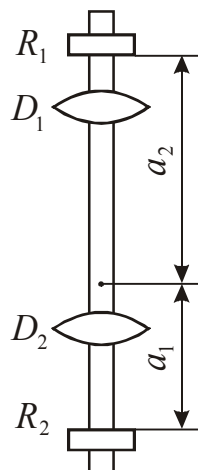


Рисунок 1

Период колебаний физического маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mga}}, \quad (1)$$

где J – момент инерции маятника относительно оси колебаний;

m – масса маятника;

a – расстояние от точки подвеса до центра масс.

Момент инерции маятника относительно оси колебаний рассчитывается по теореме Штейнера:

$$J = J_c + ma^2, \quad (2)$$

где J_c – момент инерции маятника относительно оси, проходящей через центр масс параллельно оси колебаний.

Тогда

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_c + ma^2}{mga}}. \quad (3)$$

Если маятник подвесить на опорную призму R_1 , то его период колебаний

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{J_c + ma_1^2}{mga_1}}. \quad (4)$$

Если перевернуть маятник и подвесить его на опорную призму R_2 , то период колебаний станет равным

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{J_c + ma_2^2}{mga_2}}. \quad (5)$$

Проведя математические преобразования, получим:

$$mga_1T_1^2 = 4\pi^2(J_c + ma_1^2); \quad mga_2T_2^2 = 4\pi^2(J_c + ma_2^2).$$

Вычтем из первого равенства второе:

$$mg(a_1T_1^2 - a_2T_2^2) = 4\pi^2m(a_1^2 - a_2^2).$$

Из полученного соотношения найдем ускорение свободного падения

$$g = \frac{4\pi^2(a_1^2 - a_2^2)}{a_1T_1^2 - a_2T_2^2}. \quad (6)$$

Период колебаний T определяют экспериментально, измеряя время t , за которое совершается N колебаний:

$$T = \frac{t}{N}. \quad (7)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины в работе измеряются непосредственно?
3. Запишите формулу, по которой в этой работе рассчитывается ускорение свободного падения. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Установить чечевицы D_1 и D_2 на **разных** расстояниях от середины маятника.
2. Определить центр масс системы, пользуясь специальным приспособлением, имеющимся на рабочем месте. Измерить a_1 и a_2 .
3. Подвесить маятник на призму R_1 и измерить при помощи секундомера время N полных колебаний ($N \cong 20 \div 30$). При этом отклонение нижнего конца маятника от положения равновесия не должно превышать 2–3 см.
4. Снять маятник, подвесить его на призму R_2 и измерить время N полных колебаний.
5. Сместить одну из чечевиц маятника на 2–3 см (расстояние от середины маятника до чечевиц должно быть **разным**). Повторить измерения согласно пп. 2, 3, 4 при новом расположении чечевиц.
6. Сместить другую чечевицу маятника на 2–3 см (расстояние от середины маятника до чечевиц должно быть **разным**). Повторить измерения согласно пп. 2, 3, 4 при новом расположении чечевиц.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать периоды колебаний T_1 и T_2 маятника для каждого опыта по формуле (7).
2. Рассчитать ускорение свободного падения g для каждого опыта по формуле

(6). Найти среднее значение \bar{g} .

3. Рассчитать доверительный интервал как для прямых измерений.
4. Найти относительную погрешность измерений. Результат записать в стандартном виде:

$$g = \bar{g} \pm \Delta g$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какие колебания называются гармоническими? Запишите уравнение гармонических колебаний.
2. Какой маятник называется физическим? Запишите формулу периода колебаний физического маятника. Поясните смысл обозначений.
3. Сформулируйте теорему Штейнера. Запишите формулу.
4. При каких условиях колебания физического маятника можно считать гармоническими?
5. Сравните полученное значение ускорения свободного падения с табличным. Сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 66

Выполнил(а) _____

Группа _____

№ п/п	a_1 , см	a_2 , см	N	t_1 , с	t_2 , с	T_1 , с	T_2 , с	g , м/с ²
1								
2								
3								
среднее								

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 67

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ

Цель работы – рассчитать коэффициент затухания, логарифмический декремент затухания, время релаксации и добротность физического маятника.

Приборы и принадлежности: физический маятник с визирной рамкой, два воздушных и один жидкостный успокоители, ванна с водой, секундомер.

Общие положения

В реальных физических системах, участвующих в колебательном движении, всегда присутствуют силы сопротивления. Действие этих сил уменьшает энергию системы. Уменьшение энергии приводит к затуханию колебаний, т.е. уменьшению амплитуды колебаний. При малых скоростях сила сопротивления пропорциональна скорости:

$$F_c = -rv \quad (1)$$

где r – коэффициент сопротивления среды. В этом случае амплитуда колебаний изменяется по закону:

$$A(t) = A_0 e^{-\beta t}, \quad (2)$$

где A_0 – амплитуда в начальный момент времени;

β – коэффициент затухания.

Для характеристики степени затухания используют следующие величины:

1. Коэффициент затухания (β) – скалярная физическая величина, характеризующая степень затухания. Чем больше коэффициент затухания, тем быстрее уменьшается амплитуда. Для механических колебаний $\beta = \frac{r}{2m}$, где m – масса маятника.
2. Время релаксации (τ) – время, в течение которого амплитуда колебаний уменьшается в e раз (e – основание натурального логарифма). Время релаксации связано с коэффициентом затухания соотношением:

$$\tau = \frac{1}{\beta}. \quad (3)$$

3. Логарифмический декремент затухания (λ) – безразмерная физическая величина, численно равная натуральному логарифму отношения амплитуд, отстоящих друг от друга на период:

$$\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)}. \quad (4)$$

Логарифмический декремент затухания и коэффициент затухания связаны соотношением:

$$\lambda = \beta T, \quad (5)$$

где T – период колебаний.

4. Добротность колебательной системы (Q) – безразмерная физическая величина, равная произведению 2π на отношение энергии $W(t)$ колебаний системы в произвольный момент времени t к убыли этой энергии за один период ΔW :

$$Q = 2\pi \frac{W(t)}{\Delta W}, \quad (6)$$

где $\Delta W = W(t) - W(t + T)$.

Для малых затуханий

$$Q = \frac{\pi}{\lambda}. \quad (7)$$

Большим значениям Q соответствуют слабые затухания.

Описание лабораторной установки и методики эксперимента

Установка для определения характеристик затухающих механических колебаний изображена на рис. 1

- 1 – физический маятник;
- 2 – винт для крепления воздушных успокоителей (демпферов);
- 3 – воздушный успокоитель (демпфер);
- 4 – жидкостный успокоитель (демпфер);
- 5 – визирная рамка;
- 6 – ванночка с водой.

Период колебаний определяется по формуле:

$$T = \frac{t}{N}, \quad (8)$$

где t – время, за которое маятник совершает N полных колебаний.

Для нахождения коэффициента затухания β воспользуемся законом изменения амплитуды. Прологарифмируем правую и левую часть уравнения (2):

$$\ln A(t) = \ln A_0 - \beta t.$$

Отсюда

$$\beta = \frac{\ln A_0 - \ln A(t)}{t}, \quad (9)$$

где t – это время, в течение которого амплитуда уменьшилась от значения A_0 до значения A .

Остальные характеристики рассчитывают по формулам (3), (5) и (7).

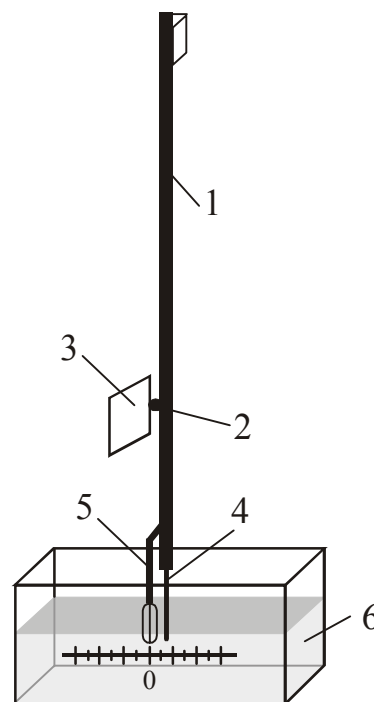


Рисунок 1

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины в работе измеряются непосредственно?
3. Запишите формулы, по которым в этой работе рассчитываются период колебаний, коэффициент затухания, логарифмический декремент затухания, время релаксации и добротность физического маятника. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Установить ванночку с водой так, чтобы визирная рамка маятника в состоянии покоя находилась на нулевом делении линейки.
2. Отклонить маятник без демпфера от положения равновесия на $A_0=20$ см.
3. Отпустив маятник и одновременно включив секундомер, измерить время t и сосчитать число полных колебаний N , за которое амплитуда уменьшится примерно вдвое. Записать значение амплитуды $A(t)$. Опыт повторить дважды.
4. Закрепить на маятнике малый воздушный демпфер с помощью винта 2. Провести измерения согласно п. 2, 3.
5. Заменить малый воздушный демпфер на большой демпфер. Провести измерения согласно п. 2,3.
6. Снять большой воздушный демпфер и закрепить жидкостный демпфер на нижнем конце маятника. Провести измерения согласно п. 2, 3.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать период T затухающих колебаний по формуле (8) для каждого опыта. Для каждого демпфера найти среднее значение периода.
2. Рассчитать коэффициент β затухания колебаний по формуле (9) для каждого опыта. Для каждого демпфера найти среднее значение коэффициента затухания.
3. Рассчитать время релаксации τ колебаний по формуле (3) для каждого опыта. Для каждого демпфера найти среднее значение времени релаксации.
4. Рассчитать логарифмический декремент затухания λ колебаний по формуле (5) для каждого опыта. Для каждого демпфера найти среднее значение логарифмического декремента затухания.
5. Рассчитать добротность колебательной системы Q по формуле (7) для каждого опыта. Для каждого демпфера найти среднее значение добротности.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какие колебания называются затухающими? Запишите уравнение затухающих колебаний. Нарисуйте схематичный график затухающих колебаний.
2. Дайте определение основных характеристик затухающих колебаний.
3. На основании полученных данных сделайте вывод о влиянии демпферов на характеристики затухающих колебаний.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 67

Выполнил(а) _____

Группа _____

№ п/п	Наличие демпфера	A_0 , см	$A(t)$, см	N	t , с	T , с
1	Без демпфера					
2						
3	Малый воздушный					
4						
5	Большой воздушный					
6						
7	Жидкостный					
8						

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 68

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ
МЕТОДОМ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

Цель работы – измерить скорость звука в воздухе методом интерференции.

Приборы и принадлежности: генератор звуковых колебаний; установка, предназначенная для создания разности хода звуковых волн.

Общие положения

Интерференция – это явление наложения когерентных волн, в результате которого колебания в одних точках усиливают, а в других точках ослабляют друг друга. При этом происходит перераспределение энергии волнового поля, и образуются устойчивые во времени максимумы или минимумы интенсивности колебаний. Волны называются когерентными, если они имеют одинаковую частоту и приходят в данную точку пространства с не изменяющейся со временем разностью фаз.

Если волны, распространяющиеся от источников S_1 и S_2 (рис. 1), когерентны, то амплитуда результирующего колебания в точке M будет определяться разностью фаз между ними в этой точке.

Уравнение волны, распространяющейся от источника S_1 , имеет вид

$$\xi_1 = A_1 \cos(\omega t - kx_1) = A_1 \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda} \right),$$

а от источника S_2 :

$$\xi_2 = A_2 \cos(\omega t - kx_2) = A_2 \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda} \right).$$

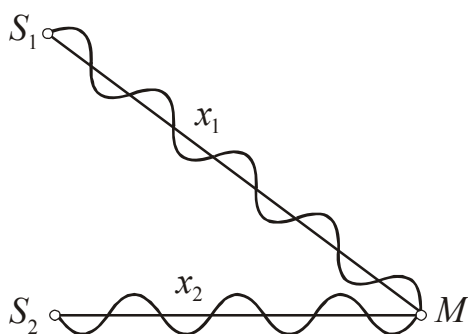


Рисунок 1

Найдем разность фаз этих волн:

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi \frac{x_2 - x_1}{\lambda} = 2\pi \frac{\Delta x}{\lambda},$$

где $\Delta x = x_2 - x_1$ – разность хода.

Если $\Delta x = 2m \frac{\lambda}{2}$, где m – любое целое число, то в точке M волны будут друг друга усиливать, т.е. в точке M наблюдается интерференционный максимум.

Если $\Delta x = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$, то в точке M волны будут друг друга ослаблять, т.е. в точке M наблюдается интерференционный минимум.

В частности, если когерентные волны $\xi_1 = A \cos(\omega t - kx)$ и $\xi_2 = A \cos(\omega t + kx)$, имеющие одинаковую амплитуду, распространяются навстречу друг другу, то образуется стоячая волна. Уравнение этой волны:

$$\xi = 2A \cos kx \cos \omega t = A(x) \cos \omega t$$

Точки, в которых амплитуда колебаний стоячей волны равна нулю, называются узлами, а точки, в которых амплитуда максимальна, называются пучностями (рис. 2).

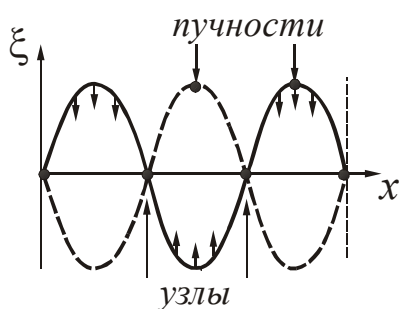


Рисунок 2

Расстояние l между соседними узлами, так же как и расстояние между соседними пучностями равно половине длины волны:

$$l = \frac{\lambda}{2}, \quad (1)$$

где λ – длина волны.

Длина волны связана с частотой ν и скоростью v распространения волны соотношением

$$\lambda = \frac{v}{\nu} \quad (2)$$

Подставив соотношение (2) в (1), получим формулу для расчета скорости звука в воздухе:

$$v = 2\nu l. \quad (3)$$

Описание экспериментальной установки

Установка, предназначенная для измерения скорости звука в воздухе представляет собой изогнутую трубу А, в которую входит подобная ей труба В меньшего сечения (рис. 3). Труба В может перемещаться относительно трубы А. В одном колене трубы А сделано отверстие, соединенное при помощи трубки с телефоном, подключенным к генератору звуковых колебаний. В другом колене трубы сделаны отверстия, соединенные с наушниками.

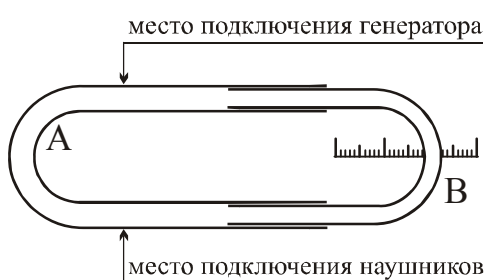


Рисунок 3

Звуковой генератор вызывает колебания мембраны телефона с определенной частотой; звуковая волна той же частоты, попадая в трубу А, разветвляется; часть ее распространяется по одному колену, часть по другому. Накладываясь при встрече, эти волны интерферируют.

Выдвигая или вдвигая трубу В, можно добиться того, чтобы вблизи отверстий, соединенных с наушниками, находился интерференционный максимум или интерференционный минимум. Частота колебаний определяется по звуко-

вому генератору. Расстояние l между ближайшими минимумами (или максимумами) измеряется по шкале на установке.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Запишите формулу, по которой в данной работе рассчитывается скорость звука. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Подключить установку к генератору (к клеммам \perp и 600 Ом). Включить звуковой генератор в сеть. Подождать 2-3 мин, пока он прогреется.
2. Установить множитель частот на «x10». Поворотом лимба установить на генераторе значение 120, что соответствует частоте 1200 Гц.
3. Одеть наушники. Регулятором на передней панели генератора установить оптимальную громкость звука.
4. Выдвинуть трубу В до отказа. Перемещать трубу В в обратном направлении до тех пор, пока громкость звука не станет минимальной. Записать деление n_1 шкалы, напротив которого при этом стоит указатель.
5. Продолжая перемещать трубу В, определить по слуху следующий минимум. Записать соответствующий номер n_2 деления шкалы.
6. Повторить измерения согласно пунктам 4, 5, увеличивая каждый раз частоту на 200 Гц до 2200 Гц.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Для каждого опыта вычислить значения l :

$$l = n_2 - n_1.$$

2. По формуле (3) рассчитать скорость звука для каждого опыта при данной температуре. Найти среднее значение скорости звука.
3. Рассчитать доверительный интервал как для прямых измерений.
4. Найти относительную погрешность измерений. Результат записать в стандартном виде:

$$v = \bar{v} \pm \Delta v.$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какие волны называются звуковыми? От каких параметров зависит скорость звука?
2. Какое явление использовалось для определения скорости звука? В чем оно заключается?
3. Запишите условия максимумов и минимумов интерференции.
4. Сравните полученное значение скорости звука с табличным значением при данной температуре и сделайте вывод о достоверности полученного результата.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 68

Выполнил(а) _____

Группа _____

№ п/п	ν , Гц	n_1 , см	n_2 , см	l , см	v , м/с
1					
2					
3					
4					
5					
6					
среднее					

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 69

ИЗМЕРЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

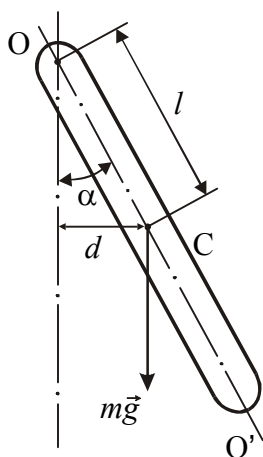
Цель работы – определить момент инерции симметричного тела относительно оси, проходящей через центр масс.

Приборы и принадлежности: физический маятник, имеющий форму кольца; штангенциркуль; секундомер.

Общие положения

Физическим маятником называется твердое тело, совершающее под действием силы тяжести колебания относительно неподвижной горизонтальной оси, не проходящей через центр масс.

Отклоним маятник от положения равновесия на угол α . При этом возникает момент силы тяжести M , возвращающий маятник в положение равновесия (рис.1):



$$M = -mgd = -mgl \sin \alpha, \quad (1)$$

где m – масса маятника,
 l – расстояние между точкой подвеса O и центром масс C .

$d = l \sin \alpha$, где d – плечо силы тяжести mg .

Знак « $-$ » поставили потому, что момент силы тяжести стремится уменьшить угол отклонения маятника. Согласно основному закону динамики вращательного движения

Рисунок 1

$$M = J\varepsilon, \quad (2)$$

где J – момент инерции маятника относительно оси колебаний,
 ε – угловое ускорение маятника.

$$\varepsilon = \frac{d^2 \alpha}{dt^2}. \quad (3)$$

На основании формул (1), (2) и (3) можно записать:

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = -mgl \sin \alpha. \quad (4)$$

Если угол отклонения мал (не превышает $3 \div 5^\circ$), то $\sin \alpha \approx \alpha$ (α должен быть выражен в радианах). Уравнение (4) в этом случае можно привести к виду:

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \frac{mgl}{J} \alpha = 0. \quad (5)$$

Введем обозначение:

$$\omega_0^2 = \frac{mgl}{J}, \quad (6)$$

где ω_0 – циклическая частота собственных колебаний физического маятника.

Тогда

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \omega_0^2\alpha = 0. \quad (7)$$

Это уравнение является дифференциальным уравнением гармонических колебаний. Его решение имеет вид:

$$\alpha = \alpha_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (8)$$

где α_{\max} – амплитуда колебаний, т.е. максимальный угол отклонения маятника;
 φ_0 – начальная фаза.

Период гармонических колебаний физического маятника:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgl}}. \quad (9)$$

Описание экспериментальной установки и методики эксперимента

Физический маятник 1 представляет собой однородное кольцо массой m (рис. 2). Значение массы указано на кольце. Кольцо устанавливается на стержне с опорной призмой 2. Из формулы (9) можно определить момент инерции маятника относительно оси колебаний:

$$J = \frac{T^2 mgl}{4\pi^2}. \quad (10)$$

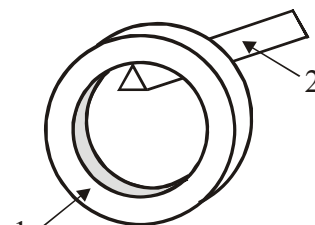


Рисунок 2

Период колебаний рассчитывается по формуле

$$T = \frac{t}{N}, \quad (11)$$

где t – время, в течение которого маятник совершает N полных колебаний.

Расстояние l от точки подвеса маятника до его центра масс

$$l = \frac{d}{2}, \quad (12)$$

где d – внутренний диаметр кольца.

Момент инерции J_c маятника относительно оси, проходящей через центр масс, определим, используя теорему Штейнера:

$$J = J_c + ml^2. \quad (13)$$

Отсюда

$$J_c = J - ml^2. \quad (14)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины в работе измеряются непосредственно?
3. Запишите формулу, по которой в этой работе рассчитывается момент инерции маятника относительно оси колебаний. Поясните смысл обозначений.

4. Запишите формулу, по которой в этой работе рассчитывается момент инерции маятника относительно оси, проходящей через центр масс. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Записать значение массы m , указанное на кольце.
2. Измерить штангенциркулем внутренний диаметр d кольца пять раз в разных местах. Найти среднее значение диаметра.
3. Поместить кольцо на опорную призму 2.
4. Отклонить кольцо на угол $3 \div 5^\circ$ от положения равновесия в плоскости параллельной стене.
5. Отпустить кольцо, одновременно включив секундомер. Измерить время t , за которое маятник совершит N полных колебаний ($N \cong 100$).
6. Повторить измерения времени и числа колебаний еще четыре раза, согласно п. 4 и 5.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать период колебаний маятника по формуле (11) для каждого опыта. Найти среднее значение периода.
2. Рассчитать значение l по формуле (12), подставив среднее значение диаметра.
3. Рассчитать момент инерции маятника относительно оси колебаний по формуле (10) по средним значениям l и T . Принять $g=9,81 \text{ м/с}^2$.
4. Рассчитать момент инерции маятника относительно оси, проходящей через центр масс, по формуле (14).
5. Рассчитать абсолютную погрешность ΔJ_c как для косвенных измерений по формуле:

$$\Delta J_c = J_c \sqrt{4 \left(\frac{\Delta t}{t} \right)^2 + 4 \left(\frac{\Delta N}{N} \right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m} \right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l} \right)^2},$$

6. где Δt , Δl и Δm приборные погрешности.
7. Найти относительную погрешность измерений. Записать окончательный результат в стандартном виде.

$$J_c = \bar{J}_c \pm \Delta J_c$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какие колебания называются гармоническими? Запишите уравнение гармонических колебаний.
2. Какой маятник называется физическим? Запишите формулу периода колебаний физического маятника. Поясните смысл обозначений.
3. Сформулируйте теорему Штейнера. Запишите формулу.
4. При каких условиях колебания физического маятника можно считать гармоническими?

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 69

Выполнил(а) _____

Группа _____

Масса кольца $m =$ _____Приборная погрешность секундомера $\Delta t =$ _____Приборная погрешность штангенциркуля $\Delta l =$ _____Приборная погрешность весов $\Delta m =$ _____

№ п/п	d , мм	N	t , с	T , с
1				
2				
3				
4				
5				
среднее				

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №70

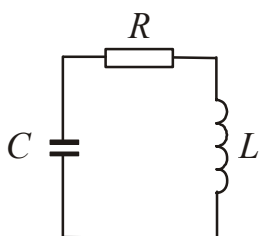
ИЗУЧЕНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Цель работы – с помощью генератора импульсов и электронного осциллографа получить затухающие электромагнитные колебания; определить период электромагнитных колебаний, логарифмический декремент затухания, коэффициент затухания, добротность колебательного контура, а также параметры контура.

Приборы и принадлежности: электронный осциллограф, генератор импульсов, колебательный контур.

Общие положения

Всякий реальный колебательный контур (рис. 1) обладает активным сопротивлением ($R \neq 0$). Энергия, запасенная в контуре, расходуется в этом сопротивлении на нагревание, поэтому свободные колебания затухают.



Дифференциальное уравнение затухающих колебаний в колебательном контуре имеет вид:

$$\ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2 q = 0, \quad (1)$$

Рисунок 1

где $\beta = \frac{R}{2L}$ – коэффициент затухания; $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ – собственная частота колебаний колебательного контура.

Если затухание невелико ($\beta < \omega_0$), то его решение описывается уравнением:

Если затухание невелико ($\beta < \omega_0$), то его решение описывается уравнением:

$$q(t) = q_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (2)$$

где $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ – частота затухающих колебаний.

Разделив уравнение (2) на емкость C , получим закон изменения напряжения на конденсаторе:

$$U_c = \frac{q_0}{C} e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0) = U_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0). \quad (3)$$

Для количественной характеристики затухания используют логарифмический декремент затухания:

$$\lambda = \ln \frac{U(t)}{U(t+T)} \quad \text{или} \quad \lambda = \frac{1}{N} \ln \frac{U_0}{U_N}. \quad (4)$$

Логарифмический декремент затухания связан с коэффициентом затухания соотношением:

$$\lambda = \beta T. \quad (5)$$

Колебательную систему принято характеризовать добротностью Q . При малых затуханиях ($\beta < \omega_0$):

$$Q = \frac{\pi}{\lambda}. \quad (6)$$

Рассчитаем параметры контура. Период затухающих колебаний:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}. \quad (7)$$

Из уравнения (7) с учетом формулы (5) можно найти индуктивность контура по известному значению емкости:

$$L = \frac{T^2}{(4\pi^2 + \lambda^2)C}, \quad (8)$$

и активное сопротивление контура:

$$R = \frac{2\lambda T}{(4\pi^2 + \lambda^2)C}. \quad (9)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Какие величины необходимо рассчитать по результатам измерений? Запишите соответствующие формулы, поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Подключить разъем штеккера к входу канала $1\text{M}\Omega 30\text{pF}$ осциллографа.
2. Подключить гнездо X модуля к гнезду $\text{—}\text{O}\text{—}$ выхода генератора напряжения развертки, расположенного на правой боковой панели осциллографа.
3. Переключатель чувствительности канала 1 поставить в положение «0,05 V/дел». Записать цену деления C_V шкалы развертки по напряжению.
4. Переключатель режима развертки поставить в положение «Автом» (кнопка утоплена). Переключатель длительности развертки привести в положение «0,2 ms/дел». Записать цену деления C_t шкалы развертки по времени.
5. Включить осциллограф в сеть. Включить питание осциллографа, потянув на себя тягу тумблера «Питание», расположенного справа внизу под экраном. Отрегулировать яркость и фокус изображения на экране.
6. Переключатель входа канала 1 поставить в положение « \perp » и рукояткой « \updownarrow » выставить линию развертки точно по центральной горизонтальной линии экрана.
7. Установить тумблеры переключения индуктивности и емкости в положение L_1C_1 . Записать значение емкости C_1 , указанное на установке.
8. Перевести переключатель входа канала 1 в положение « \sim » (нижнее). На экране должна появиться картина затухающих колебаний. Отрегулировать ее масштабы переключателями длительности развертки и усиления канала 1.

Рукояткой плавной регулировки длительности развертки **не пользоваться**: она должна постоянно быть в правом крайнем положении, чтобы масштаб времени горизонтальной шкалы соответствовал положениям переключателя.

9. Рукояткой плавной регулировки усиления канала 1 отрегулировать амплитуду первого колебания. Она должна составить примерно четыре деления. Резистор R на модуле при этом выставить в режим наименьшего затухания.
10. Зарисовать полученную картину затухающих колебаний с соблюдением масштаба.
11. Рукояткой « \leftrightarrow » переместить амплитуду первого колебания на вертикальную ось экрана и измерить ее в делениях (см. рис. 2). Аналогично измерить амплитуду 2-5-го колебания (выбрать удобную для измерения).
12. Сосчитать число делений Δx по горизонтальной оси (см. рис. 2), приходящих на целое число периодов (1-3) и записать число периодов n .

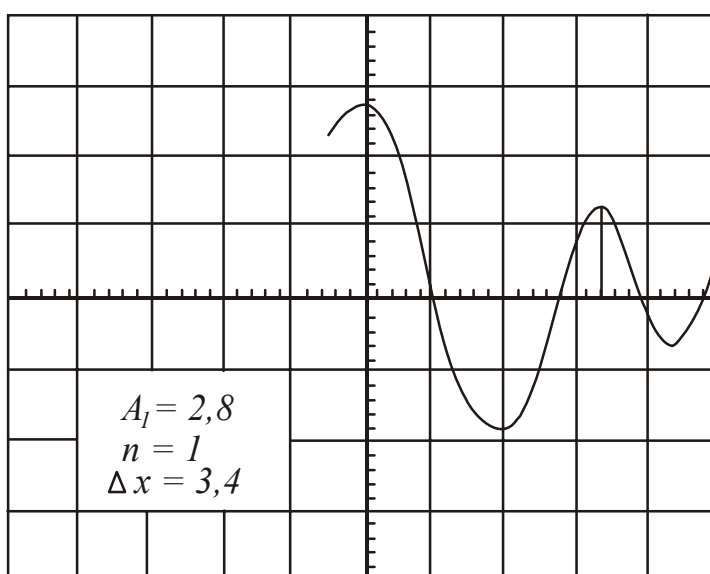


Рисунок 2

13. Установить тумблеры переключения индуктивности и емкости в положение L_1C_2 . Провести измерения согласно п. 3-10. При необходимости можно изменять цену деления, установленную на переключателе чувствительности канала 1 и переключателе длительности развертки.
14. Аналогично провести измерения для положения тумблеров L_2C_1 и L_2C_2 .

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Выразить амплитуды колебаний в вольтах, умножив соответствующее количество делений на цену деления, установленную на переключателе чувствительности канала 1.
2. Рассчитать период T колебаний для каждой комбинации индуктивности и емкости, умножив число делений, приходящихся на 1 период, на цену деления шкалы развертки:

$$T = \frac{\Delta x}{n} C_t,$$

3. Рассчитать логарифмический декремент затухания по формуле (4) для каждого опыта.
4. Рассчитать коэффициент затухания по формуле (5) для каждого опыта.
5. Рассчитать добротность контура по формуле (6) для каждого опыта.

6. Рассчитать индуктивность контуров и их активное сопротивление по известному значению емкости C_1 при положении тумблеров L_1C_1 и L_2C_1 , используя формулы (8) и (9).
7. Определить емкость конденсатора C_2 через отношение периодов колебаний в контуре с неизменной индуктивностью:

$$C_2 = C_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^2,$$

где T_1 и T_2 периоды колебаний в контуре с емкостями C_1 и C_2 соответственно.

8. Рассчитать индуктивность контуров и их активное сопротивление по известному значению емкости C_2 при положении тумблеров L_1C_2 и L_2C_2 , используя формулы (8) и (9).

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Запишите дифференциальное уравнение затухающих электромагнитных колебаний и его решение.
2. Перечислите основные характеристики затухающих колебаний.
3. Нарисуйте схему колебательного контура, в котором возникают затухающие колебания. Укажите причины затухания колебаний в реальном колебательном контуре.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 70

Выполнил(а) _____

Группа _____

Емкость первого конденсатора $C_1 =$ _____

№ п/п	Положение тумблеров модуля	A_1 , дел	A_N , дел	Номер амплитуды N	Число периодов n	Δx , дел	T , с	C_V , V/дел	C_t , ms/дел
1	L_1C_1								
2	L_1C_2								
3	L_2C_1								
4	L_2C_2								

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №71

ИССЛЕДОВАНИЕ АПЕРИОДИЧЕСКОГО РАЗРЯДА КОНДЕНСАТОРА
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ЕМКОСТИ

Цель работы – исследовать апериодический процесс и определить постоянную времени разрядки конденсатора (время релаксации), сопротивление цепи, электроемкость конденсатора.

Приборы и принадлежности: источник напряжения (выпрямитель), потенциометр, вольтметр, конденсатор, сопротивление, микроамперметр, переключатель, секундомер.

Общие положения

Если заряженный конденсатор замкнуть проводником, то по проводу потечет ток, и конденсатор будет разряжаться. Данный процесс является апериодическим, так как система, выведенная из состояния равновесия, возвращается в него, не совершая колебаний. Аperiодические процессы наблюдаются в том случае, если коэффициент затухания больше или равен собственной частоте колебаний колебательной системы: $\beta \geq \omega_0$.

Пусть q – заряд конденсатора, U – разность потенциалов между его пластинами, C – электроемкость, R – сопротивление проводника. Мгновенные значения заряда q , силы тока i и напряжения U на конденсаторе и проводнике будут связаны соотношениями:

$$i = \frac{U}{R}, \quad q = CU, \quad i = -\frac{dq}{dt}. \quad (1)$$

Предполагается, что ток, текущий в цепи, является квазистационарным, т.е. во всех поперечных сечениях проводника, замыкающего конденсатор, его мгновенное значение одинаково.

Исключая силу тока и напряжение из уравнений (1), получим:

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{q}{RC}. \quad (2)$$

Из курса математики известно, что решением уравнения (2) является функция вида:

$$q = q_0 e^{-\frac{t}{RC}}. \quad (3)$$

Решение получено при условии, что в начальный момент времени $t=0$ заряд конденсатора q_0 .

По аналогичному закону будет изменяться и сила тока, текущего по проводнику:

$$i = -\frac{dq}{dt} = i_0 e^{-\frac{t}{RC}}, \quad (4)$$

где $i_0 = \frac{q_0}{RC}$ – значение силы тока при $t=0$.

Величина

$$\tau = RC \quad (5)$$

имеет размерность времени и называется постоянной времени разрядки конденсатора или временем релаксации. **Релаксация** – это самопроизвольный процесс перехода системы в устойчивое состояние. За время релаксации τ заряд конденсатора уменьшается в e раз (e – основание натурального логарифма).

Для определения времени релаксации прологарифмируем уравнение (4), получим:

$$\ln i = \ln i_0 - \frac{1}{RC} t. \quad (6)$$

Из соотношения (6) следует, что график зависимости $\ln i = f(t)$ будет представлять собой прямую линию (рис. 1). Из математики известно, что тангенс угла наклона прямой равен коэффициенту перед переменной

$$\operatorname{tg} \alpha = -\frac{1}{RC}. \quad (7)$$

Рассчитаем тангенс наклона прямой, используя график (см. рис. 1):

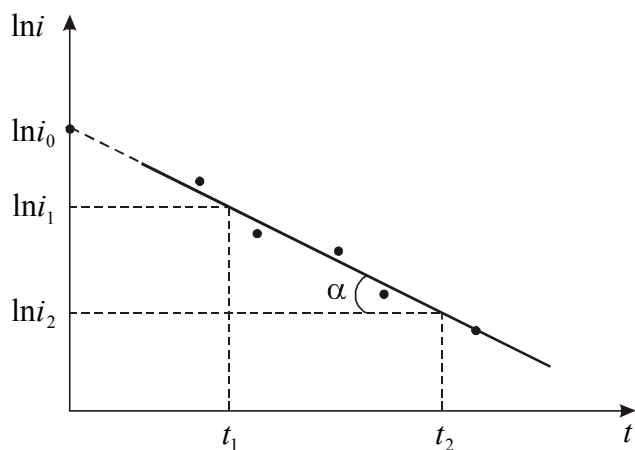


Рисунок 1

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\ln i_1 - \ln i_2}{t_1 - t_2}. \quad (8)$$

Из сопоставления формул (5) и (7) следует, что

$$\tau = RC = -\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (9)$$

Сопротивление R определяем, используя закон Ома

$$R = \frac{U}{i_0}, \quad (10)$$

где U – напряжение, установленное на конденсаторе;

i_0 – начальный ток разрядки.

Ток i_0 не может быть определен непосредственно, т.к. стрелка микроамперметра дает большой начальный отброс по инерции. Поэтому для нахождения i_0 экстраполируем график $\ln i = f(t)$, т.е. продолжаем его до пересечения с осью $\ln i$. Точка пересечения графика и оси дает значение $\ln i_0$. По найденному значению $\ln i_0$ определяем i_0 .

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Какой график необходимо построить по результатам работы?
4. Как определить значение тока i_0 ?
5. Запишите формулы, по которым Вы будете рассчитывать сопротивление, тангенс угла наклона прямой, время релаксации и емкость конденсатора.

Выполнение работы

1. Электрическая цепь (рис. 2) собрана и смонтирована на стенде. Включить схему в сеть.

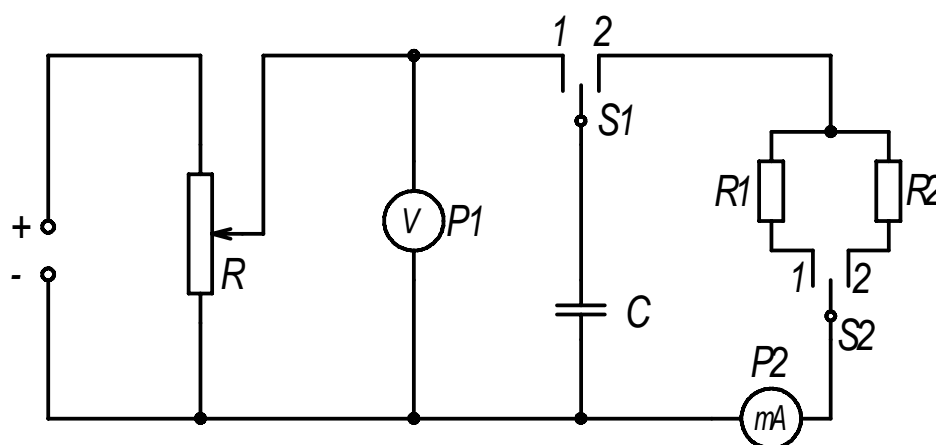


Рисунок 2

2. Переключатель V_1 на стенде (на схеме $S2$) установить в положение 1. При этом в цепь включается сопротивление $R1$.
3. Ручкой потенциометра R_n установить напряжение U_1 , указанное преподавателем.
4. Перевести переключатель V (на схеме $S1$) в положение 1, при этом производится зарядка конденсатора C .
5. Перевести переключатель V в положение 2, при этом конденсатор разряжается через сопротивление $R1$. Проследить за разрядом без включения секундомера.
6. Когда конденсатор разрядится, снова зарядить его, поставив переключатель V в положение 1.
7. Снять показания силы тока при разрядке конденсатора. Для этого перевести переключатель V в положение 2 и включить секундомер в тот момент, когда стрелка микроамперметра как бы приостановится после своего движения по инерции, а затем через каждые 5 секунд записывать показания силы тока.
8. Повторить измерения согласно п. 6, 7 еще два раза с тем же сопротивлением $R1$.
9. Аналогично провести измерения с другим сопротивлением $R2$, установив предварительно напряжение U_2 .

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать среднее значение силы тока по результатам каждого опыта и найти $\ln i$.
2. Построить графики $\ln i = f(t)$ для каждого сопротивления.
3. Используя графики, определить значения $\ln i_0$ (см. рис. 1) и рассчитать i_0 .
4. Рассчитать сопротивления $R1$ и $R2$ по формуле (10).
5. Используя графики и формулу (8), найти значение $\operatorname{tg}\alpha$, а затем вычислить значение времени релаксации τ для каждого случая.
6. Рассчитать емкость конденсатора, используя формулу (5). Найти среднее значение емкости.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какой процесс называется апериодическим?
2. При каком условии колебательный процесс переходит в апериодический?
3. Дайте определение времени релаксации.
4. Почему ток i_0 нельзя измерить непосредственно?
5. Дайте определение электроемкости. В каких единицах она измеряется?

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 71

Выполнил(а) _____

Группа _____

Таблица 1

Напряжение, установленное на конденсаторе $U_1 =$ _____

№ п/п	t , с	i_1 , мкА	i_2 , мкА	i_3 , мкА	i_{cp} , мкА	$\ln i$
1	5					
2	10					
3	15					
4	20					
5	25					
6	30					
7	35					
8	40					
9	45					
10	50					

Таблица 2

Напряжение, установленное на конденсаторе $U_2 =$ _____

№ п/п	t , с	i_1 , мкА	i_2 , мкА	i_3 , мкА	i_{cp} , мкА	$\ln i$
1	5					
2	10					
3	15					
4	20					
5	25					
6	30					
7	35					
8	40					
9	45					
10	50					

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа 72

ВЫНУЖДЕННЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ.
РЕЗОНАНС В КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ

Цель работы – построить резонансные кривые, изучить условия, при которых наблюдается резонанс напряжений, определить резонансную частоту и индуктивность колебательного контура.

Приборы и принадлежности: генератор звуковой частоты, микроамперметр, колебательный контур.

Общие положения

Чтобы вызвать вынужденные колебания в колебательном контуре, нужно включить последовательно с элементами переменную ЭДС

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cos \Omega t, \quad (1)$$

где ε_0 – амплитудное значение ЭДС,

Ω – частота вынуждающей ЭДС.

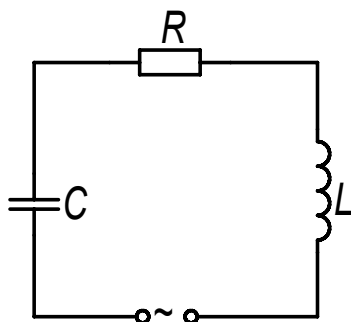


Рисунок 1

Для замкнутого контура (рис. 1) сумма падений напряжений на емкости и активном сопротивлении равна сумме ЭДС самоиндукции, возникающей в катушке, и приложенной ЭДС:

$$\frac{q}{C} + iR = -L \frac{di}{dt} + \varepsilon_0 \cos \Omega t \quad (2)$$

По определению $i = \frac{dq}{dt}$, а $\frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2}$.

Сделав замену в уравнении (2) и разделив его почленно на индуктивность L , получим:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dq}{dt} + \frac{1}{LC} q = \frac{\varepsilon_0}{L} \cos \Omega t \quad (3)$$

Введем обозначения:

$$\frac{R}{L} = 2\beta, \quad (4)$$

где β – коэффициент затухания;

$$\frac{1}{LC} = \omega_0^2, \quad (5)$$

где ω_0 – собственная частота колебаний колебательного контура.

Тогда:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + 2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = \frac{\varepsilon_0}{L} \cos \Omega t \quad (6)$$

Уравнение (6) является дифференциальным уравнением вынужденных электромагнитных колебаний. При установившихся вынужденных колебаниях решение уравнения (6) имеет вид:

$$q(t) = q_0 \cos(\Omega t - \varphi) \quad (7)$$

Сила тока в колебательном контуре при установившихся колебаниях

$$i = \frac{dq}{dt} = -q_0 \Omega \sin(\Omega t - \varphi) = i_0 \cos(\Omega t - \psi), \quad (8)$$

где $i_0 = q_0 \Omega$ – амплитуда силы тока,

$\psi = \varphi - \pi/2$ – сдвиг фаз между током и приложенной эдс.

Можно показать, что амплитудное значение силы тока

$$i_0 = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{R^2 + \left(\Omega L - \frac{1}{\Omega C}\right)^2}}. \quad (9)$$

Резонансом называется явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний при стремлении частоты вынуждающей эдс к собственной частоте ω_0 колебательного контура. Из формулы (9) следует, что амплитуда силы тока в колебательном контуре достигает максимального значения, если

$$\Omega L - \frac{1}{\Omega C} = 0. \quad (10)$$

Циклическая частота $\Omega_{\text{рез}}$, соответствующая максимальному значению силы тока в колебательном контуре, называется резонансной. Из формулы (10):

$$\Omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (11)$$

Из сравнения формул (11) и (5) можно сделать вывод, что резонанс в колебательном контуре наступает при совпадении частоты вынуждающей эдс с собственной частотой колебательного контура.

Рассмотренный в работе случай резонанса называют резонансом напряжений, т.к. при этом падения напряжений U_C на емкости и U_L на катушке равны по величине и противоположны по знаку.

Экспериментально в работе измеряют не циклическую частоту Ω , а линейную ν . Учитывая, что $\Omega = 2\pi\nu$, из формулы (11) можно получить выражение для расчета общей индуктивности контура :

$$L = \frac{1}{4\pi^2 \nu_{\text{рез}}^2 C} \quad (12)$$

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка (рис. 2) состоит из колебательного контура, набора резисторов, микроамперметра, размещенных на монтажной панели. Колебательный контур подключается к генератору звуковых колебаний, который служит источником переменной эдс. Активное сопротивление контура можно менять с помощью переключателя.

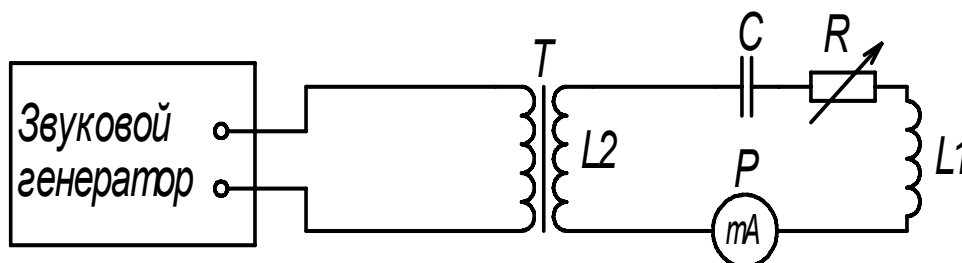


Рисунок 2

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины измеряются в работе непосредственно?
3. Нарисуйте схему колебательного контура, в котором возникают вынужденные электромагнитные колебания.
4. Какой график надо построить по результатам эксперимента?
5. Запишите формулу, по которой в этой работе рассчитывается общая индуктивность контура. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Записать значения емкости C конденсатора и сопротивлений резисторов R_1 , R_2 , R_3 .
2. Подключить колебательный контур к звуковому генератору.
3. Включить звуковой генератор в сеть и дать ему прогреться 2-3 минуты.
4. Переключателем сопротивлений установить наименьшее значение сопротивления R_1 .
5. Ручку «усиление» генератора установить в среднее положение.
6. Множитель частоты генератора установить на «x1».
7. Вращая ручку лимба генератора найти приблизительный интервал частот, на котором ток возрастает, достигает максимального значения с последующим спадом. Если стрелка микроамперметра зашкаливает, то уменьшить усиление. Если на данном множителе максимальное значение силы тока не достигается, то перейти на множитель «x10».
8. Установить на лимбе генератора начальное значение частоты найденного интервала. Записать в таблицу значение частоты ν и соответствующее ему значение силы тока i .

9. Изменяя частоту генератора в выбранном пределе, записывать соответствующие ей показания микроамперметра, сняв 10-12 точек.
10. Произвести измерения согласно п.п. 8, 9 при других активных сопротивлениях (R_2 и R_3). Ручку «усиление» не трогать!

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Построить графики зависимости $i = f(\nu)$ для каждого сопротивления на одних координатных осях.
2. Определить из графиков частоту $\nu_{\text{рез}}$, при которой ток достигает максимального значения (резонансную частоту).
3. Рассчитать общую индуктивность контура по формуле (12).

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Запишите дифференциальное уравнение вынужденных электромагнитных колебаний в колебательном контуре. Запишите его решение.
2. В чем состоит явление резонанса в колебательном контуре?
3. Запишите формулу, по которой рассчитывается собственная частота колебаний в контуре.
4. Проанализируйте графики и сделайте вывод о том, как зависит максимальное значение силы тока от величины активного сопротивления контура.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 72

Выполнил(а) _____

Группа _____

Емкость конденсатора $C =$ _____

№ п/п	ν , Гц	$R_1=$	$R_2=$	$R_3=$
		i_1 , мкА	i_2 , мкА	i_3 , мкА
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №80

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШАГА НАРЕЗКИ ЛАЗЕРНОГО ДИСКА

Цель работы – определить длину волны излучения полупроводникового инжекционного лазера, рассчитать шаг нарезки лазерного диска.

Приборы и принадлежности: оптическая скамья, инжекционный полупроводниковый лазер с сетевым блоком питания, дифракционная решетка, фрагмент лазерного диска.

Общие положения

Большую часть лазерного диска занимает основа, созданная из прозрачного поликарбоната. При изготовлении основы методом штамповки на нее наносится информационный узор. В результате получается пластиковая пластина. С одной стороны она гладкая, а с другой на нее нанесено множество микроскопических углублений. Далее на основу напыляется отражающий металлический слой. Для этих целей чаще всего используется алюминий. Сверху диск покрывают защитным слоем тонкой пленки поликарбоната или специального лака. Записываемые и перезаписываемые компакт-диски имеют еще один дополнительный слой. У них основа не имеет информационного узора, но между основой и отражающим слоем расположен регистрирующий слой. Он может менять прозрачность под воздействием высокой температуры. При записи лазер разогревает заданные участки регистрирующего слоя, создавая информационный узор. Участки регистрирующего слоя, к которым было применено температурное воздействие, темнеют. В качестве материала для регистрирующего слоя используют сложные органические соединения (цианин, фталоцианин).

