

С.В. СТЕПАНОВ  
С.А. СМИРНОВ

# ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ



ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ  
ОБРАЗОВАНИЕ

ФОРУМ

С. В. Степанов, С. А. Смирнов

# ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

*Допущено Министерством образования Российской Федерации  
в качестве учебного пособия для студентов учреждений среднего  
профессионального образования*



Москва  
ФОРУМ — ИНФРА-М  
2010

УДК 53(075.32)  
ББК 22.3 я723  
С79

*Рецензенты:*

доктор педагогических наук, профессор кафедры Теории и методики  
обучения физике Московского педагогического  
университета *А. В. Смирнов*;  
кандидат физико-математических наук, ведущий сотрудник  
института общего среднего образования Российской академии  
образования *А. Г. Восканян*

**Степанов С. В., Смирнов С. А.**

С79 Лабораторный практикум по физике / С. В. Степанов,  
С. А. Смирнов; под ред. С. В. Степанова. — М. : ФОРУМ :  
ИНФРА-М, 2010. — 112 с. : ил. — (Профессиональное обра-  
зование).

ISBN 978-5-8199-0065-9 (ФОРУМ)  
ISBN 978-5-16-001255-1 (ИНФРА-М)

В пособии представлены подробные описания фронтальных лабора-  
торных работ, включенных в примерную программу по физике на базе  
основного общего среднего (полного) образования для колледжей строи-  
тельных и технических специальностей.

Содержание работ ориентировано на развитие экспериментальных  
умений учащихся, осознанное выполнение опытов, осмысленную трак-  
товку полученных результатов.

Все работы проводятся с использованием типового учебного оборудо-  
вания.

Пособие предназначено для студентов учреждений среднего професси-  
онального образования, может использоваться учащимися старших клас-  
сов общеобразовательных школ, а также преподавателями физики при  
подготовке и проведении фронтальных лабораторных занятий.

УДК 53(075.32)  
ББК 22.3 я723

ISBN 978-5-8199-0065-9 (ФОРУМ)  
ISBN 978-5-16-001255-1 (ИНФРА-М)

© С. В. Степанов,  
С. А. Смирнов, 2003  
© Издательство «ФОРУМ», 2003

## Предисловие

Фронтальные лабораторные работы являются неотъемлемой частью курса физики, изучаемого в учреждениях среднего специального образования. В ходе их выполнения у студентов формируются важнейшие практические умения и навыки, необходимые для успешного усвоения основных специальных дисциплин. Качественное выполнение лабораторного практикума является предпосылкой для подготовки в будущем квалифицированных специалистов.

Цель данного учебного пособия — оказать помощь студентам учреждений среднего профессионального образования строительного и технического профилей в подготовке и выполнении лабораторных работ, включенных в новую примерную программу по физике на базе основного общего образования.

Содержание лабораторных работ пособия полностью соответствует этой программе, а также учебнику А. А. Пинского и Г. Ю. Граковского «Физика», предназначенному для студентов указанных учреждений.

Пособие включает 17 фронтальных лабораторных работ. Описание каждой работы содержит:

- четко сформулированную цель ее выполнения;
- теоретическое введение, в котором указано, какой учебный материал лежит в основе содержания работы;
- список необходимого оборудования;
- описание экспериментальной установки, где изложены приемы измерения физических величин, особенности монтажа и настройки приборов для проведения опыта;
- вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы;
- последовательность действий для достижения ее цели;
- контрольные вопросы.

Сведения, необходимые для оценки погрешности выполненного измерения, содержатся во «введении» к пособию.

В большинстве работ предложены дополнительные задания, которые обеспечат вариативность проведения практикума, исходя из методических задач, решаемых преподавателем при плани-

ровании той или иной работы, а также технических возможностей учебного учреждения. Кроме того, это поможет организовать занятия практикума с учетом индивидуальных интересов учащихся, уровня их теоретической подготовки и развития экспериментальных умений.

Приборы и принадлежности, рекомендованные для выполнения работ, в основном подобраны из «Перечня типового оборудования кабинета физики общеобразовательной школы». Предполагается, что студенты учреждений среднего профессионального образования уже имеют определенные навыки обращения с ними, поэтому в описании работ не приводятся инструкции по их использованию.

В приложении представлены краткие сведения об используемых измерительных приборах, необходимые для вычисления погрешностей измерений.

Работа № 17, в которой проводятся астрономические наблюдения Солнца, Луны, двойных звезд и туманностей, из-за невозможности одновременного наблюдения этих объектов выполняется в несколько этапов, и поэтому ее содержание разделено на три части.

Участие авторов в создании пособия распределилось следующим образом: описания лабораторных работ и приложение написаны доцентом кафедры теории и методики обучения физике МПГУ к.п.н. С. В. Степановым, введение к пособию — С. А. Смирновым.

## **Введение**

### **Порядок выполнения лабораторных работ**

1. Уясните цель выполнения работы. Внимательно прочитайте введение к лабораторной работе. Исходя из прочитанного, составьте план действий, необходимый для достижения поставленной цели.

2. Проверьте свою подготовленность к выполнению работы. Если ответы на поставленные вопросы представляют для вас затруднение, то прочитайте материал по учебнику.

3. Проверьте наличие на вашем лабораторном столе необходимого оборудования и материалов.

4. Ознакомьтесь с описанием лабораторной работы. Подумайте, понятны ли вам приемы осуществления тех или иных операций эксперимента. Если у вас возникают сомнения, проконсультируйтесь у преподавателя или его помощника — лаборанта. Если вопросов нет, приступайте к работе.

5. Перед началом работы запишите в тетради дату проведения работы, ее номер и название, цель работы, перечень применяемого оборудования. Затем кратко, схематично записывайте ход эксперимента. В экспериментальной работе не бывает мелочей, любые на первый взгляд малозначительные замечания могут оказаться необходимыми при формулировке выводов.

6. По окончании лабораторной работы оформите ее результаты (в виде таблиц, графиков, диаграмм, словесных описаний), вычислите границы погрешностей измерений и запишите окончательный результат с учетом погрешности.