Как штампованные, так и записываемые или перезаписываемые компакт-диски, имеют одинаковую структуру хранения информации (рис. 1). Информация на диске записывается в виде спиральной дорожки из питов (pit (англ.) – углубление), выдавленных в поликарбонатной основе. Каждый пит имеет примерно 100 нм в глубину и 500 нм в ширину. Длина пита варьируется от 850 нм до 3,5 мкм. Промежутки между питами называются лендом (land (англ.) – пространство, основа). Шаг дорожек в спирали составляет 1,6 мкм.

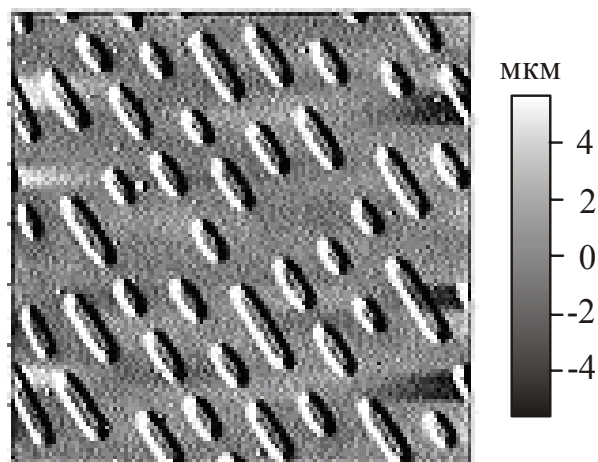


Рисунок 1

С точки зрения волновой оптики лазерный диск представляет собой одномерную штриховую отражательную дифракционную решетку.

При освещении решетки нормально падающим параллельным пучком монохроматического света максимумы дифракции наблюдаются при выполнении следующего условия:

При освещении решетки нормально падающим параллельным пучком монохроматического света максимумы дифракции наблюдаются при выполнении следующего условия:

$$d \sin \varphi = m\lambda. \quad (1)$$

где d – период решетки (постоянная решетки), λ – длина волны, φ – угол дифракции, $m=0, 1, 2, 3 \dots$ – порядок максимума.

Описание установки и методики эксперимента

Оптическая скамья представляет собой линейку с делениями. На этой линейке помещается экран со шкалой. Дифракционная решетка устанавливается в держателе на торце линейки. Блок питания лазера включается на 220 В, мощность излучения не превышает 1 мВт. Установка работает в двух режимах.

Первый режим соответствует работе со штриховой дифракционной решеткой. Для этого лазер с блоком питания размещается перед дифракционной решеткой. Если пропустить свет через дифракционную решетку, то кроме изображения щели на шкале можно увидеть симметрично расположенные максимумы (рис. 2). Каждый максимум находится на определенном расстоянии l от центрального максимума. Это расстояние измеряется по шкале AB . Расстояние от решетки D до шкалы обозначим через L .

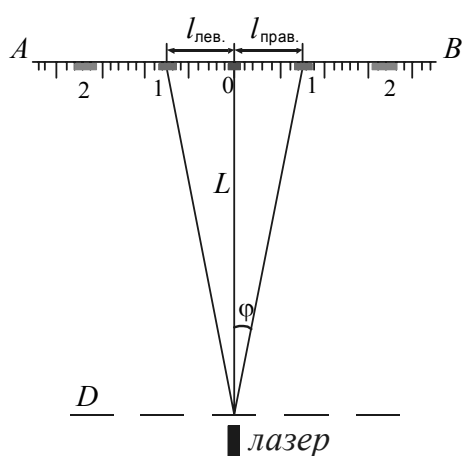


Рисунок 2

Синус угла дифракции можно определить, измерив расстояния L и l :

$$\sin \varphi = \sqrt{\frac{l^2}{l^2 + L^2}} \quad (2)$$

Сделав замену в (1), получим формулу для расчета длины волны излучения полупроводникового лазера:

$$\lambda = \frac{d}{m} \sqrt{\frac{l^2}{l^2 + L^2}}. \quad (3)$$

Второй режим соответствует работе с фрагментом лазерного диска, который используется в качестве отражательной штриховой дифракционной решетки. Для этого оптическая скамья разворачивается на 180° и производится юстировка так, чтобы лазерный луч проходил через щель в экране и падал на фрагмент лазерного диска. Дорожки записи на диске в зоне падения луч должны быть ориентированы вертикально. Расстояние между держателем решетки и экраном нужно сократить со 150 мм до 45–50 мм, чтобы дифракционный спектр от фрагмента лазерного диска не выходил за пределы экрана. Шаг нарезки диска (постоянная отражательной решетки) рассчитывается по формуле:

$$d = m\lambda \cdot \sqrt{\frac{l^2 + L^2}{l^2}}. \quad (4)$$

Внимание! Направлять луч в глаза или сканировать им по лаборатории категорически запрещается, так как возможны ожоги сетчатки глаза.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать длину волны, Поясните смысл обозначений.
4. Запишите формулу, по которой рассчитывается шаг нарезки диска (постоянная отражательной решетки).

Выполнение работы

Задание 1. Определение длины волны излучения полупроводникового лазера

1. Записать значение постоянной решетки, указанное на решетке. Значение дано в мм. Закрепить дифракционную решетку в держателе на переднем торце линейки.
2. Лазер разместить перед решеткой. Включить лазер. Перемещая экран вдоль линейки (расстояние между решеткой и экраном установить порядка 100–150 мм), получить четкое изображение дифракционной картины. Измерить расстояние L от решетки до экрана.
3. Измерить расстояние от центрального максимума до первого левого l' и первого правого l'' дифракционных максимумов (см. рис. 2).
4. Выполнить измерения для 2-го и 3-го максимумов.
5. Изменить расстояние между решеткой и экраном на несколько сантиметров. Повторить измерения согласно п. 2, 3, 4.

Задание 2. Определение шага нарезки лазерного диска

1. Заменить решетку фрагментом лазерного диска. Дорожки записи в зоне попадания лазерного луча должны быть ориентированы вертикально.
2. Развернуть оптическую скамью на 180° . Отрегулировать положение установки таким образом, чтобы лазерный луч проходил через щель в экране и падал на фрагмент лазерного диска.
3. Уменьшить расстояние L между держателем решетки и экраном до 50 мм. Получить четкое изображение дифракционной картины. Измерить расстояние L от решетки до экрана.
4. Измерить расстояние от центрального максимума до первого левого l' и первого правого l'' дифракционных максимумов (см. рис. 2).
5. Выполнить измерения для 2-го максимума.
6. Уменьшить расстояние L между держателем решетки и экраном на 1-2 см. Повторить измерения согласно п. 4, 5.
7. Выключить лазер.

Оформление отчета

1. Расчеты

Задание 1

1. Рассчитать среднее значение $l = \frac{l' + l''}{2}$ для каждого максимума.
2. Рассчитать длину волны по формуле (3) для каждого максимума.
3. Найти среднее значение длины волны.
4. Рассчитать абсолютную погрешность как для прямых измерений.
5. Найти относительную погрешность измерений. Результаты представить в стандартном виде:

$$\lambda = \lambda_{\text{ср}} \pm \Delta\lambda$$

Задание 2

1. Рассчитать среднее значение $l = \frac{l' + l''}{2}$ для каждого максимума.
2. Рассчитать шаг нарезки диска по формуле (4) для каждого максимума, используя найденное среднее значение длины волны.
3. Найти среднее значение шага нарезки диска.
4. Рассчитать абсолютную погрешность как для прямых измерений.
5. Найти относительную погрешность измерений. Результаты представить в стандартном виде:

$$d = d_{\text{ср}} \pm \Delta d$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какое явление изучалось в данной работе? В чем оно заключается?
2. Какой прибор Вы использовали для наблюдения этого явления? Что он собой представляет?
3. Запишите условие, при выполнении которого будут наблюдаться главные дифракционные максимумы. Поясните смысл обозначений.
4. Какой вид будет иметь дифракционная картина, если решетку освещать белым светом?
5. Сравните полученное экспериментально значение шага нарезки диска с реальным значением. Сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 80

Выполнил(а) _____

Группа _____

Задание 1

Постоянная дифракционной решетки $d =$ _____

№ п/п	Номер m максимума	L , мм	l' , мм	l'' , мм	l , мм	λ , нм
1						
2						
3						
4						
Среднее						

Задание 2

№ п/п	Номер m максимума	L , мм	l' , мм	l'' , мм	l , мм	d , мкм
1						
2						
3						
4						
Среднее						

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №81

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ СВЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЛАМПОЧКИ И ИЗУЧЕНИЕ ЕЁ СВЕТОВОГО ПОЛЯ

Цель работы – определить силу света электрической лампочки и исследовать её световое поле.

Приборы и принадлежности: оптическая скамья; ползунок с диском, разделенным на градусы и электрической лампочкой; ползунок с фотоэлементом, люксметр, гальванометр зеркальный, источник питания.

Общие положения

Раздел оптики, в котором рассматриваются вопросы измерения энергии, переносимой электромагнитными волнами оптического диапазона, называется фотометрией. Переносимую световую энергию характеризуют световым потоком, силой света и освещенностью.

Наш глаз воспринимает из всего диапазона электромагнитных волн лишь

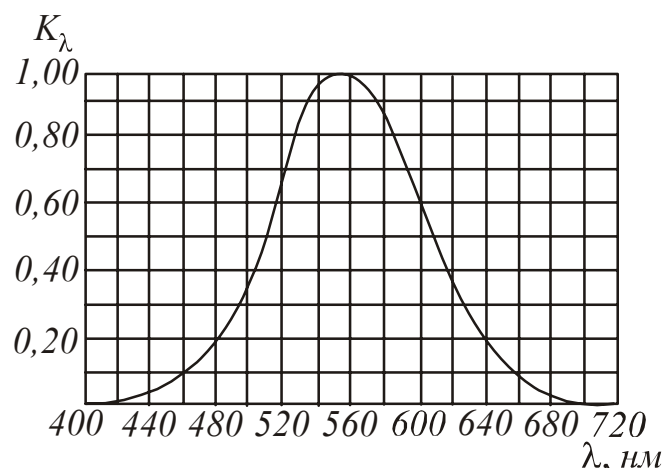


Рисунок 1

узкий участок, называемый видимым светом. Этому участку соответствуют длины волн от 380 нм до 760 нм. Чувствительность глаза к свету с разными длинами волн не одинакова. Она имеет максимум при $\lambda=555$ нм (зеленая часть спектра) и быстро падает к нулю при удалении от этого максимума (рис. 1). На этом графике по горизонтальной оси отложена длина волны λ , по вертикальной – относительная спектральная чувствительность глаза K_λ .

Относительная спектральная чувствительность K_λ – это отношение чувствительности при данной длине волны к чувствительности при $\lambda=555$ нм. Для этой длины волны K_λ равна единице. При том же потоке энергии оцениваемая зрительно интенсивность света для других волн оказывается меньшей. Соответственно, K_λ для этих длин волн меньше единицы.

В связи с такими особенностями глаза количественные характеристики световых пучков оцениваются не по энергии, которую они переносят, а по зрительному ощущению.

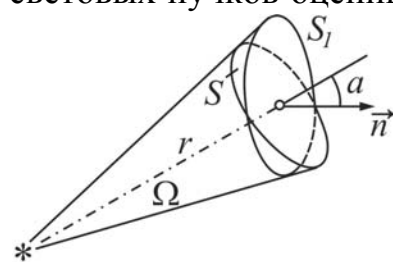


Рисунок 2

Введем понятие телесного угла.

Телесный угол – это угол, образованный конической поверхностью и численно равный отношению площади S , вырезаемой этим конусом на поверхности сферы радиусом r , к квадрату радиуса этой сферы (рис. 2):

$$\Omega = \frac{S}{r^2}. \quad (1)$$

Телесный угол измеряется в стерadians (ср).

Если телесный угол опирается на некоторую площадку S_1 , нормаль к которой составляет угол α с радиусом (см. рис. 2), то

$$\Omega = \frac{S_1 \cos \alpha}{r^2}. \quad (2)$$

Полный телесный угол вокруг точки равен 4π стерadians.

Для характеристики интенсивности света с учетом его способности вызывать зрительное ощущение вводится величина Φ , называемая световым потоком.

Световой поток (Φ) – это физическая величина, равная мощности видимой части излучения, распространяющейся внутри данного телесного угла и оцениваемая по действию этого излучения на нормальный глаз.

Полный световой поток равен

$$\Phi = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} K_{\lambda} d\Phi_{\lambda}. \quad (3)$$

где $d\Phi_{\lambda}$ – поток энергии, излучаемый в интервале длин волн от λ_1 до λ_2 .

Источник света, размерами которого можно пренебречь по сравнению с расстоянием от места наблюдения до источника, называется точечным. Точечные источники характеризуют силой света.

Сила света (I) точечного источника в данном направлении – физическая величина, равная световому потоку, приходящемуся на единицу телесного угла:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}. \quad (4)$$

Сила света измеряется в канделах (кд).

Если точечный источник излучает равномерно по всем направлениям, то он называется изотропным. Для изотропного источника выполняется следующее соотношение:

$$I = \frac{\Phi}{4\pi}, \quad (5)$$

где Φ – полный световой поток, излучаемый источником. На основании этого соотношения вводится единица измерения светового потока – люмен.

Люмен (лм) равен световому потоку, излучаемому изотропным источником с силой света в 1 кд в пределах телесного угла в 1 стерadians.

Освещенность (E) – физическая величина, равная отношению светового потока к площади освещаемой поверхности:

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (6)$$

Освещенность измеряется в люксах (лк).

Люкс (лк) – это освещенность, создаваемая световым потоком 1 лм, равномерно распределенным на площади 1 м².

Если поверхность освещается точечным источником, то освещенность в каждой точке поверхности может быть различной. Ее можно выразить через силу света I , расстояние r от поверхности и угол α между нормалью к поверхности \vec{n} и направлением на источник:

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2}. \quad (7)$$

Записанное соотношение называется законом обратных квадратов.

Из (7) можно найти силу света источника:

$$I = \frac{E r^2}{\cos \alpha}. \quad (8)$$

Описание экспериментальной установки

Оптическая скамья представляет собой две металлические штанги, на которых установлены ползунки. На одном ползунке находятся диск, с нанесенной градусной шкалой, и электрическая лампочка во вращающемся патроне; на другом – фотоэлемент. Ползунки снабжены указателями, позволяющими определять их положение по шкале скамьи.

Свет от лампочки, световое поле которой изучается, попадает на фотоэлемент. Возникающий при этом фототок измеряется зеркальным гальванометром. Освещенность фотоэлемента измеряется люксметром. Изменяя расстояние между фотоэлементом и лампочкой, или поворачивая ее, можно изменить освещенность фотоэлемента. Необходимо учитывать, что измеряемая освещенность фотоэлемента складывается из освещенности E , создаваемой лампочкой, и освещенности, создаваемой другими внешними источниками. Ее мы назовем фоновой и обозначим $E_{\text{фон}}$. Тогда освещенность, создаваемую лампочкой в каждом опыте, можно рассчитать по формуле:

$$E = E_i - E_{\text{фон}}, \quad (9)$$

где E_i – измеренное значение освещенности.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать силу света. Поясните смысл обозначений.
4. Какой график надо построить по результатам работы?

Выполнение работы

Задание 1. Определение силы света электрической лампочки

1. Установить указатель диска на ползунке с лампочкой на 0°. (При этом $\alpha=0^\circ$).
2. Установить между лампочкой и фотоэлементом расстояние r_1 , равное 20 см.
3. Измерить освещенность фотоэлемента $E_{\text{фон}}$ при выключенной лампочке.

4. Включить лампочку и измерить освещенность E_1 фотоэлемента с помощью люксметра.
5. Увеличить расстояние r между лампочкой и фотоэлементом на 5 см, передвинув лампочку, и измерить освещенность E_2 фотоэлемента.
6. Повторить измерения еще три раза согласно п. 5, увеличивая расстояние между лампочкой и фотоэлементом на 5 см.

Задание 2. Исследование светового поля электрической лампочки

Световое поле представляет собой полярную диаграмму распределения силы света по различным направлениям. При изучении светового поля лампочки накаливания ее нельзя считать точечным источником света, так как спираль имеет форму цилиндра, расположенного горизонтально.

Сила тока, протекающего через фотоэлемент, прямо пропорциональна освещенности. В свою очередь освещенность прямо пропорциональна силе света источника. Поэтому полярная диаграмма распределения силы тока воспроизводит диаграмму распределения силы света, но в другом масштабе.

1. Установить лампочку на расстояние $r=20$ см от фотоэлемента. Указатель диска установить на 0° . Открыть фотоэлемент и произвести отсчет силы тока по шкале гальванометра.
2. Поворачивая лампочку так, чтобы указатель диска стоял на 10° , 20° , 30° и т.д. до 360° , и каждый раз открывая фотоэлемент, произвести отсчет силы тока по шкале гальванометра (расстояние между лампочкой и фотоэлементом должно быть постоянным).

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Вычислить силу света I лампочки по формуле (8) по результатам каждого опыта ($\cos 0^\circ=1$), подставляя в нее значения освещенности, найденные по формуле (9).
2. Найти среднее значение силы света лампочки.
3. Начертить в полярных координатах кривую зависимости силы тока от угла поворота лампочки, откладывая по радиус-вектору силу тока.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какими физическими величинами можно охарактеризовать энергию, переносимую электромагнитными волнами?
2. Дайте определение светового потока. Запишите соответствующую формулу. В каких единицах он измеряется?
3. Дайте определение силы света. Запишите соответствующую формулу. В каких единицах она измеряется?
4. Дайте определение освещенности. Запишите соответствующую формулу. В каких единицах она измеряется?

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 81

Выполнил(а) _____

Группа _____

Задание 1

Фоновая освещенность $E_{\text{фон}} =$ _____

№ п/п	r , см	E_i , лк	E , лк	I , кд
1				
2				
3				
4				
5				
среднее				

Задание 2

Расстояние между лампочкой и фотоэлементом $r =$ _____

α°	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
i , дел										

α°	100	110	120	130	140	150	160	170	180
i , дел									

α°	190	200	210	220	230	240	250	260	270
i , дел									

α°	280	290	300	310	320	330	340	350	360
i , дел									

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №82

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ ЛИНЗЫ И
ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

Цель работы – ознакомиться с явлением интерференции света в тонких пленках на примере колец Ньютона, определить радиус кривизны линзы, определить длину световой волны.

Приборы и принадлежности; плоская стеклянная пластинка, плосковыпуклая линза, осветитель, микрометрический винт, светофильтры.

Общие положения

Интерференция – это процесс наложения когерентных волн, в результате которого происходит перераспределение энергии волнового поля, т.е. образуются чередующиеся светлые (максимумы) и темные (минимумы) участки интерференционной картины.

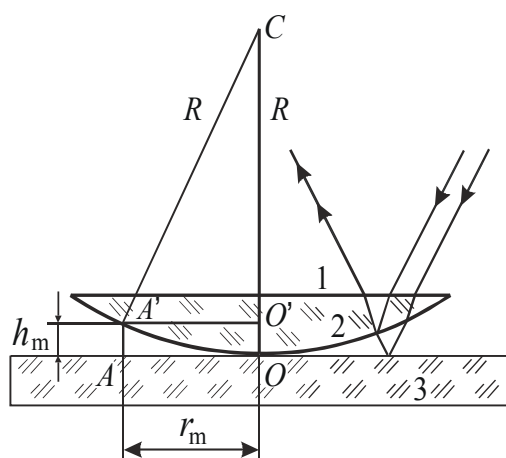


Рисунок 1

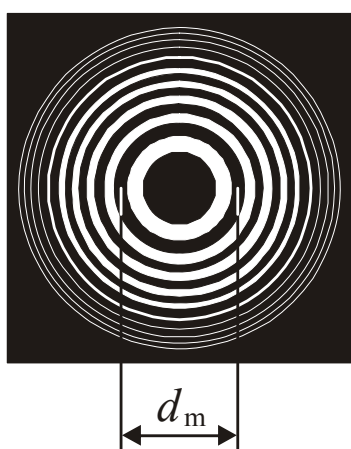


Рисунок 2

Когерентные волны – это волны, имеющие одинаковую частоту и проходящие в данную точку пространства с постоянной разностью фаз.

Интерференцию можно наблюдать при падении световой волны на тонкую прозрачную пластинку (или пленку). При отражении света от обеих поверхностей пластинки возникают две когерентные световые волны, которые могут интерферировать. Примером интерференции в тонких пленках являются кольца Ньютона.

В нашей установке кольца Ньютона образуются при интерференции световых волн, отраженных от границ тонкой воздушной прослойки, заключенной между выпуклой поверхностью линзы и плоской стеклянной пластинкой (рис. 1). Если на линзу падает пучок монохроматического света, то световые волны, отраженные от верхней и нижней границ воздушной прослойки, будут интерферировать между собой. При этом получается следующая картина: в центре – темное пятно, окруженное светлыми и темными концентрическими кольцами убывающей ширины

(рис. 2).

Рассчитаем размеры колец Ньютона в отраженном свете. Интерференция происходит между волнами, отраженными от верхней и нижней поверхностей воздушной прослойки. Для вычисления разности фаз надо учитывать не только разность хода внутри воздушной прослойки, но также и изменение фазы вектора напряженности электрического поля при отражении от оптически более плотной среды, т.е. на границе воздух – стекло. Это изменение приводит к появлению дополнительной разности фаз π . В результате приобретает дополнительную разность хода $\lambda/2$.

Оптическая разность хода лучей, отраженных от двух поверхностей, в соответствии с формулой тонкой пленки будет равна

$$\Delta = 2h_m \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2}, \quad (1)$$

где h_m – толщина пленки (толщина воздушного зазора) там, где наблюдается кольцо с номером m ;

n – показатель преломления пленки ($n=1$, т.к. прослойка воздушная);

α – угол падения лучей ($\alpha=0$, т.к. свет направлен перпендикулярно поверхности линзы).

Из треугольника $A'O'C$ (см. рис. 1) найдем величину h_m , используя теорему Пифагора (выполните это самостоятельно):

$$h_m = \frac{r_m^2}{2R}, \quad (2)$$

где r_m – радиус кольца, имеющего номер m ;

R – радиус кривизны линзы.

Темное кольцо (минимум интерференции) наблюдается, если выполняется следующее условие:

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (3)$$

Из формул (1), (2), (3) получим:

$$r_m = \sqrt{mR\lambda}. \quad (4)$$

Из формулы (4) можно определить R (или λ), но, так как вследствие упругой деформации стекла невозможно добиться идеального соприкосновения сферической линзы и плоской пластинки в одной точке, то правильный результат получится, если вычислять R (или λ) по разности радиусов двух колец r_m и r_n . Окончательная формула будет иметь следующий вид:

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m - n)\lambda}. \quad (5)$$

Для расчетов это выражение удобнее переписать так:

$$R = \frac{(d_m - d_n)(d_m + d_n)}{4(m - n)\lambda}, \quad (6)$$

где d_m и d_n – диаметры колец, m и n – соответствующие им номера колец.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать радиус линзы. Поясните смысл обозначений.
4. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать длину световой волны. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

Задание 1.

Определение радиуса кривизны линзы

1. Включить осветитель в сеть. Установить красный светофильтр ($\lambda=660$ нм).
2. Перемещая линзу, добиться хорошей видимости колец Ньютона. В центре должно наблюдаться темное пятно.
3. Измерить диаметр первого темного кольца. Для этого указатель поочередно навести на диаметрально противоположные точки кольца (см. рис. 2) и снять отсчеты N_1 и N_2 по микрометрическому винту.
4. Измерить диаметры пяти темных колец согласно п. 3.

Задание 2.

Определение длины световой волны

1. Заменить красный светофильтр на зеленый.
2. Измерить диаметры пяти темных колец согласно п. 2, 3 упражнения 1.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать диаметр кольца равен как разность отсчетов:

$$d = |N_1 - N_2|.$$

2. Рассчитать радиус кривизны линзы по формуле (6) пять раз. Найти среднее значение радиуса.
3. Рассчитать пять раз длину световой волны, используя найденное значение радиуса кривизны линзы и формулу (6). Найти среднее значение длины волны.
4. Рассчитать абсолютную погрешность как для прямых измерений.
5. Найти относительную погрешность измерений. Результат представить в стандартном виде:

$$\lambda = \lambda_{cp} \pm \Delta\lambda$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какое явление изучалось в данной работе? В чем оно заключается?
2. Какие волны называются когерентными?
3. Запишите формулу тонкой пленки. Поясните смысл обозначений.
4. Поясните рисунком, какие лучи интерферируют.
5. Сравните полученное экспериментально значение длины волны с табличным значением и сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 82

Выполнил(а) _____

Группа _____

Задание 1

Длина волны красного светофильтра $\lambda =$ _____

№ п/п	Номер кольца	N_1	N_2	d , мм	R , м
1					
2					
3					
4					
5					
среднее					

Задание 2

Цвет светофильтра _____

№ п/п	Номер кольца	N_1	N_2	d , мм	λ , нм
1					
2					
3					
4					
5					
среднее					

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №83

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ
ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ НА ГОНИОМЕТРЕ

Цель работы – ознакомиться с явлением дифракции на дифракционной решетке, определить длину волны двух светофильтров.

Приборы и принадлежности: гониометр, дифракционная решетка, светофильтры, источник света.

Общие положения

Дифракция – это огибание светом препятствий, размеры которых соизмеримы с длиной волны. Явление дифракции можно наблюдать с помощью дифракционной решетки.

Дифракционная решетка – это спектральный прибор, предназначенный для разложения света в спектр и измерения длин волн. Она представляет собой плоскую стеклянную пластинку, на которую с помощью делительной машины через строго одинаковые интервалы наносят параллельные штрихи. Промежутки между штрихами прозрачны для световых лучей и играют роль щелей. Штрихи рассеивают лучи и, поэтому, являются непрозрачными. В учебных лабораториях применяют отпечатки таких решеток, изготовленные из специальной пластмассы. Их называют репликами. Основным параметром решетки является расстояние между соседними штрихами, называемое периодом решетки d (постоянной решетки) (рис. 1):

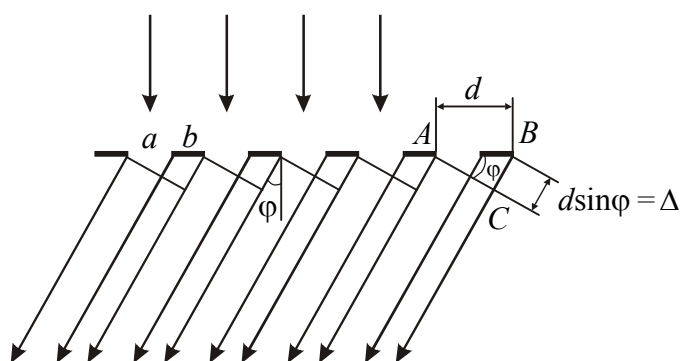


Рисунок 1

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

где a – ширина щели,

b – размер препятствия.

Пусть световая волна падает на решетку нормально (т.е. перпендикулярно ее поверхности). Из каждой щели выходят лучи по всем направлениям. Выберем из множества лучей те, которые отклонились на угол φ от первоначального направления. Угол φ называется углом дифракции. С помощью линзы эти лучи можно собрать в одну точку на экране. Так как в эту точку лучи приходят с некоторой разностью хода, то будет наблюдаться их интерференция.

Для того, чтобы наблюдался максимум интерференции, должно выполняться условие:

$$\Delta = 2m \frac{\lambda}{2}, \quad (2)$$

где Δ – разность хода лучей, λ – длина волны, $m=1, 2, 3 \dots$ – порядок максимума.

Из прямоугольного треугольника ABC (см. рис. 1) можно найти разность хода лучей:

$$\Delta = d \sin \varphi. \tag{2}$$

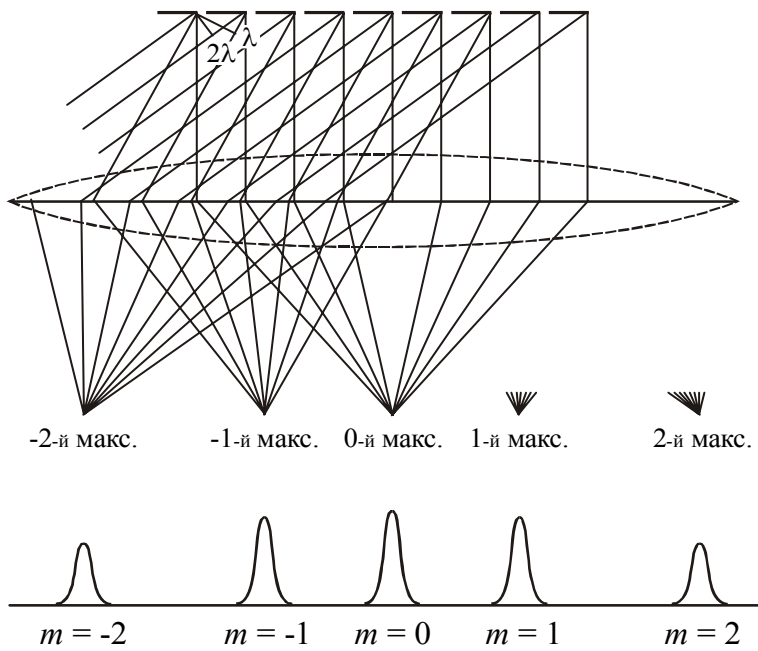


Рисунок 2

Приравняв выражения (1) и (2), получим условие главных максимумов для дифракционной решетки:

$$d \sin \varphi = m\lambda. \tag{3}$$

Дифракционную картину получают на экране, который располагают в фокальной плоскости собирающей линзы (рис. 2). Дифракционная картина будет иметь вид узких светлых полос, разделенных темными промежутками. Центральный максимум

($m=0$) имеет наибольшую интенсивность. Все другие располагаются симметрично относительно центрального максимума справа и слева. По мере удаления от центра их интенсивность уменьшается.

Зная период решетки d , угол дифракции φ и порядковый номер m максимума, можно по уравнению (3) найти длину волны:

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{m}. \tag{5}$$

Описание экспериментальной установки

Для определения углов, под которыми наблюдаются дифракционные максимумы, в данной работе используется гониометр. Гониометр является оптическим контрольно-измерительным прибором лабораторного типа и позволяет производить измерения углов. Гониометр состоит из зрительной трубы, коллиматора и угломерной отсчётной системы. Схема установки представлена на рис. 3.

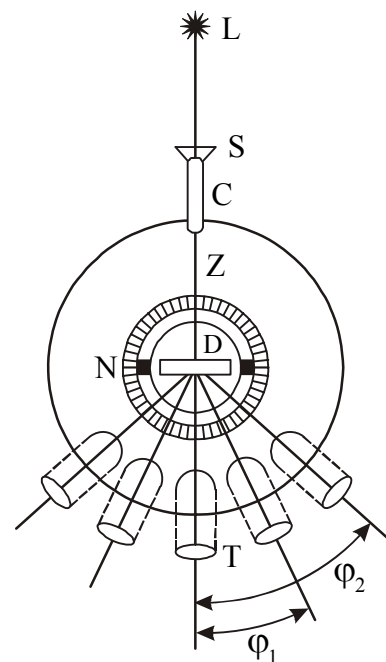


Рисунок 3

Перед щелью S коллиматора C помещается источник света L . Щель коллиматора находится в главном фокусе линзы Z . Вышедшие из линзы лучи идут параллельным пучком и попадают на дифракционную решетку D .

Зрительная труба T гониометра наведена на бесконечность. Вначале зрительную трубу поворачивают так, чтобы ее оптическая ось совпала с оптической осью коллиматора C , при этом освещенное изображение щели совпадает с визирной нитью зрительной трубы. Затем вращают трубу, например, вправо до тех пор, пока с визирной нитью не совместится линия спектра первого, второго и т.д. порядков. Отсчет углов производится по нониусу N . В данной модели гониометра имеется два нониуса. Отсчёты можно производить по любому нониусу,

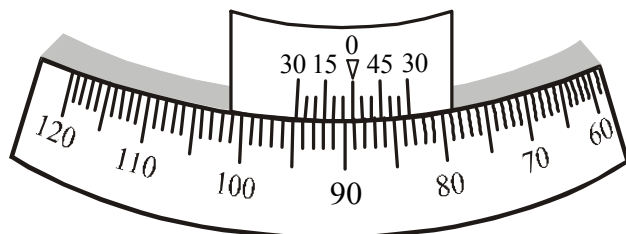


Рисунок 4

но всегда по одному и тому же. Цена деления основной шкалы 1° , цена деления нониуса $5'$.

Отсчет показаний при помощи нониуса поясняется рис. 4. На рисунке показано положение шкалы и нониуса, соответствующее отсчету $89^\circ 10'$ (нуль нониуса расположен левее нуля шкалы на 89 полных делений, и в левой части нониуса с одним из делений шкалы совмещается его второе деление).

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать длину волны. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Включить установку в сеть.
2. Установить зрительную трубу так, чтобы видеть изображение щели коллиматора и визирной нити. Для этого путем вращения окуляра добиваются резкого изображения визирной нити, а перемещением окулярной части – четкого изображения щели.
3. Установить светофильтр перед щелью.
4. Записать значение постоянной решетки, указанное на решетке. Значение дано в мм.
5. Установить решетку на столике гониометра перпендикулярно оси коллиматора, штрихи решетки должны быть параллельны щели.
6. Навести визирную нить на середину нулевого максимума для данного светофильтра. Отсчитать по нониусу угловое положение трубы φ_0 .

7. Повернуть зрительную трубу вправо так, чтобы с визирной нитью совместились линия спектра первого порядка. Снять отсчет по гониометру $\varphi_{1\text{пр}}$.
8. Повернуть зрительную трубу вправо дальше так, чтобы с визирной нитью совместились линия спектра второго порядка. Снять отсчет по гониометру $\varphi_{2\text{пр}}$. Аналогично снять отсчеты для максимумов третьего и т.д. порядков, если они наблюдаются.
9. Повернуть зрительную трубу влево от нулевого максимума так, чтобы с визирной нитью совместились линия спектра первого порядка. Снять отсчет по гониометру $\varphi_{1\text{лев}}$. Аналогично снять отсчеты для максимумов второго, третьего и т.д. порядков, если они наблюдаются.
10. Провести измерения для другого светофильтра согласно п. 5,6,7.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать левые и правые углы дифракции $\varphi = |\varphi_0 - \varphi_i|$ для каждого порядка дифракции (φ_i – отсчеты по гониометру).
2. По формуле (5) вычислить длины волн.
3. Найти среднее значение длины волны для каждого светофильтра.
4. Рассчитать абсолютную погрешность как для прямых измерений.
5. Рассчитать относительную погрешность измерений.
6. Записать окончательный результат для каждой длины волны в стандартном виде:

$$\lambda = \lambda_{\text{ср}} \pm \Delta\lambda$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какое явление изучалось в данной работе? В чем оно заключается?
2. Какой прибор Вы использовали для наблюдения этого явления? Что он собой представляет?
3. Нарисуйте ход лучей через дифракционную решетку. Укажите на рисунке период решетки, угол дифракции, оптическую разность хода лучей. Запишите условие, при выполнении которого будут наблюдаться главные максимумы.
4. Сравните полученные экспериментально значения длин волн с табличными значениями и сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 83

Выполнил(а) _____

Группа _____

Постоянная дифракционной решетки $d =$ _____

Таблица 1

Цвет светофильтра _____

№ п/п	Номер m максимума	φ_0	$\varphi_{\text{лев}}$	$\varphi_{\text{пр}}$	φ	λ , нм
1						
2						
3						
4						
5						
6						
Среднее						

Таблица 2

Цвет светофильтра _____

№ п/п	Номер m максимума	φ_0	$\varphi_{\text{лев}}$	$\varphi_{\text{пр}}$	φ	λ , нм
1						
2						
3						
4						
5						
6						
Среднее						

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №84

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ НА ОПТИЧЕСКОЙ СКАМЬЕ

Цель работы – ознакомиться с явлением дифракции на дифракционной решетке, определить длину световой волны двух светофильтров.

Приборы и принадлежности: оптическая скамья, осветитель со щелью и шкалой, дифракционная решетка, светофильтры.

Общие положения

Дифракция – это огибание светом препятствий, размеры которого соизмеримы с длиной волны. Явление дифракции можно наблюдать с помощью дифракционной решетки.

Дифракционная решетка – это спектральный прибор, предназначенный для разложения света в спектр и измерения длин волн. Она представляет собой плоскую стеклянную пластинку, на которую с помощью делительной машины через строго одинаковые интервалы наносят параллельные штрихи. Промежутки между штрихами прозрачны для световых лучей и играют роль щелей. Штрихи рассеивают лучи и, поэтому, являются непрозрачными. В учебных лабораториях применяют отпечатки таких решеток, изготовленные из специальной пластмассы. Их называют репликами. Основным параметром решетки является расстояние между соседними штрихами, которое называют периодом решетки d (постоянной решетки) (рис. 1):

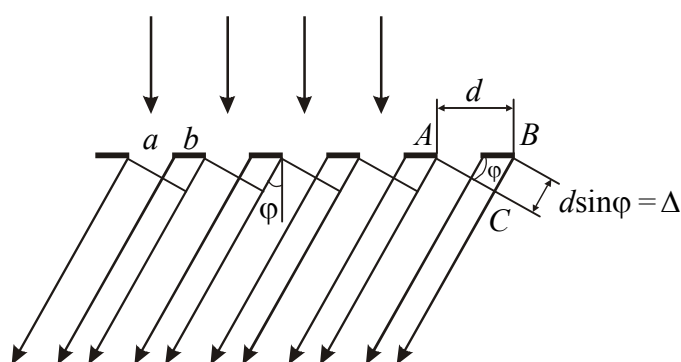


Рисунок 1

ной пластмассы. Их называют репликами. Основным параметром решетки является расстояние между соседними штрихами, которое называют периодом решетки d (постоянной решетки) (рис. 1):

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

где a – ширина щели,
 b – размер препятствия.

Пусть световая волна падает на решетку нормально (т.е. перпендикулярно ее поверхности). Из каждой щели выходят лучи по всем направлениям. Выберем из множества лучей те, которые отклонились на угол φ от первоначального направления. Угол φ называется углом дифракции. С помощью линзы эти лучи можно собрать в одну точку на экране. Так как в эту точку лучи приходят с некоторой разностью хода, то будет наблюдаться их интерференция.

Для того, чтобы наблюдался максимум интерференции, должно выполняться условие:

$$\Delta = 2m \frac{\lambda}{2}, \quad (2)$$

где Δ – разность хода лучей, λ – длина волны, $m=0, 1, 2, 3 \dots$ – порядок интерференционного максимума.

Из прямоугольного треугольника ABC (см. рис. 1) можно найти разность хода лучей:

$$\Delta = d \sin \varphi. \quad (3)$$

Приравняв выражения (1) и (2), получим условие главных максимумов для дифракционной решетки:

$$d \sin \varphi = m\lambda. \quad (4)$$

Дифракционную картину получают на экране, который располагают в фокальной плоскости собирающей линзы (рис. 2). Дифракционная картина будет иметь вид узких светлых полос, разделенных темными промежутками. Центральный максимум ($m=0$) имеет наибольшую интенсивность. Все другие располагаются симметрично относительно центрального максимума справа и слева. По мере удаления от центра их интенсивность уменьшается.

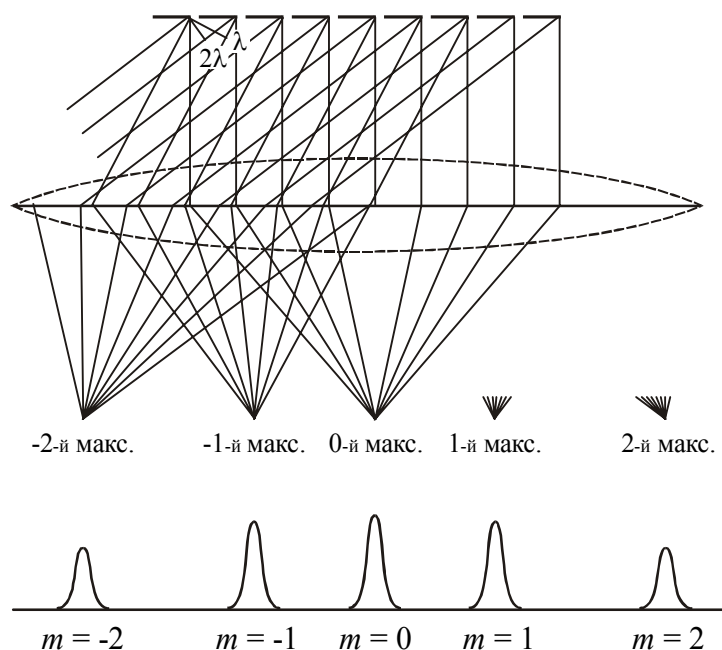


Рисунок 2

Зная период решетки d , угол дифракции φ и порядковый номер m максимума, можно по уравнению (3) найти длину волны:

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{m}. \quad (5)$$

Описание установки и методики эксперимента

Оптическая скамья представляет собой линейку с делениями. На этой линейке помещается осветитель со шкалой. В корпусе осветителя прорезана щель, перед которой крепится светофильтр. Светофильтр из широкого диапазона длин волн, образующих белый свет, выделяет узкий интервал длин волн, поэтому выделенный свет можно считать монохроматическим. Дифракционная решетка устанавливается на переднем торце линейки.

Если смотреть на освещенную монохроматическим светом щель через дифракционную решетку, то кроме изображения щели на шкале можно увидеть симметрично расположенные максимумы (рис. 3). Каждый максимум находится на определенном расстоянии l от центрального максимума. Это расстояние измеряется по шкале AB . Расстояние OK от решетки до шкалы обозначим через L : $L=OK$.

Угол дифракции можно определить, измерив расстояния L и l . Так как угол φ мал, то:

$$\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi = \frac{l}{L}. \quad (6)$$

Сделав замену в (3), получим формулу для расчета длины волны:

$$\lambda = \frac{ld}{mL}. \quad (7)$$

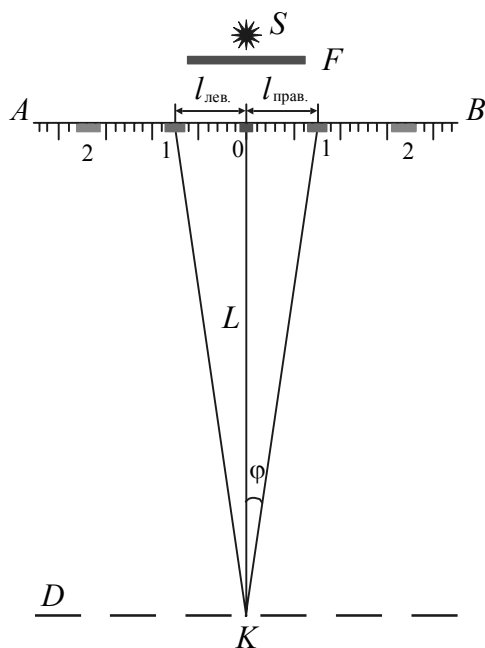


Рисунок 3

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать длину волны, Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Подключить осветитель к источнику питания. Установить светофильтр перед осветителем.
2. Записать значение постоянной решетки, указанное на решетке. Значение дано в мм. Закрепить дифракционную решетку в держателе на переднем торце линейки.
3. Перемещая осветитель с экраном вдоль линейки, получить четкое изображение дифракционной картины. Измерить расстояние от решетки до экрана L .
4. Измерить расстояние от центрального максимума до первого левого l' и первого правого l'' дифракционных максимумов (см. рис. 3).
5. Выполнить измерения для 2-го и 3-го максимумов.
6. Изменить расстояние между решеткой и экраном. Повторить измерения согласно п. 3, 4, 5.
7. Заменить светофильтр. Провести измерения для второго светофильтра согласно п. 3-5.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать среднее значение $l = \frac{l' + l''}{2}$ для каждого максимума.
2. Рассчитать длину волны по формуле (7) для каждого максимума.
3. Найти среднее значение длины волны для каждого светофильтра.

4. Рассчитать абсолютную погрешность как для прямых измерений для каждой длины волны.
5. Найти относительную погрешность измерений. Результаты представить в стандартном виде:

$$\lambda = \lambda_{\text{ср}} \pm \Delta\lambda$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какое явление изучалось в данной работе? В чем оно заключается?
2. Какой прибор Вы использовали для наблюдения этого явления? Что он собой представляет?
3. Нарисуйте ход лучей через дифракционную решетку. Укажите на рисунке период решетки, угол дифракции, оптическую разность хода лучей. Запишите условие, при выполнении которого будут наблюдаться главные максимумы.
4. Какой вид будет иметь дифракционная картина, если решетку освещать белым светом?
5. Сравните полученные экспериментально значения длин волн с табличными значениями и сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 84

Выполнил(а) _____

Группа _____

Постоянная дифракционной решетки $d =$ _____

Таблица 1

Цвет светофильтра _____

№ п/п	Номер m максимума	L , см	l' , мм	l'' , мм	l , мм	λ , нм
1						
2						
3						
4						
5						
6						
Среднее						

Таблица 2

Цвет светофильтра _____

№ п/п	Номер m максимума	L , см	l' , мм	l'' , мм	l , мм	λ , нм
1						
2						
3						
4						
5						
6						
Среднее						

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №85

ЗНАКОМСТВО С РАБОТОЙ САХАРИМЕТРА.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ САХАРНЫХ РАСТВОРОВ

Цель работы – ознакомиться с работой сахариметра, определить концентрацию растворов сахара.

Приборы и принадлежности: сахариметр, трубки с раствором сахара.

Общие положения

Электромагнитные волны являются поперечными. Это означает, что вектор напряженности электрического поля \vec{E} и вектор напряженности магнитного поля \vec{H} располагаются в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. Физиологическое, фотохимическое, фотоэлектрическое и другие действия света вызываются колебаниями вектора напряженности электрического поля \vec{E} . Поэтому его называют световым вектором. Направление колебаний светового вектора с течением времени может меняться. Если все направления колебаний светового вектора в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны, равновероятны, то свет называют *естественным*.

Свет, в котором направления колебаний упорядочены каким-либо образом, называется *поляризованным*. Если колебания светового вектора происходят только в одной проходящей через луч плоскости, то свет называется плоско (или линейно) поляризованным. Явлением поляризации называется выделение поляризованного света из естественного.

При прохождении поляризованного света через некоторые вещества происходит поворот плоскости поляризации световой волны. Это явление называется *вращением плоскости поляризации*. Вещества, которые способны поворачивать плоскость поляризации падающих на них волн, называются *оптически активными*. Оптически активными могут быть как кристаллы, так и жидкости. Например, кварц, раствор сахара, глюкозы. Различают правое вращение, или положительное и левое, или отрицательное. При правом вращении плоскость поляризации поворачивается по часовой стрелке для луча, падающего в глаз наблюдателя, при левом – в противоположном направлении.

Для оптически активных жидкостей угол поворота плоскости поляризации определяется соотношением:

$$\varphi = [a]lc, \quad (1)$$

где l – толщина слоя;

c – концентрация раствора;

$[a]$ – удельная постоянная вращения, зависящая от природы вещества.

Измерение угла поворота плоскости поляризации производят с помощью прибора, который называется поляриметром. Если его шкала проградуирована в соответствии с концентрацией раствора сахара, то такой поляриметр называется сахариметром. Зная угол поворота плоскости поляризации, можно рассчитать концентрацию раствора:

$$c = \frac{\varphi}{[a]l} \quad (2)$$

Описание установки

В данной работе используется универсальный сахариметр СУ-4. Принцип работы сахариметра состоит в следующем. Свет от источника проходит сначала через поляризатор и поляризуется. Затем его пропускают через полутеневую пластину, которая разделяет свет на две половины так, что плоскость поляризации обеих половин светового пучка составит одинаковый угол с плоскостью пропускания анализатора, расположенного после пластины. При этом в окуляре видны два поля сравнения одинаковой яркости, разделенные тонкой линией (рис. 1а).

Если в кюветное отделение между поляризатором и анализатором поместить



Рисунок 1

трубку с раствором сахара, то раствор повернет плоскость поляризации. Равенство полей сравнения нарушится (рис. 1б, в). Уравнивая яркость полей сравнения, производят отсчет по нониусу шкалы, которую наблюдают через верхний окуляр. Поля сравнения

наблюдают через нижний окуляр.

В сахариметре применена международная сахарная шкала. 100°S соответствуют 34,62° угловым. Цена деления основной шкалы 1°S, цена деления нониуса 0,05°S. Установка нуля нониуса показана на рис. 2.

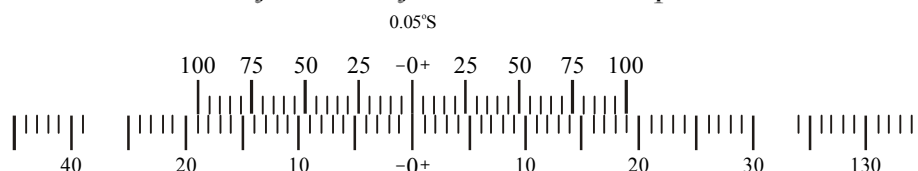


Рисунок 2

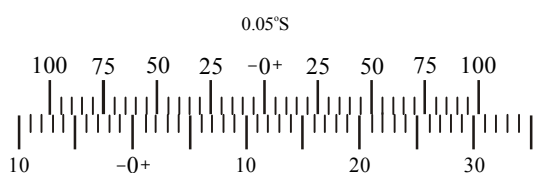


Рисунок 3

На рис. 3 показано положение нониуса и шкалы, соответствующее отсчету «+11,55°S» (нуль нониуса расположен правее нуля шкалы на 11 полных делений и в правой части нониуса с одним из делений шкалы совмещается его одиннадцатое деление).

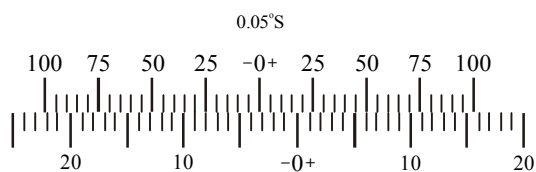


Рисунок 4

На рис. 4 показано положение нониуса и шкалы, соответствующее отсчету «-3,25°S» (нуль нониуса расположен левее нуля шкалы на три полных деления и в левой части нониуса с одним из делений шкалы совмещается его пятое деление).

ний шкалы совмещается его пятое деление).

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать постоянную вращения сахариметра. Поясните смысл обозначений.
4. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать концентрацию растворов. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Включить шнур электропитания в сеть.
2. Включить кнопкой осветитель и установить рукой резистора такую яркость полей, при которой наиболее четко воспринимается зрением разница яркости полей сравнения.
3. Проверить установку нуля. Для этого надо закрыть крышку кюветного отделения без установки в нем кюветы. Уравнять яркость полей сравнения вращением ручки компенсатора, который находится под нижним окуляром. Нулевое деление нониуса должно совместиться с нулевым делением шкалы (см. рис. 2). Если нулевой отсчет отличается от нуля не более чем на одно деление нониуса, нуль считается установленным правильно.
4. Поместить в кюветное отделение в трубку с раствором известной концентрации ($c_0 = 26\%$). Длина трубки $l_0 = 10$ см. Вращая ее вокруг своей оси или перемещая по кюветному отделению, найти такое положение, при котором линия раздела полей сравнения делит поле зрения на две равные части. Поля сравнения при этом имеют разную яркость (см. рис. 1б, в).
5. Вращая ручку компенсатора, уравнять поля сравнения (см. рис 1а) и снять отсчет по шкале.
6. Повторить опыт с раствором известной концентрации еще два раза согласно пункту 5. Перед началом каждого опыта нуль шкалы совмещать с нулем нониуса.
7. Аналогичные измерения провести для двух трубок с растворами неизвестной концентрации. Длина трубок $l = 20$ см.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Найти среднее значение угла поворота плоскости поляризации раствором известной концентрации.
2. По найденному среднему значению угла поворота, известной длине трубки l_0 и известной концентрации c_0 , рассчитать постоянную вращения $[a]$:

$$[a] = \frac{\varphi_{\text{ср}}}{c_0 l_0}. \quad (3)$$

3. Рассчитать по формуле (2) концентрацию раствора в первой трубке по результатам каждого опыта. Найти среднее значение концентрации.
4. Рассчитать по формуле (2) концентрацию раствора во второй трубке по результатам каждого опыта. Найти среднее значение концентрации.
5. Рассчитать абсолютную погрешность как для прямых измерений для каждой концентрации.
6. Найти относительную погрешность измерений каждого опыта. Записать окончательные результаты в стандартном виде:

$$c = c_{\text{ср}} \pm \Delta c$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какое явление изучалось в данной работе? В чем оно заключается?
2. С каким свойством электромагнитных волн связано явление поляризации?
3. Почему вектор напряженности электрического поля называют световым вектором?
4. Какие вещества называются оптически активными? Приведите примеры оптически активных веществ.
5. От чего зависит угол поворота плоскости поляризации?
6. Каково назначение сахариметра?

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 85

Выполнил(а) _____

Группа _____

Таблица 1

№ п/п	l_0 , см	c_0 , %	φ , °S
1			
2			
3			
среднее			

Таблица 2

№ п/п	l , см	φ , °S	c , %
1			
2			
3			
среднее			

Таблица 3

№ п/п	l , см	φ , °S	c , %
1			
2			
3			
среднее			

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 86

ИЗУЧЕНИЕ ДИСПЕРСИИ С ПОМОЩЬЮ ГОНИОМЕТРА

Цель работы – ознакомиться с явлением дисперсии, ознакомиться с правилами работы с гониометром, рассчитать дисперсию материала призмы.

Приборы и принадлежности: гониометр-спектрометр Г5, стеклянная призма, лампа накаливания, светофильтры, блок питания лампы накаливания.

Общие положения

В геометрической оптике показатель преломления вещества считается величиной постоянной. В действительности показатель преломления зависит от частоты (длины волны) света.

Явление зависимости абсолютного показателя преломления вещества n от частоты ν падающего на вещество света (или от длины волны в вакууме $\lambda_0 = c/\nu$, где c – скорость света в вакууме) называется *дисперсией света*.

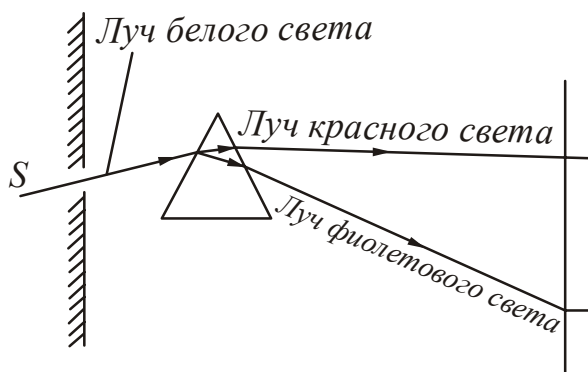


Рисунок 1

Если через призму пропустить белый свет, то на экране, установленном позади призмы (рис. 1), наблюдается видимая радужная полоска, состоящая из семи цветов, которая называется призматическим или *дисперсионным спектром*.

Дисперсия называется *нормальной* в случае, если показатель преломления монотонно возрастает с увеличением частоты (убывает с увеличением длин волны); в противном случае дис-

персия называется *аномальной*. На рис. 2 показана зависимость показателя преломления от частоты для нормальной и аномальной дисперсии.

Дисперсией вещества называется производная показателя преломления n по длине волны λ_0 . С увеличением частоты показатель преломления увеличивается со все возрастающей скоростью, так что дисперсия вещества $dn/d\lambda_0$ отрицательна и растет по модулю с уменьшением λ_0 .

Если сравнивать между собой спектры, полученные от призм, изготовленных из различных материалов, то можно обнаружить, что вещества отличаются не только показателем преломления, но и формой кривой его зависимости от частоты. Это означает, что различные материалы обладают разной дисперсией.

Показатель преломления можно определить, изучая прохождение света через призму. Пусть преломляющий угол призмы равен α (рис. 3). Угол откло-

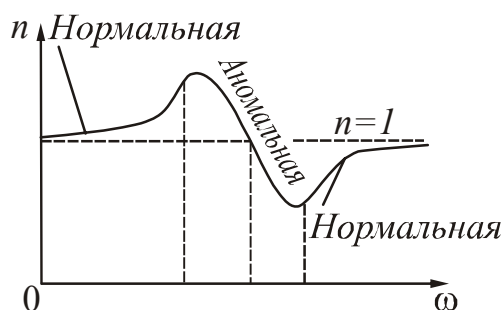


Рисунок 2

нения луча от первоначального направления $\angle KBC = \theta$. При симметричном ходе лучей угол отклонения примет минимальное значение. Используя закон Снеллиуса и соотношения между углами треугольников, можно получить формулу связи показателя преломления n материала призмы с преломляющим углом α

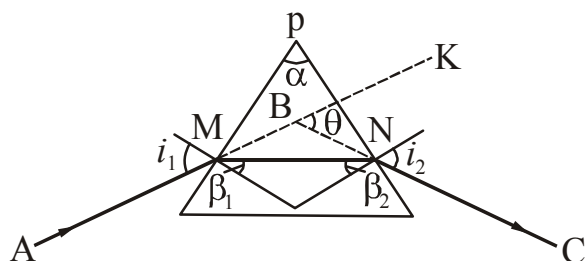


Рисунок 3

$$n = \frac{\sin \frac{\theta_{\min} + \alpha}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}. \quad (1)$$

Мерой дисперсии служит разность показателей преломления $D = n_{\lambda_1} - n_{\lambda_2}$ для различных λ_1 и λ_2 . В частности такой мерой служит средняя дисперсия, которая определяется следующим образом:

$$D = n_F - n_C, \quad (2)$$

где n_F – показатель преломления для $\lambda=486,1$ нм (зелено-голубая линия водорода, F), а n_C – показатель преломления для $\lambda=656,3$ нм (красная линия водорода, C).

Каждому материалу соответствует своя *дисперсионная кривая*. Из формулы (1) следует, что для определения показателя преломления надо знать преломляющий угол призмы α и измерить угол наименьшего отклонения луча θ_{\min} соответствующей световой волны. Затем построить график зависимости показателя преломления призмы от длины волны $n = f(\lambda)$. По этому графику определяется средняя дисперсия D . Значения средней дисперсии для различных материалов приводятся в справочниках. Сравнивая полученное значение средней дисперсии с табличными значениями, можно определить примерный сорт стекла.

Описание установки

Для исследования зависимости показателя преломления от длины волны падающего света используется трехгранная призма с преломляющим углом 60° . Призма служит для пространственного разделения (разложения в спектр) излучений оптического диапазона, различающихся длинами волн. Разделение излучений на монохроматические составляющие являются результатом зависимости угла отклонения луча, прошедшего через призму от показателя преломления n , различного для лучей различных длин волн λ .

Для нахождения угла наименьшего отклонения θ_{\min} используется гониометр-спектрометр Г5. **Гониометр** – оптический контрольно-измерительный прибор лабораторного типа, который позволяет производить измерения углов. Основные части гониометра Г5: основание, коллиматор, корпус с оптической трубой и отсчетным микроскопом, столик и скрытый под корпусом лимб. Оп-

тическими частями гониометра являются коллиматор и зрительная труба. Коллиматор предназначен для получения параллельного пучка света. На конце коллиматора имеется щель, ширину которой можно регулировать при помощи микрометрического винта. Зрительная труба имеет объектив и окуляр. Она может поворачиваться относительно неподвижного лимба свободно, либо с помощью винта. На вертикальной оси прибора расположен столик, который может поворачиваться грубо от руки и точно при помощи микрометрического винта. Плоскости столика можно придавать горизонтальное положение посредством установочных винтов.

Внимание! Горизонтальное положение установлено, винты не трогать!

Свет, пройдя через коллиматор, попадает на плоскую зеркальную поверхность призмы, установленной на столике гониометра. Проходя через призму. Свет дважды преломляется и разлагается в спектр. Источником света является лампа накаливания. Она установлена в корпус, который снабжен штативом для светофильтра.

Призма на столике установлена таким образом, что ход лучей соответствует минимальному углу отклонения, поэтому призму и столик в процессе работы не трогать!

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать показатель преломления призмы. Поясните смысл обозначений.
4. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать среднюю дисперсию. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

Задание 1.

Определение направления первоначального распространения света

1. Включить в сеть гониометр и источник питания лампы накаливания.
2. Включить тумблер подсветки микроскопа зрительной трубы гониометра.
3. Включить тумблер источника питания лампы накаливания.
4. Прикрыть объектив зрительной трубы листом бумаги. Вращая зрительную трубу, вывести изображение щели коллиматора примерно в центр объектива. Удалить лист бумаги.
5. Медленно вращая зрительную трубу гониометра, установить вертикальную визирную линию на середину изображения щели коллиматора.
6. Измерить φ_0 – отсчет первоначального направления распространения луча, который определяется с помощью отсчетного микроскопа.

Пример: На рис. 4 приведено поле зрения отсчетного микроскопа. В левом окне наблюдаются изображения диаметрально противоположных участков лимба и

вертикальная риска (в центре окна) для отсчета градусов. В правом окне – деления шкалы оптического микрометра и горизонтальная риска для отсчета минут и секунд.

Чтобы снять отсчет по лимбу, необходимо повернуть маховичок оптического микрометра настолько, чтобы верхние и нижние изображения штрихов лимба в левом окне точно совместились (см. рис. 4).

Число градусов будет равно видимой ближайшей левой от вертикальной риски цифре (в данном случае – 0°). Число десятков минут равно числу интервалов, заключенных между верхним штрихом, соответствующим отсчитанному числу градусов и нижним оцифрованным штрихом, отличающимся от верхнего на 180° (в данном случае – 1 десяток, т.е. $10'$).

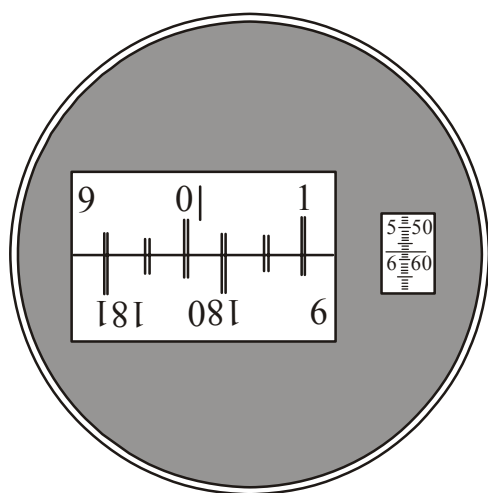


Рисунок 4

Число единиц минут отсчитывается по шкале микрометра в правом окне по левому ряду чисел (в данном случае – $5'$).

Число десятков секунд – в том же окне по правому ряду чисел (в данном случае – $50''$).

Число единиц секунд равно числу делений между штрихами, соответствующими отсчету десятков секунд, и неподвижной горизонтальной риской (в данном случае – $7''$).

Положение, показанное на рис. 4, соответствует отсчету $0^\circ 15' 57''$.

Задание 2.

Визуальное наблюдение дисперсии света и измерение угла отклонения луча света

1. Объектив зрительной трубы прикрыть листом бумаги. Повернуть зрительную трубу так, чтобы спектр находился в центре объектива. Убрать бумагу.
2. Медленно вращая зрительную трубу совместить ее вертикальную линию с фиолетовой границей спектра ($\lambda_1=400$ нм). Снять отсчет угла φ_1 .
3. Установить светофильтр в штатив. При этом в спектре появится четыре провала интенсивности. Первый из них находится в сине-зеленой области и соответствует длине волны $\lambda_2=480$ нм. Второй провал интенсивности находится в желто-зеленой области и соответствует длине волны $\lambda_3=540$ нм, два оставшихся – в красной области, и соответствуют длинам волн $\lambda_4=630$ нм и $\lambda_5=660$ нм.
4. Медленно вращая зрительную трубу, последовательно совместить середину каждого провала интенсивности (темной полосы) с вертикальной линией и измерить соответствующие их положениям углы φ_i .
5. Повторить измерения φ_0 и φ_i еще два раза.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать средние значения $\varphi_{0\text{ср}}$ и $\varphi_{i\text{ср}}$.
2. Рассчитать углы отклонения для каждого компонента спектра:

$$\theta_i = \varphi_{i\text{ср}} - \varphi_{0\text{ср}}.$$

3. Рассчитать показатель преломления света по формуле (1) для каждой длины волны.
4. Построить дисперсионную кривую, т.е. зависимость показателя преломления от длины волны $n = f(\lambda)$.
5. Из дисперсионной кривой определить значения n_F – показатель преломления для $\lambda=486,1$ нм и n_C – показатель преломления для $\lambda=656,3$ нм.
6. Рассчитать среднюю дисперсию материала призмы по формуле (2).

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какое явление изучалось в данной работе? В чем оно заключается?
2. В каком случае дисперсия называется нормальной?
3. Как зависит показатель преломления от длины волны? Соответствует ли Ваш график этой зависимости?
4. Каково назначение гониометра?
5. Сравните полученный результат с данными таблицы 1 и определите сорт стекла, из которого изготовлена призма.

Таблица 1. Значения средней дисперсии для стекол различных сортов

Название	Маркировка	$D = n_F - n_C$
Боросиликатный крон	C-20	0,00565
Силикатный крон	C-7	0,0059
Крон	C-12	0,00619
Крон-флинт	C-49	0,00730
Баритовый легкий крон	C-21	0,00617
Баритовый крон	C-6	0,00702
Баритовый крон	C-17	0,00637
Легкий флинт	C-16	0,00988
Тяжелый крон	C-24	0,00737
Флинт	C-8	0,01184
Флинт	C-3	0,01242
Тяжелый флинт	C-18	0,01975

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 86

Выполнил(а) _____

Группа _____

Преломляющий угол призмы $\alpha =$ _____

Задание 1

 $\varphi_0 =$ _____ $\varphi_0 =$ _____ $\varphi_0 =$ _____ $\varphi_{0\text{ ср}} =$ _____

Задание 2

№ п/п	λ , нм	φ	$\varphi_{\text{ср}}$	θ	n
1	400				
2					
3					
4	480				
5					
6					
7	540				
8					
9					
10	630				
11					
12					
13	660				
14					
15					

Дата _____

Подпись преподавателя _____

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ГАЗОВ ОТ ДАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ГАЗОВОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА

Цель работы – ознакомиться с принципом работы газового интерферометра и исследовать зависимость показателя преломления газов от давления при комнатной температуре.

Приборы и принадлежности: газовый интерферометр, насос, водяной манометр, стеклянный баллон.

Описание экспериментальной установки



Рисунок 1

Общие положения

Абсолютным показателем преломления называется величина, численно равная отношению

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

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

Относительным показателем преломления двух сред n_{21} называется отношение абсолютных показателей преломления двух сред:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (2)$$

Показатель преломления является одной из важнейших характеристик газа. По изменению показателя преломления можно судить об изменении плотности газа, концентрации примесей, влажности и т.д.

Зависимость показателя преломления от давления устанавливается в молекулярной оптике и имеет вид:

$$n - 1 = k p, \quad (3)$$

где p – давление газа;

k – постоянная величина, зависящая от природы газа и температуры.

Из формулы (3) следует, что при постоянной температуре изменение показателя преломления Δn линейно зависит от изменения давления Δp :

$$\Delta n = k \Delta p. \quad (4)$$

Трудность измерения показателя преломления газов состоит в том, что он мало отличается от единицы, а его изменение Δn мало отличается от нуля, поэтому для газов не годятся методы измерения показателя преломления, применяемые для твердых и жидких тел (например, основанные на законе преломления света).

Для исследования зависимости показателя преломления воздуха от давления в данной работе применяется точный оптический метод, основанный на явлении

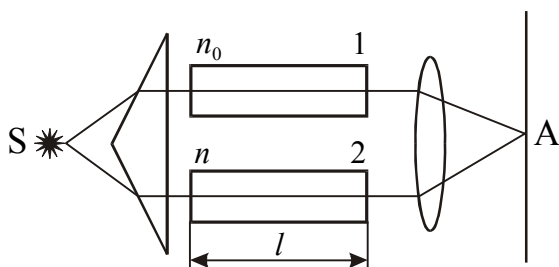


Рисунок 2

интерференции света и осуществляемый с помощью шахтного интерферометра, оптическая схема которого приведена на рис. 2.

Интерференцией света называется явление наложения когерентных волн, в результате которого происходит перераспределение энергии волнового поля, и возникают интерференционные максимумы и минимумы.

Когерентными называются волны, имеющие одинаковую частоту и постоянную (во времени) разность фаз. Колебания должны происходить в одной плоскости. Когерентные волны можно получить, разделив (с помощью отражений или преломлений) волну, излучаемую одним источником, на две части. Если заставить эти две волны пройти разные оптические пути, а потом наложить их друг на друга, то будет наблюдаться их интерференция.

Если свет монохроматический (одной строго определенной длины волны), то интерференционная картина представляет чередование темных и светлых параллельных полос (интерференционных минимумов и максимумов).

В точке А (рис. 2) наблюдается максимум интенсивности, если оптическая разность хода Δ удовлетворяет условию:

$$\Delta = 2m \frac{\lambda}{2}, \quad (5)$$

где $m = 0, 1, 2, \dots$ – порядок интерференционного максимума.

В точке А (рис. 2) будет минимум интенсивности, если

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (6)$$

где $m = 0, 1, 2, 3 \dots$ – порядок интерференционного минимума.

В газовом интерферометре используют белый свет, представляющий собой непрерывный набор волн различной длины от 0,40 мкм (фиолетовая граница спектра) до 0,76 мкм (красная граница спектра), поэтому интерференционные максимумы для каждой длины волны будут, согласно формуле (5), смещены относительно друг друга, и имеют вид радужных полос. Только для $m=0$ максимумы всех длин волн совпадают, и в середине экрана будет наблюдаться ахроматическая (неокрашенная) полоса, по обе стороны которой симметрично расположатся спектрально окрашенные полосы максимумов первого, второго порядков и т.д.

Если каналы 1 и 2 наполнены воздухом при одинаковом давлении и температуре, то центральная ахроматическая полоса будет расположена на делении «0» интерферометра. Если в канале 2 изменить давление, то показатель преломления воздуха тоже изменится. Это, в свою очередь, изменяет разность хода интерферирующих лучей. В результате интерференционная картина смещается. Из-за особенностей устройства прибора луч через каналы интерферометра проходит дважды. С учетом этого можно записать выражение для оптической разности хода:

$$\Delta = 2(nl - n_0l),$$

или

$$\Delta = 2l\Delta n, \quad (6)$$

где l – длина газовой камеры, n – показатель преломления воздуха в канале 2 при изменившемся давлении, n_0 – показатель преломления воздуха в канале 1 при атмосферном давлении.

Для вычисления изменения показателя преломления Δn надо найти оптическую разность хода лучей Δ . Пусть N_1 – количество делений, на которое смещается шкала отсчетного механизма при смещении интерференционной картины на одну полосу. Так как соседние полосы интерференционной картины образуются при разности хода лучей, равной одной длине волны λ , то одному делению шкалы соответствует разность хода λ/N_1 .

При произвольном давлении в канале 2 интерференционная картина смещается на N полос. Следовательно,

$$\Delta = \frac{\lambda}{N_1} N. \quad (7)$$

Подставим соотношение (7) в выражение (6) и найдем отсюда изменение показателя преломления:

$$\Delta n = \frac{\lambda N}{2N_1 l}. \quad (8)$$

Длина волны света в средней части видимого спектра $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$, длина газового канала $l = 0,1 \text{ м}$.

Используя формулу (8), можно рассчитать изменение показателя преломления воздуха при разных значениях давления.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать изменение показателя преломления воздуха. Поясните смысл обозначений.
4. Какой график необходимо построить по результатам работы? Нарисуйте схематически ожидаемый вид графика. Запишите формулу, которая описывает эту зависимость.

Выполнение работы

1. Перед выполнением работы ознакомьтесь с расположением отсчетного механизма, окуляра, кнопки выключателя осветительной системы.
2. Подсоединить насос.
3. Подключить интерферометр к источнику питания.
4. Установить на нуль разность уровней манометра при помощи насоса.
5. Нажать кнопку выключателя осветительной системы и, смотря в окуляр, вращением оправы окуляра получить четкое изображение измерительной шкалы.
6. Вращая ручку отсчетного механизма, установить левый край ахроматической полосы (левая темная интерференционная полоса) на 0 измерительной шкалы (рис. 3).

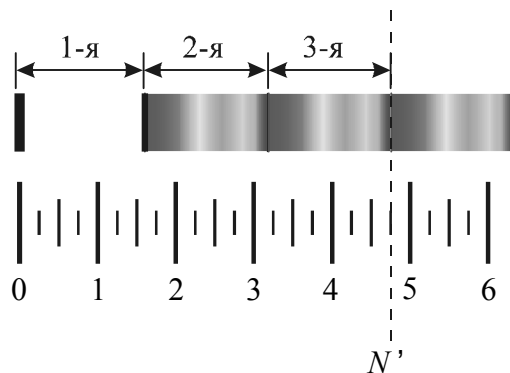


Рисунок 3

7. Определить N_1 – число делений, которое приходится на одну интерференционную полосу. Интерференционной полосой называется расстояние между соседними минимумами. По шкале определить число делений N' , приходящихся на три интерференционные полосы (см. рис. 3). Рассчитать N_1 :

$$N_1 = \frac{N'}{3}.$$

8. Осторожно накачать насосом воздух в баллон так, чтобы разность уровней воды в коленах манометра Δh была равна 2 см. Записать в таблицу значения уровней h_1 и h_2 воды, а также разность уровней Δh .
9. При увеличении давления левая темная интерференционная полоса смещается вдоль измерительной шкалы вправо от нулевого деления до значения N . Это значение занести в таблицу.

10. Повторить измерения согласно п. 8, 9 десять–двенадцать раз, каждый раз увеличивая Δh на 2 см (в каждом колене манометра высота столба воды изменится на 1 см).

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать избыточное давление Δp в баллоне по формуле: $\Delta p = \rho g \Delta h$, где ρ – плотность воды, g – ускорение свободного падения.
2. Рассчитать изменение показателя преломления Δn по формуле (8).
3. Построить график зависимости изменения показателя преломления воздуха от избыточного давления $\Delta n = f(\Delta p)$.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какое явление лежит в основе работы интерферометра? В чем заключается это явление?
2. Какая величина называется абсолютным показателем преломления? Как показатель преломления газа зависит от давления?
3. Каково назначение интерферометра? Изобразите принципиальную оптическую схему газового интерферометра.
4. Почему при изменении давления в одном из каналов интерферометра происходит смещение интерференционной картины?
5. Сравните экспериментально полученный график зависимости изменения показателя преломления воздуха от избыточного давления $\Delta n = f(\Delta p)$ с теоретической зависимостью. Сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 90

Выполнил(а) _____

Группа _____

Длина волны света в средней части видимого спектра $\lambda =$ _____Длина газового канала $l =$ _____Число делений, приходящихся на три интерференционные полосы $N' =$ _____Число делений, приходящихся на одну интерференционную полосу $N_1 =$ _____

№ п/п	$h_1,$ см	$h_2,$ см	$\Delta h,$ см	$\Delta p,$ Па	N	$\Delta n,$ 10^{-6}
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 87

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛООВОГО ЭФФЕКТА РЕАКЦИИ ПО КРАЮ ПОЛОСЫ ПОГЛОЩЕНИЯ

Цель работы – исследование спектров поглощения различных растворов и определение теплового эффекта реакции.

Приборы и принадлежности: универсальный монохроматор МУМ-1, кюветы с исследуемыми растворами.

Общие положения

Важнейшим оптическим свойством вещества является его спектр излучения. **Спектром излучения** называется совокупность частот (или длин волн), которые содержатся в излучении вещества. Спектральные линии возникают при переходе электронов с более высоких энергетических уровней на более низкие. Существуют три типа спектров излучения:

- линейчатый;
- полосатый;
- сплошной.

Линейчатый спектр излучают возбужденные атомы химических элементов, находящихся в газообразном состоянии. Он состоит из отдельных спектральных линий.

Спектры атомов щелочных металлов, имеющих один электрон на внешней электронной оболочке, схожи со спектром водорода. Но они являются более сложными, т.к. число спектральных серий увеличивается, а закономерности в их расположении усложняются. Это связано с тем, что внешней валентный электрон находится не только в поле, создаваемом ядром, но и в электрическом поле, создаваемом другими электронами.

Молекулярные спектры гораздо сложнее атомных, т.к. кроме движения электронов относительно двух и более ядер в молекуле происходит колебательное движение ядер атомов и вращательное движение молекулы как целого. Совокупность близко расположенных спектральных линий образует спектральные полосы. Поэтому молекулярные спектры являются полосатыми.

Раскаленные твердые тела и светящиеся жидкости создают сплошные спектры излучения, представляющие собой непрерывную последовательность частот (или длин волн), плавно переходящих друг в друга.

Совокупность частот (или длин волн), поглощаемых данным веществом, называется его **спектром поглощения**. Если на пути света, дающего сплошной спектр, поместить газ или пар, которые поглощают часть лучей спектра, то сплошной спектр получается покрытым темными линиями на тех самых местах, где в спектре излучения паров расположены цветные линии, т.е. атомы данного химического элемента поглощают те спектральные линии, которые они сами испускают. Спектры поглощения, как и спектры излучения, разделяются на линейчатые и полосатые.

Спектры поглощения одноатомных газов являются линейчатыми. Спектры поглощения двух и многоатомных газов, а также некоторых растворов, являются полосатыми.

Известно, что под действием света могут происходить химические превращения, например, разложение углекислоты в зелёных листьях растений, разложение некоторых молекул, с которыми связано обесцвечивание красок и т.д. При этом каждому поглощенному кванту энергии соответствует распад одной молекулы, которая поглотила свет (фотохимический синтез).

Вызвать распад молекул могут только те фотоны, энергия которых больше или равна энергии E , необходимой для распада молекулы. Так как вероятность одновременного поглощения двух и более фотонов одной молекулой ничтожно мала, то условие распада молекул под действием света имеет вид:

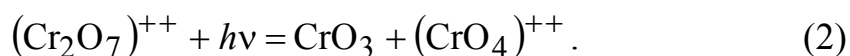
$$h\nu \geq E, \quad (1)$$

где h – постоянная Планка, ν – частота поглощенного фотона.

Зная минимальную частоту фотона, можно определить энергию E , необходимую для распада молекулы.

В данной работе изучают спектр поглощения водного раствора бихромата калия $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

Установлено, что фотоны, поглощаемые этим раствором, вызывают распад иона $(\text{Cr}_2\text{O}_7)^{++}$ в соответствии с уравнением:



Определив минимальную частоту ν поглощаемого света по спектру поглощения (или соответствующую ей максимальную длину волны λ), можно определить энергию распада одной молекулы:

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}. \quad (3)$$

Количество энергии, которое необходимо затратить на реакцию распада одного моля вещества (тепловой эффект реакции Q) определяется по формуле:

$$Q = EN_A = \frac{hcN_A}{\lambda}, \quad (4)$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме,

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ – постоянная Авогадро (число частиц в одном моле).

Описание экспериментальной установки

Основным элементом установки является универсальный монохроматор МУМ-1, предназначенный для разложения падающего излучения в спектр и выделения монохроматического излучения. Установка состоит из трех блоков (рис. 1): А – блок питания; В – источник излучения; С – монохроматор.

Обозначения, принятые на схеме: 1 – тумблер «вкл. – выкл.», 2 – тумблер «накал – недокал», 3 – лампа накаливания, 4 – коллиматор, 5 – держатель для кювет, 6 – зеркало, 7 – ручка управления, 8 – отсчетная шкала, 9 – отражательная дифракционная решетка, 10 – окуляр. Принцип работы установки заключается в следующем.

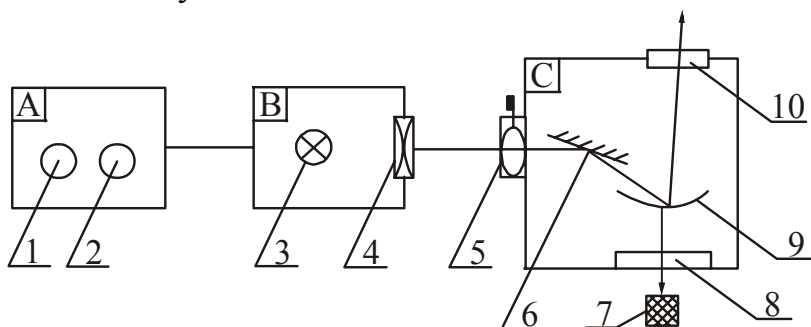


Рисунок 1

Свет от лампы накаливания идет через конденсор, затем через входную щель монохроматора и попадает на дифракционную решетку, расположенную в блоке С. Решетка разлагает его в спектр и направляет в выходную щель монохроматора, через которую спектр

можно наблюдать визуально. Между источником излучения и монохроматором расположен держатель, в который вставляют кювету с исследуемым раствором.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какой прибор Вы будете использовать при выполнении работы?
3. Какие физические величины Вы будете измерять непосредственно?
4. Какую физическую величину необходимо рассчитать по результатам измерений? Запишите соответствующую формулу. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Подключить блок питания к сети. Включить тумблер сеть, при этом должна загореться сигнальная лампочка, расположенная над этим тумблером.
2. Тумблер «накал – недокал» установить в положение «накал».
3. Вращая рукоятку, расположенную на торцевой стенке монохроматора, и связанную с механическим счетчиком, через выходную щель монохроматора пронаблюдать сплошной спектр излучения.
4. С помощью счетчика определить длины волн границ различных областей (имеющих одинаковую окраску) спектра.
5. Вставить в держатель кювету с раствором медного купороса (CuSO_4). Вращая рукоятку счетчика и двигаясь со стороны более длинных волн

(красного участка спектра), пронаблюдать спектры поглощения раствора (темные полосы в спектре излучения).

6. Определить максимальную длину волны поглощения.
7. Исследовать спектр поглощения водного раствора бихромата калия ($K_2Cr_2O_7$) и определить максимальную длину волны поглощения.
8. Рассчитать тепловой эффект реакции разложения $K_2Cr_2O_7$ по формуле (4).

Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Что называется спектром излучения? На какие виды делятся спектры излучения?
2. Что называется спектром поглощения? На какие виды делятся спектры поглощения?
3. Запишите формулу, по которой рассчитывается энергия фотона. Поясните смысл обозначений.
4. При каком условии молекула под действием света распадается?

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №87

Выполнил(а) _____

Группа _____

Область спектра	Длина волны начала области λ_1 , нм	Длина волны конца области λ_2 , нм	Исследуемый раствор	Максимальная длина волны поглощения λ , нм
красная			CuSO ₄	
оранжевая				
желтая				
зелёная				
голубая			K ₂ Cr ₂ O ₇	
синяя				
фиолетовая				

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №88

ЗНАКОМСТВО С РАБОТОЙ ОПТИЧЕСКОГО ПИРОМЕТРА.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ СТЕФАНА – БОЛЬЦМАНА

Цель работы – ознакомиться с принципом действия оптического пирометра, определить постоянную Стефана – Больцмана.

Приборы и принадлежности: оптический пирометр, лампа накаливания, автотрансформатор, ваттметр.

Общие положения

Электромагнитное излучение, испускаемое веществом и возникающее за счет его внутренней энергии, называется тепловым. Оно зависит от температуры и оптических свойств вещества.

Энергия, излучаемая телом во всем диапазоне длин волн в единицу времени, называется энергетическим потоком:

$$\Phi_{\varepsilon} = \frac{W}{t}. \quad (1)$$

Энергия, излучаемая телом с единицы поверхности за единицу времени во всем диапазоне длин волн, называется излучательностью (энергетической светимостью):

$$R_{\varepsilon} = \frac{W}{St} = \frac{\Phi_{\varepsilon}}{S} \quad (2)$$

Тела частично поглощают падающую на них лучистую энергию. Отношение потока излучения $d\Phi_{\varepsilon}$ в интервале длин волн от λ до $\lambda+d\lambda$, поглощаемого поверхностью тела, к потоку излучения $d\Phi_0$, падающего на эту поверхность в том же спектральном интервале, называется коэффициентом монохроматического поглощения или поглощательной способностью тела:

$$\alpha_{\lambda,T} = \frac{d\Phi_{\varepsilon}}{d\Phi_0} \quad (3)$$

Коэффициент монохроматического поглощения $\alpha_{\lambda,T}$ зависит от температуры и длины волны, а также от природы тела. Тело, для которого коэффициент монохроматического поглощения равен единице $\alpha_{\lambda,T}=1$, называется абсолютно черным телом. Абсолютно черное тело полностью поглощает все падающее на его поверхность излучение независимо от направления и спектрального состава, ничего не отражая и ничего не пропуская.

Реальные тела не являются абсолютно черными телами. Тело, коэффициент монохроматического поглощения которого при данной температуре меньше единицы и не зависит от длины волны и направления его распространения, называется серым телом.

Излучательность (энергетическая светимость) $R_э$ абсолютно черного тела определяется законом Стефана – Больцмана, согласно которому излучательность абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры тела:

$$R_э = \sigma T^4, \quad (4)$$

где σ – постоянная Стефана – Больцмана. Для серого тела

$$R_э = \alpha \sigma T^4 \quad (5)$$

где α – средний коэффициент поглощения в измеряемом интервале температур.

Будем считать, что мощность, потребляемая лампой накаливания, полностью идет на излучение. Заменяв в соотношении (5) излучательность по формуле (2) и утя, что $\Phi_э = P$, получим:

$$\frac{P}{S} = \alpha \sigma T^4, \quad (6)$$

где S – площадь излучающей поверхности.

Следовательно,

$$\sigma = \frac{P}{\alpha T^4 S}. \quad (7)$$

На основе законов теплового излучения созданы приборы для измерения высоких температур, работающие без контакта с раскаленными телами. Совокупность методов измерения температур, основанных на законах теплового излучения, называется оптической пирометрией.

Описание экспериментальной установки

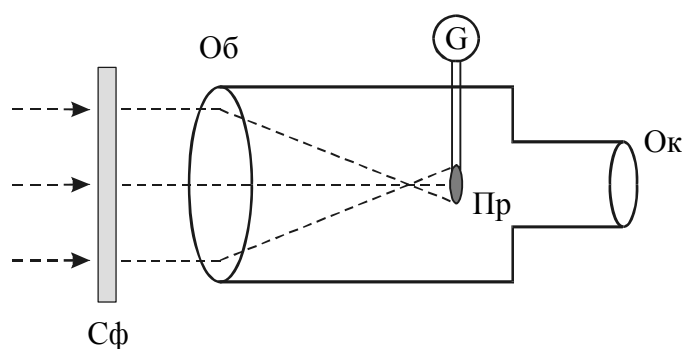


Рисунок 1

Температура накала нити электрической лампочки определяется с помощью яркостного пирометра, схема которого дана на рис. 1. Действие яркостных пирометров основано на сравнении яркости свечения тела, температура которого измеряется, и нити Пр эталонной лампы, помещенной в зрительной трубе оптического пирометра.

Нить пирометра имеет форму дуги. Наблюдение ведется в красном свете через светофильтр Сф ($\lambda=660$ нм). Регулируя ток, текущий через эталонную лампу, добиваются уравнивания яркостей нитей. При этом нить эталонной лампы становится невидимой на фоне изображения нити лампы, температура которой измеряется (рис.2), поэтому такой пирометр называется пирометром с «исчезающей нитью». Пирометр градуируется по аб-

солютно черному телу – при изменении тока накала по шкале считывается

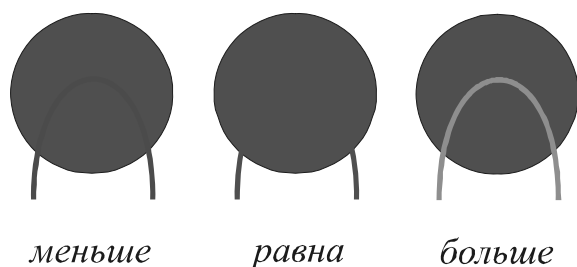


Рисунок 2

температура черного тела, при которой нить «исчезает». Так как излучательность реального тела при той же температуре меньше, чем излучательность черного тела, то для достижения равенства их яркостей реальное тело должно быть нагрето сильнее. Яркостная температура оказывается завышенной.

Температуру нити эталонной лампы показывает гальванометр G , отградуированный по температурной шкале в градусах Цельсия (рис. 3). Предел измерения вводится поворотом головки ослабляющего светофильтра. При измерении температуры до 1400°C ослабляющий светофильтр не вводится – показания снимаются по верхней шкале. Положение стрелки на рис. 3 соответствует отсчету 1250°C . При

измерении температур от 1400°C до 2000°C вводится ослабляющий светофильтр – показания снимаются по нижней шкале. Ослабляющий светофильтр введен, если белая указательная точка (индекс) на головке светофильтра совпадает с индексом 20 на корпусе прибора. В этом случае положение стрелки соответствует отсчету 1740°C .

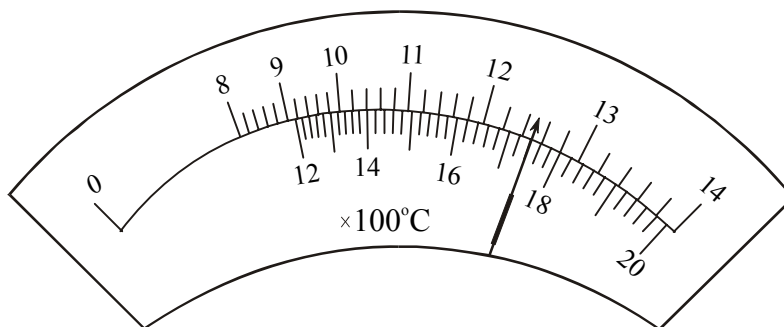


Рисунок 3

Мощность лампы измеряется ваттметром.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Каким прибором измеряется температура накала нити? Как температуру, выраженную в градусах Цельсия, перевести в кельвины?
4. Запишите формулу, по которой рассчитывается постоянная Стефана – Больцмана. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Записать значения коэффициента поглощения α и площади поверхности S , указанные на установке.
2. Включить лампу накаливания. Поворотом рукоятки автотрансформатора установить указанную преподавателем мощность накала лампы. Записать значение мощности.

3. Поставить нулевую отметку на подвижном кольце реостата пирометра против такой же отметки на крышке корпуса. *Примечание:* Кольцо необходимо поворачивать без усилия, так как можно вывести пирометр из строя.
4. Включить пирометр. Поворотом обоймы (в накатанном конце тубуса окуляра) ввести в поле зрения красный светофильтр.
5. В зависимости от предполагаемого значения измеряемой температуры, выбрать предел измерения поворотом головки ослабляющего светофильтра.
6. Направить трубу пирометра на тело накаливания. Взявшись рукой за накатанный конец тубуса объектива, медленно перемещать его до тех пор, пока не будет видно изображение святающегося тела. Совместить изображение нити пирометра и тела накаливания. Вращая тубус окуляра, добиться желаемой резкости.
7. Поворотом кольца реостата изменить яркость нити пирометра так, чтобы средний участок (вершина дуги) нити исчез на фоне изображения тела, температура которого измеряется. Отсчитать температуру по положению стрелки на шкале пирометра.
8. Повторить измерение температуры нити лампы накаливания при данном значении мощности еще раз (изменением накала нити пирометра и возвращением к исчезновению нити) и найти среднее значение температуры.
9. Повторить измерения температуры нити при трех различных значениях мощности по ваттметру согласно п. 6, 7. При необходимости изменить предел измерения температуры.
10. Выключить ток накала нити пирометра поворотом кольца реостата по стрелке на кольце до упора.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать постоянную Стефана – Больцмана по формуле (7) для каждого значения мощности по среднему значению температуры.
2. Рассчитать абсолютную погрешность как для прямых измерений.
3. Найти относительную погрешность измерений. Окончательный результат представить в стандартном виде:

$$\sigma = \sigma_{\text{ср}} \pm \Delta\sigma$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какое излучение называется тепловым? Какими величинами характеризуют тепловое излучение? Запишите соответствующие формулы.
2. Какие тела называются абсолютно черными?
3. Сформулируйте закон Стефана – Больцмана. Запишите формулу.
4. Каково устройство и назначение оптического пирометра?
5. Полученное значение постоянной Стефана-Больцмана сравните с табличным. Сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 88

Выполнил(а) _____

Группа _____

Коэффициент поглощения $\alpha =$ _____Площадь излучающей поверхности нити $S =$ _____

№ п/п	P , Вт	t_1 , °C	t_2 , °C	t_{cp} , °C	T_{cp} , К	σ , Вт/(м ² К ⁴)
1						
2						
3						
среднее						

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №89

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ СТЕПЕНИ АБСОЛЮТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ
В ЗАКОНЕ СТЕФАНА – БОЛЬЦМАНА

Цель работы – изучить законы теплового излучения, определить показатель степени абсолютной температуры в законе Стефана – Больцмана.

Приборы и принадлежности: электрическая лампочка, термостолбик, амперметр, вольтметр, гальванометр, регулятор напряжения.

Общие положения

Электромагнитное излучение, испускаемое веществом и возникающее за счет его внутренней энергии, называется тепловым. Оно зависит от температуры и оптических свойств вещества.

Энергия, излучаемая телом во всем диапазоне длин волн в единицу времени, называется энергетическим потоком:

$$\Phi_{\text{э}} = \frac{W}{t}. \quad (1)$$

Энергия, излучаемая телом с единицы поверхности за единицу времени во всем диапазоне длин волн, называется излучательностью (энергетической светимостью):

$$R_{\text{э}} = \frac{W}{St} = \frac{\Phi_{\text{э}}}{S} \quad (2)$$

Тела частично поглощают падающую на них лучистую энергию. Отношение потока излучения $d\Phi_{\text{э}}$ в интервале длин волн от λ до $\lambda+d\lambda$, поглощаемого поверхностью тела, к потоку излучения $d\Phi_0$, падающего на эту поверхность в том же спектральном интервале, называется коэффициентом монохроматического поглощения или поглощательной способностью тела:

$$\alpha_{\lambda, T} = \frac{d\Phi_{\text{э}}}{d\Phi_0} \quad (3)$$

Коэффициент монохроматического поглощения $\alpha_{\lambda, T}$ зависит от температуры и длины волны, а также от природы тела. Тело, для которого коэффициент монохроматического поглощения равен единице $\alpha_{\lambda, T}=1$, называется абсолютно черным телом. Абсолютно черное тело полностью поглощает все падающее на его поверхность излучение независимо от направления и спектрального состава, ничего не отражая и ничего не пропуская.

Реальные тела не являются абсолютно черными телами. Тело, коэффициент монохроматического поглощения которого при данной температуре меньше единицы и не зависит от длины волны и направления его распространения, называется серым телом.

Излучательность (энергетическая светимость) R_S абсолютно черного тела определяется законом Стефана-Больцмана, согласно которому излучательность абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры тела:

$$R_S = \sigma T^4, \quad (4)$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) – постоянная Стефана-Больцмана.

Для серого тела

$$R_S = \alpha \sigma T^4 \quad (5)$$

где α – средний коэффициент поглощения в измеряемом интервале температур.

Описание экспериментальной установки

Для измерения высоких температур широко применяются оптические методы, основанные на использовании законов теплового излучения. В данной работе для изучения зависимости излучательности от температуры используется лампа накаливания. Приёмником энергии, излучаемой лампой, является термостолбик (см. рис. 1). Термостолбик представляет собой совокупность термостолбиков $ТП$, соединённых последовательно. Их спай через один подвергается нагреванию от излучателя, остальные остаются при комнатной температуре. Подаваемое на лампу H напряжение измеряется вольтметром; сила тока, текущего через нее – амперметром. Сила тока в цепи термостолбика регистрируется гальванометром G .