7. Сформулируйте выводы на основании результатов проведенного эксперимента и запишите их в тетради.

### **Правила поведения и техника безопасности при проведении лабораторных работ**

- При проведении опытов будьте внимательны и дисциплинированы, точно выполняйте указания преподавателя.
- Не приступайте к выполнению работы без разрешения преподавателя.
- Размещайте приборы, материалы, оборудование на своем

рабочем месте таким образом, чтобы исключить их падение или опрокидывание. • Особенно осторожно обращайтесь со стеклянными сосудами. • Не допускайте предельных нагрузок измерительных приборов! • Следите за исправностью всех креплений в приборах и приспособлениях.

• При сборке электрических цепей используйте провода с прочной изоляцией, без видимых повреждений; избегайте пересечения проводов. • Источник тока в электрической цепи подключайте в последнюю очередь. • Собранныю цепь включайте только после проверки и разрешения преподавателя.

• Нельзя прикасаться к находящимся под напряжением элементам, лишенным изоляции, производить пересоединения в цепях и смену предохранителя до отключения источника питания, прикасаться к корпусам стационарного электрооборудования, к выводам отключенного конденсатора. • Пользуйтесь инструментами с изолированными ручками.

• По окончании работы отключите источник электропитания, после чего разберите электрическую цепь. • Нельзя уходить с рабочего места без разрешения преподавателя. • Обнаружив неисправность в электрических устройствах, находящихся под напряжением, немедленно отключите источник питания и сообщите об этом преподавателю. • Для присоединения потребителей к сети пользуйтесь штепсельными соединениями.

• Не следует нагревать воду свыше 70 °С. • Нельзя зажигать спиртовку от другой спиртовки.

**Запрещается:** использовать в лабораторных опытах ртуть, нафталин, бензин; пробовать на вкус химические реактивы.

## Оценка погрешности измерений

### Абсолютная и относительная погрешности измерений

Процесс измерения считается завершенным, когда указано не только число  $x_{\text{изм}}$ , но и число  $\Delta x$ , которое определяет интервал  $[x_{\text{изм}} - \Delta x; x_{\text{изм}} + \Delta x]$ , позволяющий определить истинное значение измеряемой величины (рис. 1).

Величина  $\Delta x$  называется *границей абсолютной погрешности*. Она показывает, на сколько истинное значение измеряемой величины может отличаться от измеренного значения.

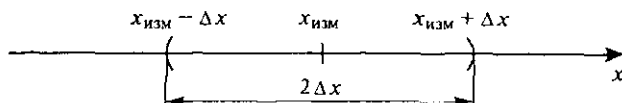


Рис. 1

Граница абсолютной погрешности не в полной мере характеризует качество измерения. Пусть, например, в результате измерений установлено, что длина бруска равна  $L = (100 \pm 1)$  см, а толщина  $d = (2 \pm 1)$  см. Хотя граница абсолютной погрешности измерений в этих двух случаях одинакова, ясно, что качество измерений в первом случае выше.

Качество измерений характеризуется *относительной погрешностью*, равной отношению абсолютной погрешности к значению величины, полученной в результате измерения:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_{\text{изм}}}$$

Знание абсолютных погрешностей необходимо при выполнении вычислений, построении графиков, использовании таблиц.

**Правило 1.** Значение абсолютной погрешности обычно округляется до одной значащей цифры. После этого результат измерений записывается с числом десятичных знаков, не большим, чем их имеется в абсолютной погрешности. Например, запись  $v = (0,56032 \pm 0,028)$  м/с не совсем удачна. Желательно округлить значение абсолютной погрешности до  $\Delta v = 0,03$  и записать  $v = (0,56 \pm 0,03)$  м/с.

**Правило 2.** При построении графиков (рис. 2) следует иметь в виду, что результату опыта соответствует на координатной плоскости не точка, а прямоугольник со сторонами  $2\Delta x$  и  $2\Delta y$ . Поэтому линию графика проводят плавно, так, чтобы по обе стороны от нее оказались примерно одинаковые площади прямоугольников. Например, в работе № 14 по изучению фотоэффекта вам предстоит построить графики, используя это правило.

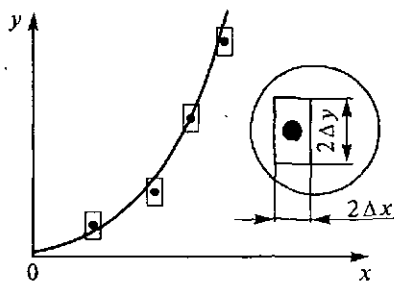


Рис. 2



**Правило 3.** Принято считать, что погрешности значений физических величин, приведенных в справочниках, имеют границу, равную половине разряда последней цифры.

*Пример 1.* Если указано, что  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ , то последняя цифра (цифра 8) находится в разряде десятых. Следовательно,

$$\Delta g = \frac{0,1 \text{ м/с}^2}{2} = 0,05 \text{ м/с}^2,$$

поэтому можно записать  $9,75 \text{ м/с}^2 \leq g \leq 9,85 \text{ м/с}^2$ .

*Пример 2.* Плотность  $\rho = 2,75 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , т. е. последняя цифра (цифра 5) находится в разряде сотых. Следовательно,

$$\Delta \rho = \frac{0,01}{2} \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 = 0,005 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 = 5 \text{ кг/м}^3,$$

т. е.  $2,74 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \leq \rho \leq 2,75 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

### Прямые измерения и вычисление границы погрешности

Измерения, в которых результат находят непосредственно в процессе считывания со шкалы прибора (или показаний цифрового прибора), называют *прямыми*.

Граница абсолютной погрешности прямого измерения равна сумме погрешности средств измерения (прибора, инструмента)  $\Delta_{\text{пр}}$  и погрешности отсчета  $\Delta_{\text{отсч}}$ :

$$\Delta = \Delta_{\text{пр}} + \Delta_{\text{отсч}}$$

Абсолютная погрешность средства измерения, т. е. прибора, зависит от качества изготовления прибора на заводе. Например, динамометр для лабораторных работ имеет погрешность  $\Delta_d = 0,05 \text{ Н}$ , амперметр и вольтметр для лабораторных работ — погрешности  $\Delta_a = 0,05 \text{ А}$  и  $\Delta_v = 0,15 \text{ В}$  соответственно.

В общем случае каждый электроизмерительный прибор имеет класс точности  $\gamma$ , по которому определяют погрешность этого прибора. В учебных целях, как правило, применяются приборы, имеющие класс точности, равный  $\gamma = 4$ . Зная класс точности

прибора и предел его измерения  $M$ , можно определить абсолютную погрешность прибора

$$\Delta_{\text{пр}} = \frac{\gamma \cdot M}{100}.$$

Например, если  $\gamma = 4$ , а предел измерения прибора  $M = 250$  мА, то абсолютная погрешность составляет 4 % от 250 мА, т. е. 10 мА на всей шкале.

Погрешность отсчета не превосходит половины цены деления прибора  $\Delta_{\text{отсч}} \leq c/2$ , где  $c$  — цена деления его шкалы.

Итак, граница абсолютной погрешности прямого измерения  $\Delta = \Delta_{\text{пр}} + c/2$ .

### Косвенные измерения и вычисление границы погрешности

В случае, когда результат определяется функциональной зависимостью нескольких физических величин, измерения называют *косвенными*. Так, например, косвенные измерения используют в лабораторных работах при определении электрического сопротивления  $\left(R = \frac{U}{I}\right)$ , импульса ( $p = mv$ ), работы ( $A = Fs$ ) и т. п.

Приведем известные правила, позволяющие находить относительные погрешности косвенных измерений:

1) если  $f = xy$  или  $f = x/y$ , то

$$\varepsilon f = \varepsilon x + \varepsilon y;$$

2) если  $f = x \pm y$ , то

$$\varepsilon f = \frac{\Delta x + \Delta y}{x \pm y}.$$

Применяя эти правила, можно найти относительную погрешность практически во всех ситуациях встречающихся в учебной практике.

*Пример.* Необходимо измерить удельное сопротивление проводника. Используя известные формулы  $R = \frac{U}{I}$  и  $R = \rho \frac{L}{S}$ , получим

$$\rho = \frac{US}{IL} = \frac{\pi d^2 U}{4LI}.$$

Находим относительную погрешность

$$\varepsilon \rho = \varepsilon U + \varepsilon I + \varepsilon \pi + 2\varepsilon d + \varepsilon L = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta \pi}{\pi} + 2 \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta L}{L}.$$

В табл. 1 приведены формулы для расчета погрешности косвенных измерений.

Таблица 1. Формулы для расчета погрешности косвенных измерений

Вид функции	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность
$f = x \pm y$	$\Delta f = \Delta x + \Delta y$	$\varepsilon f = \frac{\Delta x + \Delta y}{x \pm y}$
$f = xy$	$\Delta f = x\Delta y + y\Delta x$	$\varepsilon f = \varepsilon x + \varepsilon y$
$f = \frac{x}{y}$	$\Delta f = \frac{x\Delta y + y\Delta x}{y^2}$	$\varepsilon f = \varepsilon x + \varepsilon y$
$f = x^n$	$\Delta f = nx^{n-1}\Delta x$	$\varepsilon f = n\varepsilon x$
$f = \sqrt[n]{x}$	$\Delta f = \frac{\Delta x}{n\sqrt[n]{x^{n-1}}}$	$\varepsilon f = \frac{1}{n} \varepsilon x$
$f = \sin x$	$\Delta f = \Delta x \cdot \cos x$	$\varepsilon f = \Delta x \cdot \operatorname{ctg} x$
$f = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}$	$\Delta f = \frac{\Delta x}{x^2} + \frac{\Delta y}{y^2}$	$\varepsilon f = \frac{\frac{\Delta x}{x^2} + \frac{\Delta y}{y^2}}{\frac{1}{x} + \frac{1}{y}}$

### Вопросы и задания

1. В процессе вычислений было получено значение величины  $x = 25,37 \pm 0,18$ . Запишите интервал значений, которому принадлежат значения измеряемой величины. Чему равна абсолютная погрешность измерений? Чему равна относительная погрешность?
2. Плотность меди  $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Запишите интервал значений, которому принадлежит истинное значение плотности меди. Какова относительная погрешность, с которой задана плотность меди?
3. Напряжение измеряется вольтметром с пределом измерения  $U_{\max} = 6 \text{ В}$ . Класс точности вольтметра  $\gamma = 2,5$ , цена деления  $c = 0,2 \text{ В}$ . Чему равны абсолютная и относительная погрешности измерения напряжения, равного 3,8 В?
4. Вычислите относительную погрешность измерения удельного сопротивления медной проволоки, если ее диаметр  $d = (0,8 \pm 0,1) \text{ мм}$ , длина  $L = (100 \pm 0,5) \text{ см}$ . Сила тока и напряжение измеряются приборами с классом точности  $\gamma = 2,5$ . Сила тока в цепи в момент измерения равна 1,3 А, предел измерения амперметра  $I_{\max} = 2 \text{ А}$  и цена деления  $c_A = 0,1 \text{ А}$ . Напряжение на участке цепи равно 6 В, предел измерения вольтметра  $U_{\max} = 8 \text{ В}$  и цена деления  $c_B = 0,2 \text{ В}$ .

# Лабораторная работа № 1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОБАРНОГО ПРОЦЕССА

**Цель:** исследовать связь между изменением объема и температуры определенного количества газа при его изобарном охлаждении.

### Введение

Из уравнения Менделеева—Клапейрона следует, что если изменять температуру газа так, чтобы давление и масса газа не менялись, то имеет место равенство:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}, \quad (1)$$

где  $V_1$  и  $V_2$  — объемы, занимаемые данной массой газа соответственно до и после охлаждения;  $T_1$  и  $T_2$  — его температуры, выраженные в кельвинах.

Это равенство проверяют в ходе выполнения работы.

### Оборудование

Набор «Газовые законы»; термометр; внешний стакан калориметра; сосуд с теплой водой; сосуд с холодной водой.