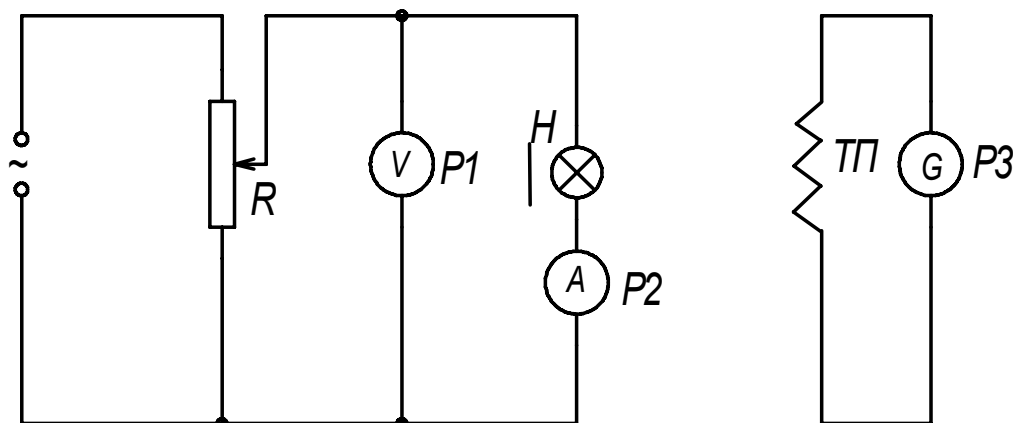


Рисунок 1

Используя закон Ома, можно по измеренным значениям силы тока и напряжения определить значение сопротивления нити лампы в горячем состоянии

$$R = \frac{U}{I}, \quad (6)$$

где U – напряжение; I – сила тока.

Зависимость сопротивления R нити от температуры имеет вид:

$$R = R_0(1 + \alpha t), \quad (7)$$

где R_0 – сопротивление при 0°C ;

$\alpha = 0,0045 \text{ град}^{-1}$ – температурный коэффициент сопротивления;

t – температура в градусах Цельсия.

Выразим отсюда температуру:

$$t = \frac{R - R_0}{R_0 \alpha}. \quad (8)$$

Сила тока i в цепи термостолбика пропорциональна потоку излучения $\Phi_{\text{э}}$. Энергия, излучаемая нитью лампочки, не полностью попадает на термостолбик, так как часть ее рассеивается, поэтому

$$i = k\Phi_{\text{э}}, \quad (9)$$

где k – коэффициент, учитывающий долю падающей на термостолбик энергии. Учитывая, что $\Phi_{\text{э}} = RS$ (см. (2)), а также то, что тело серое (см. (5)), получим:

$$i = k\alpha\sigma T^x S, \quad (10)$$

где x – определяемый показатель степени.

Поверхность нити S , коэффициенты k , α и σ – величины постоянные. Обозначим их произведение через B . Тогда

$$i = BT^x. \quad (11)$$

Для определения показателя степени x прологарифмируем уравнение (11):

$$\lg i = \lg B + x \lg T$$

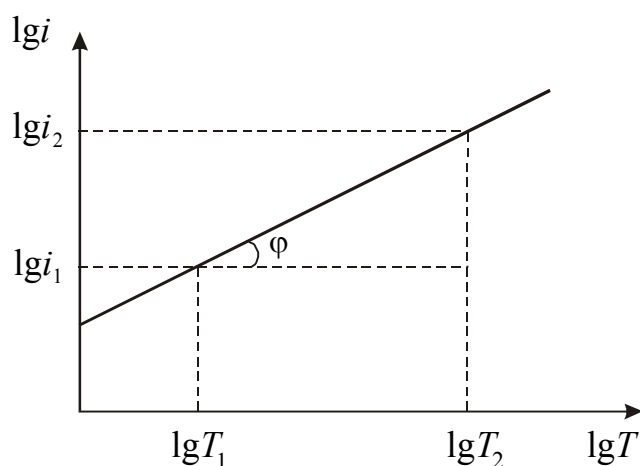


Рисунок 2

График зависимости $\lg i$ от $\lg T$ представляет собой прямую линию (рис. 2).

Показатель степени x равен тангенсу угла наклона графика к оси абсцисс:

$$x = \frac{\lg i_2 - \lg i_1}{\lg T_2 - \lg T_1}. \quad (12)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Запишите формулу, по которой рассчитывается сопротивление нити. Поясните смысл обозначений
4. Запишите формулу, по которой рассчитывается температура нити. Поясните смысл обозначений. Как связана абсолютная температура с температурой о шкале Цельсия?
5. Какой график надо построить по результатам работы?

Выполнение работы

1. Записать значение R_0 , указанное на установке.
2. Определить цену деления приборов. Включить установку в сеть.
3. Регулятором напряжения подобрать такое значение напряжения, чтобы стрелка гальванометра отклонилась на наибольшее число делений (**максимальное значение напряжения не должно превысить 180 В!**). Регулировка накала должна быть медленной, так как нить лампочки обладает тепловой инерцией.
4. Уменьшая напряжение на лампочке с постоянным шагом до значения тока в цепи гальванометра, равного нулю, снять 10-12 показаний гальванометра, вольтметра и амперметра.
5. Повторить измерения для случая увеличения напряжения до максимального значения тока в цепи гальванометра, устанавливая те же значения напряжения.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Вычислить сопротивление лампочки по формуле (6) по результатам каждого измерения.
2. Вычислить температуру нити лампочки по формуле (8) по результатам каждого измерения. Выразите температуру в кельвинах.
3. Найти $\lg T$ и $\lg i$.
4. Построить график зависимости логарифма силы тока в цепи гальванометра от логарифма абсолютной температуры нити лампочки: $\lg i = f(\lg T)$.
5. Рассчитать показатель степени x по формуле (12).

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какое излучение называется тепловым? Какими величинами характеризуют тепловое излучение. Запишите соответствующие формулы.
2. Какое тело называется абсолютно черным?
3. Сформулируйте закон Стефана-Больцмана. Запишите формулу.
4. Полученное значение показателя степени сравните с теоретическим значением. Сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 89

Выполнил(а) _____

Группа _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число делений на шкале прибора	Цена деления с указанием единицы измерения
1	Вольтметр			
2	Амперметр			
3	Микроамперметр			

Сопротивление нити накала при 0°C $R_0 =$ _____Температурный коэффициент сопротивления $\alpha = 0,0045$ град⁻¹.

№ п/п	U , В	I , А	i , мкА	R , Ом	t , °C	T , К	$\lg i$	$\lg T$
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 91

ИЗУЧЕНИЕ ВАКУУМНЫХ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Цель работы – снять вольтамперную характеристику вакуумного фотоэлемента, проверить первый закон фотоэффекта и определить интегральную чувствительность фотоэлемента.

Приборы и принадлежности: вакуумный фотоэлемент СЦВ-3, источник питания, микроамперметр, вольтметр, реостат, люксметр.

Общие положения

Внешним фотоэлектрическим эффектом (фотоэффектом) называется испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения (света). Электроны, вылетающие из вещества, называются фотоэлектронами, а электрический ток, образуемый ими при движении во внешнем электрическом поле, называется фототоком. Основные закономерности фотоэффекта заключаются в следующем:

1. Фототок насыщения пропорционален световому потоку при его неизменном спектральном составе.

2. Максимальная кинетическая энергия электронов, испускаемых с поверхности твердого тела, пропорциональна частоте падающего света и не зависит от его интенсивности.

3. Для каждого вещества существует определенная частота, при которой фотоэффект прекращается. Эту частоту ν_0 и соответствующую ей длину волны λ_0 называют красной границей фотоэффекта.

А. Эйнштейн показал, что закономерности фотоэффекта легко объяснить, если предположить, что свет поглощается веществом такими же порциями (квантами), какими он, по гипотезе М. Планка, испускается. Энергия кванта $\varepsilon = h\nu$ поглощается электроном полностью. Часть этой энергии, равная работе выхода $A_{\text{ВЫХ}}$, затрачивается на то, чтобы электрон мог покинуть вещество. Остаток энергии образует кинетическую энергию вылетевшего электрона. В этом случае должно выполняться соотношение

$$h\nu = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2} + A_{\text{ВЫХ}}. \quad (1)$$

Соотношение (1) называется уравнением Эйнштейна для фотоэффекта.

На основании первого закона фотоэффекта можно записать:

$$i_{\text{нас}} = \gamma\Phi, \quad (2)$$

где $i_{\text{нас}}$ – ток насыщения, Φ – световой поток.

Коэффициент пропорциональности γ является характеристикой фотоэлемента и называется интегральной чувствительностью. Для различных вакуумных фотоэлементов чувствительность γ лежит в пределах $1 \div 100$ мкА/лм.

Световой поток Φ можно определить, зная площадь фотокатода S и освещенность его поверхности E :

$$\Phi = ES. \quad (3)$$

Освещенность поверхности зависит от силы света источника и расстояния между фотокатодом и источником. В системе СИ единицей измерения светового потока является люмен (лм), освещенности – люкс (лк).

Согласно (2), зависимость $i_{нас} = f(\Phi)$ должна быть линейной, и интегральную чувствительность γ можно найти как тангенс угла наклона этой прямой к оси абсцисс

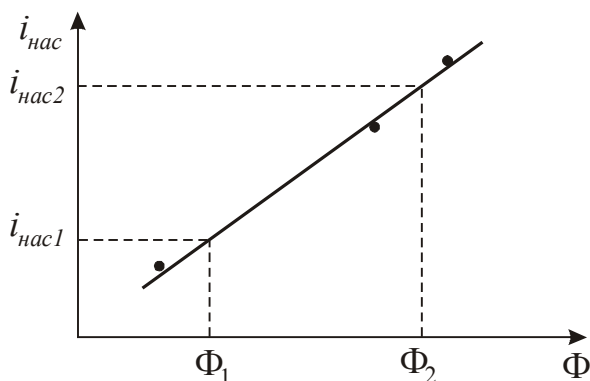


Рисунок 1

$$\gamma = \frac{i_{нас2} - i_{нас1}}{\Phi_2 - \Phi_1}. \quad (4)$$

Описание экспериментальной установки

Вакуумный сурьмяно-цезиевый фотоэлемент СЦВ-3 выполнен в виде стеклянного баллона, воздух из которого откачан до давления $10^{-6} \div 10^{-7}$ мм рт. ст. На одну половину внутренней поверхности баллона на подкладочный слой магния или серебра нанесен тонкий слой сурьмы, а затем слой цезия. Образующееся при этом соединение Cs_3Sb служит катодом. Красная граница фотоэффекта для данного материала, в силу малости работы выхода, находится в видимой части спектра. Площадь катода для данного фотоэлемента $S=4,0$ см². В центральной части баллона находится металлический анод A .

Схема установки представлена на рис. 2.

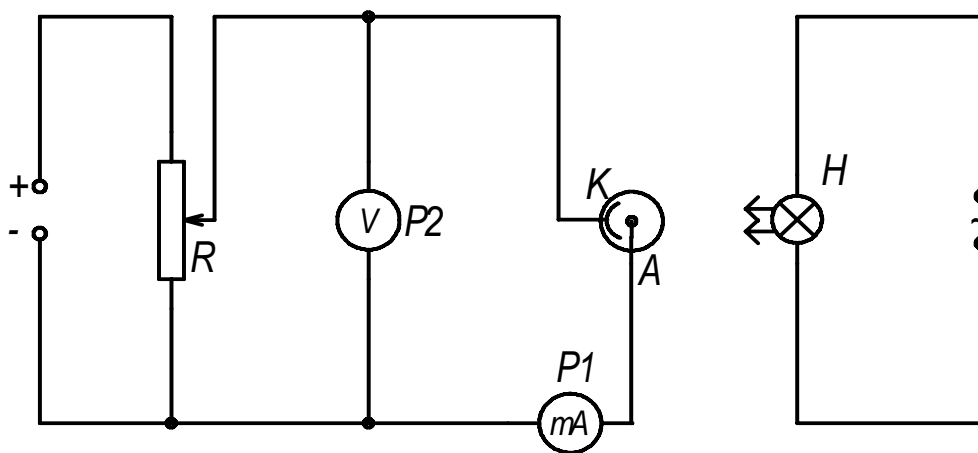


Рисунок 2

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Какие графики необходимо построить по результатам работы? Нарисуйте схематический вид ожидаемых зависимостей.
4. Запишите формулы, по которым Вы будете рассчитывать световой поток, интегральную чувствительность фотоэлемента. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Определить цену деления приборов.
2. Установить фотоэлемент на расстоянии 15 см от источника. Измерить люксметром освещенность фотоэлемента.
3. Снять вольт-амперную характеристику, т.е. зависимость силы фототока от напряжения. Следует иметь в виду, что при малых напряжениях небольшое изменение напряжения вызывает значительное изменение тока. Поэтому в интервале от 0 до 5 В нужно напряжение изменять через 1 В. Затем шаг изменения напряжения можно увеличить до 5 В. Для построения графика $i=f(U)$ снимают не менее 10 пар значений напряжения и тока, из них не менее 5 пар значений должно быть в области насыщения.
4. Повторить измерения еще два раза согласно п. 2, 3, каждый раз увеличивая расстояние на 10 см.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать световой поток для каждого расстояния по формуле (3).
2. Построить графики зависимости силы тока от напряжения $i=f(U)$ по результатам каждого опыта. Графики построить на одной координатной сетке.
3. По графикам определить значения фототока насыщения для каждого светового потока.
4. Построить график зависимости фототока насыщения от светового потока $i_{нас} = f(\Phi)$.
5. Используя график $i_{нас} = f(\Phi)$, рассчитать интегральную чувствительность фотоэлемента по формуле (4).

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какое явление изучалось в данной работе? В чем оно заключается?
2. Сформулируйте законы внешнего фотоэффекта. Какой закон Вы проверяли в данной работе?
3. Запишите уравнение Эйнштейна для фотоэффекта и поясните смысл входящих в него величин.
4. Сравните графики, полученные экспериментально, с теоретическими зависимостями. Сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 91

Выполнил(а) _____

Группа _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число делений на шкале прибора	Цена деления с указанием единицы измерения
1	Вольтметр			
2	Микроамперметр			

Площадь катода фотоэлемента $S =$ _____

№, п/п	r , см	E , лк	U , В	i , мкА	r , см	E , лк	U , В	i , мкА	r , см	E , лк	U , В	i , мкА
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 92

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА И РАБОТЫ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНА

Цель работы – проверить уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, определить постоянную Планка и работу выхода электрона.

Приборы и принадлежности: фотоэлемент вакуумный, источник света, два светофильтра, зеркальный гальванометр, вольтметр, потенциометр.

Описание экспериментальной установки

Схема установки приведена на рисунке 1. Источником света является лампа накаливания Н. Свет, проходя через светофильтр S, освещает катод К фотоэлемента ФЭ. В работе используется вакуумный сурьмяно-цезиевый фотоэлемент СЦВ-3. Он выполнен в виде стеклянного баллона, воздух из которого откачан до давления $10^{-6} \div 10^{-7}$ мм рт. ст. (рис. 1). На одну половину внутренней поверхности баллона на подкладочный слой магния или серебра нанесен тонкий слой сурьмы, а затем слой цезия. Образующееся при этом соединение Cs_3Sb служит катодом. Красная граница фотоэффекта для данного материала, в силу малости работы выхода, находится в видимой части спектра. В центральной части баллона расположен металлический анод А.

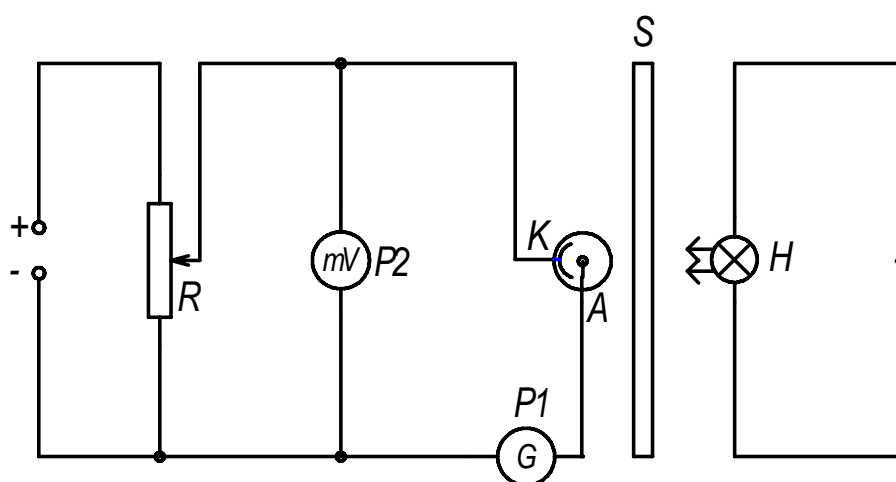


Рисунок 1

Под действием постоянного напряжения, приложенного к фотоэлементу, электроны, вылетевшие из катода, достигают анода и создают в замкнутой цепи ток, величину которого измеряют гальванометром G. Движением электронов можно управлять с помощью внешнего электрического поля, которое можно подобрать таким, чтобы ток через гальванометр был равен нулю.

Общие положения

Внешним фотоэлектрическим эффектом (фотоэффектом) называется испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения (света). Электроны, вылетающие из вещества, называются фотоэлектронами, а электрический ток, образуемый ими при движении во внешнем электрическом поле, называется фототоком. Основные закономерности фотоэффекта заключаются в следующем:

1. Фототок насыщения пропорционален световому потоку при его неизменном спектральном составе.

2. Максимальная кинетическая энергия электронов, испускаемых с поверхности твердого тела, пропорциональна частоте падающего света и не зависит от его интенсивности.

3. Для каждого вещества существует минимальная частота, при которой фотоэффект прекращается. Эту частоту ν_0 и соответствующую ей максимальную длину волны λ_0 называют красной границей фотоэффекта.

А. Эйнштейн показал, что закономерности фотоэффекта легко объяснить, если предположить, что свет поглощается веществом такими же порциями (квантами), какими он, по гипотезе М. Планка, испускается. Энергия кванта $\varepsilon = h\nu$ поглощается электроном полностью. Часть этой энергии, равная работе выхода $A_{\text{вых}}$, затрачивается на то, чтобы электрон мог покинуть вещество. Остаток энергии образует кинетическую энергию вылетевшего электрона. В этом случае должно выполняться соотношение

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

Соотношение (1) называется уравнением Эйнштейна для фотоэффекта.

Работа электрического поля по задержанию электронов по закону сохранения энергии должна равняться кинетической энергии вылетевших электронов:

$$\frac{mv_{\text{max}}^2}{2} = eU, \quad (2)$$

где e – модуль заряда электрона, а величина U называется задерживающим напряжением. Из уравнений (1) и (2) следует:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + eU. \quad (3)$$

Если освещать катод поочередно светом с частотами ν_1 и ν_2 , и измерять значения задерживающих напряжений U_1 и U_2 , то согласно уравнению (3) можно записать:

$$\begin{aligned} h\nu_1 &= A_{\text{вых}} + eU_1; \\ h\nu_2 &= A_{\text{вых}} + eU_2. \end{aligned}$$

Решая систему уравнений, получим:

$$h = \frac{e(U_1 - U_2)}{\nu_1 - \nu_2} \quad (4)$$

и

$$A_{\text{ВЫХ}} = \frac{e(\nu_2 U_1 - \nu_1 U_2)}{\nu_1 - \nu_2}, \quad (5)$$

где

$$\nu = \frac{c}{\lambda}. \quad (6)$$

c – скорость света, λ – длина волны соответствующего светофильтра.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Запишите формулу, по которой рассчитывается частота света. Поясните смысл обозначений.
4. Запишите формулы, по которым Вы будете рассчитывать постоянную Планка и работу выхода электрона. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Подключить к электросети гальванометр. Зайчик гальванометра должен находиться на нуле.
2. Определить цену деления вольтметра.
3. Вставить в держатель один из светофильтров и записать указанную для него длину волны.
4. Подключить к электросети схему.
5. При разомкнутом ключе K убедиться в наличии фототока (зайчик гальванометра отклоняется). Затем замкнуть ключ K и с помощью потенциометра R добиться того, чтобы фототок (ток через гальванометр) стал равен нулю. Величину задерживающего напряжения определить по показанию вольтметра. Измерения повторить не менее трех раз.
6. Заменить светофильтр и провести измерения с ним согласно п. 3, 5.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. По формуле (6) рассчитать частоты ν_1 и ν_2 .
2. По формуле (4) рассчитать три раза постоянную Планка h .
3. По формуле (5) рассчитать три раза работу выхода $A_{\text{ВЫХ}}$. Значение работы выхода выразить в электронвольтах.
($1\text{эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж).

4. Найти средние значения h и A .
5. Рассчитать абсолютную погрешность как для прямых измерений.
6. Найти относительную погрешность измерений. Результаты представить в стандартном виде:

$$h = (\bar{h} \pm \Delta h)$$
$$A_{\text{вых}} = (\bar{A}_{\text{вых}} \pm \Delta A)$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какое явление изучалось в данной работе? В чем оно заключается?
2. Сформулируйте законы внешнего фотоэффекта.
3. Запишите уравнение Эйнштейна для фотоэффекта и поясните смысл входящих в него величин.
4. Как можно объяснить закономерности фотоэффекта на основе квантовой теории света?
5. Что называют красной границей фотоэффекта?
6. Полученные значения постоянной Планка и работы выхода сравните с табличными значениями. Сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 92

Выполнил(а) _____

Группа _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число делений на шкале прибора	Цена деления с указанием единицы измерения
1	Вольтметр			

№ п/п	Цвет светофильтра	λ , нм	ν , Гц	U , мВ	h , Дж·с	$A_{\text{ВЫХ}}$, эВ
1						
2						
3						
среднее						
1						
2						
3						
среднее						

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 94

ЗНАКОМСТВО С РАБОТОЙ УНИВЕРСАЛЬНОГО МОНОХРОМАТОРА – СПЕКТРОМЕТРА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИН ВОЛН СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ АТОМА ВОДОРОДА

Цель работы – проградуировать монохроматор. Определить длины волн спектральных линий видимой части спектра атома водорода

Приборы и принадлежности: прибор УМ-2, блок питания, высоковольтный генератор «Спектр-1», высоковольтная ртутная лампа, неоновая лампа, водородная разрядная трубка.

Общие положения

Простейшими атомными системами являются атом водорода и водородоподобные ионы, у которых в поле ядра находится один электрон. Единственный электрон атома водорода движется в кулоновском поле ядра и обладает потенциальной энергией:

$$U(r) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}.$$

Координатная волновая функция $\psi(r)$ стационарных состояний электрона с энергией E в атоме водорода является решением уравнения Шрёдингера

$$\Delta\psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} \right) \psi = 0. \quad (1)$$

Решение уравнения (1) существует только при

$$E = E_n = -\frac{Rch}{n^2} \quad (2)$$

где $n = 1, 2, 3, 4 \dots$ – целые числа; $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ – постоянная Ридберга, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ – скорость света в вакууме, $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$ – постоянная Планка.

Набор дискретных значений энергии E_n образует энергетический спектр атома водорода. Характеризующее уровни этого спектра число n называется главным квантовым числом. Так как любая спектральная линия возникает при переходе электрона с одного энергетического уровня на другой, то оптический спектр атома водорода является линейчатым. Длины волн спектральных линий описываются обобщенной формулой Бальмера:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_k^2} \right), \quad (3)$$

где n_i – номер энергетического уровня, на который переходит электрон;
 n_k – номер энергетического уровня, с которого переходит электрон.

Спектральные линии принято группировать в спектральные серии. В каждую серию входят все линии с фиксированным n_i , т.е. относящиеся к переходу атома (при излучении) на один и тот же нижний уровень с различных верхних.

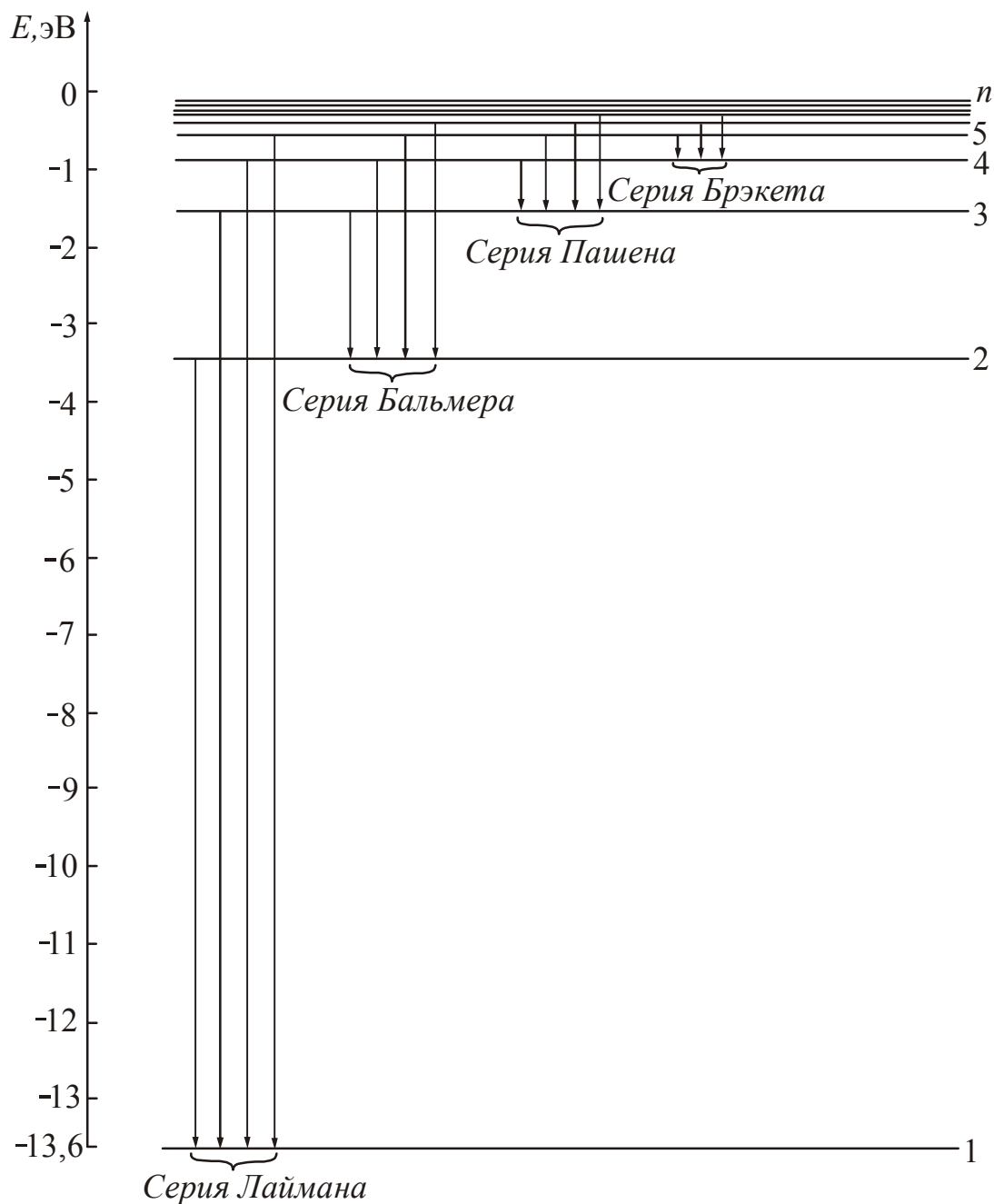


Рисунок 1

Серию с $n_i=1$ ($n_k=2, 3, 4, \dots$) называют серией Лаймана. Линии находятся в области ультрафиолетового излучения.

Серия с $n_i=2$ ($n_k=3, 4, 5, \dots$) носит название серии Бальмера. Четыре первые линии этой серии лежат в видимой части спектра и обозначаются H_α , H_β , H_γ , H_δ . Остальные линии серии Бальмера находятся в области ультрафиолетового излучения.

Серии с $n_i=3$ ($n_k=4, 5, 6, \dots$) – серия Пашена,

$n_i=4$ ($n_k=5, 6, 7, \dots$) – серия Бреккета,

$n_i = 5$ ($n_k = 6, 7, 8, \dots$) – серия Пфунда.

Эти серии находятся в инфракрасной части спектра.

В спектроскопии уровни энергии принято изображать горизонтальными линиями, а переходы между ними – стрелками (рис. 1). Стрелкам, направленным от высших уровней энергии к низшим соответствуют линии излучения; стрелкам, проведенным в обратном направлении – линии поглощения.

Описание экспериментальной установки

Для изучения оптических спектров используется стеклянно-призменный монохроматор-спектрометр УМ-2, предназначенный для спектральных исследований в диапазоне длин волн от 380 нм до 1000 нм. Оптическая схема спектрометра показана на рисунке 2.

Свет через входную щель 1 попадает на объектив коллиматора и параллельным пучком попадает на диспергирующую призму 3. Входная щель снабжена микрометрическим винтом 2, который позволяет открывать щель на нужную величину для получения достаточной интенсивности линий. Под прямым углом к подающему пучку света помещается входная труба спектрометра, состоящая из объектива 4 и окуляра 5, в фокальной плоскости объектива расположен указатель 8. Поворачивая призменный столик 6 на разные углы относительно падающего пучка при помощи микрометрического винта 7, наблюдают через входную щель различные участки спектра. Микрометрический винт снабжен отсчётным барабаном. Для проведения наблюдений источник света необходимо установить на оптической скамье так, чтобы объектив коллиматора был равномерно освещен.

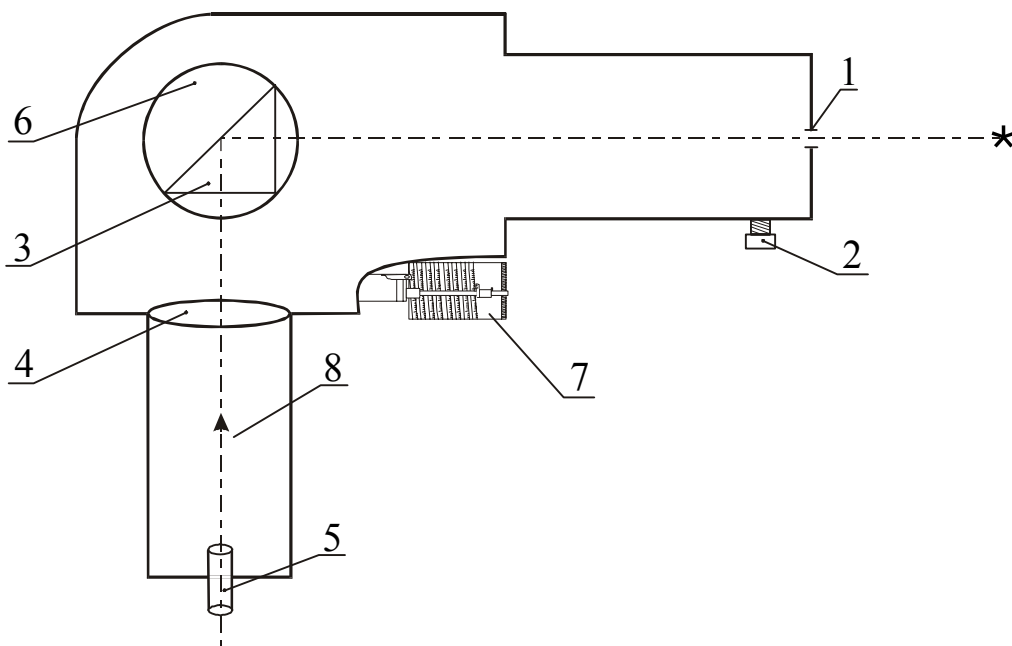


Рисунок 2

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Как произвести градуировку спектрометра? Спектры каких элементов целесообразно для этого использовать?
3. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать значения длин волн атома водорода. Поясните смысл обозначений. Какие значения примут n_i и n_k для каждой наблюдаемой линии?

Выполнение работы

Задание 1. Градуировка спектрометра

Проградуировать спектрометр – значит установить связь между длиной волны наблюдаемой спектральной линии и углом поворота призменного столика.

Градуировка производится по спектрам ртути и неона. Таблица спектральных линий этих элементов приведена на рабочем месте.

Начинать градуировку целесообразно с крайней фиолетовой линии ртути. Для градуировки прибора в красной части спектра следует пользоваться неоновой лампой, спектр которой богат красными линиями.

1. Переписать в протокол измерений цвета линий и соответствующие им длины волн для ртути и неона с таблицы спектральных линий этих элементов, приведенной на рабочем месте.
2. Включить пульт питания в сеть и тумблер «сеть» на пульте.
3. Включить ртутную лампу тумблером «лампа ДРШ» и нажатием кнопки на панели пульта питания.
4. Найти спектральные линии ртути и получить их резкое тонкое изображение.
5. Вращая барабан, последовательно совмещать острие указателя с каждой линией спектра и производить отсчет по делениям барабана. Произведя измерения для желтых линий ртути, лампу ДРШ выключить.
6. Установить на оптической скамье неоновую лампу и проградуировать прибор в красной области спектра.

Задание 2. Определение длин волн спектральных линий водорода

В опытах по измерению длин волн серии Бальмера источником света служит водородная трубка. Следует отметить, что в спектре водородной трубки наряду с линиями атомного спектра наблюдается спектр молекулярного водорода, поэтому поиск нужных линий целесообразно начинать с наиболее интенсивной красной линии H_α , вторая линия H_β – зелено-голубая. В промежутке между ними располагаются несколько красно-желтых и зеленых молекулярных полос. Третья линия H_γ – сине-фиолетовая. Перед этой линией расположены две слабые молекулярные полосы синего цвета. Четвертая линия H_δ – фиолетовая. Ее удаётся найти лишь в некоторых экземплярах водородных трубок.

1. Вставить водородную трубку в высоковольтный генератор СПЕКТР-1 и включить его.
2. Получить резкое изображение видимых линий спектра водорода.
3. Произвести отсчет по барабану для наблюдаемых спектральных линий атомарного водорода.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Построить градуировочную (дисперсионную) кривую, откладывая по оси абсцисс показания барабана, а по оси ординат – длину волны спектральных линий.
2. По градуировочной кривой определить длины волн линий спектра водорода.
3. Вычислить теоретические значения длин волн спектральных линий водорода, используя формулу (3).

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Каково назначение спектрометра?
2. Нарисуйте схему энергетических уровней атома водорода.
3. На схеме энергетических уровней изобразите переходы, соответствующие различным спектральным сериям.
4. Укажите, какие переходы соответствуют минимальной и максимальной длинам волн видимой части спектра атомарного водорода.
5. Сравните экспериментально полученные значения длин волн с рассчитанными значениями. Сделайте вывод.

Лабораторная работа №95

ЗНАКОМСТВО С РАБОТОЙ ГЕЛИЙ-НЕОНОВОГО ЛАЗЕРА И
ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы – ознакомиться с принципом работы лазера; определить длину волны лазерного излучения; проверить поляризованность лазерного излучения.

Приборы и принадлежности: гелий-неоновый лазер, экран, дифракционная решетка, поляроид, фотоэлемент, микроамперметр, оптическая скамья, держатель экрана, держатель для блока фотоэлемента и дифракционной решетки.

Общие положения

Лазер (оптический квантовый генератор) – это источник когерентного электромагнитного излучения оптического диапазона, действие которого основано на использовании вынужденного излучения атомов и молекул.

Вынужденное (индуцированное) излучение – это излучение электромагнитных волн атомами или молекулами, находящимися в возбужденном, т. е. неравновесном состоянии, под действием вынуждающего электромагнитного излучения. Вынужденное излучение по своим свойствам совершенно одинаково с тем излучением, которое вызывает его появление. Новый фотон, появившийся в результате того, что атом вещества переходит из возбужденного состояния в основное под действием света, ничем не отличается от фотона, вызвавшего его появление. С точки зрения волновой оптики явление вынужденного излучения сводится к увеличению интенсивности электромагнитной волны, проходящей через вещество. При этом частота волны, направление ее распространения, фаза и поляризация волны остаются неизменными. Вынужденное излучение строго когерентно с вызвавшим его проходящим светом. Когерентность состоит в согласованном протекании во времени и пространстве волновых процессов.

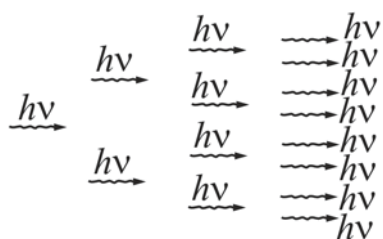


Рисунок 1

Новый фотон, появившийся в результате индуцированного излучения, усиливает свет, проходящий через среду. Два фотона, образовавшиеся в одном акте вынужденного излучения, при встрече с двумя атомами, находящимися в возбужденном состоянии, переведут их с возбужденного уровня на более низкий уровень, и в результате этого появится четыре одинаковых фотона и т.д. (рис. 1).

Но одновременно с индуцированным излучением происходит поглощение света. Среды называется усиливающей (активной средой), если процессы вынужденного излучения преобладают над процессами поглощения света. Усиливающая среда называется также средой с отрицательным поглощением света. В такой среде происходит быстрое возрастание интенсивности J проходящего света с увеличением толщины усиливающей среды за счет лавинообразного нарастания числа фотонов (рис. 2).

Для получения среды с отрицательным поглощением света необходимо создать в среде необычное неравновесное (*инверсное*) состояние: число атомов на возбужденном уровне должно быть больше, чем на нижнем уровне. Такое распределение атомов по уровням является «перевернутым» по сравнению с обычным. Обычно на верхних уровнях атомов меньше, чем на нижних.

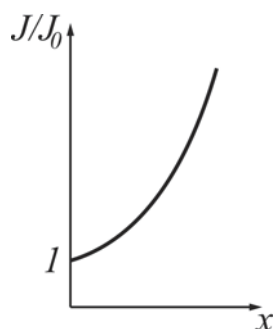


Рисунок 2

Процесс перевода среды в инверсное состояние называется *накачкой* усиливающей среды. Практически накачка осуществляется *по трехуровневой* схеме. В используемом лазере усиливающей средой служит плазма высокочастотного газового разряда, полученная в смеси гелия с неоном. На рис. 3 изображена упрощенная трехуровневая энергетическая диаграмма такого лазера.

Атомы гелия возбуждаются ударами электронов и переходят в возбужденное состояние E_3 . При столкновениях возбужденных атомов гелия с атомами неона последние также возбуждаются и переходят на один из возбужденных уровней неона. Переход атомов неона с этого уровня на один из нижних уровней E_2 сопровождается лазерным излучением.

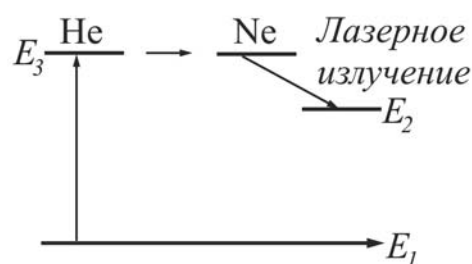


Рисунок 3

Эффект усиления света в лазерах увеличивается за счет многократного прохождения усиливаемого света через один и тот же слой активной среды. Это достигается тем, что активную среду помещают между двумя зеркалами, установленными параллельно друг другу. Обычно газовые лазеры работают в непрерывном режиме.

Основными свойствами лазерного излучения являются: монохроматичность (постоянная частота излучения), высокая когерентность, поляризованность и острая направленность (малая расходимость) луча.

Методика эксперимента и описание экспериментальной установки

Длину волны лазерного излучения в данной лабораторной работе определяют, используя явление дифракции света. В случае нормального падения света на дифракционную решетку условие главных дифракционных максимумов выглядит так:

$$d \sin \varphi = m\lambda, \tag{1}$$

где d – постоянная дифракционной решетки, φ – угол дифракции; λ – длина световой волны, m – порядковый номер максимума ($m=0, 1, 2, 3\dots$).

Ввиду монохроматичности излучения, на экране, установленном за дифракционной решеткой, можно наблюдать несколько дифракционных максимумов.

Наиболее яркий центральный максимум соответствует нулевому порядку ($m = 0$). Его образуют лучи, угол дифракции φ для которых равен нулю. Ос-

тальные максимумы расположены справа на расстояниях l'_1, l'_2, l'_3 от центрального и слева на расстояниях l''_1, l''_2, l''_3 от центрального (рис. 4). Угол дифракции можно определить, измерив расстояния L и l . Так как угол φ мал, то:

$$\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi = \frac{l}{L}. \quad (2)$$

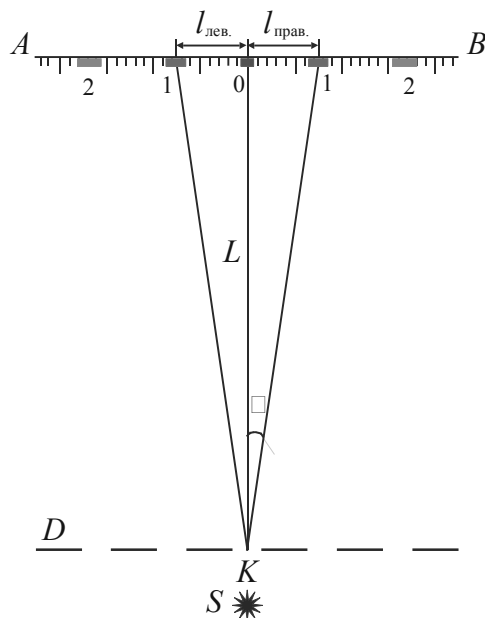


Рисунок 4

Сделав замену в (1), получим формулу для расчета длины волны:

$$\lambda = \frac{ld}{mL}. \quad (3)$$

Излучение гелий-неонового лазера плоско поляризовано. После прохождения анализатора интенсивность поляризованного излучения изменяется по закону Малюса:

$$I = I_0 \cos^2 \alpha \quad (4)$$

где I_0 – интенсивность света вышедшего из лазера; I – интенсивность света, прошедшего анализатор; α – угол между главной осью анализатора и плоскостью поляризации световой волны.

Сила тока, регистрируемая микроамперметром, прямо пропорциональна интенсивности света, падающего на фотоэлемент, который расположен за анализатором. Поэтому график зависимости силы тока от угла поворота анализатора воспроизводит зависимости интенсивности от угла поворота, только в другом масштабе.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Запишите формулу, о которой Вы будете рассчитывать длину волны, поясните смысл обозначений.
4. Какой график необходимо построить по результатам эксперимента?

Выполнение работы

Задание 1. Определение длины волны лазерного излучения

1. Включить лазер в сеть.
2. Записать значение постоянной решетки d , указанное на решетке. Значение дано в миллиметрах.

3. Установить дифракционную решетку в держатель, который находится между лазером и экраном. Решетка должна быть расположена перпендикулярно лазерному лучу.
4. Измерить расстояние L между экраном и решеткой.
5. Измерить расстояния l' и l'' для каждого максимума.
6. Изменить расстояние L , передвинув держатель с решеткой. Повторить измерения согласно пп. 4, 5.

Задание 2. Проверка поляризованности лазерного излучения

1. Вынуть дифракционную решетку из держателя.
2. Расположить блок фотоэлемента так, чтобы луч лазера попал в центр анализатора (слюдяной пластинки). Установить стрелку угла поворота анализатора на нуль.
3. Выключить лазер.
4. Включить микроамперметр в сеть. Установить съемную шкалу. Нажать кнопку « $\times 10$ » и юстировочным винтом установить световой индикатор на нуль.
5. Включить лазер.
6. Вращая анализатор вокруг оси, снять показания фототока через каждые 10° для всех углов от 0 до 360° .

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Определить среднее значение l для каждого максимума по формуле:

$$l = \frac{l' + l''}{2}.$$

2. Рассчитать длину волны λ лазерного излучения для каждого максимума по формуле (3).
3. Найти среднее значение длины волны $\lambda_{\text{ср}}$.
4. Рассчитать абсолютную погрешность как для прямых измерений.
5. Найти относительную погрешность измерений. Результат записать в виде:

$$\lambda = \lambda_{\text{ср}} \pm \Delta\lambda.$$

6. Построить график зависимости силы тока от угла поворота анализатора $i = f(\alpha)$.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какое излучение называется вынужденным? Каковы его свойства?
2. Какое состояние называется инверсным? Как его получают?
3. Перечислите основные свойства лазерного излучения. Какие из них изучались в данной работе?
4. Сформулируйте закон Малюса. Запишите формулу.
5. Какой вывод можно сделать из полученного графика $i = f(\alpha)$?

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №95

Выполнил(а) _____

Группа _____

Задание 1

Постоянная дифракционной решетки: $d =$ _____

№ п/п	m	L , см	l' , мм	l'' , мм	l , мм	λ , нм

Задание 2

α°	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
i , дел										

α°	100	110	120	130	140	150	160	170	180
i , дел									

α°	190	200	210	220	230	240	250	260	270
i , дел									

α°	280	290	300	310	320	330	340	350	360
i , дел									

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 97

СНЯТИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОВАКУУМНОГО ФОТОЭЛЕМЕНТА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТЫ ВЫХОДА

Цель работы – снять вольтамперную характеристику вакуумного фотоэлемента, определить работу выхода и красную границу фотоэффекта.

Приборы и принадлежности: вакуумный фотоэлемент СЦВ-3, источник питания, микроамперметр, вольтметр, реостат.

Общие положения

Фотоэлектронная эмиссия, называемая иначе внешними фотоэффектом, представляет собой испускание электронов под действием электромагнитного излучения. Эмитирующий электрод при этом называют фотоэлектронным катодом (фотокатодом), испускаемые им электроны – фотоэлектронами, а электрический ток, образуемый ими при движении во внешнем электрическом поле, называется фототоком.

Электривакуумный фотоэлемент представляет собой диод, у которого на внутреннюю поверхность стеклянного баллона нанесен фотокатод в виде тонкого слоя вещества, эмитирующего фотоэлектроны. Анодом обычно является металлическое кольцо, не мешающее попаданию света на фотокатод. В электронных фотоэлементах создан высокий вакуум. Катоды обычно применяются сурьмяно-цезиевые или серебряно-кислородно-цезиевые.

Исследование закономерностей фотоэффекта можно провести с помощью установки, схема которой представлена на рис. 1. Свет, проникающий через кварцевое окошко K_B , освещает фотокатод K , изготовленный из исследуемого материала.

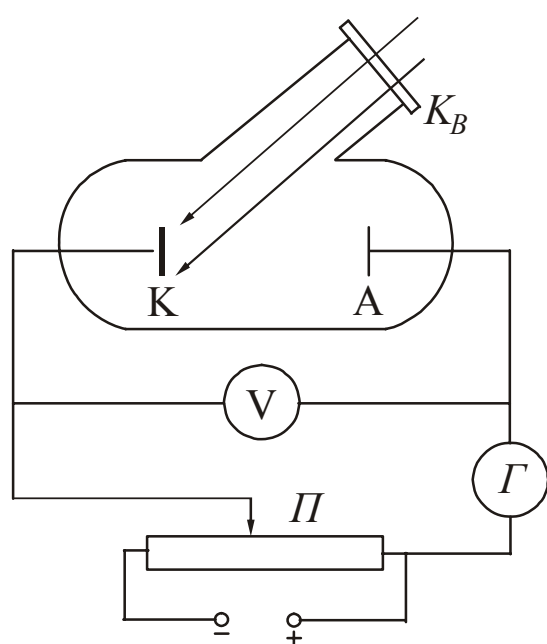


Рисунок 1

Электроны, испущенные вследствие фотоэффекта, перемещаются под действием электрического поля к аноду A . В результате в цепи прибора течет фототок, измеряемый гальванометром Γ . Напряжение между анодом и катодом можно изменять с помощью потенциометра Π , а измерять вольтметром V .

Полученная зависимость фототока I от напряжения между электродами U , называемая вольт-амперной характеристикой, представлена на рис. 2. Характеристика снимается при неизменном световом потоке Φ .

Из анализа этой кривой можно сделать следующие выводы.

При некотором не очень большом напряжении фототок достигает насыщения. Это значит, что все электроны, испущенные катодом,

дом, попадают на анод. Сила тока насыщения I_n будет определяться количеством электронов, испускаемых катодом в единицу времени под действием света.

Пологий ход кривой указывает на то, что электроны вылетают из катода с различными по величине скоростями. При напряжении $U=0$ часть электронов долетает до анода «самостоятельно», без помощи ускоряющего поля.

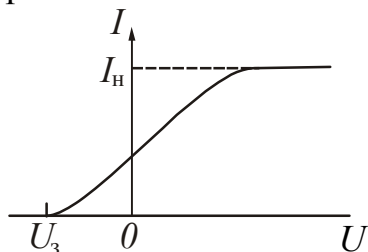


Рисунок 2

Для того чтобы обратить силу тока в нуль, нужно приложить обратное, т.е. задерживающее напряжение U_3 . При таком напряжении ни одному из электронов, даже обладающему при вылете из катода наибольшим значением скорости v_{\max} не удастся достигнуть анода.

На основании экспериментов были установлены следующие законы фотоэффекта.

1. Фототок насыщения пропорционален световому потоку при его неизменном спектральном составе.