### Описание экспериментальной установки

Исследуемым газом является воздух, находящийся внутри прозрачной трубки из набора «Газовые законы». Она представляет собой длинный эластичный шланг с кранами на концах. Чтобы воздух нагреть, трубку укладывают плотно виток к витку в стакан калориметра; закрыв перед этим один из кранов. Укладку начинают с того конца, на котором находится закрытый кран, и проводят так, чтобы конец с открытым краном оказался

сверху. Затем в стакан наливают теплую воду. Уровень воды должен быть выше открытого крана не более чем на 5—10 мм.

Воздух в трубке при нагревании станет расширяться, и из крана начнут выделяться пузырьки. Когда температуры воздуха и воды сравняются, расширение прекратится и пузырьки перестанут образовываться. После отделения последнего пузырька кран закрывают.

Состояние воздуха в трубке в этот момент принимают за начальное. Температуру воздуха в этом состоянии  $T_1$  определяют, измерив температуру воды в стакане.

Затем воздух охлаждают. Для этого теплую воду сливают и заполняют стакан холодной водой, следя за тем, чтобы ее уровень над верхним краном оказался таким же, как в первой части опыта. После этого кран опять открывают. При охлаждении объем воздуха в трубке уменьшится, и через открытый кран в нее поступит некоторое количество воды. Когда температуры воды и воздуха в трубке опять станут одинаковыми (через 1,5—2 минуты), еще раз измеряют температуру воздуха  $T_2$ .

Чтобы определить объем воздуха после охлаждения, закрывают верхний кран, трубку извлекают из калориметра и, удерживая вертикально, резко встряхивают несколько раз. При этом капли воды, попавшие внутрь, сольются и образуют неразрывный столбик. Объем воздуха в новом состоянии  $V_2$  узнают по внутреннему объему той части трубки, где находится воздух. Его объем в начальном состоянии  $V_1$  равен объему внутренней полости трубки.

Измерение объемов в этом эксперименте удобно проводить в условных единицах по длине воздушного столба: внутренняя полость трубки имеет форму цилиндра и ее объем  $V = Sl$ , но площадь  $S$  поперечного сечения трубки в ходе опыта не меняется, и, чтобы не измерять эту величину, которая после подстановки в равенство (1) сократится, объем выражают в единицах длины (см. рис. 1.1 и 1.2).

Давление воздуха в трубке в обоих случаях (при нагревании и охлаждении) равнялось сумме атмосферного давления и давления небольшого столба воды над открытым краном. Поскольку уровни теплой и холодной воды не менялись, то эта сумма в ходе опыта не менялась, а значит, и давление воздуха в трубке при его охлаждении оставалось постоянным.

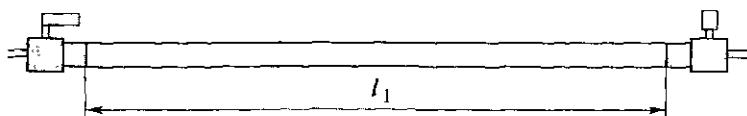


Рис. 1.1

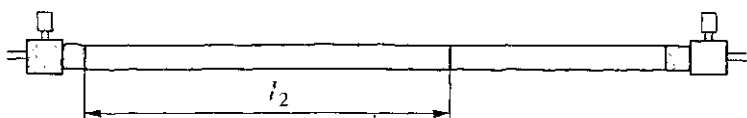


Рис. 1.2

Получив значения  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $T_1$  и  $T_2$ , находят отношения объемов воздуха к его температурам в нагретом и охлажденном состояниях и проверяют выполнение равенства (1) в условиях проведенного эксперимента.

### Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Укажите, какие физические величины подлежат прямому измерению для проверки равенства (1).
2. Запишите формулу для определения границы абсолютной погрешности отношения  $\frac{l}{T}$ , где  $l$  — длина столба воздуха в трубке.
3. Почему температуру холодной воды необходимо измерять спустя 1,5–2 минуты после того, как ее нальют в калориметр?

### Ход работы

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

$l_1$ , м	$\Delta l_1$ , м	$t_1$ , °С	$T_1$ , К	$\Delta T_1$ , К	$l_2$ , м	$\Delta l_2$ , м	$t_2$ , °С	$T_2$ , К	$\Delta T_2$ , К	$\frac{l_1}{T_1}$	$\frac{l_2}{T_2}$	$\Delta\left(\frac{l_1}{T_1}\right)$	$\Delta\left(\frac{l_2}{T_2}\right)$

2. Измерьте длину внутренней полости трубки  $l_1$  (рис. 1.1).
3. Закройте один кран и уложите трубку виток к витку в стакан калориметра. Кран на верхнем конце оставьте открытым.

4. Заполните стакан теплой водой и поместите в него термометр.

5. Наблюдайте за выделением пузырьков воздуха из открытого крана. Как только оно прекратится, определите показание термометра  $t_1$  ( $^{\circ}\text{C}$ ).

6. Закройте кран, слейте теплую воду, заполните стакан холодной водой до прежнего уровня и снова откройте кран.

7. Выждав полторы—две минуты, определите показание термометра  $t_2$  ( $^{\circ}\text{C}$ ).

8. Закройте кран, слейте воду, извлеките трубку из стакана, встряхните ее и измерьте длину столба воздуха в ней  $l_2$  (рис. 1.2).

9. Переведите измеренные значения температуры в кельвины:  $T = t + 273$ .

10. Вычислите отношения  $\frac{l_1}{T_1}$  и  $\frac{l_2}{T_2}$ .

11. Вычислите значения границ абсолютных погрешностей измерения длин  $l_1$  и  $l_2$ , температур  $T_1$  и  $T_2$ , а также отношений  $\frac{l_1}{T_1}$  и  $\frac{l_2}{T_2}$ .

12. Запишите для каждого состояния воздуха в трубке значения отношений  $\frac{l}{T}$  с учетом их допустимых интервалов:

$$\left(\frac{l}{T}\right)_1 = \frac{l_1}{T_1} \pm \Delta\left(\frac{l_1}{T_1}\right); \quad \left(\frac{l}{T}\right)_2 = \frac{l_2}{T_2} \pm \Delta\left(\frac{l_2}{T_2}\right).$$

13. Определите, перекрываются ли интервалы возможных значений отношений параметров воздуха в двух состояниях, и сделайте вывод о справедливости равенства (1).

### Контрольные вопросы

1. Докажите, что равенство (1) можно рассматривать как частный случай уравнения Менделеева—Клапейрона.
2. Почему охлаждение воздуха в трубке можно считать изобарным?
3. Какие факторы влияют на точность измерений параметров состояния воздуха?

## Лабораторная работа № 2

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

**Цель работы:** освоить приемы определения относительной влажности воздуха, основанные на использовании гигрометра Ламберта и психрометра.

### Введение

Чтобы определить относительную влажность воздуха  $r$  нужно измерить при одной и той же температуре парциальное давление водяного пара  $p$  и давление насыщенного пара  $p_n$ :

$$r = \frac{p}{p_n} 100\%. \quad (1)$$

Давления насыщенного водяного пара при различных температурах известны. Эти данные получены в результате специально проведенных экспериментов и сведены в таблицу (см. табл. 1).

Для измерения парциального давления воздуха его приводят в контакт с поверхностью предмета, температуру которого можно понижать. Слой водяного пара, находящийся вблизи поверхности этого тела, благодаря теплообмену также станет охлаждаться, но его давление при этом будет оставаться равным парциальному давлению всего пара. Зная температуру предмета в момент начала конденсации охлаждаемого слоя пара и считая, что температуры предмета и слоя пара, прилегающего к его поверхности, одинаковы, по той же таблице находят значение давления насыщенного пара при температуре конденсации, а значит, и парциальное давление всего пара.

Одним из приборов, с помощью которого определяют относительную влажность описанным выше способом, является гигрометр Ламберта.

Используя гигрометр Ламберта,  $r$  определяют в три этапа: 1) измеряют температуру воздуха в помещении и по табл. 1 находят давление насыщенного пара  $p_n$ ; 2) приводят в действие гиг-



Таблица 1. Давление насыщенного водяного пара и его плотность при различных температурах

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\rho, \text{г/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\rho, \text{г/м}^3$
-5	0,40	3,2	11	1,33	10,0
0	0,61	4,8	12	1,40	10,7
1	0,65	5,2	13	1,49	11,4
2	0,71	5,6	14	1,60	12,1
3	0,76	6,0	15	1,71	12,8
4	0,81	6,4	16	1,81	13,6
5	0,88	6,8	17	1,93	14,5
6	0,93	7,3	18	2,07	15,4
7	1,0	7,8	19	2,20	16,3
8	1,06	8,3	20	2,33	17,3
9	1,14	8,8	25	3,17	23,0
10	1,23	9,4	50	12,3	83,0

рометр, определяют точку росы и по той же таблице находят давление насыщенного пара  $p_{\text{н.т.р}}$ , соответствующее этой температуре, равное парциальному давлению пара  $p = p_{\text{н.т.р}}$ ; 3) по формуле (1) вычисляют относительную влажность воздуха  $r$ .

## Оборудование

Термометр лабораторный; стакан химический; сосуд с водой комнатной температуры; сосуд с кусочками льда; кусочек ткани, нить.

## Описание экспериментальной установки

Относительную влажность воздуха определяют с помощью моделей гигрометра Ламберта и психрометра.

При сборке модели гигрометра Ламберта используют химический стакан с чистой внешней стенкой, наполовину заполненный водой комнатной температуры, сосуд с кусочками льда и термометр. Стакан размещают перед собой так, чтобы на его стенке был виден блик от какого-то источника света (окна или

лампы освещения). Термометр погружают в воду, а затем в нее добавляют кусочки льда и наблюдают за бликом на стенке стакана и показаниями термометра. Из-за теплообмена со льдом вода в стакане станет охлаждаться, и, как только ее температура достигнет точки росы, на внешней стенке образуется конденсат пара, при появлении которого блик на стенке потускнеет. В момент начала конденсации снимают показание термометра. При проведении опыта в помещении не должно быть сквозняков. Кроме того, не следует дышать в сторону стакана. Кусочки льда заготавливают заблаговременно (например, в домашнем холодильнике, на занятие приносят их в термосе).

*Психрометр* собирают, используя термометр, кусочек тонкой ткани, нитку и стакан с водой комнатной температуры. Вначале термометром измеряют температуру воздуха в помещении. Затем его резервуар со спиртом оборачивают 2—3 раза тканью, которую закрепляют ниткой. Затем ткань смачивают водой и наблюдают за изменениями показаний термометра. В момент, когда столбик спирта перестанет опускаться, записывают его показание. По результатам двух измерений температуры, используя психрометрическую таблицу, определяют относительную влажность воздуха.

### **Задания и вопросы для проверки готовности к выполнению работы**

1. Рассмотрите таблицу «Давление насыщенного водяного пара при различных температурах». Отметьте, с каким интервалом приведены в таблице значения температуры пара, в каких единицах указаны значения давления насыщенного пара.

2. Рассмотрите «Психрометрическую таблицу» (табл. 2). Определите, с какими интервалами приведены в ней возможные значения температуры воздуха и значения разности температур «сухого» и «влажного» термометров, каково предельное значение этой разности.

3. Каковы значения максимальной и минимальной относительной влажности воздуха, которые можно определить с помощью модели психрометра?

4. Почему при проведении опыта с моделью гигрометра Ламберта не рекомендуется дышать в сторону стакана с водой?

Таблица 2. Психрометрическая таблица

t (показания сухого термо- метра в °C)	$t' - t_1$ (разность показаний сухого и влажного термометров)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Относительная влажность											
0	100	81	63	45	28	11						
1	100	83	65	48	32	16						
2	100	84	68	51	35	20						
3	100	84	69	54	39	24	10					
4	100	85	70	56	42	28	14					
5	100	86	72	58	45	32	19	6				
6	100	86	73	60	47	35	23	10				
7	100	87	74	61	49	37	26	14				
8	100	87	75	63	51	40	29	18	7			
9	100	88	76	64	53	42	31	21	11			
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5		
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8		
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11		
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6	
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9	
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12	5
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15	8
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17	10
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20	13
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22	15
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24	18
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26	20
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28	22
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30	24
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31	26
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33	28
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34	29
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41	36	30
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37	32
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38	33
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39	34

### Ход работы

**Задание 1.** Измерить относительную влажность воздуха с помощью гигрометра Ламберта.

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

№ опыта	$t$ , °С	$p_n$ , кПа	$t_{т.р.}$ , °С	$p$ , кПа	$\varphi$ , %	$\varphi_{ср.}$ , %

2. Измерьте температуру воздуха  $t$  в помещении.