2. Максимальная кинетическая энергия электронов, испускаемых с поверхности твердого тела, пропорциональна частоте падающего света и не зависит от его интенсивности.

3. Для каждого вещества существует определенная частота, при которой фотоэффект прекращается. Эту частоту ν_0 и соответствующую ей длину волны λ_0 называют красной границей фотоэффекта.

4. Фотоэффект – явление безынерционное, т.е. испускание электронов начинается сразу же, как только на фотокатод попадает свет с частотой $\nu > \nu_0$.

В случае поглощения света веществом каждый поглощенный фотон передает всю свою энергию электрону. Часть этой энергии электрон затрачивает на совершение работы выхода $A_{\text{вых}}$ из вещества. **Работой выхода** называется энергия, которую необходимо сообщить электрону для того, чтобы удалить его из твердого или жидкого тела в вакуум. Остаток энергии образует кинетическую энергию вылетевшего электрона. В этом случае по закону сохранения энергии должно выполняться соотношение

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

которое называется уравнением Эйнштейна для фотоэффекта.

Из уравнения Эйнштейна непосредственно вытекает второй закон фотоэффекта:

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = h\nu - A_{\text{вых}}. \quad (2)$$

Максимальная кинетическая энергия линейно зависит от частоты, так как работа выхода для данного вещества величина постоянная. При $\nu = \nu_0$ энергия обращается в нуль. При этом

$$h\nu_0 = A_{\text{вых}}, \quad (3)$$

т.е. красная граница фотоэффекта будет определяться веществом.

Работа электрического поля по задержанию электронов по закону сохранения энергии должна равняться максимальной кинетической энергии вылетевших электронов:

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = eU_3, \quad (4)$$

где e – модуль заряда электрона, а величина U_3 называется задерживающим напряжением. Из уравнений (1) и (2) следует:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + eU_3. \quad (5)$$

Если освещать катод поочередно светом с частотами ν_1 и ν_2 , и измерять значения задерживающих напряжений U_1 и U_2 , то согласно уравнению (5) можно записать:

$$\begin{aligned} h\nu_1 &= A_{\text{вых}} + eU_{3_1}; \\ h\nu_2 &= A_{\text{вых}} + eU_{3_2}. \end{aligned}$$

Решая систему уравнений относительно $A_{\text{вых}}$, получим:

$$A_{\text{вых}} = \frac{e(\nu_2 U_{3_1} - \nu_1 U_{3_2})}{\nu_1 - \nu_2}, \quad (6)$$

где

$$\nu = \frac{c}{\lambda}. \quad (7)$$

c – скорость света, λ – длина волны соответствующего светофильтра.

Описание экспериментальной установки

Схема установки приведена на рисунке 3. Источником света является лампочка накаливания Н. Свет, проходя через светофильтр S, освещает катод К фотоэлемента ФЭ. В работе используется вакуумный сурьмяно-цезиевый фотоэлемент СЦВ-3. Он выполнен в виде стеклянного баллона, воздух из которого откачан до давления $10^{-6} \div 10^{-7}$ мм рт. ст. (рис. 3). На одну половину внутренней поверхности баллона на подкладочный слой магния или серебра нанесен тонкий слой сурьмы, а затем слой цезия. Образующееся при этом соединение Cs_3Sb служит катодом. Красная граница фотоэффекта для данного материала, в силу малости работы выхода, находится в видимой части спектра. В центральной части баллона расположен металлический анод А.

Под действием постоянного напряжения, приложенного к фотоэлементу, электроны, вылетевшие из катода, достигают анода и создают в замкнутой цепи ток, величину которого измеряют гальванометром G . Движением электронов можно управлять с помощью внешнего электрического поля, которое регулируется потенциометром R .

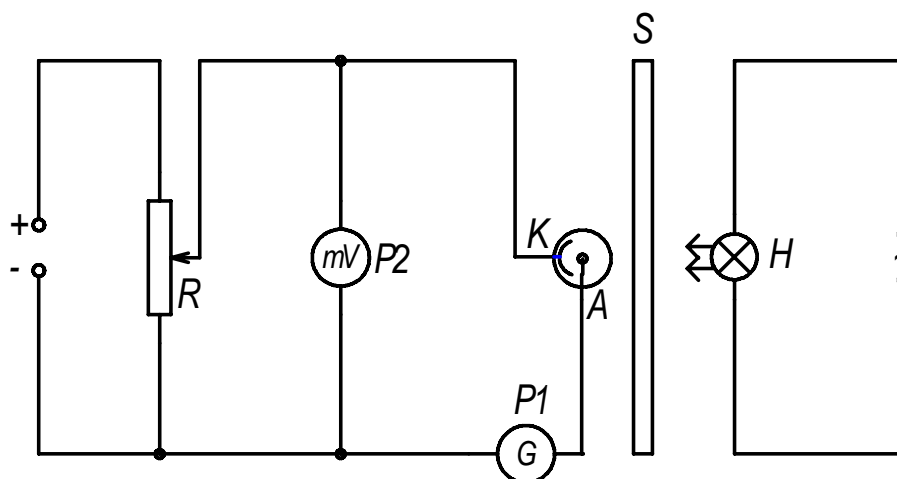


Рисунок 3

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Какие графики необходимо построить по результатам работы? Схематично нарисуйте ожидаемый вид графика.
4. Запишите формулы, по которым Вы будете рассчитывать работу выхода, частоту и длину волны, соответствующие красной границе фотоэффекта. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Подключить к электросети схему и прибор ВЗ-27.
2. Определить цену деления милливольтметра.
3. Вставить в держатель один из светофильтров и записать указанную для него длину волны. Открыть защитную крышку.
4. При разомкнутом ключе K убедиться в наличии фототока.
5. Замкнуть ключ K в положение «прямое напряжение». Снять зависимость силы фототока от прямого приложенного напряжения (7-8 пар значений), увеличивая напряжение от 0 до 1500 мВ с помощью потенциометра R . Снять зависимость два раза. Найти средние значения тока при каждом напряжении.
6. Замкнуть ключ K в положение «обратное напряжение» и, изменяя напряжение с помощью потенциометра R , снять зависимость силы фототока от приложенного обратного напряжения. Напряжение изменять от 0 до того значения, при котором фототок станет равным нулю. Снять зависимость два раза. Найти средние значения тока при каждом напряжении.
7. Заменить светофильтр и записать указанную для него длину волны.
8. Провести измерения с другим светофильтром согласно п. 4, 5, 6.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Построить графики зависимости фототока от напряжения $i=f(U)$ во всем измеренном диапазоне напряжений. По графикам определить значения задерживающего напряжения для каждого светофильтра.
2. Используя указанные значения длин волн для каждого светофильтра, по формуле (7) рассчитать частоты ν_1 и ν_2 .
3. По формуле (6) рассчитать работу выхода $A_{\text{вых}}$. Значение работы выхода выразить в электронвольтах, учитывая, что $1\text{эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.
4. Рассчитать значение красной границы фотоэффекта ν_0 и соответствующее ему значение длины волны λ_0 , используя формулы (3) и (7).

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какое явление изучалось в данной работе? В чем оно заключается?
2. Сформулируйте законы внешнего фотоэффекта
3. Проанализируйте полученную вольт-амперную характеристику.
4. Опишите устройство и принцип работы вакуумного фотоэлемента.
5. Сравните полученное значение работы выхода с табличным. Сравните экспериментально полученную вольт-амперную характеристику с теоретической зависимостью. Сделайте вывод.
6. Определите, какому интервалу шкалы электромагнитных волн соответствует полученное значение красной границы λ_0 .

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 97

Выполнил(а) _____

Группа _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число делений на шкале прибора	Цена деления с указанием единицы измерения
1	Милливольтметр			

Цвет светофильтра _____ Длина волны $\lambda_1 =$ _____ Частота $\nu_1 =$ _____

№ п/п	Прямое напряжение				Обратное напряжение			
	U , мВ	i_1 , мкА	i_2 , мкА	i_{cp} , мкА	U , мВ	i_1 , мкА	i_2 , мкА	i_{cp} , мкА
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
					$U_{3_1} =$			

Цвет светофильтра _____ Длина волны $\lambda_2 =$ _____ Частота $\nu_2 =$ _____

№ п/п	Прямое напряжение				Обратное напряжение			
	U , мВ	i_1 , мкА	i_2 , мкА	i_{cp} , мкА	U , мВ	i_1 , мкА	i_2 , мкА	i_{cp} , мкА
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
					$U_{3_2} =$			

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 109

ЗНАКОМСТВО С РАБОТОЙ УНИВЕРСАЛЬНОГО МОНОХРОМАТОРА – СПЕКТРОМЕТРА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ РИДБЕРГА

Цель работы – проградуировать монохроматор. Определить длины волн спектральных линий видимой части спектра атома водорода, рассчитать постоянную Ридберга.

Приборы и принадлежности: универсальный монохроматор УМ-2, пульт питания, высоковольтный генератор «Спектр-1», высоковольтная ртутная лампа, неоновая и водородная разрядные трубки.

Общие положения

Простейшими атомными системами являются атом водорода и водородоподобные атомы, у которых в электрическом поле ядра находится один электрон. Единственный электрон атома водорода движется в кулоновском поле и обладает потенциальной энергией $U(r) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}$. Уравнение Шрёдингера для атома водорода примет вид:

$$\Delta\psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} \right) \psi = 0. \quad (1)$$

Решение уравнения (1) существует только при

$$E = E_n = -\frac{Rch}{n^2} \quad (2)$$

где $n = 1, 2, 3, 4 \dots$ – главные квантовые числа;

R – постоянная Ридберга;

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

$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка.

Набор дискретных значений энергии электрона образует энергетический спектр атома водорода. Характеризующее уровни этого спектра число n называется главным квантовым числом, оно совпадает с номером энергетического уровня. Так как любая спектральная линия возникает при переходе с одного энергетического уровня на другой, то оптический спектр атома водорода является линейчатым. Длины волн спектральных линий описываются обобщенной формулой Бальмера:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_k^2} \right) \quad (3)$$

где n_i – номер энергетического уровня, на который переходит электрон;
 n_k – номер энергетического уровня, с которого переходит электрон.

Спектральные линии принято группировать в спектральные серии. В каждую серию входят все линии с фиксированным n_i , т.е. относящиеся к переходу атома (при излучении) на один и тот же нижний уровень с различных верхних.

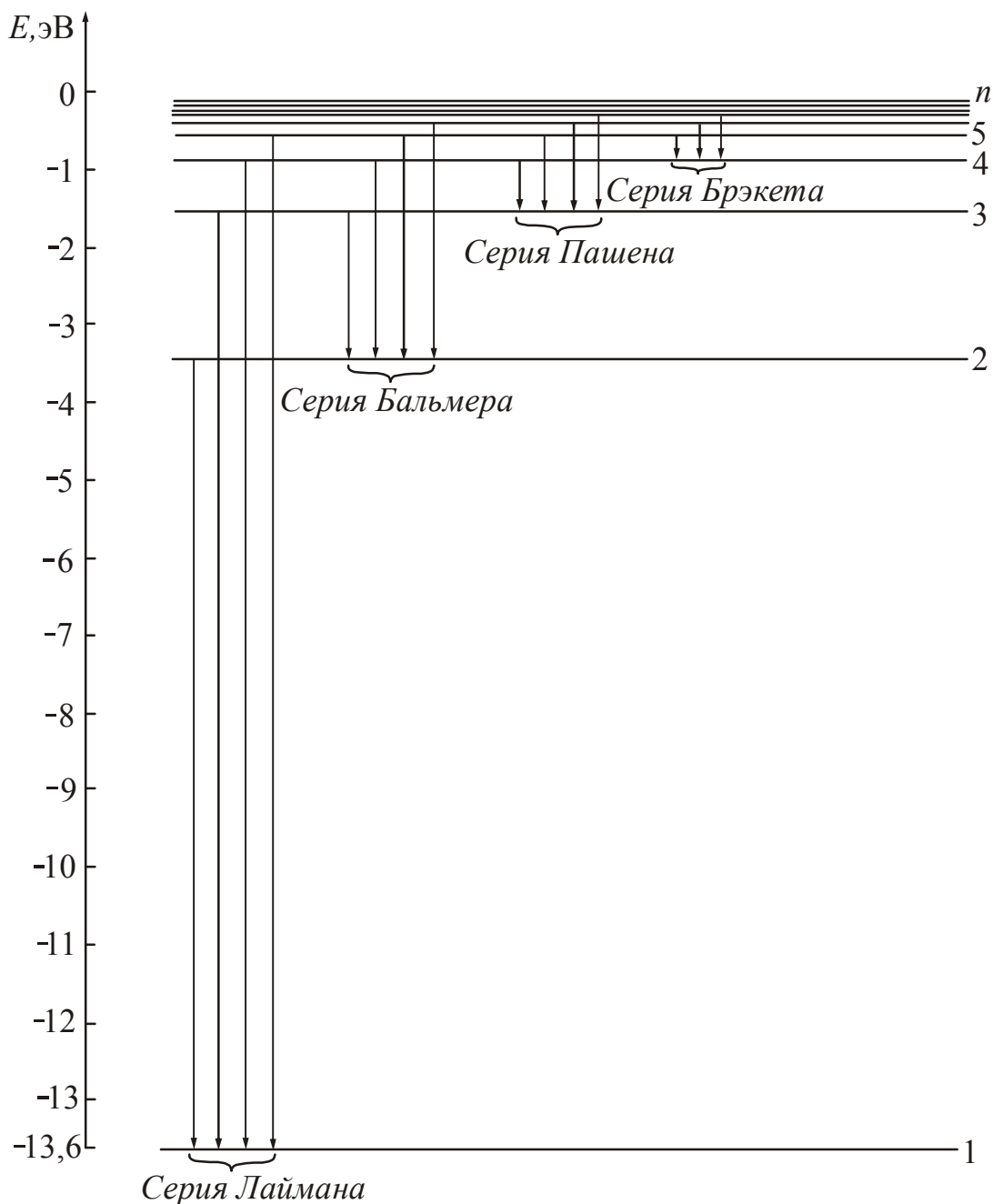


Рисунок 1

Серию с $n_i = 1$ ($n_k = 2, 3, 4, \dots$) называют *серией Лаймана*. Линии находятся в области ультрафиолетового излучения.

Серия с $n_i = 2$ ($n_k = 3, 4, 5, \dots$) носит название *серии Бальмера*. Четыре первые линии этой серии лежат в видимой части спектра и обозначаются через H_α , H_β , H_γ , H_δ . Остальные линии серии Бальмера находятся в области ультрафиолетового излучения.

Серии с $n_i = 3$ ($n_k = 4, 5, 6, \dots$) – *серия Пашена*,

$n_i = 4$ ($n_k = 5, 6, 7, \dots$) – *серия Бреккета*,

$n_i = 5$ ($n_k = 6, 7, 8, \dots$) – серия Пфунда.

Эти серии находятся в инфракрасной части спектра.

В спектроскопии уровни энергии принято изображать горизонтальными линиями, а переходы между ними – стрелками (рис. 1). Стрелкам, направленным от более высоких уровней энергии к более низким, соответствуют линии излучения; стрелкам, проведенным в обратном направлении – линии поглощения.

Описание установки

Для изучения оптических спектров используется стеклянно-призменный монохроматор-спектрометр УМ-2, предназначенный для спектральных исследований в диапазоне длин волн от 380 нм до 1000 нм. Оптическая схема спектрометра показана на рисунке 2.

Свет через входную щель 1 попадает на объектив коллиматора и параллельным пучком попадает на диспергирующую призму 3. Входная щель снабжена микрометрическим винтом 2, который позволяет открывать щель на нужную величину для получения достаточной интенсивности линий. Под прямым углом к подающему пучку света помещается входная труба спектрометра, состоящая из объектива 4 и окуляра 5, в фокальной плоскости объектива расположен указатель 8. Поворачивая призменный столик 6 на разные углы относительно падающего пучка при помощи микрометрического винта 7, наблюдают во входной щели различные участки спектра. Микрометрический винт снабжен отсчётным барабаном. Для проведения наблюдений источник света необходимо установить на оптической скамье так, чтобы объектив коллиматора был равномерно освещен.

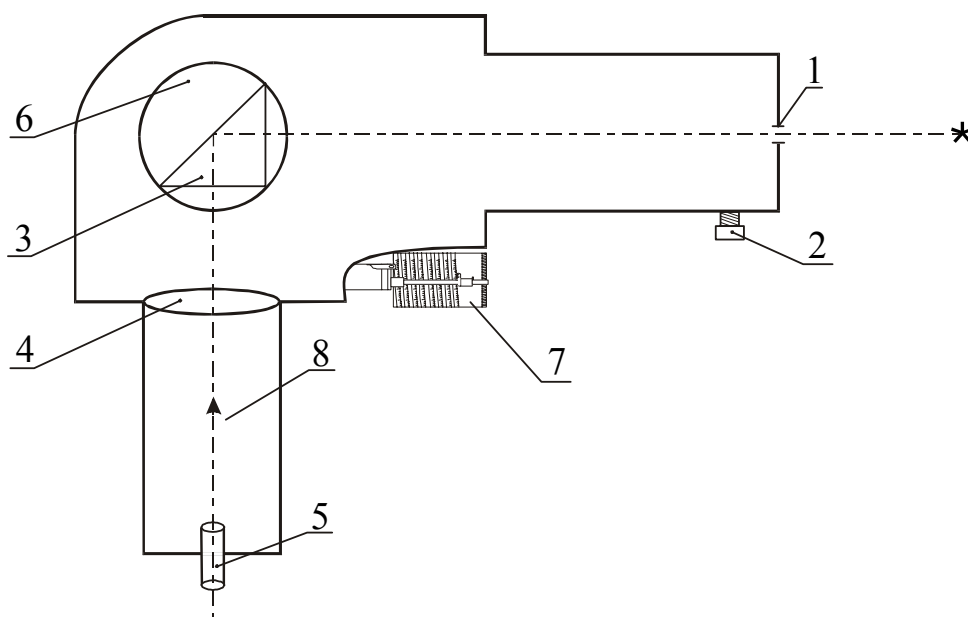


Рисунок 2

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Как произвести градуировку спектрометра? Спектры каких элементов целесообразно для этого использовать?
3. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать постоянную Ридберга. Поясните смысл обозначений. Какие значения примут n_i и n_k для каждой наблюдаемой линии?

Выполнение работы

Задание 1. Градуировка спектроскопа

Проградуировать спектрометр – значит установить связь между длиной волны наблюдаемой спектральной линии и углом поворота призменного столика.

Для градуировки применяются ртутная и неоновая лампы. Таблица спектральных линий ртути и неона приведена на рабочем месте. Для градуировки прибора в красной части спектра следует пользоваться неоновой трубкой, спектр которой богат красными линиями.

1. Переписать в протокол измерения цвета линий и соответствующие им длины волн для ртути и неона с таблицы спектральных линий этих элементов, приведенной на рабочем месте.
2. Включить пульт питания в сеть и тумблер «сеть» на пульте.
3. Включить ртутную лампу тумблером «лампа ДРШ» и нажатием кнопки на панели пульта питания.
4. Найти спектральные линии ртути и получить их резкое тонкое изображение.
5. Вращая барабан, последовательно совмещать острие указателя с каждой линией спектра и производить отсчет по делениям барабана. Произведя измерения для желтых линий ртути, лампу ДРШ выключить.
6. Установить на оптической скамье неоновую лампу и проградуировать прибор в красной области спектра.

Задание 2. Определение постоянной Ридберга

В опытах по измерению длин волн серии Бальмера источником света служит водородная трубка. Следует отметить, что в спектре водородной трубки наряду с линиями атомного спектра наблюдается спектр молекулярного водорода, поэтому поиск нужных линий целесообразно начинать с наиболее интенсивной красной линии H_{α} , вторая линия H_{β} – зелено-голубая. В промежутке между ними располагаются несколько красно-желтых и зеленых молекулярных полос. Третья линия H_{γ} – сине-фиолетовая. Перед этой линией расположены две слабые молекулярные полосы синего цвета. Четвертая линия H_{δ} – фиолетовая. Ее удаётся найти лишь в некоторых экземплярах водородных трубок.

1. Получить резкое изображение спектра водорода. Произвести отсчет по барабану для наблюдаемых спектральных линий атомарного водорода.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Построить градуировочную кривую, откладывая по оси абсцисс показания барабана, а по оси ординат – длину волны спектральных линий.
2. По градуировочной кривой определить длины волн линий водорода.
3. Для каждой из наблюдаемых линий водорода вычислить значение постоянной Ридберга, используя формулу (3).
4. Рассчитать погрешность как для прямых измерений.
5. Найти относительную погрешность измерений. Результат записать в виде:

$$R = (\bar{R} \pm \Delta R).$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Каково назначение спектрометра?
2. Нарисуйте схему энергетических уровней атома водорода.
3. На схеме энергетических уровней изобразите переходы, соответствующие различным спектральным сериям.
4. Укажите, какие переходы соответствуют минимальной и максимальной длинам волн видимой части спектра атомарного водорода.
5. Сравните полученное значение постоянной Ридберга с табличным. Сделайте вывод.

Лабораторная работа №104

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ПОМОЩИ ТЕРМОПАРЫ

Цель работы – произвести градуировку термопары и определить температуру плавления парафина.

Приборы и принадлежности: термопара, гальванометр, миллиамперметр, магазин сопротивлений, реостат, источник напряжения; два сосуда с водой и крышки с отверстиями; пробирка с парафином, термометр, электроплитка, штатив.

Описание экспериментальной установки

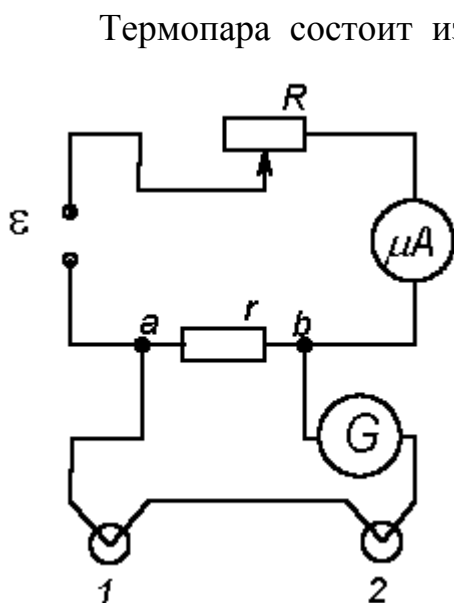


Рисунок 1

Термопара состоит из двух разнородных проволок диаметром 1–2 мм, концы которых спаяны. Термопара укреплена на держателе. Один спай опускается в сосуд с водой комнатной температуры; другой – в сосуд с водой, находящийся на нагревателе. Электрическая цепь собрана в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1. Она состоит из контура внешней цепи и контура термопары. Контур внешней цепи включает в себя источник ε , реостат R и миллиамперметр. Контур термопары включает в себя магазин сопротивлений r , гальванометр и термопару 1, 2.

Общие положения

Если спаи двух разнородных металлов, образующих замкнутую цепь, имеют разные температуры, то в такой цепи возникает электрический ток. Это явление было открыто в 1821 г. Зеебеком. Возникшая электродвижущая сила называется термоэлектродвижущей силой (термо-эдс). Содержащая два спая цепь называется термопарой.

Для некоторых пар материалов величина термо-эдс пропорциональна разности температур между горячим и холодным спаями:

$$\varepsilon_{\text{термо}} = \alpha(T_1 - T_2), \quad (1)$$

где T_1 – температура горячего спая; T_2 – температура холодного спая;
 α – удельная термо-эдс.

Удельная термо-эдс – это термо-эдс, возникающая между спаями при разности температур 1 К. Она зависит от материала спаев и температуры. Для большинства пар металлов удельная термо-эдс имеет значения ($10^{-5} \div 10^{-4}$) В/К, для полупроводниковых материалов до 10^{-3} В/К.

Термопары используют для измерения температур. Один спай термопары поддерживают при постоянной температуре (например, комнатной, или при 0°C), другой помещают в среду, температуру которой хотят измерить. При использовании термопар для точных измерений температуры лучше измерять

возникающую в цепи электродвижущую силу, а не текущий в ней ток. Это связано с тем, что электродвижущая сила зависит только от рода образующих термопару металлов и температуры спаев. А сила текущего в цепи тока определяется, кроме того, сопротивлением измерительного прибора, соединительных проводов и внутренним сопротивлением спаев. Внутреннее сопротивление спаев сильно зависит от состояния спая и поэтому меняется со временем.

Для получения правильных результатов измерений, термопару необходимо предварительно градуировать или использовать стандартные пары с табулированными значениями термо-эдс. Градуировка термопары заключается в установлении зависимости величины термо-эдс от разности температур спаев.

В данной работе термо-эдс измеряется компенсационным методом, основанном на правилах Кирхгофа.

Первое правило: алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле, равна нулю. Для узла b (см. рис. 1) это запишется следующим образом:

$$I_1 + I_2 = I, \quad (2)$$

где I_1 – ток, текущий через гальванометр; I_2 – ток, текущий через сопротивление r ; I – ток, текущий через миллиамперметр.

Второе правило: в замкнутом контуре алгебраическая сумма напряжений на всех участках контура равна алгебраической сумме электродвижущих сил. Для контура термопары это правило запишется следующим образом:

$$\varepsilon_{\text{термо}} = I_1 R_1 + I_2 r, \quad (3)$$

где r – сопротивление участка ab (на магазине сопротивлений);
 R_1 – сопротивление остальной части контура (без участка ab).

Если в контуре внешней цепи эдс источника ε включить навстречу термо-эдс $\varepsilon_{\text{термо}}$, то, изменяя сопротивление R , можно добиться исчезновения тока через гальванометр, т.е. $I_1=0$. Из уравнений (2) и (3) получим:

$$\varepsilon_{\text{термо}} = I r. \quad (4)$$

Удельная термо-эдс выражается из формулы (1)

$$\alpha = \frac{\varepsilon_{\text{термо}}}{T_1 - T_2}. \quad (5)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. В чем заключается градуировка термопары?
3. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
4. Запишите формулы, по которым рассчитываются термо-эдс и удельная термо-эдс. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

Задание 1. Градуировка термопары

1. Определить цену деления миллиамперметра.
2. На магазине сопротивлений установить $r = 0,2$ Ом.

3. Налить воду в сосуды. Опустить спаи термопары в воду.
4. Измерить термометром температуру t_2 воды в сосуде, который не будет нагреваться. Она равна температуре холодного спая.
5. Поместить термометр в отверстие крышки сосуда, стоящего на нагревателе. Концы спая и термометра должны быть в воде на одном уровне и **не должны касаться дна сосуда**.
6. Включить в сеть компенсационную схему и гальванометр. Установить зайчик гальванометра на нуль.
7. Включить в сеть нагреватель.
8. С увеличением температуры t_1 воды (горячего спая) зайчик гальванометра будет отклоняться от нуля. Через каждые $5 - 6$ °С регулятором R реостата, возвращать зайчик на нуль шкалы и записывать значения t_1 и тока I , текущего через миллиамперметр. Нагрев произвести до 70 °С.
9. Нагреватель выключить и вынуть термометр из крышки сосуда. Перейти к выполнению упражнения 2.

Задание 2. Определение температуры плавления парафина

1. Поднять спаи термопар из воды. Вылить горячую воду и налить в этот сосуд воду комнатной температуры.
2. Установить пробирку с парафином в сосуд, стоящий на нагревателе. Опустить спаи термопар в сосуды с водой.
3. Включить нагреватель. В момент начала плавления парафина измерить миллиамперметром компенсационный ток, вернув зайчик гальванометра на нуль.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать разность температур спаев для каждого опыта:
$$T_1 - T_2 = t_1 - t_2 = \Delta t.$$
2. Рассчитать термо-эдс по формуле (4) для каждого опыта.
3. Построить градуировочный график термопары $\varepsilon_{термо} = f(\Delta t)$. Рассчитать среднее значение удельной термо-эдс для исследуемого интервала температур как тангенс угла наклона прямой.
4. Рассчитать значение термо-эдс по формуле (4).
5. По градуировочному графику найти разность температур Δt , соответствующую этой термо-эдс.
6. Определить температуру плавления парафина $t_{плав} = t_2 + \Delta t$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какое явление лежит в основе работы термопары? В чем оно заключается?
2. От чего зависит величина термо-эдс? Запишите соответствующую формулу.
3. Какие правила лежат в основе компенсационного метода определения эдс? Сформулируйте их.
4. Сравните полученное значение температуры плавления с табличными данными. Сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №104

Выполнил(а) _____

Группа _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число делений на шкале прибора	Цена деления с указанием единицы измерения
1	Миллиамперметр			

Сопротивление, выставленное на магазине сопротивлений $r =$ _____Температура холодного спая $t_2 =$ _____

Задание 1

№ п/п	$t, ^\circ\text{C}$	$I, \text{мА}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\varepsilon, \text{мВ}$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Задание 2

Компенсационный ток $I =$ _____

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 105

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ

Цель работы – исследовать зависимость сопротивления полупроводников от температуры, определить ширину запрещенной зоны и температурный коэффициент сопротивления исследуемых материалов.

Приборы и принадлежности: исследуемые полупроводники, нагреватель, термометр, двухполюсный переключатель, мост сопротивлений.

Общие положения

Полупроводники – это широкий класс веществ, характеризующийся значениями удельного сопротивления ρ , промежуточными между удельным сопротивлением металлов ($\rho \sim 10^{-8} \div 10^{-6}$ Ом·м) и хороших диэлектриков ($\rho \sim 10^{12} \div 10^{14}$ Ом·м). Характерной особенностью полупроводников, отличающих их от металлов, является уменьшение их сопротивления с ростом температуры. В широком интервале температур сопротивление полупроводников изменяется по закону:

$$R = R_0 e^{\frac{\Delta E}{2kT}}, \quad (1)$$

где ΔE – ширина запрещенной зоны; k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура.

R_0 – величина, определяемая свойствами конкретного материала, слабо изменяющаяся с температурой. Её можно считать константой для данного полупроводника (нельзя говорить, что это начальное сопротивление или сопротивление при нуле температуры).

График зависимости сопротивления от температуры представлен на рис. 1.

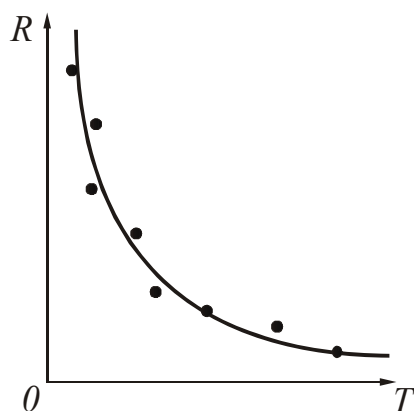


Рисунок 1

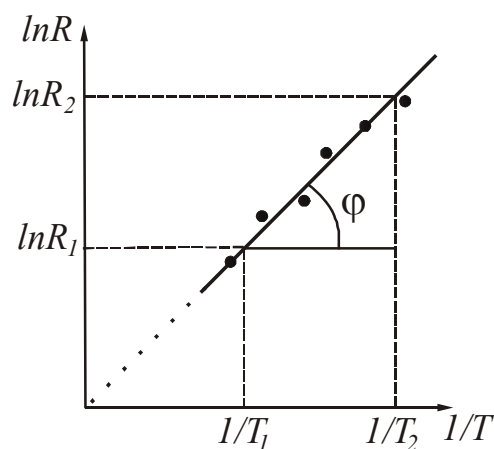


Рисунок 2

Температурную зависимость $R = f(T)$ удобно представлять в координатах $\ln R, 1/T$. Для этого прологарифмируем выражение (1):

$$\ln R = \ln R_0 + \frac{\Delta E}{2kT}. \quad (2)$$

График зависимости $\ln R = f(1/T)$, представленный на рис. 2, имеет вид прямой, наклон которой определяется шириной запрещенной зоны ΔE полупроводника.

Измеряя экспериментально значения R при различных значениях T , можно, используя соотношение (2), определить ширину запрещенной зоны:

$$\Delta E = 2k \frac{\ln R_2 - \ln R_1}{1/T_2 - 1/T_1}. \quad (3)$$

Изменение сопротивления резистора с изменением температуры характеризуют температурным коэффициентом сопротивления. Температурный коэффициент сопротивления – это величина, численно равная относительному изменению сопротивления проводника при изменении его температуры на 1 К:

$$\alpha_T = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT}. \quad (4)$$

Для собственных полупроводников из (1) и (4) следует:

$$\alpha_T = -\frac{\Delta E}{2kT^2}. \quad (5)$$

Из (5) следует, что для собственных полупроводников $\alpha_T < 0$ и убывает по модулю с возрастанием температуры.

Зависимость сопротивления полупроводников от температуры положена в основу работы многих технических устройств. Полупроводниковый прибор, в котором используется зависимость электрического сопротивления от температуры, называется термистором (терморезистором, термосопротивлением). Главные параметры термисторов – диапазон рабочих температур и температурный коэффициент сопротивления. Различают термисторы с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления и с положительным коэффициентом сопротивления (позисторы). Диапазон рабочих температур большинства термисторов лежит в пределах 200÷400 К.

Для изготовления термисторов используют смеси окислов металлов, германий, кремний, карбид кремния, синтетический алмаз, твердые растворы на основе титаната бария (легированные лантаном, церием, висмутом), органические полупроводники и т. д. Термисторы выпускают в виде стержней, трубок, дисков, шайб, бусинок. Размеры их варьируют от нескольких микрометров до нескольких сантиметров. Термисторы применяются для регистрации изменения температуры в системах дистанционного измерения и регулирования темпера-

туры, противопожарной сигнализации и теплового контроля, температурной компенсации различных элементов электрической цепи, измерения скорости движения жидкостей и газов, измерения вакуума, мощности и др.

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка состоит из нагревателя, внутрь которого помещены исследуемые полупроводники; термометра для измерения температуры и прибора для измерения сопротивления (моста сопротивлений).

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Каким прибором Вы будете измерять сопротивление?
4. Какие графики нужно построить по результатам работы? Схематично нарисуйте вид этих графиков (по теории).
5. Запишите формулы, по которым рассчитываются ширина запрещенной зоны и температурный коэффициент сопротивления. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Ознакомиться с правилами измерения сопротивлений мостом (инструкция на рабочем месте).
2. Записать показание термометра, соответствующее начальной температуре измерений.
3. Измерить мостом сопротивления первого и второго термисторов при этой температуре.
4. Включить нагреватель, установив на ЛАТРе напряжение 170-180 В.
5. Через каждые 5-7°C поочередно измерять сопротивления термисторов, переключивая двухполюсный переключатель. Нагрев производить до 80°C.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Для каждого значения температуры t рассчитать $T = t + 273$, $1/T$ и найти $\ln R$.
2. Построить графики зависимости $R = f(t)$ для исследуемых полупроводников на одной координатной плоскости.
3. Построить графики зависимости $\ln R = f(1/T)$ для исследуемых полупроводников.
4. По формуле (3) рассчитать ширину запрещенной зоны ΔE для каждого полупроводника. Значения $\ln R_1$ и $\ln R_2$, а также соответствующие им величины $1/T_1$ и $1/T_2$ определить из графиков $\ln R = f(1/T)$ (образец см. на рис. 2).

Значение ширины запрещенной зоны выразить в электронвольтах (эВ).
(1 эВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж).

5. По формуле (5) рассчитать для каждого полупроводника температурные коэффициенты сопротивления α_T для начальной и конечной температур.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какие вещества относятся к полупроводникам?
2. Как зависит электрическое сопротивление полупроводников от температуры? Запишите формулу. Поясните смысл обозначений.
3. Сравните полученные экспериментально графики с теоретическими зависимостями. Сделайте вывод.
4. Сравните зависимость сопротивления от температуры полупроводников и металлов.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 105

Выполнил(а) _____

Группа _____

Термистор 1

$t, ^\circ\text{C}$										
$R, \text{Ом}$										
$T, \text{К}$										
$1/T, \text{К}^{-1}$										
$\ln R$										

Термистор 2

$t, ^\circ\text{C}$										
$R, \text{Ом}$										
$T, \text{К}$										
$1/T, \text{К}^{-1}$										
$\ln R$										

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 106

СНЯТИЕ ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА

Цель работы – снять вольтамперные характеристики германиевого и селенового диодов, рассчитать коэффициенты выпрямления диодов.

Приборы и принадлежности: селеновый и германиевый диоды, миллиамперметр, микроамперметр, вольтметр, потенциометр, переключатель, источник тока.

Общие положения

В полупроводниковых приборах применяются примесные полупроводники. Примесные полупроводники делятся на электронные и дырочные. В электронном полупроводнике (или полупроводнике n -типа) основными носителями тока являются электроны. Они появляются при ионизации атомов примеси. Такие примеси называются донорными. Кроме того, в таком полупроводнике имеется небольшое число неосновных носителей – дырок.

В дырочном полупроводнике (или полупроводнике p -типа) основными носителями заряда являются дырки. Дырка – это квазичастица, которой приписывают единичный положительный заряд. Она возникает при нарушении ковалентных связей в атоме кристалла полупроводника, когда какой-либо валентный электрон одного из атомов покидает свое место. Также она может образоваться, если у атома примеси не хватает одного электрона для образования ковалентной связи с атомом основного вещества. Такие примеси носят названия акцепторных. В таком полупроводнике также имеется небольшое число неосновных носителей – электронов.

Для изготовления p - n -перехода используют монокристалл чистого полупроводника (германия или кремния). Одну часть объема легируют донорной примесью, при этом она приобретает электронный тип проводимости. Другая часть объема легируется акцепторной примесью, эта часть объема приобретает дырочный тип проводимости. Процесс осуществляется в вакууме или в атмосфере инертного газа. Область монокристаллического полупроводника, в которой происходит смена проводимости с электронной на дырочную (или наоборот) называется электронно – дырочным переходом (или p - n -переходом). Эти переходы являются основой работы многих полупроводниковых приборов.

Рассмотрим, какие явления наблюдаются на границе, разделяющей области с разными типами проводимости. Электроны и дырки диффундируют через граничный слой во встречных направлениях. Электроны, перешедшие в p -область, будут рекомбинировать с дырками. В результате этого в приграничной части p -области атомы акцепторной примеси превращаются в отрицательно заряженные неподвижные ионы. В свою очередь, уход электронов из n -области приводит к появлению в приграничной части n -области положительно заряженных неподвижных ионов донорной примеси. Число носителей заряда в граничном слое уменьшается, а сопротивление слоя резко возрастает.

Возникший на границе между p и n областями двойной электрический слой толщиной l_0 , (рис. 1) называется запирающим. Этот слой состоит из отрицательных ионов акцепторной примеси, заряд которых теперь не компенсируется дырками, и положительных ионов донорной примеси, заряд которой не компенсируется электронами. В запирающем слое создается контактное электрическое поле, препятствующее дальнейшему движению основных носителей.

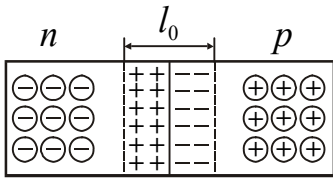


Рисунок 1

Поддадим на p - n -переход внешнее напряжение такого направления, чтобы плюс был подключен к p области, а минус – к n -области (рис. 2). Такое включение называется прямым. Если поменять полярность подключения, т.е. приложить к p - n -переходу напряжение такого направления, чтобы плюс был подключен к n -области, а минус – к p -области (рис. 3), то такое включение называется обратным.

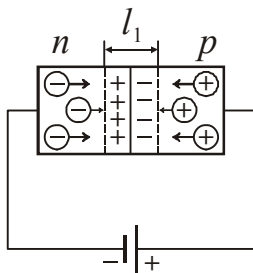


Рисунок 2

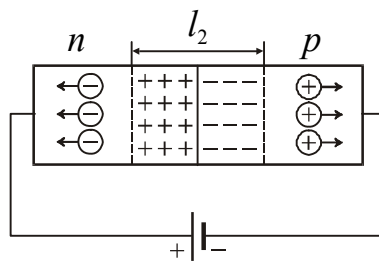


Рисунок 3

На рис. 4 представлена вольт-амперная характеристика p - n -перехода. Возникающее при прямом включении электрическое поле поджимает основные носители к границе между областями, вследствие чего ширина запирающего слоя уменьшается ($l_1 < l_0$). Соответственно уменьшается и сопротивление перехода, причем тем сильнее, чем больше напряжение. Поэтому вольт-амперная характеристика не является прямой, т.е. омической (см. правую ветвь рис. 4).

При обратном включении электрическое поле оттягивает основные носители от границы между областями ($l_2 > l_0$), что увеличивает сопротивления перехода. Небольшой обратный ток I_S обусловлен неосновными носителями (см. левую ветвь рис. 4). Заметим, что p - n -переход может выдерживать обратное напряжение до определенного предела U_{np} , после чего наступает пробой, аналогичный пробую диэлектрика.

Из сказанного выше следует, что p - n -переход обладает свойством односторонней проводимости. Способность p - n перехода пропускать ток в одном направлении и не пропускать или почти не пропускать его в противоположном

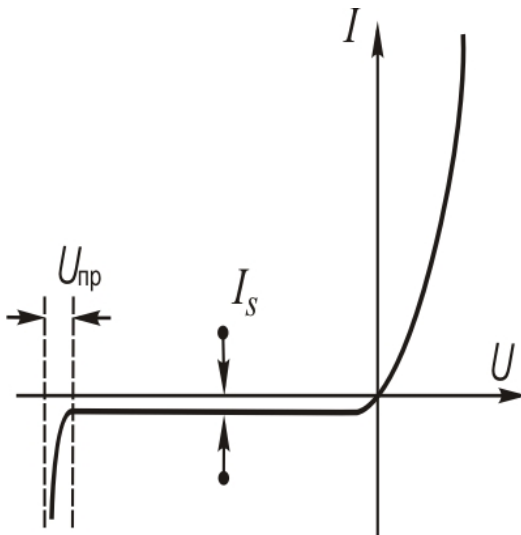


Рисунок 4

Из сказанного выше следует, что p - n -переход обладает свойством односторонней проводимости. Способность p - n перехода пропускать ток в одном направлении и не пропускать или почти не пропускать его в противоположном

направлении используется в приборах, называемыми полупроводниковыми диодами. Это свойство диода характеризуется коэффициентом выпрямления

$$\alpha = \frac{I_{\text{пр}}}{I_{\text{обр}}}, \quad (1)$$

т.е. отношением прямого $I_{\text{пр}}$ и обратного $I_{\text{обр}}$ токов, измеренных при одинаковых по величине прямом и обратном напряжении. Обычно коэффициент выпрямления составляет величину в несколько сотен единиц, но может достигать и больших значений ($10^5 \div 10^6$).

Достоинством полупроводникового диода являются малые размеры и масса, длительный срок службы, высокая механическая прочность, высокий коэффициент полезного действия, а недостатком – зависимость их параметров от температуры.

Описание экспериментальной установки.

Схема установки для снятия вольтамперных характеристик изображена на рис. 5. Напряжение от источника постоянного тока через делители напряжения $R1$ и $R2$ поступает на исследуемый диод. В зависимости от положения переключателя $SA2$ оно подастся либо на германиевый, либо на селеновый диод. Переключателем $SA1$ изменяют направление тока, текущего через диод. Прямой ток измеряют миллиамперметром, обратный – микроамперметром.

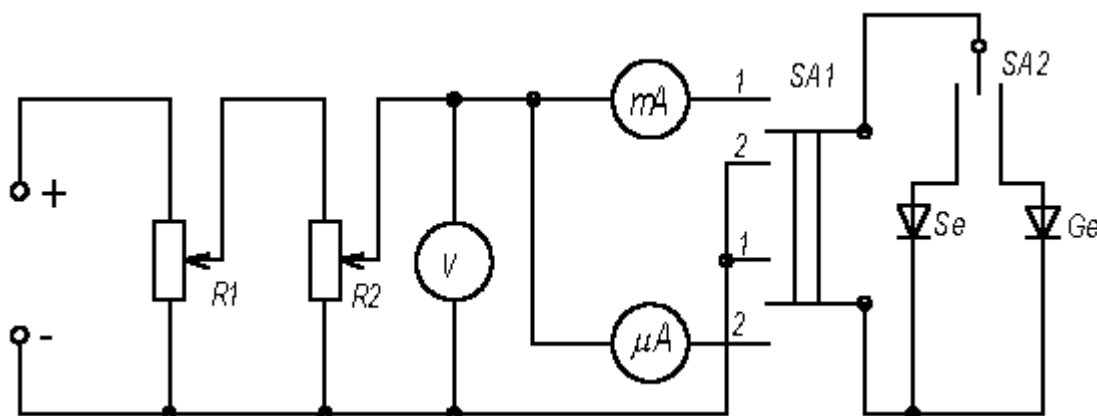


Рисунок 5

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Какие графики нужно построить по результатам работы? Схематично нарисуйте ожидаемый вид графика (по теории).
4. Запишите формулу, по которой рассчитывается коэффициент выпрямления диода. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Ознакомиться со схемой установки (рис. 5). Перед подключением источника постоянного тока оба потенциометра должны быть полностью введены.
2. Определить цены деления измерительных приборов.
3. Переключатель $SA2$ поставить в положение "германиевый диод".
4. Переключатель $SA1$ поставить в положение "прямое напряжение".
5. Увеличивая напряжение с постоянным шагом снять зависимость силы прямого тока от напряжения (сделать 8-10 отсчетов напряжения и соответствующих значений тока). Предельно допустимое значение напряжения указано на установке. Его нельзя превышать!
6. Ключ $SA1$ поставить в положение "обратное напряжение". Аналогично снять зависимость силы обратного тока от напряжения (сделать 8-10 отсчетов напряжения и соответствующих значений тока).
7. Переключатель $SA2$ поставить в положение "селеновый диод".
8. Снять данные для вольтамперной характеристики селенового диода в соответствии с пп 4, 5, 6.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Построить вольтамперные характеристики селенового и германиевого диодов, т.е. зависимость силы тока от напряжения.
2. Рассчитать для каждого диода коэффициенты выпрямления по формуле (1) при двух различных напряжениях.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какие полупроводники называются полупроводниками n -типа, а какие полупроводниками p -типа?
2. Что называется электронно-дырочным переходом?
3. При какой полярности внешнего электрического поля через p - n переход будет протекать прямой ток, при какой обратный?
4. Объясните одностороннюю проводимость полупроводникового диода.
5. Сравните экспериментально полученные вольт-амперные характеристики с предполагаемым результатом. Сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 106

Выполнил(а) _____

Группа _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число делений на шкале прибора	Цена деления с указанием единицы измерения
1	Вольтметр			
2	Миллиамперметр			
3	Микроамперметр			

№ п/п	Германиевый диод				Селеновый диод			
	$U_{пр}, В$	$I_{пр}, мА$	$U_{обр}, В$	$I_{обр}, \mu А$	$U_{пр}, В$	$I_{пр}, мА$	$U_{обр}, В$	$I_{обр}, \mu А$
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа 107

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЁННОЙ ЗОНЫ ПОЛУПРОВОДНИКА ПО ФОТОЭМИССИИ

Цель работы – получить с помощью дифракционного монохроматора профиль эмиссионной линии излучения полупроводникового лазера и светодиода. Рассчитать ширину запрещенной зоны эмиссионного участка полупроводника и светодиода.

Приборы и принадлежности: дифракционный монохроматор МУМ-1, инжекционный полупроводниковый лазер, светодиоды.

Общие положения

Светоизлучающий диод (светодиод) – полупроводниковый прибор, преобразующий электрическую энергию в энергию оптического диапазона. Его работа основана на явлении инжекционной электролюминесценции, происходящей в полупроводниковом кристалле с электронно-дырочным переходом. Излучение светодиодов некогерентно.

Инжекцией носителей заряда называется введение носителей заряда через пониженный под действием прямого напряжения потенциальный барьер в область, где эти носители являются неосновными.

Принцип работы светодиодов заключается в следующем. Если концентрация электронов в n -области больше, чем концентрация дырок в p -области т.е. $n_n > p_p$, то при прямом напряжении происходит инжекция электронов из n -

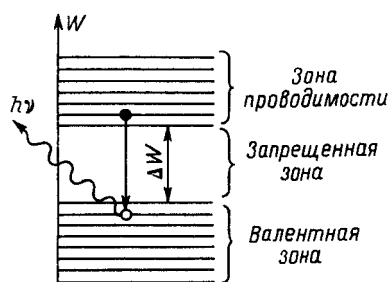


Рис. 1. Излучение при рекомбинации

области в p -область. Инжектированные электроны рекомбинируют с основными носителями, в данном случае с дырками p -области. Рекомбинирующие электроны переходят с более высоких энергетических уровней зоны проводимости, близких к ее нижней границе, на более низкие уровни, расположенные вблизи верхней границы валентной зоны (рис. 1). При этом выделяется фотон, энергия которого почти равна ширине запрещенной зоны $\Delta W = \Delta E$, т.е.