3. Определите по таблице 1 давление насыщенного пара  $p_n$ , соответствующее этой температуре.

4. Поставьте перед собой стакан, наполовину заполненный водой комнатной температуры, так, чтобы на его стенке был хорошо заметен блик света. Поместите в стакан термометр и несколько кусочков льда.

5. Наблюдайте за бликом на поверхности стакана и отметьте момент появления конденсата. Измерьте в этот момент температуру воды  $t_{т.р.}$  в стакане.

6. Определите по таблице 1 давление насыщенного пара, которое соответствует этой температуре,  $p_{н.т.р.}$ .

7. Учитывая, что давление паров воды  $p$  в воздухе в момент проведения опыта равно давлению насыщенного пара при его конденсации на стенке стакана  $p_{н.т.р.}$ , занесите в таблицу это значение.

8. Вычислите относительную влажность  $\varphi$  воздуха.

9. Повторите опыт 3—4 раза и определите среднее значение относительной влажности воздуха  $\varphi_{ср.}$ .

**Задание 2.** Измерить относительную влажность воздуха с помощью модели психрометра.

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

№ опыта	$t$ , °С	$t_{вл.}$ , °С	$\Delta t$ , °С	$\varphi$ , %	$\varphi_{ср.}$ , %

2. Измерьте температуру воздуха  $t$  в помещении.

3. Опустите термометр в воду и убедитесь, что она имеет комнатную температуру.

4. Оберните наполненный спиртом резервуар термометра кусочком ткани и закрепите его ниткой.

5. Смочите ткань водой и наблюдайте за изменениями показаний термометра. Запишите его показание  $t_{\text{вл}}$  в тот момент, когда столбик спирта перестанет опускаться.

6. Занесите в таблицу значения температуры, которые показывал термометр до и после того, как его резервуар увлажнили. Вычислите их разность  $\Delta t$  и с помощью психрометрической таблицы (табл. 2) определите относительную влажность  $\phi$  воздуха в классе.

7. Повторите опыт 3—4 раза и определите среднее значение искомой величины  $\phi_{\text{ср}}$ .

8. При наличии в классе психрометра определите относительную влажность воздуха с его помощью. Сравните результаты, полученные при выполнении заданий 1 и 2, со значением относительной влажности, определенной психрометром. Сделайте вывод о том, какой из двух способов, используемых в работе, дает более достоверные результаты.

### Контрольные вопросы

1. Могут ли в ходе опытов температуры «сухого» и «влажного» термометров оказаться одинаковыми?
2. Может ли температура «влажного» термометра оказаться выше температуры «сухого»?
3. Каким может быть предельное значение относительной влажности воздуха?

### Дополнительное задание

Накройте сосуд, наполненный на четверть с водой комнатной температуры, листом бумаги, сложенным в несколько раз. В бумаге проделайте сквозное отверстие и вставьте в него термометр. На резервуаре термометра закрепите кусочек материи.

Намочите материю водой и поместите термометр в сосуде так, чтобы резервуар со спиртом находился между крышкой и поверхностью воды.

Измерьте относительную влажность воздуха, находящегося в сосуде под крышкой. Сравните ее со значениями, полученными в предыдущих опытах, и объясните причину расхождения результатов.

# Лабораторная работа № 3

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ

**Цель работы:** определить коэффициент поверхностного натяжения воды с помощью весов и проволоочной скобы.

### Введение

Метод определения коэффициента поверхностного натяжения, используемый в работе, основан на искусственном увеличении площади поверхности воды, которое происходит при попытке отделения от ее поверхности находящегося на ней предмета. Таким предметом может быть скоба, изготовленная из материала, хорошо смачиваемого водой, например, из железной проволоки. Если проволоочную скобу подвесить к коромыслу рычажных весов, уравновесить и привести в контакт с поверхностью воды, то при попытке извлечь ее из жидкости равновесие весов нарушится. Чтобы скобу оторвать от поверхности воды, на чашу весов потребуется добавить груз, сила тяжести которого уравновесит силу поверхностного натяжения. Скоба оторвется от жидкости при условии  $F_{\text{н}} = m_{\text{г}}g$ , где  $F_{\text{н}}$  — сила поверхностного натяжения;  $m_{\text{г}}$  — масса дополнительного груза;  $g$  — ускорение свободного падения. Определив массу дополнительного груза, зная длину скобы  $L$  и ускорение свободного падения, находят коэффициент поверхностного натяжения:

$$\sigma = \frac{F_{\text{н}}}{2L} = \frac{m_{\text{г}}g}{2L}. \quad (1)$$

Число 2 в знаменателе появилось из-за того, что водяная пленка, которая потянется за скобой при извлечении ее из воды, имеет две поверхности.

## Оборудование

Весы лабораторные с набором гирь, плоская кювета, проволочная скоба, штангенциркуль, сосуд с водой комнатной температуры.

### Описание экспериментальной установки

Общий вид экспериментальной установки, подготовленной к измерениям, показан на рис. 3.1.

Скобу изготавливают из куска железной проволоки диаметром 0,2 мм и длиной 10 см. Края проволоки на расстоянии 10 мм от концов отгибают под  $90^\circ$ . В середине проволоки делают петлю для крепления к нити подвеса. Скобу подвешивают на нити к коромыслу весов вместо одной из чаш. При этом нужно проследить, чтобы она располагалась строго горизонтально.

Под скобу ставят кювету. Коромысло весов закрепляют на такой высоте, чтобы при равновесии дно оставшейся чаши было на высоте около 20 мм от поверхности основания. Длину подвеса скобы регулируют так, чтобы при равновесии весов она находилась внутри кюветы, не касаясь дна. Весы уравнивают, прикрепив к подвесу между коромыслом и скобой дополнительный груз, например, кусок пластилина. Равновесия добиваются, изменяя массу пластилина.

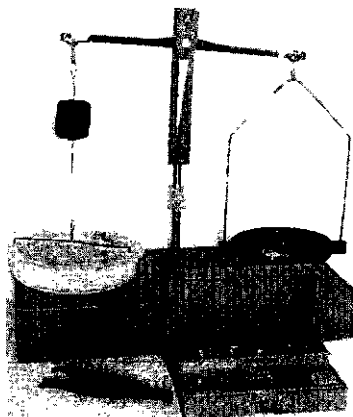


Рис. 3.1

Затем кювету постепенно заполняют водой, пока ее уровень не сравняется с горизонтальной частью скобы. Скобу несколько раз погружают в воду, чтобы ее поверхность полностью смочилась.

### Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Почему проволочную скобу перед проведением опыта рекомендуется промыть мыльной водой?
2. Как определить границу абсолютной погрешности измерения массы тела с помощью рычажных весов?
3. Запишите формулу для вычисления границы абсолютной погрешности определения  $\sigma$ .

### Ход работы

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

$L$ , м	$\Delta L$ , м	$m_r$ , кг	$\Delta m_r$ , кг	$\sigma$ , Н/м	$\Delta \sigma$ , Н/м

2. Подготовьте экспериментальную установку к выполнению измерений в соответствии с рекомендациями, приведенными в ее описании.
3. Измерьте длину  $L$  горизонтальной части проволочной скобы.
4. Приведите скобу в контакт с поверхностью воды. Разместите на чаше весов гири и определите их максимальную суммарную массу  $m_r$ , при которой скоба еще удерживается пленкой воды.
5. Вычислите границы абсолютных погрешностей измерений  $m_r$  и  $L$ .
6. Вычислите по формуле (1) коэффициент поверхностного натяжения воды  $\sigma$ .
7. Вычислите границу абсолютной погрешности  $\Delta \sigma$ .



8. Запишите полученный результат с учетом границы абсолютной погрешности:

$$\sigma_{\text{воды}} = \sigma \pm \Delta\sigma.$$

9. Определите, попадает ли табличное значение коэффициента поверхностного натяжения воды в интервал достоверных значений этой величины, полученный в ходе проведения опыта.

### Контрольные вопросы

1. От каких факторов зависит погрешность измерения коэффициента поверхностного натяжения воды методом, использованным в работе?
2. Назовите единицу коэффициента поверхностного натяжения жидкости.

### Дополнительное задание

Докажите зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры. Для этого повторите опыт, используя воду с температурой 60—70 °С. Полученное в опыте с горячей водой значение сравните с тем, которое было получено при выполнении основной части работы, когда использовалась вода комнатной температуры.

## Лабораторная работа № 4

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ КОНДЕНСАТОРА

**Цель работы:** исследовать методы определения энергии электрического поля заряженного конденсатора по его электроемкости и напряжению на обкладках, а также по работе, совершаемой полем при разрядке конденсатора.

### Введение

Энергия электрического поля заряженного конденсатора  $W$  может быть определена по формуле:

$$W = \frac{CU^2}{2}, \quad (1)$$

где  $C$  — электроемкость конденсатора,  $U$  — напряжение между обкладками заряженного конденсатора.

Определить энергию электрического поля конденсатора можно также по той работе, которую оно совершит при его разрядке. Если к заряженному конденсатору подключить резистор, то в образованной электрической цепи возникнет перемещение зарядов. По мере уменьшения зарядов на обкладках конденсатора энергия его электрического поля убывает, превращаясь во внутреннюю энергию резистора и соединительных проводов. На основании закона Джоуля—Ленца работа, совершенная зарядами при движении через цепь с резистором, равна

$$A = I^2 Rt, \quad (2)$$

где  $I$  — среднее значение силы тока в цепи за время его протекания;  $R$  — сопротивление цепи;  $t$  — время протекания тока.

В момент, когда заряд конденсатора станет равным нулю, вся энергия электрического поля превратится во внутреннюю

энергию элементов подключенной цепи (в рассмотренном случае разрядки через резистор — в основном во внутреннюю энергию резистора, так как сопротивление соединительных проводов пренебрежимо мало по сравнению с его сопротивлением), т. е. можно утверждать, что

$$\frac{CU^2}{2} = I^2 Rt. \quad (3)$$

### Оборудование

Цифровой мультиметр, конденсатор 2200 мкФ, резистор 100 кОм, выпрямитель ВУ-4, секундомер или часы с секундной стрелкой.

### Описание экспериментальной установки

Опыт проводят в два этапа. В ходе первого этапа заряжают конденсатор и определяют энергию его электрического поля, используя формулу (1). В ходе второго — к конденсатору подключают резистор и определяют работу, совершенную в цепи при разрядке конденсатора.

Перед выполнением первого этапа работы рассматривают надписи на корпусе конденсатора и определяют значение его электроемкости и допуск, с которым оно указано.

Затем собирают установку, схема которой показана на рис. 4.1.

Мультиметр готовят к работе в режиме измерения постоянного напряжения и подключают к выводам конденсатора. Кон-

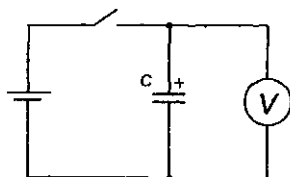


Рис. 4.1

денсатор соединяют с ключом и подключают к выходным гнездам выпрямителя.

Замыкают ключ, заряжают конденсатор и измеряют напряжение на его выводах. На этом первый этап заканчивается.

Переходя ко второму этапу опыта, мультиметр отсоединяют от заряженного конденсатора и переводят в режим измерения силы постоянного тока. После этого из цепи удаляют выпрямитель, а вместо него подключают мультиметр, последовательно соединенный с резистором. Схема этого соединения показана на рис. 4.2. Замыкают ключ и одновременно включают секундомер. Через каждые 15 с записывают показание мультиметра до тех пор, пока конденсатор полностью не разрядится. (В целях сокращения продолжительности опыта измерения можно прекратить при уменьшении тока в цепи до 5 % от начального значения.)