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda_m} \approx \Delta E. \quad (1)$$

где h – постоянная Планка, c – скорость света, λ_m – длина волны, при которой интенсивность излучения максимальна.

Германий и кремний не используются в светодиодах, так как у них ширина запрещенной зоны слишком мала. Для современных светодиодов применяют главным образом фосфид галлия GaP и карбид кремния SiC, а также некоторые тройные соединения, называемые твердыми растворами, состоящие из галлия, алюминия и мышьяка (GaAlAs) или галлия, мышьяка и фосфора (GaAsP) и дру-

гих соединений. Внесение в полупроводник некоторых примесей позволяет получить свечение различного цвета.

Помимо светодиодов, дающих видимое свечение, выпускаются светодиоды инфракрасного (ИК) излучения, изготавливаемые преимущественно из арсенида галлия GaAs. Они применяются в фотореле и различных датчиках.

Инжекционный полупроводниковый лазер представляет собой полупроводниковый диод, две плоскопараллельные грани которого служат зеркалами оптического резонатора. Этим лазерный диод отличается от светодиода. Излучение лазерного диода когерентно.

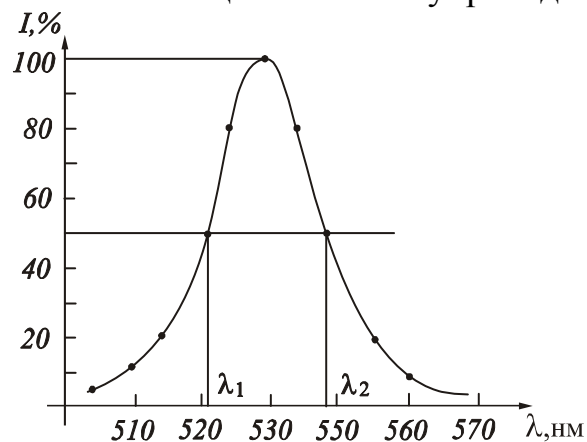


Рис. 2 Спектр излучения светодиода

Спектр излучения представляют либо в виде горизонтальной цветовой полосы, либо в виде таблицы, либо в виде графика зависимости интенсивности от длины волны. Светодиоды и лазерные диоды характеризуют шириной спектра излучения.

Ширина спектра излучения – это величина, определяющая степень монохроматичности излучения квантовых систем. Обычно под шириной спектральной линии подразумевают расстояние между точками ее контура (на графике – λ_1 и λ_2), соответствующими интенсивности, равной половине максимальной. Эту величину иногда называют «полушириной линии». По значению полуширины линии можно оценить погрешность определения ширины запрещенной зоны:

Ширина спектра излучения – это величина, определяющая степень монохроматичности излучения квантовых систем. Обычно под шириной спектральной линии подразумевают расстояние между точками ее контура (на графике – λ_1 и λ_2), соответствующими интенсивности, равной половине максимальной. Эту величину иногда называют «полушириной линии». По значению полуширины линии можно оценить погрешность определения ширины запрещенной зоны:

$$\Delta(\Delta E) = \frac{hc}{2} \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right). \quad (2)$$

Светодиоды имеют ширину спектра в интервале от 10 до 50 нм, лазерные диоды – от 0,1 до 10 нм. Примеры спектров приведены на рис. 2 и рис. 3.

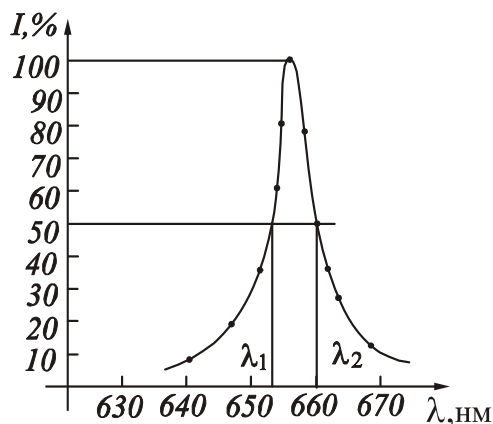


Рис.3 Спектр излучения лазера

Описание установки

Установка состоит из монохроматора МУМ-1, блока питания для лазера и светодиодов, блока измерения интенсивности фотоэмиссии, состоящего из фоторезистора, размещенного на выходной щели монохроматора и микроамперметра с вмонтированной измерительной схемой, размещенного на верхней части корпуса монохроматора. Микроамперметр регистрирует фототок, который пропорционален интенсивности спектральной линии.

Монохроматор универсальный малогабаритный (МУМ) предназначен для выделения монохроматического излучения, исследования источников света,

приемников излучения, решения аналитических задач и других работ в области спектра 200...800 нм. Рабочий диапазон длин волн от 200 до 800 нм. Погрешность показаний счетчика длин волн $\pm 0,2$ нм.

Монохроматор имеет самофокусирующую вогнутую отражательную штриховую дифракционную решётку с переменным шагом, которая разлагает падающее на неё из входной щели излучение в спектр первого порядка и фокусирует изображение входной щели на выбранной длине волны на плоскость выходной щели монохроматора, где оно засвечивает фоторезистор. Выбор длины волны осуществляется поворотом дифракционной решётки по отношению к направлению на входную щель, который производится ручкой управления, расположенной на передней панели прибора. Отсчёт длины волны ведётся в нанометрах с точностью до 0,2 нм.

Блок питания лазера и светодиодов включается на 220 В.

Внимание! Направлять луч в глаза или сканировать им по лаборатории категорически запрещается, т.к. возможны ожоги сетчатки глаза.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Какими приборами Вы будете использовать при выполнении работы?
4. Какие графики нужно построить по результатам работы? Схематично нарисуйте ожидаемый вид графиков.
5. Запишите формулу, по которой рассчитывается ширина запрещенной зоны. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

Задание 1.

Определение ширины запрещенной зоны полупроводника

1. Включить установку в сеть.
2. Вставить лазер в тубус коллиматора до упора.
3. Вставить шнур питания лазера в правое гнездо блока питания.
4. Поворотом ручки управления на передней панели установки выставить длину волны излучения $\lambda=650$ нм.
5. Вращая ручку управления, найти длину волны, при которой показания микроамперметра максимальны. Если максимальное отклонение стрелки находится в первой половине шкалы, то дополнительную регулировку произвести поворотом лазера в тубусе вокруг горизонтальной оси. Закрепить лазер винтом, расположенным на тубусе.
6. Записать найденное значение длины волны λ_0 .
7. Снять зависимость интенсивности излучения (силы тока) от длины волны, изменяя длину в интервале от (λ_0-3) нм до (λ_0+3) нм с шагом 0,2 нм.
8. Отключить шнур питания лазера. Ослабить винт, вынуть лазер из тубуса.

Задание 2.

Определение ширины запрещенной зоны светодиодов

1. Вставить красный светодиод в тубус до упора. Закрепить винт.

2. Включить шнур питания светодиода в левый разъем блока питания.
3. Снять зависимость интенсивности излучения (силы тока) от длины волны, в интервале от 610 до 650 нм с шагом 2 нм.
4. Отключить шнур питания светодиода. Ослабить винт, вынуть светодиод из тубуса.
5. Выполнить измерения для зеленого светодиода согласно пп. 1-4 в интервале от 490 до 560 нм с шагом 2 нм.

Оформление отчета

1. Расчеты

Задание 1

1. Построить профиль эмиссионной линии излучения, который представляет собой зависимость силы тока от длины волны $i=f(\lambda)$.
2. По графику определить значение длины волны λ_m , при которой интенсивность излучения максимальна.
3. Рассчитать ширину запрещенной зоны полупроводника по формуле (1).
4. Определить ширину эмиссионной линии на уровне половины ее максимальной интенсивности (см. рис. 3): $\Delta\lambda=\lambda_2-\lambda_1$.
5. Рассчитать абсолютную погрешность определения ширины запрещенной зоны по формуле (2).
6. Рассчитать относительную погрешность измерений. Результат записать в стандартном виде.

Задание 2

1. Построить профиль эмиссионной линии излучения: $i=f(\lambda)$ для обоих диодов.
2. По графику определить значение длины волны λ_m , при которой интенсивность излучения максимальна.
3. Рассчитать ширину запрещенной зоны светодиодов по формуле (1).
4. Определить ширину эмиссионной линии на уровне половины ее максимальной интенсивности (см. рис. 2): $\Delta\lambda=\lambda_2-\lambda_1$ для обоих диодов.
5. Рассчитать абсолютную погрешность определения ширины запрещенной зоны по формуле (2).
6. Рассчитать относительную погрешность измерений. Результаты записать в стандартном виде.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Каково назначение монохроматора?
2. Что называется светодиодом?
3. Что называется шириной запрещенной зоны?
4. Что называется шириной спектра излучения? Что она характеризует?
5. Сравните полученные экспериментально графики с ожидаемым результатом. Сделайте вывод.
6. Сравните ширину эмиссионной линии лазерного диода и светодиодов. Сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №107

Выполнил(а) _____

Группа _____

№ п/п	Упражнение 1		Упражнение 2			
	Лазер		Красный светодиод		Зеленый светодиод	
	$\lambda_0 =$		$\lambda_m =$		$\lambda_m =$	
	λ , нм	i , мкА	λ , нм	i , мкА	λ , нм	i , мкА
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа 108

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОПРОВОДИМОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ
(внутренний фотоэффект)

Цель работы – снять вольт-амперные и люкс-амперные характеристики фоторезистора, определить его удельную чувствительность.

Приборы и принадлежности: фоторезистор, микроамперметр, источник тока (выпрямитель), вольтметр, реостат, люксметр, источник света.

Общие положения

Внутренним фотоэффектом называется явление перераспределения электронов по энергетическим уровням под действием света. Если энергия кванта $h\nu$ превышает ширину запрещенной зоны: $h\nu \geq \Delta E$ (рис. 1), то электрон, поглотивший квант переходит из валентной зоны в зону проводимости.

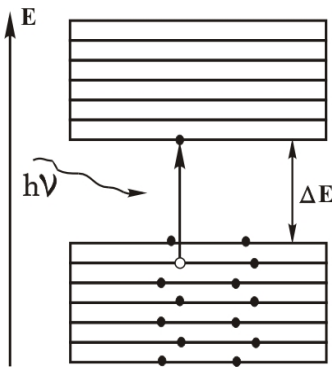


Рисунок 1

В результате появляется дополнительная пара носителей тока – электрон и дырка, что проявляется в увеличении электропроводности вещества. Добавочную электропроводность полупроводника, обусловленную падающим светом, называют фотопроводимостью.

Фотосопротивление (фоторезистор) – двухэлектродный полупроводниковый фотоэлемент, который изменяет свою электропроводность в зависимости от интенсивности и спектрального состава падающего света.

Принцип устройства фоторезистора показан на рис. 2. На диэлектрическую пластину 1 наносится тонкий слой полупроводника 2 с контактами 3 по краям. Затем полупроводник помещают в защитный корпус, который оборудован «окном» для проникновения света. В качестве полупроводниковых материалов используют Se, Te, Ge, W_2S_3 , PbS, PbSe и т. д., в зависимости от спектрального состава излучения, направляемого на фоторезистор. Так, например, фоторезистор из сернистого чугуна чувствителен к инфракрасному излучению, из сернистого висмута – к лучам на границе между видимым и инфракрасным излучением, сернистого кадмия – к видимому излучению.

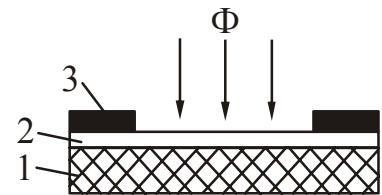


Рисунок 2

При включении фоторезистора в цепь, содержащую источник тока, при отсутствии освещения в цепи протекает ток. Этот ток называют темновым током I_T . Под действием излучения с достаточной энергией фотонов в фоторезисторе происходит генерация пар подвижных носителей заряда (электронов и дырок). Сопротивление уменьшается, ток в цепи значительно возрастает. Разность между током при освещении и темновым током составляет фототок I_Φ :

$$I_\Phi = I - I_T. \tag{1}$$

Фоторезисторы характеризуют темновым сопротивлением R_T и удельной чувствительностью K .

Темновое сопротивление R_T – сопротивление фоторезистора при отсутствии облучения. Оно составляет величину порядка $10^4 - 10^7$ Ом.

Удельная чувствительность – отношение фототока I_Φ к произведению величины падающего на фоторезистор светового потока Φ на прикладываемое напряжение U :

$$K = \frac{I_\Phi}{\Phi U}. \quad (2)$$

Обычно удельная чувствительность составляет несколько сотен или тысяч микроампер на вольт-люмен.

Световой поток вычисляется по формуле:

$$\Phi = ES, \quad (3)$$

где E – освещенность, S – площадь поверхности фоторезистора.

Кроме темнового сопротивления и удельной чувствительности к параметрам фоторезисторов относят также максимально допустимое рабочее напряжение (до 600 В).

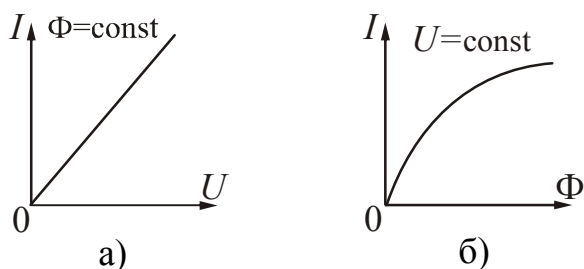


Рисунок 3

Фоторезисторы имеют линейную вольт-амперную (рис. 3а) и нелинейную люкс-амперную характеристики (рис. 3б). Вольт-амперная характеристика – зависимость фототока от приложенного напряжения – снимается при неизменном световом потоке. Люкс-амперная – зависимость фототока от светового потока – при неизменном напряжении.

Значительная зависимость сопротивления от температуры, характерная для полупроводников, является недостатком фоторезисторов. Существенным недостатком также считается их большая инерционность, которая объясняется довольно большим временем рекомбинации электронов и дырок после прекращения облучения. Тем не менее, фоторезисторы широко применяются в различных схемах автоматики. Фоторезисторы применяют как детекторы излучения в системах автоматического регулирования, фототелеграфии, в фотоэлектрических пирометрах, а также в схемах измерения прозрачности жидкости и газа (дымномеры, колориметры), для измерения качества поверхности (шероховатости, блеклости), контроля размеров деталей, линейных размеров и т.д.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Какие графики надо построить по результатам работы? Схематично нарисуйте ожидаемый вид зависимостей.
4. Запишите формулу, по которой рассчитывается световой поток. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

Задание 1.

Получение вольт-амперных характеристик фоторезистора

1. Электрическая цепь собрана по схеме, приведенной на рис. 4.
2. Записать значение площади поверхности фоторезистора, указанное на установке.

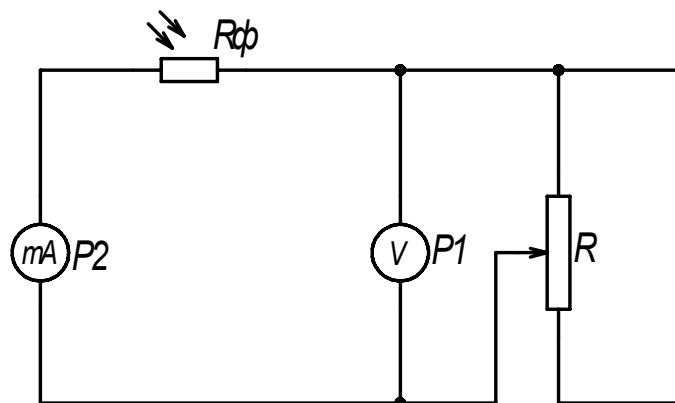


Рисунок 4

3. Установить лампу на расстоянии 20 – 30 см от фоторезистора. Миллиамперметр установить на минимальный предел. Определить цену деления миллиамперметра и вольтметра.
4. При закрытой шторке фоторезистора измерить значение темнового тока I_T для различных напряжений (интервал и предел напряжения указаны на установке).
5. Рассчитать темновое сопротивление R_T :
$$R_T = U/I_T.$$
6. Люксметром измерить освещенность, создаваемую лампой.
7. Увеличить предел измерения миллиамперметра (по указанию преподавателя). Определить цену деления миллиамперметра.
8. Поднять шторку и снять вольт-амперную характеристику, т.е. измерить значения тока I и напряжения U (не менее 5 точек), изменяя напряжение от нуля до U_{\max} (указано на установке).
9. Повторить измерения согласно п. 5-6, уменьшив расстояние между лампой и фотосопротивлением примерно в 2 раза.

Задание 2.

Получение люкс-амперных характеристик фоторезистора

1. Установить лампу на расстоянии 10 – 15 см от фоторезистора.
2. Установить напряжение U_{\max} и снять люкс-амперную характеристику фоторезистора (не менее 5 точек), т.е. зависимость фототока I_Φ от падающего светового потока Φ . Для изменения светового потока надо менять расстояние между фоторезистором и лампой на одну и ту же величину, передвигая лампу. Для каждого положения лампы измерять освещенность фоторезистора.

3. Установить напряжение $U \sim 0,7U_{\max}$ и снять люкс-амперную характеристику еще раз согласно пункту 2.

Оформление отчета

1. Расчеты

Задание 1

1. Рассчитать фототок по формуле (1).
2. Вычислить световой поток по формуле (3) для обоих случаев.
3. По полученным данным построить вольт-амперные характеристики $I_{\Phi} = f(U)$.

Задание 2

1. Рассчитать световой поток по формуле (3).
2. Рассчитать фототок по формуле (1).
3. Построить люкс-амперные характеристики $I_{\Phi} = f(\Phi)$.
4. Вычислить удельную чувствительность при двух значениях напряжения (U_{\max} и $U \sim 0,7U_{\max}$) для одинакового светового потока по формуле (2).

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какое явление изучалось в данной работе? В чем оно заключается?
2. Что называется фоторезистором? Опишите его устройство.
3. Что такое фотопроводимость?
4. Где применяются фоторезисторы?
5. Сравните графики, полученные экспериментально с теоретическими зависимостями. Сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 108

Выполнил(а) _____

Группа _____

Площадь поверхности фоторезистора $S =$ _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число делений на шкале прибора	Цена деления с указанием единицы измерения
1	Вольтметр			
2	Миллиамперметр			
3	Миллиамперметр			

Упражнение 1

№ п/п	U , В	I_T , мкА	R_T , Ом	$E_1 =$			$E_2 =$		
				U , В	I , мкА	I_ϕ , мкА	U , В	I , мкА	I_ϕ , мкА
1									
2									
3									
4									
5									

Упражнение 2

№ п/п	r , см	$U_1 =$ _____				$U_2 =$ _____			
		I , мА	I_ϕ , мкА	E , ЛК	Φ , ЛМ	I , мА	I_ϕ , мкА	E , ЛК	Φ , ЛМ
1									
2									
3									
4									
5									

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №114

СНЯТИЕ СЧЕТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЧЕТЧИКА ГЕЙГЕРА

Цель работы – ознакомиться с принципом работы счетчика Гейгера, построить его счетную характеристику и определить ее основные параметры.

Приборы и принадлежности: радиометр со встроенными блоками питания и счета импульсов, счетчик Гейгера.

Общие положения

Среди разнообразных методов регистрации радиоактивного излучения наиболее широкое применение получил газоразрядный счетчик (счетчик Гейгера). Он представляет собой тонкостенный стеклянный или металлический цилиндр, наполненный одноатомным газом аргоном при пониженном давлении порядка 100 мм рт. ст.

Схема устройства счетчика представлена на рис. 1. Корпус цилиндра служит катодом. Если он из стекла, то покрывается изнутри тонким слоем металла. Анодом является центральная тонкая металлическая нить, натянутая вдоль оси цилиндра и изолированная от корпуса. К электродам подведено постоянное напряжение от источника эдс. Величина тока, проходящего через газ,

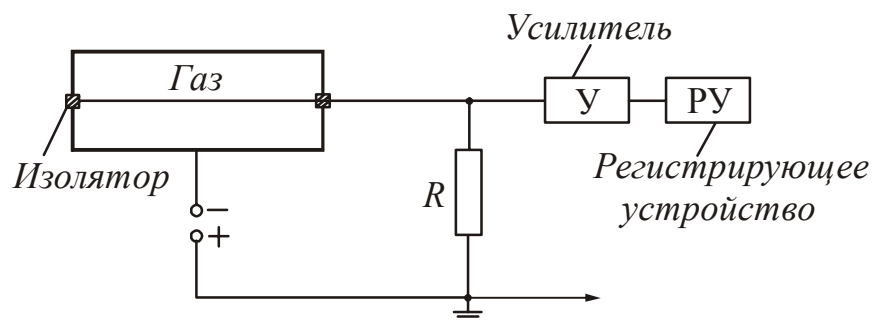


Рисунок 1

проходящего через газ, измеряется по падению напряжения на измерительном сопротивлении.

Газ, заполняющий сосуд, сам по себе не проводит электрического тока. Под действием радиоактивного излучения в объеме счетчика происходит процесс ионизации молекул аргона, т.е. образуются первичные положительные ионы и свободные электроны. При создании достаточной разности потенциалов между электродами счетчика электроны ускоряются электрическим полем, и начинается протекание вторичной (ударной) ионизации газа ионами. В объеме счетчика возникает значительное количество положительных ионов и электронов, которые движутся соответственно к катоду и аноду.

Газ, заполняющий сосуд, сам по себе не проводит электрического тока. Под действием радиоактивного излучения в объеме счетчика происходит процесс ионизации молекул аргона, т.е. образуются первичные положительные ионы и свободные электроны. При создании достаточной разности потенциалов между электродами счетчика электроны ускоряются электрическим полем, и начинается протекание вторичной (ударной) ионизации газа ионами. В объеме счетчика возникает значительное количество положительных ионов и электронов, которые движутся соответственно к катоду и аноду.

Попадание хотя бы одной ионизирующей частицы (или кванта) в объем счетчика вызывает с определенной вероятностью прохождение через счетчик кратковременного импульса тока, который после усиления регистрируется электромеханическим счетчиком импульсов. Количество импульсов n , возникающих в счетчике в единицу времени, называется скоростью счета.

$$n = \frac{N}{t} \quad (1)$$

где N – количество импульсов, зарегистрированных за время t .

Скорость счета зависит от интенсивности излучения и от напряжения, приложенного к электродам.

Важнейшей технической характеристикой счетчика Гейгера является счетная характеристика. Она определяет зависимость числа частиц, регистрируемых счетчиком за единицу времени, от напряжения на счетчике при постоянной интенсивности излучения и неизменном расстоянии от радиоактивного источника. Общий вид счетной характеристики представлен на рис. 2.

При напряжении меньшем U_1 , газовый разряд в счетчике не происходит, так как энергия первичных ионов недостаточна для вторичной (ударной) ионизации.

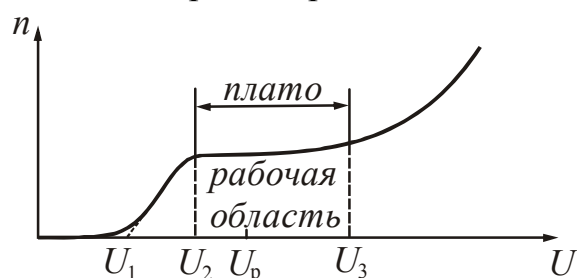


Рисунок 2

Напряжение U_1 , при котором на счетчике возникает газовый разряд, называется напряжением начала счета. Однако при этом напряжении не все возникающие в газовом счетчике импульсы регистрируются электромеханическим счетчиком. Регистрируются лишь те импульсы, амплитуды которых после усиления станут достаточными для срабатывания электромеханического счетчика.

С увеличением напряжения от U_1 до U_2 количество зарегистрированных импульсов увеличивается, так как их амплитуды возрастают, и при U_2 , которое называется напряжением начала плато, регистрируются практически все импульсы.

Участок характеристики счетчика от U_2 до U_3 , на котором скорость счета мало зависит от приложенного напряжения, называется плато счетчика. Плато имеет некоторый наклон ε , который принято выражать относительным увеличением скорости счета в процентах, рассчитанным на 1 В увеличения напряжения. Наклон плато определяется соотношением:

$$\varepsilon = \frac{(n_3 - n_2) \cdot 100\%}{0,5(n_3 + n_2)(U_3 - U_2)}, \quad (2)$$

где n_2 – скорость счета при напряжении начала плато U_2 ;

n_3 – скорость счета при напряжении пробоя U_3 .

Лучшие счетчики имеют плато шириной 150–200 В и наклон не более 0,15 % на 1 В.

В качестве рабочего напряжения U_p счетчика принимается напряжение, соответствующее первой трети ширины плато:

$$U_p = U_2 + \frac{1}{3}(U_3 - U_2) \quad (3)$$

За плато начинается быстрый рост числа отсчетов, связанный с многократной регитрацией каждой частицы. Увеличение скорости счета в этой области служит предупреждением о том, что счетчик переходит в режим непрерывного разряда и, следовательно, будет испорчен. Подъем напряжения должен быть немедленно прекращен, и режим счетчика возвращен к середине плато.

Описание экспериментальной установки

Установка состоит из радиометра – прибора, предназначенного для количественной регистрации радиоактивных излучений. Радиометр типа Б-2 состоит из:

1. Блока типа ВСП, включающего в себя высоковольтный выпрямитель для питания газовых счетчиков, пересчетное устройство и электромеханический счетчик;
2. Входного блока с держателем счетчика Гейгера.

Импульсы, возникающие в счетчике после усиления, подаются на пересчетное устройство, которое позволяет подавать на электромеханический счетчик не каждый импульс, а каждый 4-й, 16-й или 64-й. Это расширяет возможности прибора, ограниченные механической частью счетчика, которая при больших интенсивностях излучения может не успевать срабатывать и пропускать импульсы. Электромеханический счетчик фиксирует поступающие импульсы на двух циферблатах, считающих единицы и сотни. Прибор включают на нужный пересчет с помощью переключателя кратности счета. При пользовании пересчетом на $\times 4$, $\times 16$ или $\times 64$ электромеханический счетчик срабатывает только после регистрации пересчетным устройством соответственно 4-х, 16-ти или 64-х импульсов.

Каждый импульс, поступающий в пересчетный период, фиксируется загорающимися неоновыми лампочками. Если пересчетное устройство выключить раньше, чем очередной раз сработает электромеханический счетчик, то число незарегистрированных им импульсов можно определить, сложив цифры у лампочек, которые будут гореть после выключения счетчика. Поэтому каждый раз перед началом счета необходимо с помощью кнопки «сброс» выключить весь ряд лампочек.

Пример расчета скорости счета.

Работа производится с пересчетом $\times 64$. За 3 минуты сняты следующие показания:

- а) на электромеханическом счетчике на шкале $\times 100$ – 3
на шкале $\times 1$ – 15
- б) неоновые лампочки горят у цифр 32, 8 и 2.

Рассчитаем общее число зарегистрированных импульсов:

$$N = (3 \cdot 100 + 15 \cdot 1) \cdot 64 + (32 + 8 + 2) = 20202 \text{ импульса}$$

Определим скорость счета:

$$n = \frac{20202}{3} = 6734 \text{ имп/мин.}$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Какой график надо построить по результатам работы? Схематично нарисуйте ожидаемую зависимость, укажите ее основные параметры.
4. Запишите формулы, по которым рассчитывается наклон плато и рабочее напряжение. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

1. Перед включением прибора регулятор напряжения должен находиться в крайнем левом положении (повернут против часовой стрелки), а ручки переключателей – в положении «выкл». Включить радиометр в сеть и дать прибору прогреться в течение 2-3 мин.
2. Переключатель кратности счета установить в положение $\times 64$. Включить тумблер «пуск». Плавно и очень медленно поворачивая регулятор напряжения, довести напряжение до начала счета импульсов, что определяют по началу мигания лампочек пересчетного устройства. Источником излучения служит радиационный фон, обусловленный космическим излучением.
3. Выключить тумблер «пуск». Нажать кнопку «сброс». Установить на нуль обе шкалы электромеханического счетчика.
4. Включить одновременно с секундомером тумблер «пуск». Через 3 минуты выключить. Записать показания электромеханического счетчика и показания неоновых лампочек. Нажать кнопку «сброс». Установить на нуль обе шкалы электромеханического счетчика.
5. Последовательно увеличивая напряжение на электродах газоразрядного счетчика на 50 В, повторить измерения согласно п. 4.

Обратите внимание! Чтобы счетчик не испортился, измерения надо прекратить, когда скорость счета импульсов значительно возрастет и будет слышен непрерывный звук работы механического счетчика. Примерное значение максимально допустимого напряжения 900-1000 В.

6. После окончания эксперимента выключить установку в следующей последовательности:
 - а) уменьшить до нуля напряжение на счетчике поворотом ручки регулятора против часовой стрелки до упора;
 - б) нажать кнопку «замыкание высокого напряжения»;
 - в) выключить тумблер «сеть» и вынуть вилку сетевого шнура из розетки.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать количество зарегистрированных импульсов N (см. пример в тексте):

$$N = (100N_{100} + N_1)k + \sum N_{\text{Л}} \quad (4)$$

где N_{100} – показание сотен электромеханического счетчика,
 N_1 – показание единиц электромеханического счетчика,
 $N_{\text{Л}}$ – значения показаний возле светящихся неоновых лампочек,
 k – коэффициент пересчета.

2. Рассчитать скорость счета n по формуле (1).
3. Построить график зависимости скорости счета от напряжения на электродах газоразрядного счетчика $n=f(U)$. Для определения значения напряжения начала счета U_1 , кривую счетной характеристики следует продолжить до пересечения с осью напряжения.
4. Определить основные параметры счетной характеристики счетчика Гейгера: напряжение начала счета U_1 , напряжение начала плато U_2 , напряжение пробоя U_3 .
5. Рассчитать:
 - а) ширину плато: $U_3 - U_2$;
 - б) рабочее напряжение U_p по формуле (3);
 - в) наклон плато ε по формуле (2).

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Объясните устройство и принцип работы счетчика Гейгера.
2. Какое излучение регистрировал счетчик Гейгера в данной работе?
3. Сравните график, полученный экспериментально с ожидаемой зависимостью. Сделайте вывод.
4. Почему рабочее напряжение нельзя выбирать за пределами плато?
5. Какие меры безопасности необходимо соблюдать при работе со счетчиком Гейгера? Почему?

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 114

Выполнил(а) _____

Группа _____

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число делений на шкале прибора	Цена деления с указанием единицы измерения
1	Вольтметр			

№ п/п	t , мин	U , В	коэфф. пересчета	Показания электромех. счетчика		Показания неон. лампы (цифры)	N , имп.	n , имп/мин
				x100	x1			
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Основные параметры счетной характеристики

Напряжение начала счета $U_1 =$ _____Напряжение начала плато $U_2 =$ _____Напряжение пробоя $U_3 =$ _____

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №115

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОСЛАБЛЕНИЯ
ГАММА-ЛУЧЕЙ В ВЕЩЕСТВЕ

Цель работы – экспериментально проверить закономерности ослабления гамма-лучей в веществе, определить линейный коэффициент ослабления гамма-лучей в свинце.

Приборы и принадлежности: радиометр, источник гамма-излучения, свинцовые экраны.

Общие положения

Гамма-излучением называется жесткое электромагнитное излучение, энергия которого испускается при переходах ядер из возбужденных энергетических состояний в основное, а также при ядерных реакциях. Так как гамма-излучение обладает малой длиной волны (λ менее 1 пм), то оно имеет ярко выраженные корпускулярные свойства, то есть является потоком частиц – гамма-квантов. Как правило, гамма-излучение не является самостоятельным типом радиоактивности. Оно сопровождает α - и β -распады.

Гамма-излучение обладает большой проникающей способностью и способно проходить в воздухе сотни метров, а в твердых телах – сантиметры или даже дециметры, в зависимости от плотности вещества и от энергии гамма-квантов. При прохождении гамма-излучения через вещество происходит его ослабление за счет взаимодействия с электронными оболочками атомов и молекул, а также за счет взаимодействия с ядрами.

Изменение интенсивности подчиняется закону

$$I = I_0 e^{-\mu x}, \quad (1)$$

где I_0 – интенсивность гамма-излучения, падающего на поверхность вещества;

I – интенсивность гамма-излучения, после прохождения вещества;

μ – коэффициент линейного ослабления гамма-лучей в веществе, зависящий от природы вещества и спектрального состава потока излучения;

x – толщина поглощающего слоя.

Из уравнения (1) вытекает физический смысл коэффициента линейного ослабления: это величина, обратная толщине слоя вещества, при прохождении которого интенсивность гамма-излучения уменьшается в e раз (e – основание натуральных логарифмов).

Прологарифмируем уравнение (1), получим:

$$\ln I = \ln I_0 - \mu x. \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что натуральный логарифм интенсивности излучения после прохождения вещества будет изменяться по линейному закону.

Для регистрации гамма-лучей применяется счетчик Гейгера, схема устройства которого приведена на рис. 1. На выходе счетчика возникают импуль-

сы тока, каждый из которых с определенной вероятностью соответствует прохождению гамма-кванта через рабочий объем счетчика. Количество импульсов, зарегистрированных счетчиком за время t пропорционально интенсивности потока гамма-излучения:

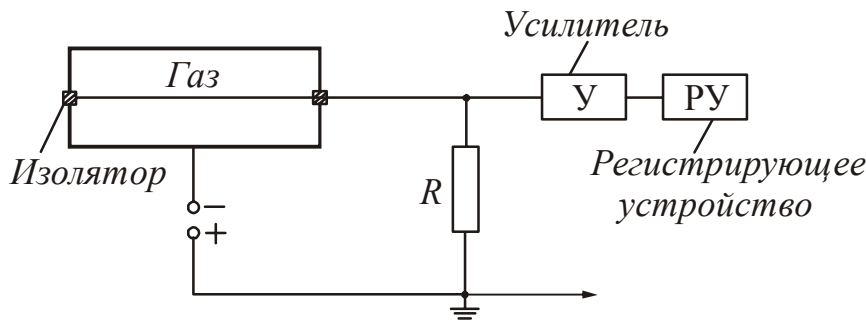


Рисунок 1

зарегистрированных счетчиком за время t пропорционально интенсивности потока гамма-излучения:

$$N = kIt, \quad (3)$$

где k – коэффициент пропорциональности,

который определяется параметрами счетчика (его типом, размерами, чувствительностью и т.п.) и энергией гамма-квантов. Это позволяет записать уравнение (2) в следующем виде:

$$\ln N = \ln N_0 - \mu x. \quad (4)$$

где N_0 – количество импульсов, зарегистрированных счетчиком за произвольное время t без поглощающих пластин.

N – количество импульсов, зарегистрированных счетчиком за то же время t после прохождения излучением поглощающих пластин.

При проведении измерений следует учитывать величину фонового гамма-излучения N_ϕ , которое обусловлено существованием других источников гамма-лучей природного, техногенного и космического происхождения.

С учетом фона уравнение (4) можно записать в виде

$$\ln(N - N_\phi) = \ln(N_0 - N_\phi) - \mu x \quad (5)$$

Для определения линейного коэффициента ослабления строится график зависимости $\ln(N - N_\phi) = f(x)$, на котором по оси абсцисс откладывается толщина поглощающего слоя вещества x , а по оси ординат – логарифм соответствующего количества импульсов $\ln(N - N_\phi)$. По экспериментально полученным

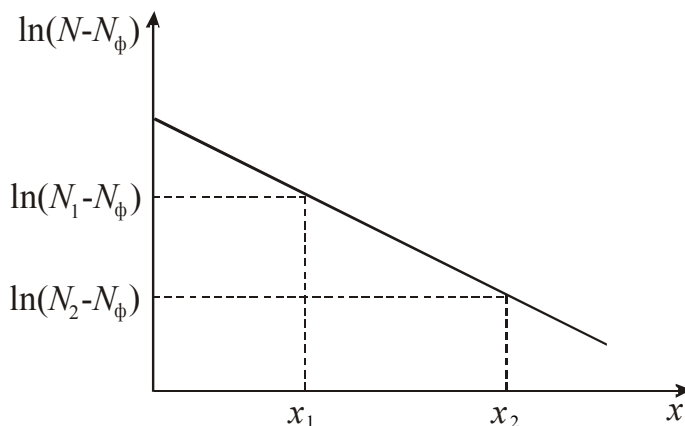


Рисунок 2

точкам проводится усредняющая прямая, тангенс угла наклона которой дает искомый коэффициент ослабления:

$$\mu = \frac{\ln(N_1 - N_\phi) - \ln(N_2 - N_\phi)}{x_2 - x_1}, \quad (6)$$

где x_1 и x_2 – толщины произвольно выбранных пластинок, N_1 и N_2 – соответствующие количества импульсов (рис. 2).

Слой, толщина $x_{1/2}$ которого такова, что интенсивность гамма-излучения, прошедшего через него, уменьшается вдвое, называется *слоем половинного ослабления*. Зная линейный коэффициент ослабления гамма-лучей, можно определить толщину слоя половинного ослабления гамма-излучения:

$$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (7)$$

Ослабление гамма-лучей в веществе лежит в основе работы устройств защиты человека от ионизирующих излучений (АЭС, рентген кабинеты), различных гамма-реле, гамма-датчиков и т.п.

Описание экспериментальной установки

Измерительная установка состоит из радиометра типа Б-2, источника гамма-излучения и набора свинцовых пластин. Радиометр позволяет регистрировать гамма-излучение и выдает результат в виде зарегистрированных за произвольное время импульсов, количество которых пропорционально интенсивности потока гамма-лучей. Его основные блоки:

1. Блок типа ВСП, включающий в себя высоковольтный выпрямитель для питания газовых счетчиков, пересчетное устройство и электромеханический счетчик.
2. Входной блок с держателем счетчика Гейгера.

Импульсы, возникающие в счетчике после усиления, подаются на пересчетное устройство, которое позволяет подавать на электромеханический счетчик не каждый импульс, а каждый 4-й, 16-й или 64-й. Это расширяет возможности прибора, ограниченные механической частью счетчика, которая при больших интенсивностях излучения может не успевать срабатывать и пропускать импульсы. Электромеханический счетчик фиксирует поступающие импульсы на двух циферблатах, считающих единицы и сотни. Прибор включают на нужный пересчет с помощью переключателя кратности счета. При пользовании пересчетом на $\times 4$, $\times 16$ или $\times 64$ электромеханический счетчик срабатывает только после регистрации пересчетным устройством соответственно 4-х, 16-ти или 64-х импульсов.

Каждый импульс, поступающий в пересчетный период, фиксируется загорающимися неоновыми лампочками. Если пересчетное устройство выключить раньше, чем очередной раз сработает электромеханический счетчик, то число незарегистрированных им импульсов можно определить, сложив цифры у лампочек, которые будут гореть после выключения счетчика. Поэтому каждый раз перед началом счета необходимо с помощью кнопки «сброс» выключить весь ряд лампочек.

Между счетчиком Гейгера и размещенным в стальном цилиндре источником гамма-излучения устанавливаются пластины исследуемого материала, для которого определяется линейный коэффициент ослабления гамма-излучения.

Пример расчета зарегистрированных импульсов.

Работа производится с пересчетом $\times 64$. За 3 минуты сняты следующие показания:

- а) на электромеханическом счетчике на шкале $\times 100 - 3$
на шкале $\times 1 - 15$
- б) неоновые лампочки горят у цифр 32, 8 и 2.

Рассчитаем общее число зарегистрированных импульсов:

$$N = (3 \cdot 100 + 15 \cdot 1) \cdot 64 + (32 + 8 + 2) = 20202 \text{ импульса}$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Какой график надо построить по результатам работы? Схематично нарисуйте ожидаемую зависимость.
4. Запишите формулу, по которой рассчитывается коэффициент линейного ослабления гамма-лучей в веществе. Поясните смысл обозначений.
5. Запишите формулу, по которой рассчитывается толщина слоя половинного ослабления гамма-излучения.

Выполнение работы**Задание 1. Измерение радиоактивного «фона»**

1. Перед включением прибора регулятор напряжения должен находиться в крайнем левом положении (повернут против часовой стрелки), а ручки переключателей – в положении «выкл». Включить радиометр в сеть и дать прибору прогреться в течение 2-3 мин.
2. Плавно и очень медленно поворачивая регулятор напряжения, довести напряжение до значения, указанного на данном счетчике. Так как показания вольтметра несколько отстают от движения регулятора, следует выждать установления стрелки. В дальнейшем, в течение всей работы, следить за поддержанием постоянного напряжения на счетчике.
3. Переключатель кратности счета установить в положение $\times 64$. Нажать кнопку «сброс». Установить на нуль шкалы электромеханического счетчика.
4. Измерить «фон» в следующей последовательности:
 - а) включить одновременно тумблер «пуск» и секундомер. Пересчетное устройство и электромеханический счетчик начнут регистрацию импульсов;
 - б) через 3 мин тумблер «пуск» выключить и записать в таблицу показания счетчика.
 - в) опыт повторить три раза. Перед каждым новым измерением нажимать кнопку «сброс» и устанавливать на нуль шкалы электромеханического счетчика.

Задание 2. Определение коэффициента ослабления гамма-лучей в свинце

1. Поместить источник излучения возле счетчика Гейгера, сориентировав излучение в сторону счетчика.
2. Три раза измерить число импульсов за 3 мин без поглощающего слоя.
3. Помещая на пути распространения гамма-лучей последовательно пластинки различной толщины, измерить трижды для каждого значения толщины число импульсов, регистрируемых за 3 мин.
4. После окончания эксперимента выключить установку в следующей последовательности:
 - а) уменьшить до нуля напряжение на счетчике поворотом ручки регулятора против часовой стрелки до упора;
 - б) нажать кнопку «замыкание высокого напряжения»;
 - в) выключить тумблер «сеть» и вынуть вилку сетевого шнура из розетки.

Оформление отчета**1. Расчеты**

1. Рассчитать количество зарегистрированных импульсов N (см. пример в тексте).

$$N = (100N_{100} + N_1)k + \sum N_{\text{Л}} \quad (8)$$

где N_{100} – показание сотен электромеханического счетчика,

N_1 – показание единиц электромеханического счетчика,

$N_{\text{Л}}$ – значения показаний возле светящихся неоновых лампочек.

k – коэффициент пересчета.

2. Рассчитать среднее значение зарегистрированных импульсов для каждого случая. Найти разность $(N - N_{\text{ф}})$.
3. По средним значениям построить график зависимости $\ln(N - N_{\text{ф}}) = f(x)$.
4. Используя полученный график и формулу (6), рассчитать среднее значение линейного коэффициента ослабления гамма-лучей в свинце (см. рис. 1).
5. По формуле (7) определить толщину слоя половинного ослабления гамма-излучения $x_{1/2}$ для свинца.

2. Защита работы

1. Что представляют собой гамма-лучи и каково их происхождение?
2. По какому закону уменьшается интенсивность гамма-лучей в веществе?
3. Каков физический смысл линейного коэффициента ослабления гамма-лучей и от чего он зависит?
4. Что называют слоем половинного ослабления гамма-излучения?
5. Используя график зависимости коэффициента ослабления гамма-излучения в свинце от энергии квантов, определите примерное значение энергии гамма-кванта и рассчитайте его длину волны (график приведен в «Справочных материалах»).

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 115

Выполнил(а) _____

Группа _____

Задание 1. Измерение радиоактивного «фона»

№ п/п	t , мин	Коэффициент пересчета	Показания электромех. счетчика		Показания неон. лампы (цифры)	Общее кол- во имп. N
			x100	x1		
1						
2						
3						

Задание 2. Определение коэффициента ослабления гамма-лучей в свинце

№ п/п	Толщина пластины, x , см	t , мин	Коэфф. пересчета	Показания электромех. счетчика		Показания неон. лампы (цифры)	Общее кол-во имп. N	$(N - N_{\phi})$
				x100	x1			
1	Без пластины							
2	Без пластины							
3	Без пластины							
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа №116

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КАЛИЯ В РАСТВОРАХ
ПО ЕГО ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ

Цель работы – ознакомиться с методикой измерения радиоактивности при помощи газоразрядных счетчиков; определить концентрацию калия в растворе.

Приборы и принадлежности: пересчетный прибор ПП-16, счетчики Гейгера – Мюллера, кювета, набор исследуемых растворов.

Общие положения

Явление самопроизвольного (спонтанного) распада ядер, при котором образуется новое ядро, и испускаются частицы, называется естественной радиоактивностью. Природный калий представляет собой смесь из трех изотопов: ^{39}K (93,26%), ^{40}K (0,011%), ^{41}K (6,729%). Из них радиоактивным является ^{40}K . Период полураспада изотопа составляет $1,3 \cdot 10^9$ лет. Около 88% актов ядерного превращения – это переход ^{40}K в стабильный изотоп ^{40}Ca с выбрасыванием β -частицы, энергия которой не превышает 1,325 МэВ. Возможен также K -захват, в результате которого 12% радиоактивного вещества переходит в ^{40}Ar (аргон). При этом наблюдается гамма-излучение с энергией 1,46 МэВ. Изотопный состав калия всегда постоянен, независимо от места нахождения, поэтому β -излучение ^{40}K можно использовать для количественного определения его содержания в солях и растворах.

Для исследования радиоактивных изотопов используют препарат. Препарат – это определенное количество радиоактивного вещества, специально приготовленного для эксперимента. Число распадов, происходящих в радиоактивном препарате за единицу времени, называется активностью препарата. Она пропорциональна количеству радиоактивных ядер. Если радиоактивные ядра входят в состав растворенного вещества, то активность пропорциональна концентрации раствора. Измеряется активность в беккерелях (Бк).

Установка регистрирует ионизирующие частицы, которые могут появиться при радиоактивном распаде ядра препарата. При проведении измерений следует учитывать величину фонового излучения N_{ϕ} , которое обусловлено существованием других источников природного, техногенного и космического происхождения. Обозначим:

N – число импульсов, зарегистрированных прибором ПП-16 за 1 минуту, при заполнении кюветы раствором концентрации C ;

N_{ϕ} – число импульсов, зарегистрированных прибором ПП-16 за 1 минуту, при заполнении кюветы дистиллированной водой (фон).

Разность этих величин пропорциональна концентрации раствора

$$N - N_{\phi} = kC. \quad (1)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Для измерения содержания калия установку предварительно градуируют по растворам известной концентрации калия и строят градуировочный график. Затем определяют N_x – число импульсов, зарегистрированных прибором за 1 минуту, когда кювета заполнена раствором неизвестной концентрации калия. Из графика находят концентрацию калия в растворе. Этот метод прост, не требует больших затрат времени и других химических реактивов.

Описание установки

Установка для измерения концентрации калия в растворах (рис. 1) состоит из кюветы со счетными трубками Гейгера – Мюллера и пересчетного прибора ПП-16 – регистрирующего устройства.

Счетная трубка Гейгера – Мюллера – это цилиндр, заполненный газом под давлением 13-26 кПа, в котором вдоль оси натянута тонкая металлическая нить. Внешний цилиндр – катод, металлическая нить – анод. К катоду и аноду прикладывается напряжение несколько сотен вольт. При попадании в счетчик

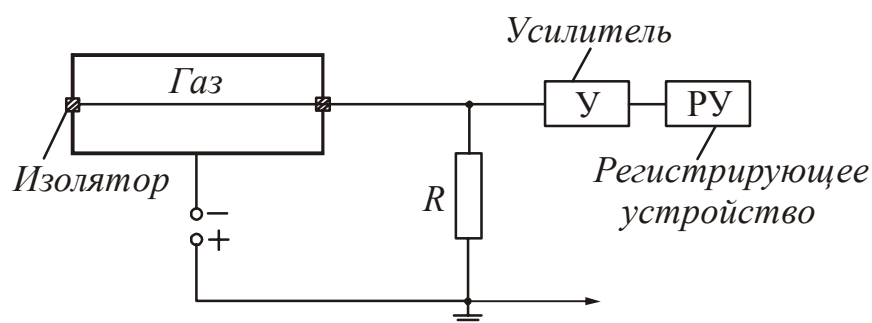


Рисунок 1

ионизирующей частицы в газе образуются свободные электроны, которые под действием электрического поля ускоряются в направлении анода и в свою очередь ионизируют газ. В результате лавинообразной ионизации между

электродами возникает вспышка коронного разряда и во внешней цепи счетчика появляется импульс тока, регистрируемый пересчетным прибором ПП-16. Чувствительность установки определяется величиной рабочей поверхности счетчиков. Для увеличения эффективной рабочей поверхности используются две счетные трубки, параллельно соединенные между собой.

Измерительная кювета представляет собой цилиндрический стакан с держателем счетных трубок. Расстояние между счетными трубками, а также минимальное расстояние от стенок кюветы превышают толщину слоя полного поглощения β -частиц, испускаемых калием ^{40}K , в воде. Счетчик покрыт перхлорвиниловой пленкой для предохранения от вредного химического воздействия растворов на корпус.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какие величины Вы будете измерять непосредственно?
3. Какой график надо построить по результатам работы? Схематично нарисуйте ожидаемую зависимость.
4. Как по графику определить неизвестную концентрацию раствора?

Выполнение работы

Задание 1. Градуировка установки

1. Включить пересчетный прибор ПП-16 в сеть и дать прибору прогреться в течение 2-3 минуты. Инструкция выбора режимов работы прибора представлена на стенде установки.
2. Заполнить кювету до отметки дистиллированной водой и измерить фон счетчика в течение трех минут. Слить дистиллированную воду.
3. Заполнить кювету до отметки раствором с известным содержанием калия и измерить число импульсов, зарегистрированных прибором в течение трех минут.
4. **Внимание!** Слить раствор и промыть кювету водой для промывки.
5. Повторить измерения в соответствии с п. 3 и 4 для всех растворов известных концентраций калия.

Задание 2. Определение концентрации калия в растворе

1. Заполнить измерительную кювету до отметки раствором неизвестной концентрации. Измерить число импульсов, зарегистрированных прибором в течение **пяти** минут.
2. **Внимание!** Слить раствор неизвестной концентрации и промыть кювету.
3. Отключить установку от сети, придерживаясь инструкции.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Рассчитать количество импульсов, зарегистрированных счетчиком за 1 минуту для каждого опыта.
2. Найти разность $(N - N_{\phi})$.
3. Построить график зависимости $N - N_{\phi} = f(C)$.
4. Вычислить $(N_x - N_{\phi})$, определить по градуировочному графику содержание калия в растворе неизвестной концентрации.

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Какое явление изучалось в работе? В чем оно заключается?
2. Что называется радиоактивным препаратом?
3. Что называется активностью препарата? От чего она зависит? В каких единицах измеряется?

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе № 116

Выполнил(а) _____

Группа _____

Задание 1

Определение фона:

Общее количество зарегистрированных импульсов _____

Время измерения t _____ минКоличество импульсов, зарегистрированных за 1 мин $N_{\phi} =$ _____ имп/мин

№ п/п	Концентрация раствора $C, \%$	t , мин	N , имп.	N , имп/мин	$(N - N_{\phi})$, имп/мин
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

Задание 2

Общее количество зарегистрированных импульсов _____

Время измерения $t =$ _____ минКоличество импульсов, зарегистрированных за 1 мин $N_x =$ _____ имп/мин $(N_x - N_{\phi}) =$ _____Концентрация калия в растворе $C_x =$ _____ %.

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Раздел 3. СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Решение многих физических и технических задач невозможно без использования справочных данных, поэтому умение работать со справочником является обязательным умением для специалиста любого направления подготовки. Прежде чем воспользоваться справочными данными, прочитайте пояснения к таблицам. Выполнив лабораторную работу, не забудьте оценить достоверность экспериментально полученного результата, сравнив его с табличными данными.

Пояснения к таблицам

Как выбирать приставки?

Перечисленные в таблице множители и приставки используются для образования кратных и дольных единиц от единиц Международной системы (СИ) и от внесистемных единиц, допущенных к применению.

Приставки гекто..., дека..., деци... и санти... допускается применять только в наименованиях кратных и дольных единиц, уже получивших широкое распространение (гектар, декалитр, дециметр, сантиметр и др.).

Приставки рекомендуется выбирать таким образом, чтобы числовые значения величин находились в пределах от 0,1 до 1000. Например, для выражения числа $7,5 \cdot 10^{-5}$ м следует выбрать приставку микро..., а не мили... или нано... С приставкой микро получим $7,5 \cdot 10^{-5} = 75$ мкм, т.е. число, находящееся в пределах от 0,1 до 1000.

С приставкой милли получим $7,5 \cdot 10^{-5} = 0,075$ мм, т.е., число меньше 0,1. С приставкой нано – $7,5 \cdot 10^{-5} = 75000$ нм, т.е. число, большее 1000.

Наименования и обозначения десятичных кратных и дольных единиц образуются присоединением приставок к наименованиям исходных единиц. Присоединение двух (и более) приставок подряд не допускается. Например, вместо единицы «микромикрофарад» следует применять единицу «пикофарад».

Обозначение приставки пишется слитно с обозначением единицы, к которой она присоединяется. При сложном наименовании производной единицы СИ приставку присоединяют к наименованию первой единицы, входящей в произведение или числитель дроби. Например, кПа·с, но не Па·кс.

В виде исключения из этого правила в случаях, когда это нашло широкое применение, допускается присоединение приставки к наименованию единицы, входящей в знаменатель дроби. Например: кВ/см, А/мм².

Кроме десятичных кратных и дольных единиц допущены к использованию кратные и дольные единицы времени, плоского угла и относительных величин, не являющихся десятичными. Например, единицы времени (минута, час, сутки); единицы плоского угла (градус, минута, секунда).

О единицах измерения параметров

Единицы измерения параметров указаны в заголовках столбцов. Многие из них указаны с приставками. При расчете не забудьте вместо приставки записать соответствующий множитель (см. табл. 3.1.14).

О множителях в заголовках столбцов

В заголовке некоторых столбцов таблиц стоит множитель вида 10^n , где n – целое положительное или отрицательное число. Наличие такого множителя указывает, на то, что помещенные в столбце числа следует умножить на этот множитель. Например, в таблице «Температурные коэффициенты электрического сопротивления проводников» в заголовке стоит множитель 10^{-3} . Следовательно, температурный коэффициент электрического сопротивления, например, алюминия равен $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$.

При каких условиях определялись параметры?

Параметры многих веществ зависят от температуры или давления. Как правило, в заголовке таблиц указываются значения температуры (или давления), при которых определялись значения параметров. Если в заголовке таблицы они не указаны, то это означает, что параметры определялись при лабораторных условиях, т.е. при нормальном атмосферном давлении и комнатной температуре ($p_0=10^5 \text{ Па}$, $T=300 \text{ К}$).

Немного истории

Первые приставки были введены в 1773–1795 годах при узаконении во Франции метрической системы мер. Было принято для кратных единиц наименования приставок брать из греческого языка, для дольных – из латинского. В те годы были приняты следующие приставки: кило... (от греч. *chilioi* – тысяча), гекто... (от греч. *hekaton* – сто), дека... (от греч. *deka* – десять), деци... (от лат. *decem* – десять), санти... (от лат. *centum* – сто), милли... (от лат. *mille* – тысяча).

В последующие годы число кратных и дольных единиц увеличилось. Наименования приставок заимствовались иногда и из других языков.

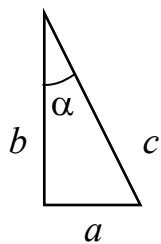
Появились следующие приставки: мега... (от греч. *mezas* – большой), гига... (от греч. *gigas, gigantos* – великан), тера... (от греч. *teras, teratos* – огромный, чудовище), микро... (от греч. *mikros* – малый, маленький), нано... (от греч. *nanos* – карлик), пико... (от итал. *piccolo* – небольшой, мелкий), фемто... (от датск. *femten* – пятнадцать), атто... (от датск. *atten* – восемнадцать). Последние приставки – пета... и экса... – были приняты в 1975 году: пета (от греч. *petas* – пять, что соответствует пяти разрядам по 10^3), экса... (от греч. *hex* – шесть, что соответствует шести разрядам по 10^3).

3.1. Некоторые сведения по математике

3.1.1. Свойства степеней

$a^0 = 1$	$(a^n)^m = a^{n \cdot m}$	$a^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{a}$	$\sqrt[n]{a^m} = a^{\frac{m}{n}}$
$a^n \cdot b^m = a^{n+m}$	$(ab)^n = a^n \cdot b^n$	$\sqrt{ab} = \sqrt{a} \cdot \sqrt{b}$	$(\sqrt[n]{a})^m = \sqrt[n]{a^m}$
$\frac{a^n}{a^m} = a^{n-m}$	$\left(\frac{a}{b}\right)^n = \frac{a^n}{b^n}$	$\frac{1}{a^n} = a^{-n}$	$\sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}}$

3.1.2. Формулы тригонометрии



$$\sin \alpha = \frac{a}{c} = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}; \quad \cos \alpha = \frac{b}{c} = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}; \quad \operatorname{ctg} \alpha = \frac{b}{a} = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Теорема косинусов: $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha$

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$$

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cos \beta + \sin \beta \cos \alpha$$

$$\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cos \beta - \sin \beta \cos \alpha$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta$$

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 1 - 2 \sin^2 \alpha$$

$$\sin\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right) = \cos \alpha$$

$$\sin\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right) = -\cos \alpha$$

$$\cos\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right) = -\sin \alpha$$

$$\cos\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right) = +\sin \alpha$$

$$\sin(\alpha + \pi) = -\sin \alpha$$

$$\sin(\alpha - \pi) = -\sin \alpha$$

$$\cos(\alpha + \pi) = -\cos \alpha$$

$$\cos(\alpha - \pi) = -\cos \alpha$$

3.1.3. Значения тригонометрических функций для некоторых углов

Рadianы	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	π	$\frac{3\pi}{2}$	2π
Градусы	0°	30°	45°	60°	90°	180°	270°	360°
$\sin \alpha$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	0	-1	0
$\cos \alpha$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	-1	0	1
$\operatorname{tg} \alpha$	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	$\pm \infty$	0	$\pm \infty$	0
$\operatorname{ctg} \alpha$	$\pm \infty$	$\sqrt{3}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$\pm \infty$	0	$\pm \infty$

3.1.4. Свойства логарифмов

Если $\log_a x = b$, то $x = a^b$.

Если $a = e = 2,71828\dots$ – основание натуральных логарифмов

$\log_e x = \ln x = b$, то $x = e^b$.

$$\ln 1 = 0; \quad \ln(ab) = \ln a + \ln b; \quad \ln\left(\frac{a}{b}\right) = \ln a - \ln b.$$

3.1.5. Многочлены

$$a^2 - b^2 = (a + b)(a - b).$$

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2.$$

$$(a - b)^2 = a^2 - 2ab + b^2.$$

3.1.6. Решение алгебраических уравнений

Уравнение	$ax + b = 0$	$ax^2 + bx + c = 0$	$x^2 + px + q = 0$
Решение	$x = -\frac{b}{a}$	$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$	$x = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}$

3.1.7. Длина окружности

$$L = 2\pi R = \pi d,$$

где R – радиус окружности, d – диаметр окружности

3.1.8. Площади некоторых фигур

Прямо- угольный треугольник	Трапеция	Круг	Сферическая поверхность	Боковая поверхность цилиндра
$S = \frac{1}{2}ab$	$S = \frac{a+b}{2}h$	$S = \pi R^2 = \frac{\pi d^2}{4}$	$S = 4\pi R^2 = \pi d^2$	$S_{\text{бок}} = 2\pi Rh$

где a, b – катеты треугольника, основания трапеции; R – радиус; d – диаметр; h – высота трапеции, высота цилиндра.

3.1.9. Объемы некоторых фигур

Куб	Параллелепипед	Цилиндр	Шар, сфера
$V = a^3$	$V = abc$	$V = \pi R^2 L = \frac{\pi d^2 h}{4}$	$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{\pi d^3}{6}$

где a, b, c – стороны параллелепипеда (куба); R – радиус; d – диаметр; h – высота цилиндра.

3.1.10. Формулы для приближенных вычислений

Если $a \ll 1$, то в первом приближении можно принять:

$$\frac{1}{1 \pm a} = 1 \mp a; \quad e^a = 1 + a; \quad \sqrt{1 \pm a} = 1 \pm \frac{1}{2}a;$$

$$(1 \pm a)^2 = 1 \pm 2a; \quad \ln(1 + a) = a; \quad \frac{1}{\sqrt{1 \pm a}} = 1 \mp \frac{1}{2}a.$$

Если угол α мал ($\alpha < 5^\circ$ или $\alpha < 0,1$ рад) и выражен в радианах, то в первом приближении можно принять:

$$\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha = \alpha; \quad \cos \alpha = 1.$$

3.1.11. Некоторые формулы дифференциального исчисления

$$\frac{d(uv)}{dx} = v \frac{du}{dx} + u \frac{dv}{dx}; \quad \frac{d\left(\frac{u}{v}\right)}{dx} = \frac{v \frac{du}{dx} - u \frac{dv}{dx}}{v^2};$$

$$\frac{d(x^m)}{dx} = mx^{m-1}; \quad \frac{d(e^x)}{dx} = e^x; \quad \frac{d(\ln x)}{dx} = \frac{1}{x};$$

$$\frac{d(\sin x)}{dx} = \cos x; \quad \frac{d(\cos x)}{dx} = -\sin x; \quad \frac{d(\operatorname{tg} x)}{dx} = \frac{1}{\cos^2 x}.$$

3.1.12. Некоторые формулы интегрального исчисления

Неопределенный интеграл	Определенный интеграл
$\int x^m dx = \frac{1}{m+1} \cdot x^{m+1} + \operatorname{const}$	$\int_a^b x^m dx = \frac{1}{m+1} (b^{m+1} - a^{m+1})$
$\int \frac{1}{x^2} \cdot dx = -\frac{1}{x} + \operatorname{const}$	$\int_a^b \frac{1}{x^2} \cdot dx = -\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a}\right) = \frac{1}{a} - \frac{1}{b}$
$\int \frac{dx}{x} = \ln x + \operatorname{const}$	$\int_a^b \frac{dx}{x} = \ln b - \ln a = \ln \frac{b}{a}$
$\int \sin x dx = -\cos x + \operatorname{const}$	$\int_a^b \sin x dx = -(\cos a - \cos b) = \cos b - \cos a$
$\int \cos x dx = \sin x + \operatorname{const}$	$\int_a^b \cos x dx = \sin b - \sin a$
$\int e^x dx = e^x + \operatorname{const}$	$\int_a^b e^x dx = e^b - e^a$

3.1.13. Греческий и латинский алфавиты

Для обозначения физических величин в физике используют греческие и латинские буквы, поэтому знание греческого и латинского алфавита облегчит понимание физического текста.

3.1.13.1. Алфавит греческий

Греческая буква	Название по-английски	Название по-русски
Α α	alpha	альфа
Β β	beta	бета
Γ γ	gamma	гамма
Δ δ	delta	дельта
Ε ε	epsilon	эпсилон
Ζ ζ	zeta	дзета
Η η	eta	эта
Θ θ	theta	тета
Ι ι	iota	йота
Κ κ	kappa	каппа
Λ λ	lambda	ламбда
Μ μ	mu	мю
Ν ν	nu	ню
Ξ ξ	xi	кси
Ο ο	omicron	омикрон
Π π	pi	пи
Ρ ρ	rho	ро
Σ σ	sigma	сигма
Τ τ	tau	тау
Υ υ	upsilon	ипсилон
Φ φ φ	phi	фи
Χ χ	chi	хи
Ψ ψ	psi	пси
Ω ω	omega	омега

3.1.13.2. Алфавит латинский

Современный латинский алфавит, являющийся основой письменности германских, романских и многих других языков, состоит из 26 букв. Буквы в разных языках называются по-разному. В таблице приведены «русские математические» названия, которые следуют «французской» традиции.

Латинская буква		Название буквы	Латинская буква		Название буквы
	Курсив			Курсив	
A, a	<i>A, a</i>	а	N, n	<i>N, n</i>	эн
B, b	<i>B, b</i>	бэ	O, o	<i>O, o</i>	о
C, c	<i>C, c</i>	це	P, p	<i>P, p</i>	пэ
D, d	<i>D, d</i>	дэ	Q, q	<i>Q, q</i>	ку, кю
E, e	<i>E, e</i>	е	R, r	<i>R, r</i>	эр
F, f	<i>F, f</i>	эф	S, s	<i>S, s</i>	эс
G, g	<i>G, g</i>	же, гэ	T, t	<i>T, t</i>	тэ
H, h	<i>H, h</i>	аш, ха	U, u	<i>U, u</i>	у
I, i	<i>I, i</i>	и	V, v	<i>V, v, v</i>	вэ
J, j	<i>J, j</i>	йот, жи	W, w	<i>W, w, w</i>	дубль-вэ
K, k	<i>K, k</i>	ка	X, x	<i>X, x</i>	икс
L, l	<i>L, l</i>	эль	Y, y	<i>Y, y</i>	игрек
M, m	<i>M, m</i>	эм	Z, z	<i>Z, z</i>	зет, зета

3.1.14. Множители и приставки для образования десятичных, кратных и дольных единиц и их наименований

Множитель	Приставка			Пример		
	наименование	Обознач. русское	Обознач. международ.			
10^{12}	тера	Т	Т	тераджоуль	ТДж	TJ
10^9	гига	Г	G	гиганьютон	ГН	GN
10^6	мега	М	M	мегаом	МОм	MΩ
10^3	кило	к	k	километр	км	km
10^2	гекто	г	h	гектоватт	гВт	hW
10^1	дека	да	da	декалитр	дал	dal
10^{-1}	деци	д	d	дециметр	дм	dm
10^{-2}	санتي	с	c	сантиметр	см	cm
10^{-3}	милли	м	m	милливольт	мВ	mV
10^{-6}	микро	мк	μ	микроампер	мкА	μА
10^{-9}	нано	н	n	наносекунда	нс	nc
10^{-12}	пико	п	p	пикофарад	пФ	pF
10^{-15}	фемто	ф	f	фемтометр	фм	fm

3.2. Основные физические постоянные. Единицы физических величин

3.2.1. Основные физические постоянные

Величина	Обозначение	Значения
Гравитационная постоянная	G, γ	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$
Ускорение свободного падения	g	$9,81 \text{ м/с}^2$
Скорость света в вакууме	c	$3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Молярная газовая постоянная	R	$8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Число Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Молярная масса воздуха	M	$29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
Атомная единица массы	1 а.е.м.	$1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя электрона	m_e	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ $0,00055 \text{ а.е.м.}$
Масса покоя нейтрона	m_n	$1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ $1,00867 \text{ а.е.м.}$
Масса покоя протона	m_p	$1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ $1,00728 \text{ а.е.м.}$
Элементарный заряд	e, q_e	$1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Удельный заряд электрона	e/m_e	$1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Постоянная Планка	h	$6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная смещения Вина	b	$2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Постоянная Ридберга	R	$1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
Боровский радиус	a_0	$0,529 \cdot 10^{-10} \text{ м}$
Комптоновская длина волны для электрона	λ_C	$2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}^{-1}$
Магнетон Бора	μ_B	$9,27 \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$
Электрон-вольт	1 эВ	$1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
Энергия ионизации атома водорода	E_i	13,6 эВ
Энергетический эквивалент 1 а.е.м.		931,5 МэВ

3.2.2. Некоторые сведения о единицах физических величин

3.2.2.1. Единицы физических величин СИ, имеющие собственные наименования

Величина	Единица		
	наименование	обозначение (русское)	обозначение (международное)
Длина	метр	м	m
Масса	килограмм	кг	kg
Время	секунда	с	s
Плоский угол	радиан	рад	rad
Телесный угол	стерадиан	ср	sr
Сила, вес	ньютон	Н	N
Работа, энергия	джоуль	Дж	J
Мощность	ватт	Вт	W
Давление	паскаль	Па	Pa
Напряжение (механическое)	паскаль	Па	Pa
Модуль упругости	паскаль	Па	Pa
Частота колебаний	герц	Гц	Hz
Термодинамическая температура	кельвин	К	K
Тепло (количество тепла)	джоуль	Дж	J
Количество вещества	моль	моль	mol
Электрический заряд	кулон	Кл	C
Сила тока	ампер	А	A
Потенциал электрического поля	вольт	В	V
Напряжение (электрическое)	вольт	В	V
Электрическая ёмкость	фарад	Ф	F
Электрическое сопротивление	ом	Ом	Ω
Электрическая проводимость	сименс	См	S
Магнитная индукция	тесла	Тл	T
Магнитный поток	вебер	Вб	Wb
Индуктивность	генри	Гн	H
Сила света	кандела	кд	cd
Световой поток	люмен	лм	lm
Освещенность	люкс	лк	lx
Поток излучения	ватт	Вт	W
Доза излучения (поглощенная доза)	грей	Гр	Gy
Активность препарата	беккерель	Бк	Bq

3.2.2.2. Внесистемные единицы, допущенные к применению наравне с единицами СИ (в соответствии со стандартом 1052-78 «Метрология. Единицы физических величин»)

Величина	Наименование	Обозначение	Соотношение с единицей СИ
Масса	тонна	т	1000 кг
	грамм	г	0,001 кг
Объем, вместимость	литр	л	1 л=0,001 м ³
Относительная величина	единица (число 1)	–	1
	процент	%	10 ⁻²
Логарифмическая величина	бел	Б	–
	децибел	дБ	–
Температура	градус Цельсия	°С	1°С = 1К

3.2.2.3. Соотношения между внесистемными единицами и единицами СИ

Длина	1 ангстрем = 10 ⁻¹⁰ м
Время	1 сутки = 86400 с
	1 год = 365,25 суток = 3,16·10 ⁷ с
Плоский угол	1° = π/180 рад = 1,75·10 ⁻² рад
	1′ = (π/108)·10 ⁻² рад = 2,91·10 ⁻⁴ рад
	1″ = (π/648)·10 ⁻³ рад = 4,85·10 ⁻⁶ рад
	1 рад = 57,29577951° = 57°17′44″8
Объем, вместимость	1 л = 1 дм ³ = 10 ⁻³ м ³
Масса	1 т = 10 ³ кг
	1 г = 10 ⁻³ кг
	1 а.е.м. = 1,66·10 ⁻²⁷ кг
Сила	1 кгс = 9,81 Н
Работа, энергия	1 эВ = 1,6·10 ⁻¹⁹ Дж
	1 кВт·ч = 3,6·10 ⁶ Дж
Мощность	1 л.с. = 736 Вт
Давление	1 кгс/см ² = 1 ат (техн) = 9,81·10 ⁴ Па
	1 бар = 10 ⁵ Па = 0,1 МПа
	1 мм рт. ст. = 133,3 Па
Тепло (количество тепла)	1 кал = 4,19 Дж
Магнитная индукция	1 Гс (гаусс) = 10 ⁻⁴ Тл
Напряженность магнитного поля	1 Э (эрстед) = 79,6 А/м ≈ 80 А/м

3.3. Таблицы физических величин

3.3.1. *Астрономические величины*

Радиус Солнца	$6,94 \cdot 10^8$ м
Масса Солнца	$1,99 \cdot 10^{30}$ кг
Радиус Земли	$6,37 \cdot 10^6$ м
Масса Земли	$5,98 \cdot 10^{24}$ кг
Радиус Луны	$1,74 \cdot 10^6$ м
Масса Луны	$7,35 \cdot 10^{22}$ кг
Среднее расстояние от Земли до Солнца	$1,496 \cdot 10^{11}$ м
Среднее расстояние от Земли до Луны	$3,844 \cdot 10^8$ м
Время полного оборота Земли вокруг своей оси	23 час 56 мин 4,09 сек
Период обращения Луны вокруг Земли	27 сут 7 час 43 мин

3.3.2. *Плотность и модуль упругости твердых тел*

Материал		Плотность ρ , 10^3 кг/м ³	Модуль упругости (модуль Юнга) E , ГПа
Алюминий	Al	2,70	69 – 72
Вольфрам	W	19,3	350 – 400
Германий	Ge	5,32	82
Железо	Fe	7,86	195 – 205
Золото	Au	19,3	78 – 83
Индий	In	7,31	10,5
Кремний	Si	2,33	110 – 160
Медь	Cu	8,96	110 – 130
Молибден	Mo	10,2	300 – 330
Никель	Ni	8,9	200 – 220
Олово	Sn	7,3	41 – 55
Палладий	Pd	12,0	115 – 125
Платина	Pt	21,4	150 – 175
Селен	Se	4,79	55
Серебро	Ag	10,5	72 – 72,5
Свинец	Pb	11,4	14 – 18
Титан	Ti	4,51	110
Цинк	Zn	7,14	100 – 130
Дюралюминий		2,79	70 – 72,5
Сталь (катаная)		7,85–8,0	200 – 210
Медные сплавы (латуни)		8,4–8,7	102 – 115

3.3.3. Тепловые свойства твердых тел

Вещество	$t_{пл},$ °С	$c,$ кДж/(кг·К)	$\lambda,$ 10^5 Дж/кг	$K,$ Вт/(м·К)	$\alpha,$ 10^{-5} К^{-1}
Алюминий	660	0,86	4,0	237	2,3 – 2,4
Дюралюминий	600	0,60		130	1,8 – 2,6
Сталь	1440	0,45	2,7	50	1,0 – 1,8
Золото	1063		0,64	317	7,8 – 8,3
Медь	1083	0,38	2,1	400	1,6 – 1,7
Медные сплавы (латуни)	900	0,35		110	1,8 – 2,0
Свинец	327	0,13	0,23	35	2,8 – 2,9
Олово	232	0,23	0,605	70	2,0 – 2,2
Лед	0	2,1	3,4	2,2	5,27
Стекло (оконное)	600	0,67	1,4	0,92	0,6 – 1,0

$t_{пл}$ – температура плавления; c – удельная теплоемкость;
 λ – удельная теплота плавления; K – коэффициент теплопроводности;
 α – температурный коэффициент линейного расширения (средние значения).

3.3.4. Свойства жидкостей при 20°С

Вещество	Плотность $\rho,$ кг/м ³	Вязкость $\eta,$ мПа·с	Поверхностное натяжение $\alpha,$ мН/м	Температура кипения $t,$ °С
Вода	1000	1,00	72,8	100
Глицерин	1260	1480	59,4	290
Масло касторовое	955	986	32,8	
Керосин	840	1,5	24,0	150 – 250
Ртуть	13595	1,55	475,0	356,6

3.3.5. Свойства газов при 20°С

Вещество	Плотность $\rho,$ кг/м ³	Диаметр молекулы $d,$ нм	Вязкость $\eta,$ мкПа·с	Показатель адиабаты $\gamma=c_p/c_v$
Азот N ₂	1,250	0,371	17,66	1,401
Водород H ₂	0,089	0,28	8,80	1,405
Воздух	1,293	0,357	18,12	1,401
Гелий He	0,178	0,1987	19,46	1,63
Кислород O ₂	1,429	0,35	20,26	1,400
Метан CH ₄	0,717		10,92	1,31
Углекислый газ CO ₂	1,977	0,45	13,8	1,29

3.3.6. Скорость звука при 20°C

Газы		Жидкости		Твердые тела	
Вещество	v , м/с	Вещество	v , м/с	Вещество	v , м/с
Азот	334	Анилин	1656	Алюминий	5080
Водород	1300	Бензол	1321	Железо	5170
Воздух	334	Вода	1482	Сталь	5100
Гелий	965	Глицерин	1895	Чугун	3850
Кислород	315	Дихлорэтан	1034	Латунь	3490
Метан	430	Керосин	1295	Гранит	3950
Углекислый газ CO ₂	260	Спирт	1156	Лёд (-4°C)	3280

3.3.7. Состав сухого атмосферного воздуха

Газ	Хим. формула	Объемные %	Весовые %
Азот	N ₂	78,09	75,50
Кислород	O ₂	20,95	23,10
Аргон	Ar	0,932	1,286
Углекислый газ	CO ₂	0,030	0,046
Неон	Ne	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Гелий	He	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-5}$

Примечания:

1. Состав воздуха постоянен до высоты 60 км.
2. Молярная масса воздуха $M=0,029$ кг/моль.
3. Содержание водяных паров в воздухе колеблется от 0,1 до 2,8 объемных %.

3.3.8. Критические параметры и поправки Ван-дер-Ваальса

Газ	Критическая температура	Критическое давление	Поправка Ван-дер-Ваальса	
	$T_{кр}$, К	$p_{кр}$, МПа	a , Н·м ⁴ /моль ²	b , 10 ⁻⁵ м ³ /моль
Азот	126	3,39	0,135	3,86
Аргон	151	4,86	0,134	3,22
Водород	33	1,30	0,025	2,66
Водяной пар	647	22,1	0,545	3,04
Гелий	5,2	0,23	0,003	2,36
Кислород	1,55	5,08	0,136	3,17
Углекислый газ	304	7,38	0,361	4,28
Хлор	417	7,71	0,650	5,62
Эфир	467	3,59	1,746	13,33

3.3.9. Элементы периодической системы

Z – порядковый номер; A – относительная атомная масса химического элемента (округленные значения)

Z	Элемент	Символ	A	Z	Элемент	Символ	A
1	Водород	H	1	47	Серебро	Ag	108
2	Гелий	He	4	48	Кадмий	Cd	112
3	Литий	Li	7	49	Индий	In	115
4	Бериллий	Be	9	50	Олово	Sn	119
5	Бор	B	11	51	Сурьма	Sb	122
6	Углерод	C	12	52	Теллур	Te	128
7	Азот	N	14	53	Йод	I	127
8	Кислород	O	16	54	Ксенон	Xe	131
9	Фтор	F	19	55	Цезий	Cs	133
10	Неон	Ne	20	56	Барий	Ba	137
11	Натрий	Na	23	57	Лантан	La	139
12	Магний	Mg	24	58	Церий	Ce	140
13	Алюминий	Al	27	59	Празеодим	Pr	141
14	Кремний	Si	28	60	Неодим	Nd	144
15	Фосфор	P	31	61	Прометий	Pm	145
16	Сера	S	32	62	Самарий	Sm	150
17	Хлор	Cl	35	63	Европий	Eu	152
18	Аргон	Ar	40	64	Гадолиний	Gd	157
19	Калий	K	39	65	Тербий	Tb	159
20	Кальций	Ca	40	66	Диспрозий	Dy	163
21	Скандий	Sc	45	67	Гольмий	Ho	165
22	Титан	Ti	47	68	Эрбий	Er	167
23	Ванадий	V	51	69	Тулий	Tu	169
24	Хром	Cr	52	70	Иттербий	Yb	173
25	Марганец	Mn	55	71	Лютеций	Lu	175
26	Железо	Fe	56	72	Гафний	Hf	178
27	Кобальт	Co	59	73	Тантал	Ta	181
28	Никель	Ni	59	74	Вольфрам	W	184
29	Медь	Cu	64	75	Рений	Re	186
30	Цинк	Zn	65	76	Осмий	Os	190
31	Галлий	Ga	70	77	Иридий	Ir	192
32	Германий	Ge	73	78	Платина	Pt	195
33	Мышьяк	As	75	79	Золото	Au	197
34	Селен	Se	79	80	Ртуть	Hg	201
35	Бром	Br	80	81	Таллий	Tl	204
36	Криптон	Kr	84	82	Свинец	Pb	207
37	Рубидий	Rb	86	83	Висмут	Bi	209
38	Стронций	Sr	88	84	Полоний	Po	210
39	Иттрий	Y	89	85	Астат	At	210
40	Цирконий	Zr	91	86	Радон	Rn	222
41	Ниобий	Nb	93	87	Франций	Fr	223
42	Молибден	Mo	96	88	Радий	Ra	226
43	Технеций	Tc	99	89	Актиний	Ac	227
44	Рутений	Ru	101	90	Торий	Th	232
45	Родий	Rh	103	91	Протактиний	Pa	231
46	Палладий	Pd	106	92	Уран	U	238

3.3.10. Электрические свойства веществ

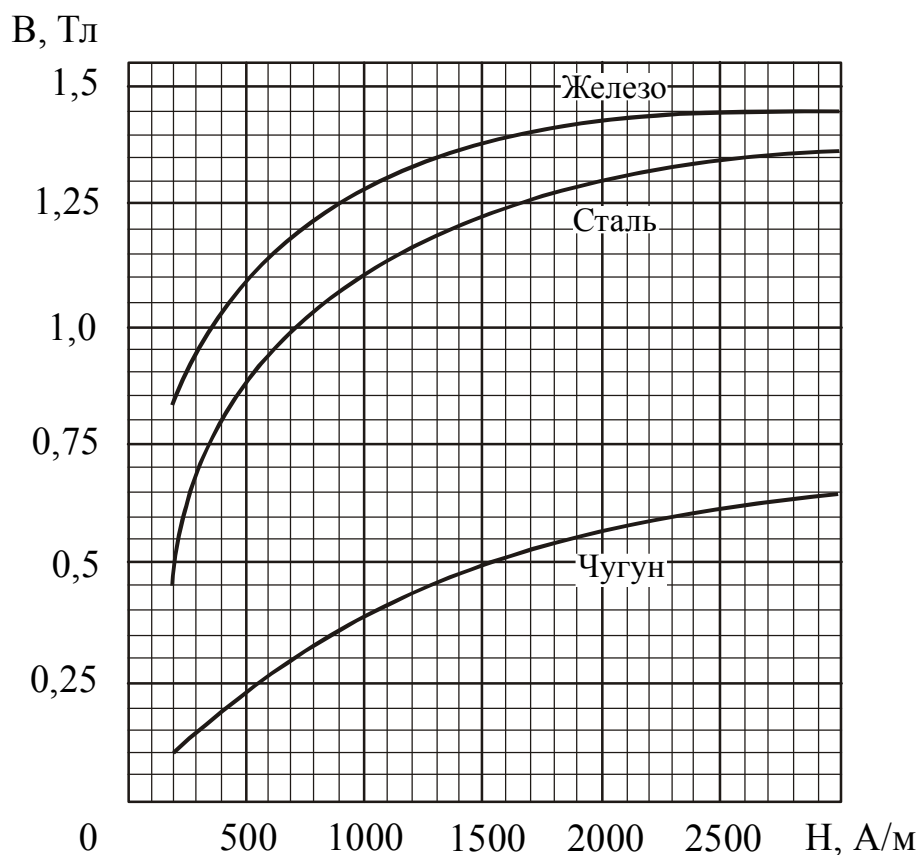
Вещество	Диэлектрическая проницаемость, ϵ	Пробивная напряженность E , 10^6 В/м
Воздух	1,0	3,1
Масло трансформаторное	2,2	12 – 20
Масло конденсаторное	4,0	20 – 25
Слюда	7,0	100 – 250
Стекло электроизоляционное	5,0	40 – 44
Текстолит	8,0	27 – 30
Парафинированная бумага	2,1	40 – 60
Полиэтилен	2,2	25 – 60
Керосин	2,1	–
Фарфор	5,0	30 – 32
Эбонит	3,0	20 – 35

3.3.11. Удельное электрическое сопротивление ρ_0 и температурный коэффициент сопротивления α некоторых проводников при 0°C

Проводник		ρ_0 , 10^{-8} Ом·м	α , 10^{-3} град $^{-1}$
Алюминий	Al	2,5	4,60
Ванадий	V	18,2	3,90
Вольфрам	W	4,89	5,10
Железо	Fe	8,6	6,51
Золото	Au	2,06	4,02
Кобальт	Co	5,57	6,04
Магний	Mg	4,31	4,12
Медь	Cu	1,55	4,33
Молибден	Mo	5,05	4,73
Неодим	Nd	71,0	2,00
Никель	Ni	6,14	6,92
Олово	Sn	11,15	4,65
Палладий	Pd	9,77	3,77
Платина	Pt	9,81	3,96
Ртуть	Hg	94,07	0,99
Свинец	Pb	19,2	4,28
Серебро	Ag	1,49	4,30
Титан	Ti	42,0	5,46
Хром	Cr	14,1	3,01
Цинк	Zn	5,65	4,17

Проводник	$\rho_0,$ 10^{-8} Ом·м	$\alpha,$ 10^{-3} град $^{-1}$
Сталь	12,0	6,10
Константан	50,0	0,05
Манганин	43,0	0,01
Нейзильбер	30,0	0,25
Никелин	40,0	0,11
Нихром	110,0	0,12
Фехраль	130,0	0,15
Латунь	7,1	1,70
Платиносеребряный	27,0	0,24

3.3.12. Связь между магнитной индукцией B поля в ферромагнетике и напряженностью H намагничивающего поля



3.3.13. Показатели преломления (средние значения)

Газы		Жидкости		Твердые тела	
Вещество	n	Вещество	n	Вещество	n
Азот	1,000297	Вода	1,33	Алмаз	2,42
Воздух	1,000292	Глицерин	1,47	Кварц плав	1,46
Метан	1,000441	Масло кедровое	1,52	Стекло	1,50
Хлор	1,000768	Масло коричное	1,60	NaCl	1,53

3.3.14. Интервалы длин волн и частот и соответствующие им цвета видимой части спектра*

Цвет спектра	Длина волны λ , нм	Частота ν , 10^{14} Гц
Красный	760 – 620	3,95 – 4,83
Оранжевый	620 – 590	4,83 – 5,08
Желтый	590 – 560	5,08 – 5,36
Зеленый	560 – 500	5,36 – 6,00
Голубой	500 – 480	6,00 – 6,25
Синий	480 – 450	6,25 – 6,66
Фиолетовый	450 – 380	6,66 – 7,89

*Область видимой части спектра заключена в границах волн приблизительно от 380 до 760 нм. Границы цветов спектра также определяются лишь условно.

3.3.15. Шкала электромагнитных волн

Название диапазона волн	Примерный диапазон длин волн		Диапазон частот
	м	Другие единицы	Гц
Низкочастотные электрические колебания	$\infty \div 10^{+5}$	$\infty \div 100$ км	$0 \div 3 \cdot 10^3$
Радиоволны	$10^{+5} \div 10^{-3}$	100 км \div 1 мм	$3 \cdot 10^3 \div 3 \cdot 10^{11}$
Инфракрасное излучение	$2 \cdot 10^{-3} \div 7,6 \cdot 10^{-7}$	2 мм \div 760 нм	$1,5 \cdot 10^{11} \div 4,0 \cdot 10^{14}$
Видимое излучение	$7,6 \cdot 10^{-7} \div 3,8 \cdot 10^{-7}$	760 \div 380 нм	$4,0 \cdot 10^{14} \div 8,0 \cdot 10^{14}$
Ультрафиолетовое излучение	$3,8 \cdot 10^{-7} \div 3 \cdot 10^{-9}$	380 \div 3 нм	$8,0 \cdot 10^{14} \div 10^{17}$
Рентгеновское излучение	$10^{-8} \div 10^{-12}$	10 нм \div 1 пм	$3 \cdot 10^{16} \div 3 \cdot 10^{20}$
Гамма-излучение	10^{-11} и менее	10 пм и менее	$3 \cdot 10^{19}$ и выше

Обратите внимание! Различные виды электромагнитного излучения отличаются лишь длиной волны (или, что то же самое, частотой). В зависимости от длины волны (частоты) меняются свойства волн, их действия, способы получения и названия отдельных участков.

3.3.16. Длины волн ярких линий в спектре ртутной лампы

Окраска линии	Длина волны λ , нм	Относительная яркость (визуальная оценка)
Фиолетовая	404,66	2
Фиолетовая	407,78	1
Синяя	433,9	1
Синяя	434,8	1
Синяя	435,83	8
Голубая	491,60	1
Зеленая	546,07	10
Желтая	576,96	8
Желтая	579,07	10

3.3.17. Длины волн некоторых ярких линий в спектре неона¹⁾

Окраска линии	Длина волны λ , нм	Относительная яркость (визуальная оценка)
Желтая	576,44	3
Желтая	585,25	10
Желтая	588,19	4
Оранжевая	594,48	3
Оранжевая	597,55	2
Красно-оранжевая	603,00	2
Красно-оранжевая	607,43	4
Красно-оранжевая	609,62	3
Красно-оранжевая	614,31	6
Ярко-красная	616,36	5
Ярко-красная	621,73	3
Ярко-красная	626,65	8
Ярко-красная	630,48	2
Ярко-красная	633,44	5
Ярко-красная	638,30	10
Ярко-красная	640,22	10
Красная	650,65	5
Красная	653,29	5
Красная	659,89	5
Красная	667,83	3
Красная	671,70	1

¹⁾ В таблице подробно даны линии красно-оранжевой области спектра, обычно используемые для градуировки спектральных приборов. В области длин волн, меньших 580 нм, градуировку удобнее проводить по спектру ртути.

3.3.18. Спектральные линии атома водорода в видимой части спектра (серия Бальмера)

Переход $n_i \rightarrow n_k$	Обозначение	Длина волны λ , нм	Частота ν , 10^{14} Гц	Цвет
3→2	H $_{\alpha}$	656,280	4,571	Красная
4→2	H $_{\beta}$	486,132	6,171	Зелено-голубая
5→2	H $_{\gamma}$	434,046	6,911	Сине-фиолетовая
6→2	H $_{\delta}$	410,173	7,313	Фиолетовая
7→2	H $_{\epsilon}$	397,007	7,557	Ультрафиолетовая

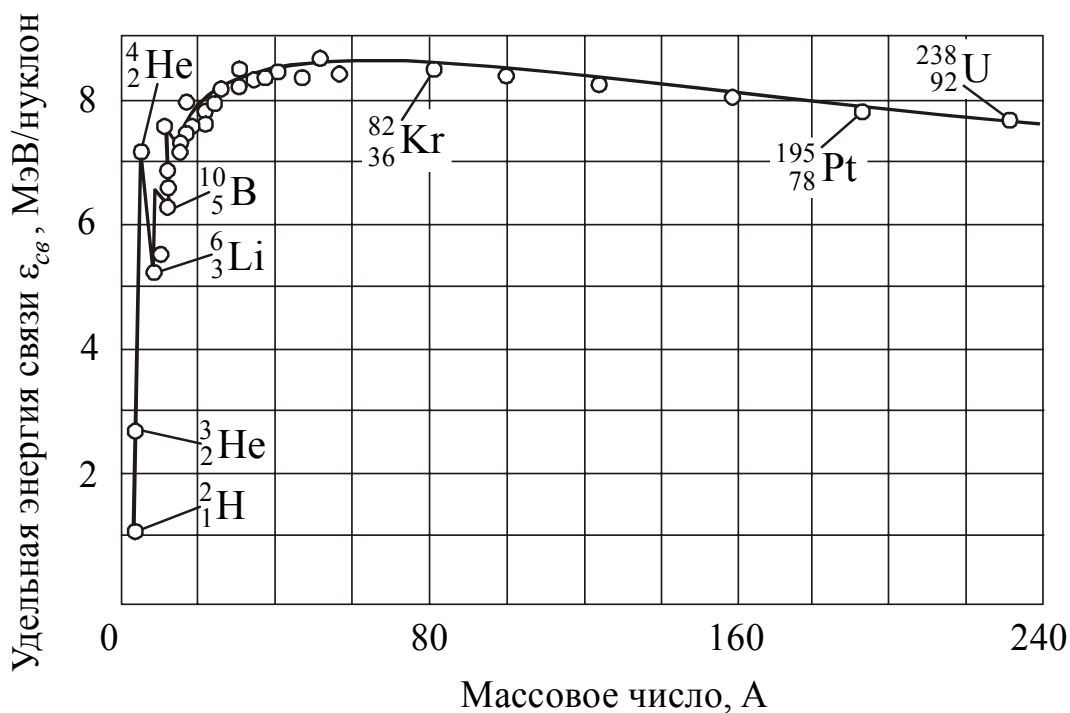
3.3.19. Основные физические свойства некоторых полупроводниковых материалов

Вещество	Ширина запрещённой зоны ΔE , эВ	Подвижность электронов $\mu_{\text{Э}}$, $\text{см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$	Подвижность дырок $\mu_{\text{Д}}$, $\text{см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$	Плотность ρ , 10^3 кг/м^3
Si	1,11	1600	500	2,33
Ge	0,66	3900	1900	5,32
AlAs	2,20	1200	–	3,60
AlP	2,45	50	150	2,85
AlSb	1,63	200	420	4,15
Mg $_2$ Ge	0,57	500	100	3,09
GaAs	1,43	8500	420	5,37
GaSb	0,78	4000	650	5,61
GaTe	1,78	4000	650	5,61
InAs	0,36	33 000	460	5,68
InSb	0,18	78000	750	5,78
InP	1,26	4600	150	4,79
InS	1,92	50	–	5,18
PbSe	0,28	0,50	1000	8,15
PbTe	0,32	1730	840	8,16
SnTe	0,18	–	400	6,45
Cd $_3$ P $_2$	0,55	3000	–	5,60
ZnTe	2,34	340	110	5,68
Al $_x$ Ga $_{1-x}$ As	1,41–2,20			
In $_x$ Ga $_{1-x}$ As	1,38–1,97			

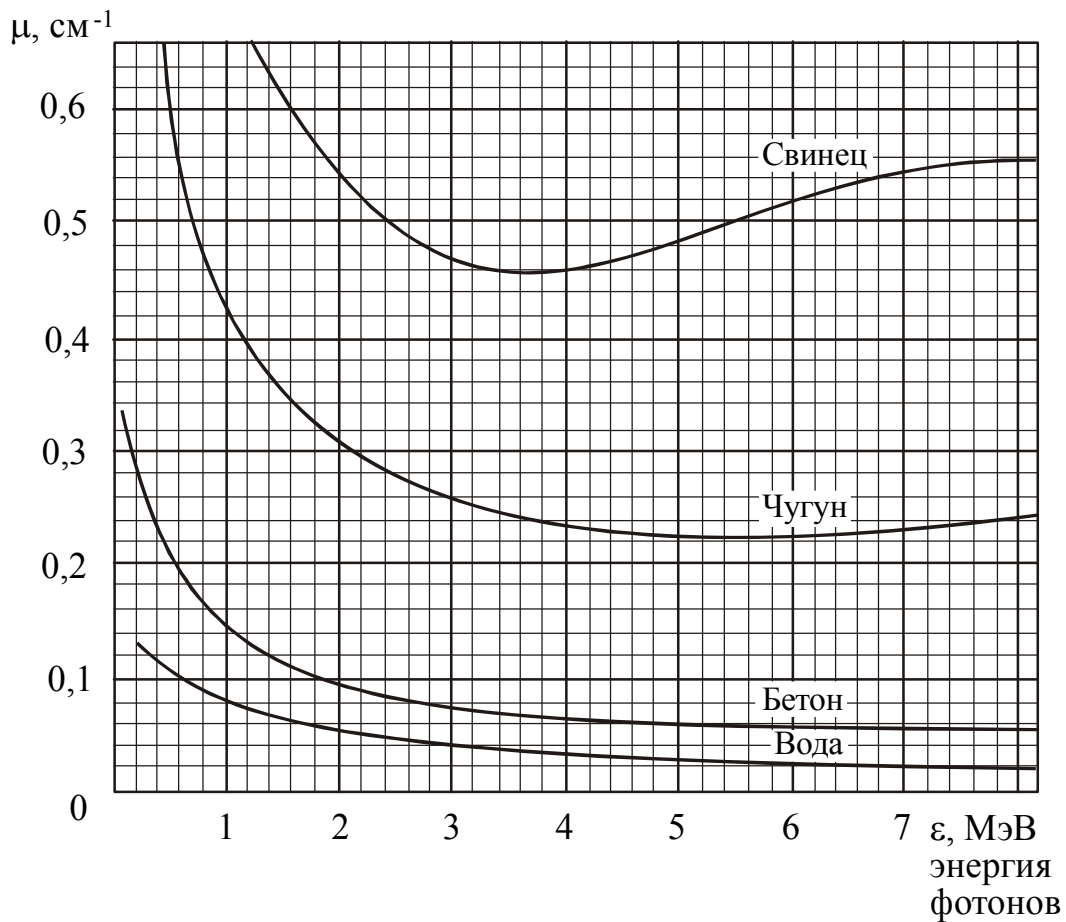
3.3.20. Работа выхода для химически чистых элементов и элементов, покрытых слоем адсорбата

Элемент	Символ	A , эВ	Адсорбент – адсорбат	A , эВ
Алюминий	Al	4,25	C – Cs	1,37
Вольфрам	W	4,54	Ti – Cs	1,32
Германий	Ge	4,76	Cr – Cs	1,71
Индий	In	3,80	Fe – Cs	1,82
Иттрий	Y	3,30	Cu – Cs	1,64
Калий	K	2,22	Mo – Cs	1,54
Кобальт	Co	4,41	Ge – Ba	2,20
Кремний	Si	4,80	Mo – Th	2,58
Магний	Mg	3,64	Ag – Ba	1,56
Марганец	Mn	3,83	Ta – Cs	1,10
Медь	Cu	4,40	W – Li	2,18
Натрий	Na	2,35	W – La	2,20
Никель	Ni	4,50	Pt – Na	2,10
Палладий	Pd	4,80	Pt – Rb	1,57
Празеодим	Pr	2,70	Pt – Ba	1,90
Самарий	Sm	2,70	W – O – Na	1,72
Селен	Se	4,72	Сталь 1X18H9T – Cs	1,41
Серебро	Ag	4,30	Ta ₂ C – Cs	1,40
Стронций	Sr	2,35	TaSi ₂ – Cs	1,47
Хром	Cr	4,58	Mo ₂ C – Cs	1,45
Цезий	Cs	1,81	WSi ₂ – Cs	1,47
Цинк	Zn	4,24	Pd – Cs	1,51

3.3.21. Зависимость удельной энергии связи от массового числа



3.3.22. Зависимость линейного коэффициента ослабления от энергии падающих фотонов для некоторых материалов



3.3.23. Основные свойства некоторых изотопов

Таблица 3.3.23

Элемент	Символ изотопа	Атомная масса, а.е.м.	Относит. распростран. %	Тип распада	Период полураспада
Нейтрон	${}_0n^1$	1,008665	–	$\beta -$	14,5 мин
Протон	${}_1p^1$	1,007276	–		стабилен
Водород	${}_1H^1$	1,007825	99,985		стабилен
Дейтерий	${}_1H^2$	2,014102	0,015		стабилен
Тритий	${}_1H^3$	3,016049	–	$\beta -$	12,33 года
Гелий	${}_2He^3$	3,016030	0,000138		стабилен
Гелий	${}_2He^4$	4,002604	99,99986		стабилен
Гелий	${}_2He^6$	6,018891	–	$\beta -$	0,808 с
Литий	${}_3Li^6$	6,015126	7,52		стабилен
Литий	${}_3Li^7$	7,016005	92,48		стабилен
Литий	${}_3Li^8$	8,022487	–	$\beta -$	0,842 с
Бериллий	${}_4Be^7$	7,016930	–	э.з.	53 дня
Бериллий	${}_4Be^9$	9,012186	100		стабилен
Бор	${}_5B^{10}$	10,012939	19,9		стабилен
Бор	${}_5B^{11}$	11,009305	80,1		стабилен
Углерод	${}_6C^{12}$	12,00000	98,89		стабилен
Углерод	${}_6C^{13}$	13,003354	1,11		стабилен
Углерод	${}_6C^{14}$	14,003242	–	$\beta -$	5730 лет
Азот	${}_7N^{13}$	13,005739	–	$\beta +$	9,96 мин
Азот	${}_7N^{14}$	14,003074	99,63		стабилен
Азот	${}_7N^{15}$	15,000108	0,37		стабилен
Азот	${}_7N^{16}$	16,005739	–	$\beta -$	7,13 с
Кислород	${}_8O^{16}$	15,994915	99,762		стабилен
Кислород	${}_8O^{17}$	16,999133	0,038		стабилен
Кислород	${}_8O^{18}$	17,999160	0,200		стабилен
Фтор	${}_9F^{19}$	18,998405	100		стабилен
Неон	${}_{10}Ne^{20}$	19,992440	90,51		стабилен
Неон	${}_{10}Ne^{22}$	21,991384	9,22		стабилен
Натрий	${}_{11}Na^{22}$	21,994435	–	$\beta +$	2,6 года
Натрий	${}_{11}Na^{23}$	22,989773	100		стабилен
Магний	${}_{12}Mg^{23}$	22,994135	–	$\beta +$	11,3 сек
Магний	${}_{12}Mg^{24}$	23,985044	78,99		стабилен
Магний	${}_{12}Mg^{26}$	25,982591	11,01		стабилен
Магний	${}_{12}Mg^{27}$	26,984345	–	$\beta -$	9,46 мин
Алюминий	${}_{13}Al^{27}$	26,981535	100		стабилен
Кремний	${}_{14}Si^{28}$	27,976927	92,23		стабилен
Кремний	${}_{14}Si^{30}$	29,973761	3,10		стабилен

Элемент	Символ изотопа	Атомная масса, а.е.м.	Относит. распростран. %	Тип распада	Период полураспада
Фосфор	$_{15}\text{P}^{31}$	30,973763	100		стабилен
Фосфор	$_{15}\text{P}^{32}$	31,973908	–	β –	14,36 сут
Сера	$_{16}\text{S}^{32}$	31,972074	95,02		стабилен
Сера	$_{16}\text{S}^{35}$	34,969034	–	β –	87,24 сут
Хлор	$_{17}\text{Cl}^{35}$	34,968854	75,77		стабилен
Хлор	$_{17}\text{Cl}^{37}$	36,965896	24,23		стабилен
Аргон	$_{18}\text{Ar}^{36}$	35,967548	0,34		стабилен
Аргон	$_{18}\text{Ar}^{40}$	39,962384	99,60		стабилен
Калий	$_{19}\text{K}^{39}$	38,963714	93,26		стабилен
Калий	$_{19}\text{K}^{40}$	39,963999	0,0117	β –	$1,28 \cdot 10^6$ лет
Калий	$_{19}\text{K}^{42}$	41,962417	–	β –	12,5 час
Кальций	$_{20}\text{Ca}^{40}$	39,962589	96,94		стабилен
Кальций	$_{20}\text{Ca}^{45}$	44,956189	–	β –	163,8 сут
Скандий	$_{21}\text{Sc}^{45}$	44,955919	100		стабилен
Титан	$_{22}\text{Ti}^{48}$	47,947948	73,8		стабилен
Ванадий	$_{23}\text{V}^{51}$	50,943978	99,75		стабилен
Хром	$_{24}\text{Cr}^{51}$	50,944786	–	э.з.	27,7 сут
Хром	$_{24}\text{Cr}^{52}$	51,940506	83,79		стабилен
Марганец	$_{25}\text{Mn}^{55}$	54,938054	100		стабилен
Железо	$_{26}\text{Fe}^{55}$	54,940438	–	э.з.	2,7 года
Железо	$_{26}\text{Fe}^{56}$	55,934935	91,72		стабилен
Железо	$_{26}\text{Fe}^{57}$	56,935391	2,2		стабилен
Кобальт	$_{27}\text{Co}^{58}$	57,935754	–	э.з.	70,78 суток
Кобальт	$_{27}\text{Co}^{59}$	58,933189	100		стабилен
Кобальт	$_{27}\text{Co}^{60}$	59,933816	–	β –	5,27 года
Никель	$_{28}\text{Ni}^{58}$	57,935343	68,27		стабилен
Никель	$_{28}\text{Ni}^{63}$	62,929665	–	β +	100,1 года
Медь	$_{29}\text{Cu}^{63}$	62,929594	69,17		стабилен
Медь	$_{29}\text{Cu}^{65}$	64,927786	30,83		стабилен
Цинк	$_{30}\text{Zn}^{64}$	63,929141	48,6		стабилен
Галлий	$_{31}\text{Ga}^{69}$	68,925576	60,1		стабилен
Галлий	$_{31}\text{Ga}^{71}$	70,924695	39,9		стабилен
Германий	$_{32}\text{Ge}^{70}$	69,924245	20,5		стабилен
Германий	$_{32}\text{Ge}^{72}$	71,922075	27,4		стабилен
Мышьяк	$_{33}\text{As}^{75}$	74,921590	100		стабилен
Селен	$_{34}\text{Se}^{78}$	77,917298	23,6		стабилен
Селен	$_{34}\text{Se}^{80}$	79,916515	49,7		стабилен
Бром	$_{35}\text{Br}^{79}$	78,918330	50,69		стабилен

Продолжение таблицы 3.3.23

Элемент	Символ изотопа	Атомная масса, а.е.м.	Относит. распростран. %	Тип распада	Период полураспада
Криптон	${}_{36}\text{Kr}^{84}$	83,911446	57,0		стабилен
Криптон	${}_{36}\text{Kr}^{85}$	84,912531	–	β –	10,72 года
Рубидий	${}_{37}\text{Rb}^{85}$	84,911788	72,16		стабилен
Рубидий	${}_{37}\text{Rb}^{86}$	85,909183	–	β –	18,66 сут
Стронций	${}_{38}\text{Sr}^{88}$	87,905622	82,58		стабилен
Стронций	${}_{38}\text{Sr}^{90}$	88,907734	–	β –	28,6 лет
Стронций	${}_{38}\text{Sr}^{94}$	93,915234	–	β –	78 с
Иттрий	${}_{39}\text{Y}^{88}$	87,909503	–	э.з.	106,6 сут
Иттрий	${}_{39}\text{Y}^{89}$	88,905849	100		стабилен
Цирконий	${}_{40}\text{Zr}^{90}$	89,904701	51,45		стабилен
Цирконий	${}_{40}\text{Zr}^{95}$	94,908028	–	β –	64,0 сут
Ниобий	${}_{41}\text{Nb}^{93}$	92,906372	100		стабилен
Молибден	${}_{42}\text{Mo}^{92}$	91,906802	14,84		стабилен
Технеций	${}_{43}\text{Tc}^{98}$	97,907203	–	β –	$4,2 \cdot 10^6$ лет
Рутений	${}_{44}\text{Ru}^{102}$	101,904338	31,6		стабилен
Родий	${}_{45}\text{Rh}^{101}$	100,906162	–	э.з.	3,3 года
Родий	${}_{45}\text{Rh}^{103}$	102,905502	100		стабилен
Палладий	${}_{46}\text{Pd}^{108}$	107,903891	26,46		стабилен
Серебро	${}_{47}\text{Ag}^{107}$	106,905088	51,84		стабилен
Серебро	${}_{47}\text{Ag}^{108}$	107,905956	–	β –	2,37 мин
Кадмий	${}_{48}\text{Cd}^{113}$	112,904901	12,22		стабилен
Кадмий	${}_{48}\text{Cd}^{114}$	113,903354	28,73		стабилен
Индий	${}_{49}\text{In}^{115}$	114,904070	95,72		стабилен
Олово	${}_{50}\text{Sn}^{118}$	117,901790	24,22		стабилен
Олово	${}_{50}\text{Sn}^{123}$	122,905715	–	β –	129,2 сут
Сурьма	${}_{51}\text{Sb}^{121}$	120,903750	57,25		стабилен
Сурьма	${}_{51}\text{Sb}^{123}$	122,904216	42,75		стабилен
Теллур	${}_{52}\text{Te}^{130}$	129,906700	33,8		стабилен
Йод	${}_{53}\text{I}^{127}$	126,904471	100		стабилен
Йод	${}_{53}\text{I}^{131}$	130,906112	–	β –	8,04 сут
Ксенон	${}_{54}\text{Xe}^{132}$	131,904142	26,9		стабилен
Ксенон	${}_{54}\text{Xe}^{135}$	134,907040	–	β –	9,13 час
Ксенон	${}_{54}\text{Xe}^{140}$	139,921439	–	β –	13,60 с
Цезий	${}_{55}\text{Cs}^{133}$	132,905427	100		стабилен
Цезий	${}_{55}\text{Cs}^{134}$	133,906694	–	β –	2,06 года
Барий	${}_{56}\text{Ba}^{138}$	137,905226	71,7		стабилен
Лантан	${}_{57}\text{La}^{139}$	138,906348	99,91		стабилен
Церий	${}_{58}\text{Ce}^{140}$	139,905436	88,48		стабилен

Элемент	Символ изотопа	Атомная масса, а.е.м.	Относит. распростран. %	Тип распада	Период полураспада
Празеодим	${}_{59}\text{Pr}^{141}$	140,907651	100		стабилен
Неодим	${}_{60}\text{Nd}^{146}$	145,913121	17,2		стабилен
Иридий	${}_{77}\text{Ir}^{192}$	191,962990	–	β –	73,8 суток
Золото	${}_{79}\text{Au}^{197}$	196,966557	100		стабилен
Ртуть	${}_{80}\text{Hg}^{194}$	196,966557	–	э.з.	260 лет
Ртуть	${}_{80}\text{Hg}^{200}$	199,968316	23,13		стабилен
Таллий	${}_{81}\text{Tl}^{204}$	203,973884	–	β –	3,78 года
Таллий	${}_{81}\text{Tl}^{210}$	209,990069	–	β –	1,30 мин
Свинец	${}_{82}\text{Pb}^{207}$	206,975932	22,1		стабилен
Свинец	${}_{82}\text{Pb}^{208}$	207,976641	52,4		стабилен
Свинец	${}_{82}\text{Pb}^{210}$	209,984178	–	β –	22,3 года
Висмут	${}_{83}\text{Bi}^{209}$	208,980423	100		стабилен
Висмут	${}_{83}\text{Bi}^{210}$	209,984114	–	β –	5,0 сут
Висмут	${}_{83}\text{Bi}^{211}$	210,987263	–	α	2,14 мин
Полоний	${}_{84}\text{Po}^{210}$	209,982871	–	α	138,4 сут
Астат	${}_{85}\text{At}^{210}$	209,987490	–	э.з.	8,1 час
Радон	${}_{86}\text{Rn}^{222}$	222,017533	–	α	3,8 сут
Радий	${}_{88}\text{Ra}^{220}$	220,010972	–	α	0,025 с
Радий	${}_{88}\text{Ra}^{225}$	225,023604	–	β –	0,842 с
Радий	${}_{88}\text{Ra}^{226}$	226,025361	–	α	1620 лет
Радий	${}_{88}\text{Ra}^{227}$	227,029220	–	β –	42,2 мин
Актиний	${}_{89}\text{Ac}^{225}$	225,023216	–	э.з.	10,0 сут
Актиний	${}_{89}\text{Ac}^{228}$	228,031169	–	β –	6,13 час
Торий	${}_{90}\text{Th}^{229}$	229,031629	–	α	7340 лет
Торий	${}_{90}\text{Th}^{230}$	230,03080	–	α	$7,54 \cdot 10^4$ лет
Торий	${}_{90}\text{Th}^{231}$	231,036301	–	β –	25,52 час
Торий	${}_{90}\text{Th}^{232}$	232,038211	100	α	$1,4 \cdot 10^{10}$ лет
Протактиний	${}_{91}\text{Pa}^{233}$	233,040246	–	β –	27,0 сут
Уран	${}_{92}\text{U}^{233}$	233,039632	–	α	$1,59 \cdot 10^5$ лет
Уран	${}_{92}\text{U}^{234}$	234,040950	0,006	α	$2,45 \cdot 10^5$ лет
Уран	${}_{92}\text{U}^{235}$	235,043931	0,72	α	$7,04 \cdot 10^8$ лет
Уран	${}_{92}\text{U}^{238}$	238,050762	99,27	α	$4,46 \cdot 10^9$ лет
Уран	${}_{92}\text{U}^{239}$	239,054321	–	β –	23,5 мин
Нептуний	${}_{93}\text{Np}^{237}$	237,048172	–	α	$2,14 \cdot 10^6$ лет
Нептуний	${}_{93}\text{Np}^{239}$	239,052935	–	β –	2,36 сут
Плутоний	${}_{94}\text{Pu}^{238}$	238,049522	–	α	87,74 года
Плутоний	${}_{94}\text{Pu}^{240}$	240,053812	–	α	$6,54 \cdot 10^3$ лет

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Государственное высшее учебное заведение
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра физики

ОТЧЕТ
по лабораторной работе №3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЁРДЫХ ТЕЛ

Выполнил студент группы _____ ABC-10 а

Иванов И.А.

Преподаватель кафедры физики

Петров П.П.

Отметка о защите _____

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЁРДЫХ ТЕЛ

Цель работы – научиться пользоваться измерительными инструментами, определить плотность твёрдого тела, научиться рассчитывать погрешность прямых и косвенных измерений.

Принадлежности: технические весы, набор разновесов, микрометр, штангенциркуль, измеряемый цилиндр.

Общие положения

Плотность однородного тела – скалярная физическая величина, характеристика вещества, численно равная массе единицы объема:

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (1)$$

Единица измерения плотности в СИ – $\text{кг}/\text{м}^3$. На практике часто используют единицу плотности – $\text{г}/\text{см}^3$. Соотношение между единицами: $1 \text{ г}/\text{см}^3 = 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Существуют различные методы определения плотности твердых тел.

1. Метод гидростатического взвешивания, в котором тело сначала взвешивают в воздухе, а затем в некоторой жидкости, плотность которой известна. Используют закон Архимеда, рассчитывают плотность тела.
2. Метод пикнометра, в котором искомую плотность определяют по результатам трех взвешиваний: тела в воздухе; пикнометра со вспомогательной жидкостью; пикнометра с той же жидкостью и погруженным в неё телом (в зависимости от свойств тела вспомогательной жидкостью служит вода или органическая жидкость). Пикнометр – это стеклянная колба специальной формы и определенной вместимости, применяемая для точных измерений плотности.
3. Флотационный метод, основанный на том, что тело, погруженное в жидкость, плотность которой равна плотности тела, находится в состоянии безразличного равновесия. Изменяя плотность жидкости (добавлением другой жидкости или изменением температуры) до момента приведения тела во взвешенное состояние, измеряют затем плотность этой жидкости (например, ареометром).
4. Метод, основанный на определении массы тела взвешиванием, а объёма – по объёму вытесненной жидкости, в которую погружено тело. Если тело имеет правильную геометрическую форму (параллелепипед, шар, цилиндр и т.д.), то объём можно рассчитать по геометрическим размерам. Этот метод используется в настоящей работе.

Методика эксперимента и обработка результатов измерений

Объем и плотность тела получают в результате косвенных измерений, используя прямые измерения геометрических размеров и массы тела. Масса тела определяется путём взвешивания на технических весах.

Если тело имеет правильную геометрическую форму, то измеряют его линейные размеры и по соответствующей формуле рассчитывают объём. Объём цилиндра равен:

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4}. \quad (2)$$

Подставив (2) в (1), получим формулу для расчета плотности:

$$\rho = \frac{4m}{\pi d^2 h}, \quad (3)$$

где h – высота цилиндра, d – его диаметр.

Высоту цилиндра измеряют штангенциркулем, а диаметр – микрометром. Для учёта не вполне правильной формы тела повторные измерения линейных размеров необходимо произвести в разных местах тела. Значения плотности находят по формуле (3), подставляя средние значения диаметра и высоты:

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}; \quad (4)$$

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}. \quad (5)$$

При многократном измерении одной и той же величины полная ошибка прямого измерения содержит приборную $\Delta x_{\text{пр}}$ и случайную $\Delta x_{\text{сл}}$ составляющие погрешности измерения. Определяется она следующим образом:

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_{\text{пр}}^2 + \Delta x_{\text{сл}}^2}$$

Случайные погрешности измерений высоты и диаметра цилиндра равны соответственно:

$$\Delta h_{\text{случ}} = t_{\alpha, n} \cdot S_{\bar{h}}, \quad (6)$$

где

$$S_{\bar{h}} = \sqrt{\frac{(h_1 - \bar{h})^2 + (h_2 - \bar{h})^2 + \dots + (h_n - \bar{h})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n(n-1)}}$$

и

$$\Delta d_{\text{случ}} = t_{\alpha, n} \cdot S_{\bar{d}}, \quad (7)$$

где

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{(d_1 - \bar{d})^2 + (d_2 - \bar{d})^2 + \dots + (d_n - \bar{d})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)}}$$

h_i и d_i – значение высоты и диаметра, получаемые при i -м измерении, $t_{\alpha, n}$ – коэффициент Стьюдента, соответствующий n измерениям при надежности α .

Полная ошибка прямого измерения равна

$$\Delta h = \sqrt{\Delta h_{\text{случ}}^2 + \Delta h_{\text{приб}}^2}, \quad (8)$$

$$\Delta d = \sqrt{\Delta d_{\text{случ}}^2 + \Delta d_{\text{приб}}^2}. \quad (9)$$

Приборная погрешность штангенциркуля и микрометра равна половине цены деления нониуса каждого прибора. Приборная точность весов с имеющимся набором разновесов равна $\Delta m = \frac{m_0}{2}$, где m_0 – масса наименьшего разновеса в наборе.

Результаты прямых измерений записывают в виде:

$$h = (\bar{h} \pm \Delta h), \text{ мм}$$

$$d = (\bar{d} \pm \Delta d), \text{ мм}$$

$$m = (m \pm \Delta m), \text{ г}$$

Плотность тела, вычисляемая по формуле (3), является функцией трёх переменных $\rho = f(m, d, h)$. Поэтому абсолютную ошибку определения плотности $\Delta \rho$ рассчитывают по формуле:

$$\Delta \rho = \bar{\rho} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2}. \quad (10)$$

Окончательный результат записывают в виде:

$$\rho = (\bar{\rho} \pm \Delta \rho) \text{ кг/м}^3$$

Относительная ошибка измерений равна

$$\varepsilon = \frac{\Delta \rho}{\bar{\rho}} \cdot 100\% \quad (11)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие измерительные приборы используются при выполнении данной работы?
3. Какие физические величины измеряются непосредственно (прямые измерения)?
4. По какой формуле Вы будете рассчитывать плотность тела?
5. Изучите правила пользования микрометром, штангенциркулем и весами (см. «Введение в физический практикум»).

Выполнение работы

1. Определить массу тела, взвесив его на весах один раз. Результат занести в таблицу. Записать массу наименьшего разновеса.
2. Измерить штангенциркулем высоту цилиндра 5 раз в разных местах. Результаты занести в таблицу. Записать цену деления штангенциркуля.
3. Измерить микрометром диаметр цилиндра 5 раз в разных местах. Результаты занести в таблицу. Записать цену деления микрометра.

Оформление отчета

1. Расчеты

1. Найти средние значения диаметра \bar{d} и высоты \bar{h} по формулам (4) и (5).
2. Вычислить среднее значение плотности $\bar{\rho}$ тела по формуле (3) по средним значениям массы, высоты, диаметра.
3. Вычислить случайную составляющую абсолютной погрешности измерений высоты и диаметра цилиндра по формулам (6) и (7).
4. Вычислить полную погрешность измерений высоты и диаметра цилиндра по формулам (8) и (9).
5. Вычислить по формуле (10) абсолютную и по формуле (11) относительную погрешности косвенного измерения плотности.
6. Записать полученные результаты прямых и косвенных измерений в стандартном виде.

$$h = (\bar{h} \pm \Delta h), \text{ мм}$$

$$d = (\bar{d} \pm \Delta d), \text{ мм}$$

$$m = (m \pm \Delta m), \text{ г}$$

$$\rho = (\bar{\rho} \pm \Delta \rho) \text{ кг/м}^3$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Дайте определение плотности.
2. От чего зависит плотность тела?
3. Какие измерения называются прямыми, какие – косвенными?
4. Как определяется доверительный интервал прямых измерений?
5. Какие методы определения плотности Вы знаете?
6. Укажите, измерение какой величины вносит наибольший вклад в ошибку.
7. Пользуясь справочными таблицами, определите возможный материал образца. Сделайте вывод по результатам работы.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

- 1. Цель работы состоит в том, чтобы научиться пользоваться измерительными инструментами, определить плотность твёрдого тела, а также научиться рассчитывать погрешность прямых и косвенных измерений.*
- 2. При выполнении данной лабораторной работы используются следующие измерительные инструменты: технические весы, набор разновесов, микрометр, штангенциркуль.*
- 3. Непосредственно измеряются высота цилиндра, диаметр цилиндра и его масса.*
- 4. Плотность рассчитывается по формуле:*

$$\rho = \frac{4m}{\pi d^2 h},$$

где h – высота цилиндра,
 d – его диаметр,
 m – масса цилиндра.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №3

Выполнил(а) Иванов И.А.Группа ABC-10 а

Цена деления приборов:

штангенциркуля $C_{шт} = 0,05$ мм/дел;микрометра $C_m = 0,01$ мм/дел.Масса наименьшего разновеса $m_0 = 10$ мг

№ п/п	m , г	h , мм	d , мм	ρ , кг/м ³
1	29,17	12,20	19,52	
2		12,25	19,53	
3		12,30	19,52	
4		12,25	19,54	
5		12,20	19,51	
среднее	29,17	12,24	19,524	7690

Дата 10.09.09

Подпись преподавателя _____

Расчетная часть

1. Находим средние значения диаметра и высоты:

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n} = \frac{19,52 + 19,53 + 19,52 + 19,54 + 19,51}{5} = 19,524 \text{ мм}$$

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n} = \frac{12,20 + 12,25 + 12,30 + 12,25 + 12,20}{5} = 12,24 \text{ мм.}$$

2. Вычисляем среднее значение плотности по средним значениям массы, высоты и диаметра:

$$\rho = \frac{4m}{\pi d^2 h} = \frac{4 \cdot 29,17 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot (19,524 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 12,24 \cdot 10^{-3}} = 7,69 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

3. Вычисляем случайную составляющую абсолютной погрешности измерений высоты и диаметра цилиндра:

$$S_{\bar{h}} = \sqrt{\frac{(h_1 - \bar{h})^2 + (h_2 - \bar{h})^2 + \dots + (h_n - \bar{h})^2}{n(n-1)}} =$$

$$\sqrt{\frac{(12,20 - 12,24)^2 + (12,25 - 12,24)^2 + (12,30 - 12,24)^2 + (12,25 - 12,24)^2 + (12,20 - 12,24)^2}{5(5-1)}} =$$

$$= 0,019 \text{ мм}$$

$$\Delta h_{\text{случ}} = t_{\alpha, n} \cdot S_{\bar{h}} = 2,78 \cdot 0,019 = 0,053 \text{ мм}$$

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{(d_1 - \bar{d})^2 + (d_2 - \bar{d})^2 + \dots + (d_n - \bar{d})^2}{n(n-1)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{(19,52 - 19,524)^2 + (19,53 - 19,524)^2 + (19,52 - 19,524)^2 + (19,54 - 19,524)^2 + (19,51 - 19,524)^2}{5(5-1)}} =$$

$$= 0,005 \text{ мм}$$

$$\Delta d_{\text{случ}} = t_{\alpha, n} \cdot S_{\bar{d}} = 2,78 \cdot 0,005 = 0,014 \text{ мм}$$

4. Вычисляем полную погрешность измерений высоты, диаметра и массы:

$$\Delta h = \sqrt{\Delta h_{\text{случ}}^2 + \Delta h_{\text{приб}}^2} = \sqrt{0,053^2 + \left(\frac{0,05}{2}\right)^2} = 0,059 \text{ мм}$$

$$\Delta d = \sqrt{\Delta d_{\text{случ}}^2 + \Delta d_{\text{приб}}^2} = \sqrt{0,014^2 + \left(\frac{0,01}{2}\right)^2} = 0,015 \text{ мм}$$

$$\Delta m = \frac{m_0}{2} = \frac{10}{2} = 5 \text{ мг} = 0,005 \text{ г}$$

5. Вычисляем абсолютную и относительную погрешности косвенного измерения плотности:

$$\Delta\rho = \bar{\rho} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{\bar{m}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{\bar{h}}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta d}{\bar{d}}\right)^2} = 7690 \sqrt{\left(\frac{5 \cdot 10^{-3}}{28,17}\right)^2 + \left(\frac{0,059}{12,24}\right)^2 + 4\left(\frac{0,015}{19,524}\right)^2} = 38,7 \text{ кг/м}^3$$
$$\varepsilon = \frac{\Delta\rho}{\bar{\rho}} \cdot 100\% = \frac{38,7}{7690} \cdot 100\% = 0,5\%$$

6. Запишем окончательные результаты в стандартном виде:

$$h = (12,24 \pm 0,06) \text{ мм}$$

$$d = (19,52 \pm 0,02) \text{ мм}$$

$$m = (28,170 \pm 0,005) \text{ г}$$

$$\rho = (7690 \pm 39) \text{ кг/м}^3$$

или

$$\rho = (7,69 \pm 0,04) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Плотность однородного тела – скалярная физическая величина, характеристика вещества, численно равная массе единицы объема:

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (1)$$

Единица измерения плотности в СИ – кг/м³.

2. Плотность твердого тела зависит от природы материала, из которого изготовлено тело, а также от температуры тела.

3. Прямые измерения – это измерения, при которых измеряемая величина определяется непосредственно при помощи измерительного прибора. Косвенные измерения – это измерения, при которых измеряемая величина рассчитывается по результатам прямых измерений.

4. Доверительный интервал – это интервал значений измеряемой величины, в котором с доверительной вероятностью α находится ее истинное значение.

Доверительный интервал прямых измерений определяется следующим образом:

- 1) величина измеряется несколько раз;
- 2) находится среднее значение полученных значений;
- 3) вычисляется случайная составляющая абсолютной погрешности измерений по формуле $\Delta x_{\text{случ}} = t_{\alpha, n} \cdot S_{\bar{x}}$, где

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}.$$

С учетом приборной погрешности полная ошибка измерений:

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_{\text{случ}}^2 + \Delta x_{\text{приб}}^2},$$

где $\Delta x_{\text{случ}}$ – случайная ошибка; $\Delta x_{\text{приб}}$ – приборная ошибка. Обычно за приборную ошибку принимают половину цены деления прибора δ : $\Delta x_{\text{приб}} = \frac{\delta}{2}$. Если

измерение проводилось только один раз, то $\Delta x = \Delta x_{\text{приб}}$.

5. Существуют следующие методы определения плотности: метод гидростатического взвешивания, метод пикнометра, флотационный метод, метод, основанный на определении массы и геометрических размеров тела.

6. Наибольший вклад в ошибку вносит измерение высоты штангенциркулем.

7. Найденное значение плотности равно

$$\rho = (7690 \pm 39) \text{ кг/м}^3$$

Вывод: Сравнивая полученное значение плотности образца с табличными, определяем, что оно соответствует стали. Табличное значение плотности стали находится в интервале $\rho_{\text{ст}} = 7700 \div 7900 \text{ кг/м}^3$.

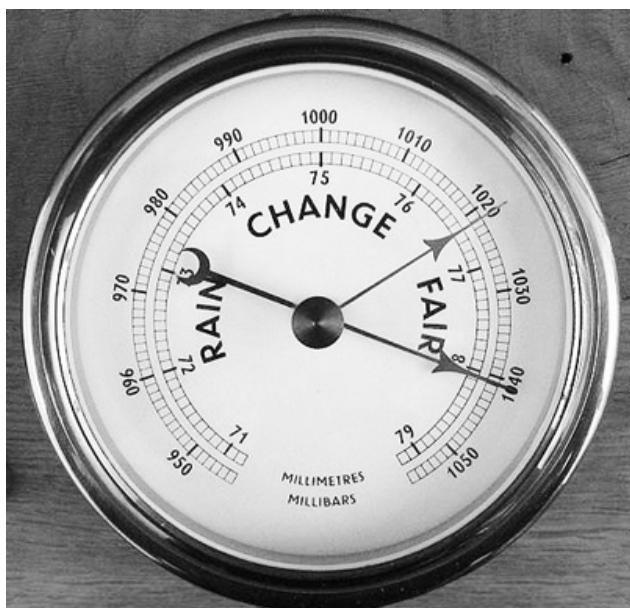
**Краткое описание основных приборов,
используемых при выполнении лабораторных работ**

Амперметр – электроизмерительный прибор для измерения силы постоянного и (или) переменного тока; в электрическую цепь включается последовательно. В соответствии с верхним пределом измерений различают амперметры (А), миллиамперметры (мА, mA), микроамперметры (мкА, μ А).

Ареометр – прибор для измерений плотности жидкостей. Действие ареометра основано на законе Архимеда.

Барометр – прибор для измерения атмосферного давления. В ртутном (жидкостном) барометре атмосферное давление измеряется по высоте столба ртути в запаянной сверху трубке, опущенной открытым концом в сосуд с ртутью. Ртутные барометры – наиболее точные приборы, ими оборудованы метеорологические станции и по ним проверяется работа других видов барометров.

Буссоль – геодезический инструмент для измерения углов при съёмках на местности, специальный вид компаса. Применяют при геодезических работах и в маркшейдерии.



Барометр



Буссоль

Вакуумметр – прибор для измерения давления ниже атмосферного.

Ваттметр – электроизмерительный прибор, предназначенный для определения мощности электрического тока.

Веберметр – прибор для определения изменений магнитного потока по ЭДС, индуцируемой в измерительной катушке; градуируется веберах (Вб), милливеберах, микровеберах.

Весы – прибор для определения массы тел по действующей на них силе тяжести. Различают весы образцовые (для проверки гирь), лабораторные (технические, аналитические, микроаналитические, пробирные) и общего назначения. По принципу действия – рычажковые, пружинные, электротензометрические, гидравлические и гидростатические.

Вольтмётр – прибор для измерения эдс или напряжений в электрических цепях; включается параллельно участку цепи, на котором измеряется напряжение. В соответствии с верхним пределом измерений различают милливольтметры (мВ, mV), вольтметры (В, V), киловольтметры (кВ, kV).

Гальваномётр – высокочувствительный электроизмерительный прибор для измерения весьма малых токов, напряжений и количества электричества (заряда). Наиболее часто используются в качестве указателя (нуль-индикатора) отсутствия тока (или напряжения) в диагонали мостовой измерительной цепи при ее уравнивании.

Гальваномётр баллистический – прибор для измерения количества электричества (заряда) при кратковременных импульсах тока. Применяется при измерении магнитных величин (потока, индукции, напряженности поля и др.) и электрических величин (больших сопротивлений, индуктивности, ёмкости и др.), значения которых в процессе эксперимента могут быть преобразованы в пропорциональный им импульс количества электричества.

Гониомётр – прибор для измерений углов между плоскими гранями твердых тел. Используется в кристаллографии, геодезии, оптике и др.

Демпфер – устройство для гашения (демпфирования) колебаний или предотвращения механических колебаний, возникающих в машинах и приборах при их работе. Также под демпфером (демпферной обмоткой) понимают электрические катушки, предотвращающие резкое увеличение тока или напряжения в электрических цепях.

Дифракционная решётка – оптический прибор, совокупность большого числа параллельных щелей в непрозрачном экране или отражающих зеркальных полосок (штрихов), равноотстоящих друг от друга, на которых происходит дифракция света. Дифракционная решетка разлагает падающий на неё пучок света в спектр, что используется в спектральных приборах.

Индикатор – прибор (устройство), отображающий изменения какого-либо параметра контролируемого технического процесса или объекта в форме, наиболее удобной для непосредственного восприятия человеком. Применяют индикаторы визуальные, акустические, тактильные и др.

Лазер (оптический квантовый генератор) – устройство, генерирующее когерентные электромагнитные волны за счет вынужденного испускания света активной средой, находящейся в оптическом резонаторе. Когерентность и направленность – основные характеристики излучения лазера, вынужденное излучение и обратная связь – главные процессы, приводящие к генерации.

Люксметр – прибор для измерения освещённости; один из видов фотометров. Простейший люксметр состоит из фотоэлемента и микроамперметра, проградуированного в люксах.

Измерительный магазин – комплект мер электрических величин (сопротивления, ёмкости, индуктивности), с помощью которых можно точно измерить различные значения одноименных величин в электрических цепях или измерительных приборах.

Измерительный мост – устройство для измерения электрических сопротивлений, ёмкостей, индуктивностей и т.д. методом сравнения с образцовой мерой; выполнено по схеме мостовой цепи с гальванометром в качестве нуля-индикатора.

Инструмент – орудие человеческого труда или исполнительный механизм машины. Различают инструмент: ручной, станочный и механизированный. Инструментами называют также приборы, устройства, приспособления, применяемые для измерений и других операций.

Интерферометр – измерительный прибор, принцип действия которого основан на явлении интерференции. Принцип действия интерферометра заключается в следующем: пучок света с помощью того или иного устройства пространственно разделяется на два или большее количество когерентных пучков. Каждый из пучков проходит различные оптические пути и возвращается на экран, создавая интерференционную картину. По смещению интерференционной картины определяют изменение показателя преломления, процентное содержание примесей и т.д..

Лабораторный автотрансформатор регулируемый (ЛАТР) – автотрансформатор, который имеет подвижный токосъёмный контакт к обмотке, что позволяет плавно изменять число витков, включенных во вторичную цепь, и, следовательно, выходное напряжение, практически от нуля до максимального значения для данной модели ЛАТРа. Применяются ЛАТРы для питания лабораторных установок, для стабилизации напряжения в электросети и других нужд.

Линейка – простейший измерительный геометрически инструмент, представляющий собой пластину, у которой как минимум одна сторона прямая. Обычно линейка имеет нанесённые деления, кратные единице измерения длины (сантиметр, миллиметр, дюйм), которые используются для измерения расстояний.

Манометр – прибор для измерений давления жидкости и газа. В зависимости от конструкции чувствительного элемента различают манометры жидкостные, поршневые, деформационные и пружинные (трубчатые, мембранные, сифонные); используются также зависимости некоторых физических величин (например силы тока) от давления. Различают абсолютные манометры – измеряют абсолютное давление (от нуля) и манометры избыточного давления – измеряют разность между давлением в какой-либо системе и атмосферным давлением (барометры, вакуумметры, дифференциальные манометры).

Меры – средства измерений, предназначенные для воспроизведения физических величин заданного размера. Меры используют как эталоны, образцовые или рабочие средства измерений. В зависимости от погрешностей меры подразделяют на классы точности.

Меры электрических величин служат для воспроизведения электрических величин (сопротивления, индуктивности, эдс и др.) заданного размера. К мерам электрических величин относятся измерительные резисторы, катушки индуктивности, измерительные конденсаторы, нормальные элементы и др. **Нормальный элемент** – гальванический элемент со стабильным значением эдс. Применяется в качестве источника опорного напряжения либо эталона напряжения в метрологии, при воспроизведении и измерении постоянных напряжений.

Микрометр – инструмент с микрометрическим винтом с малым и очень точно выдержанным шагом для измерений контактным способом линейных (внутренних и наружных) размеров. Цена деления от 0,001 мм до 0,01 мм, предел измерений до 200 мм.



Микрометр



Микрометр с цифровой индикацией

Монохроматор – спектральный оптико-механический прибор, предназначенный для выделения монохроматического излучения. Монохроматор состоит из следующих основных частей и узлов: входная спектральная щель, коллиматорный объектив, диспергирующий элемент (призма или дифракционная решетка), фокусирующий объектив и выходная спектральная щель, которая выделяет излучение, принадлежащее узкому интервалу длин волн.

Мультиметр (тестер, авометр) – комбинированный электроизмерительный прибор, объединяющий в себе несколько функций. В минимальном наборе это вольтметр, амперметр и омметр. Существуют цифровые и аналоговые мультиметры. Мультиметр может быть как лёгким переносным устройством, используемым для базовых измерений и поиска неисправностей, так и сложным стационарным прибором со множеством возможностей.



Мультиметр цифровой
переносной



Мультиметр цифровой
стационарный

Оптическая скамья – установка, состоящая из длинной прямолинейной станины специального сечения с устанавливаемыми на ней штативами, называемыми рейтерами, которые могут свободно вдоль неё перемещаться или жёстко закрепляться. Рейтеры состоят из различных оптических устройств и держателей для крепления оптических деталей, узлов и приборов, которые расположены на одной оптической оси.

Осциллограф – измерительный прибор для наблюдения зависимости между двумя или несколькими быстро меняющимися величинами (электрическими или преобразованными в электрические). Наиболее распространены электроннолучевые осциллографы, в которых электрические сигналы, пропорциональные изменению исследуемых величин, поступают на отклоняющие пластины осциллографической трубки; на экране трубки наблюдают или фотографируют графическое изображение зависимости.

Осциллографическая трубка – электроннолучевой прибор, предназначенный для преобразования электрических сигналов в видимое графическое изображение, основной элемент электроннолучевого осциллографа. В осциллографической трубке электронный луч проходит фокусирующую и отклоняющую системы и, попадая на люминесцентный экран, вызывает его свечение.

Пирометр – оптический прибор для измерения температуры, работающий без контакта с раскаленным телом. Действие яркостных пирометров основано на сравнении яркости свечения тела, температура которого измеряется, и нити эталонной лампы, помещенной в зрительной трубе оптического пирометра.

Прибо́ры – средства измерения, анализа, обработки и представления информации, устройства регулирования, автоматического и автоматизированной системы управления.

Поляро́ид – поляризационный светофильтр, один из основных типов оптических линейных поляризаторов; представляет собой тонкую поляризационную плёнку, заклеенную для защиты от механических повреждений и действия влаги между двумя прозрачными пластинками (плёнками).

Потенцио́метр – прибор для определения эдс или напряжений компенсационным методом измерения; *или* переменный резистор, включенный по схеме делителя напряжения.

Реостáт – устройство для регулирования напряжения и тока в электрической цепи, основная часть которого – проводящий элемент с активным электрическим сопротивлением, значение которого можно изменять плавно или ступенями в соответствии с заданными условиями.

Реохóрд – натянутая металлическая проволока с передвижным контактом, применяемая для измерения электрического сопротивления, напряжения, электродвижущей силы.

Сахаро́метр – поляризационный прибор для определения содержания сахара в растворах по измерению угла вращения плоскости поляризации, пропорционального концентрации раствора.

Секундо́мер – прибор для измерения промежутков времени (в секундах и долях секунды, минутах, часах); механические или электронные часы с кнопочно-рычажковой системой пуска и остановки механизма и возврата указателя (стрелки, цифрового индикатора) в исходное положение.

Светофи́льтр – оптическое устройство, которое служит для подавления или выделения части спектра электромагнитного излучения.

Солено́ид – цилиндрическая катушка, состоящая из большого числа намотанных вплотную друг к другу витков проводника. При пропускании через соленоид электрического тока внутри и вне соленоида возникает магнитное поле, напряженность которого пропорциональна силе тока и (приблизенно) числу витков. Соленоид с магнитным сердечником представляет собой электромагнит.

Счё́тчик Гейгера – газоразрядный прибор для автоматического подсчёта числа попавших в него ионизирующих частиц.

Та́нгенс-гальва́нометр – прибор для измерения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли. Представляет собой вертикально расположенную плоскую катушку достаточно большого размера, по которой пропускают электрический ток. В центре катушки размещена небольшая магнитная стрелка, которая может вращаться вокруг вертикальной оси (компас).

Термо́метры – приборы для измерения температуры. Различают газовый термометр, жидкостный термометр, термометр сопротивления и др.

Термометр газовый – прибор для измерения температуры, действие которого основано на зависимости давления или объема газа от температуры.

Термометр жидкостный – прибор для измерения температуры, действие которого основано на термическом расширении жидкости.

Термометр сопротивления – прибор для измерения температуры, действие которого основано на изменении электрического сопротивления металлов и полупроводников с температурой.

Термопара – термочувствительный элемент в устройствах для измерения температуры, системах управления и контроля. Состоит из двух последовательно соединенных (спаянных) между собой разнородных проводников или полупроводников. Если спаи находятся при разных температурах, то в цепи термопары возникает эдс (термоэдс), величина которой связана с разностью температур «горячего» и «холодного» контактов.

Фотоэлемент – электронный прибор, который преобразует энергию фотонов в электрическую энергию.

Штангенциркуль – универсальный инструмент, предназначенный для высокоточных измерений наружных и внутренних размеров, а также глубин отверстий. Штангенциркуль имеет измерительную штангу (отсюда и название этой группы) с основной шкалой и нониус – вспомогательную шкалу для отсчёта долей делений. Точность его измерения – 0,1; 0,05, 0,01 миллиметра.



Штангенциркуль



Штангенциркуль с цифровой индикацией

Электронная лампа, радиолампа – вакуумный электронный прибор, работа которого осуществляется за счёт изменения потока электронов, движущихся в вакууме или разреженном газе между электродами.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII																																																																																																																																																																																													
1	H 1,0079 Водород	2	He 4,0026 Гелий	3	Li 6,941 Литий	4	Be 9,012 Бериллий	5	B 10,811 Бор	6	C 12,011 Углерод	7	N 14,0067 Азот	8	O 15,999 Кислород	9	F 18,998 Фтор	10	Ne 20,179 Неон	11	Na 22,990 Натрий	12	Mg 24,305 Магний	13	Al 26,982 Алюминий	14	Si 28,086 Кремний	15	P 30,974 Фосфор	16	S 32,066 Сера	17	Cl 35,453 Хлор	18	Ar 39,948 Аргон	19	K 39,098 Калий	20	Ca 40,078 Кальций	21	Sc 44,956 Скандий	22	Ti 47,88 Титан	23	V 50,942 Ванадий	24	Cr 51,996 Хром	25	Mn 54,938 Марганец	26	Fe 55,847 Железо	27	Co 58,933 Кобальт	28	Ni 58,69 Никель	29	Cu 63,546 Медь	30	Zn 65,39 Цинк	31	Ga 69,723 Галлий	32	Ge 72,59 Германий	33	As 74,922 Мышьяк	34	Se 78,96 Селен	35	Br 79,904 Бром	36	Kr 83,80 Криптон	37	Rb 85,468 Рубидий	38	Sr 87,62 Стронций	39	Y 88,906 Иттрий	40	Zr 91,224 Цирконий	41	Nb 92,906 Ниобий	42	Mo 95,94 Молибден	43	Tc [99] Технеций	44	Ru 101,07 Рутений	45	Rh 102,905 Родий	46	Pd 106,42 Палладий	47	Ag 107,868 Серебро	48	Cd 112,41 Кадмий	49	In 114,82 Индий	50	Sn 118,71 Олово	51	Sb 121,75 Сурьма	52	Te 127,60 Теллур	53	I 126,904 Йод	54	Xe 131,29 Ксенон	55	Cs 132,91 Цезий	56	Ba 137,33 Барий	57	La* 138,905 Лантан	58	Ce 140,12 Церий	59	Pr 140,908 Празеодим	60	Nd 144,24 Неодим	61	Pm [147] Прометий	62	Sm 150,36 Самарий	63	Eu 151,96 Европий	64	Gd 157,25 Гадолиний	65	Tb 158,925 Тербий	66	Dy 162,50 Диспрозий	67	Ho 164,93 Гольмий	68	Er 167,26 Эрбий	69	Tm 168,934 Тулий	70	Yb 173,04 Иттербий	71	Lu 174,967 Лютеций	72	Hg 200,59 Ртуть	73	Tl 204,38 Таллий	74	Pb 207,20 Свинец	75	Bi 208,98 Висмут	76	Po [209] Полоний	77	At [210] Астат	78	Rn [222] Радон	79	Au 196,967 Золото	80	Hg 200,59 Ртуть	81	Tl 204,38 Таллий	82	Pb 207,20 Свинец	83	Bi 208,98 Висмут	84	Po [209] Полоний	85	At [210] Астат	86	Rn [222] Радон	87	Fr [223] Франций	88	Ra 226,025 Радий	89	Ac** [227] Актиний	90	Th 232,04 Торий	91	Pa 231,036 Протактиний	92	U 238,029 Уран	93	Np 237,048 Нептуний	94	Pu [244] Плутоний	95	Am [243] Америций	96	Cm [247] Кюрий	97	Bk [247] Берклий	98	Cf [251] Калифорний	99	Es [252] Эйнштейний	100	Fm [257] Фермий	101	Md [258] Менделеев	102	No [259] Нобелий	103	Lr [260] Лоренсий

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Волков О.Ф., Лумпієва Т.П. Курс фізики: У 2-х т. Т.1: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний струм. Електромагнетизм: Навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – 224 с.
2. Волков О.Ф., Лумпієва Т.П. Курс фізики: У 2-х т. Т.2: Коливання і хвилі. Хвильова і квантова оптика. Елементи квантової механіки. Основи фізики твердого тіла. Елементи фізики атомного ядра: Навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – 208 с.
3. Лабораторные занятия по физике: Учебное пособие / Л.Л. Гольдин, Ф.Ф. Игошин, С.М. Козел и др.; Под ред. Л.Л. Гольдина – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 704 с.
4. Руководство к лабораторным занятиям по физике / Под ред. Л.Л. Гольдина – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1973. – 688 с.
5. Стандарт ДонГТУ «Структура и правила оформления документов по всем видам учебной работы» / С.М. Сафьянц, А.И. Иванов, В.В. Кравцов, В.Л. Кондрацкий – ДонГТУ, 1999.– 44 с.
6. Таблицы физических величин. Справочник / Под ред. акад. И.К. Кикоина – М.: Атомиздат, 1976. – 1008 с.

Учебное издание

**Волков Александр Фёдорович
Лумпиева Таисия Петровна**

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