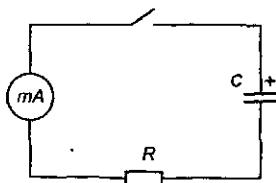


Рис. 4.2

После разрядки конденсатора цепь разбирают и измеряют мультиметром сопротивление резистора.

Для каждого интервала времени продолжительностью в 15 с вычисляют средние значения силы тока в цепи как полусумму силы тока в начале и конце интервала:  $I_{\text{ср1}} = \frac{I' + I''}{2}$ , где  $I_{\text{ср1}}$  —

среднее значение силы тока на протяжении одного интервала,  $I'$  и  $I''$  — значения силы тока соответственно в начале и конце интервала. (При этом делается допущение, что сила тока убывает на протяжении каждого временного интервала по линейному закону. Подобное допущение возможно из-за малости отдельно взятого интервала времени по сравнению с общим временем разрядки.) Затем по формуле (2) вычисляют среднее значение работы, совершенной в цепи за каждый интервал времени.

Средние значения работы, совершенные за все интервалы времени, складывают и находят общую работу, совершенную в цепи за время разрядки конденсатора.

Чтобы уменьшить погрешность результатов, в опыте используют конденсатор большой емкости. Особенность таких конденсаторов в том, что напряжение на их пластины должно подаваться в определенной полярности. Та обкладка, которая должна иметь положительный потенциал, имеет вывод, помеченный знаком «+».

### Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Изучите инструкцию по работе с мультиметром и укажите порядок его подготовки к измерениям постоянного напряжения, силы постоянного тока и сопротивления резисторов.

2. Какую характеристику выпрямителя следует учесть, чтобы оценить значение верхнего предела измеряемого напряжения, который необходимо установить на мультиметре при выполнении первого этапа опыта?

3. Как, зная напряжение, до которого зарядится конденсатор, и сопротивление резистора, оценить значение верхнего предела измеряемой силы тока, который необходимо установить на мультиметре при выполнении второго этапа опыта?

4. Как определить границы абсолютной погрешности измерений емкости конденсатора, напряжения на его обкладках, силы тока и сопротивления резистора?

5. Запишите формулу для вычисления границ абсолютных погрешностей определения энергии конденсатора и работы, совершенной при его разрядке.

### Ход работы

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

$C, \times 10^{-6} \text{ Ф}$	$U_0, \text{ В}$	$U_0^2, \text{ В}^2$	$W, \text{ Дж}$	$\Delta W, \text{ Дж}$	$A, \text{ Дж}$	$\Delta A, \text{ Дж}$

Подготовьте вспомогательную таблицу для записи результатов измерений и вычислений, проводимых при наблюдении за разрядкой конденсатора:

$t, \text{с}$	$I, \text{А}$	$I_{\text{ср}}, \text{А}$	$I_{\text{ср}}^2, \text{А}^2$	$R, \text{Ом}$	$A_{\text{ср}}, \text{Дж}$
0					
15					
30					
...					

2. Подготовьте мультиметр для работы в качестве омметра и измерьте им сопротивление  $R$  резистора.

Подготовьте мультиметр для измерения постоянного напряжения.

3. Установите емкость  $C$  конденсатора, точность, с которой она указана, и полярность выводов по надписям на его корпусе.

4. Соберите электрическую цепь для зарядки конденсатора по схеме рис. 4.1.

5. Зарядите конденсатор и измерьте напряжение  $U_0$  на его выводах.

6. Отключите от заряженного конденсатора мультиметр и подготовьте его для измерения силы тока.

7. Соберите установку для наблюдения за разрядкой конденсатора по схеме рис. 4.2. Для этого в цепи, собранной по схеме на рис. 4.1, сначала отключите мультиметр и подготовьте его для измерения силы постоянного тока. Потом разомкните ключ, отключите выпрямитель и вместо него подключите мультиметр, соединенный последовательно с резистором.

8. Замкните ключ, одновременно включите секундомер и измерьте начальную силу тока в цепи.

9. Через каждые 15 с записывайте показания мультиметра до тех пор, пока сила тока не уменьшится примерно в 20 раз.

10. Проведите необходимые вычисления для заполнения вспомогательной таблицы.

11. Найдите работу  $A$ , совершенную полем конденсатора при разрядке, как сумму средних значений работ  $A_{\text{ср}}$ , совершенных в течение каждого из интервалов времени.

12. Вычислите энергию поля  $W$  конденсатора, которую он получил при зарядке.

13. Вычислите границы абсолютных погрешностей измерений  $C$ ,  $U_0^2$ ,  $I_{cp}^2$  и  $R$ .

14. Вычислите границы абсолютных погрешностей  $\Delta W$  и  $\Delta A$ .

15. Запишите результаты определения энергии конденсатора  $W_k$  и работы  $A_k$  в виде:

$$W_k = W \pm \Delta W \quad \text{и} \quad A_k = A \pm \Delta A.$$

16. Установите, перекрываются ли интервалы достоверных значений энергии конденсатора и работы, совершенной его полем при разрядке конденсатора. Укажите возможные причины расхождения результатов.

17. Сделайте вывод о возможности оценки энергии электрического поля конденсатора по измерению работы, совершаемой им при разрядке.

### Контрольные вопросы

1. Какие факторы влияют на точность определения энергии электрического поля конденсатора по его электроемкости и напряжению на обкладках?
2. Какие факторы влияют на точность определения энергии электрического поля конденсатора по работе, совершенной полем в процессе разрядки?
3. Какую погрешность в определение работы поля вносит прекращение наблюдения за процессом разрядки при уменьшении силы тока в цепи в 20 раз по сравнению с начальным значением?

## Лабораторная работа № 5

### ИЗМЕРЕНИЕ ЭДС И ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ТОКА

**Цель работы:** изучить метод измерения электродвижущей силы и внутреннего сопротивления источника тока, основанный на использовании вольтметра, амперметра и реостата.

#### Введение

К источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E}$  и внутренним сопротивлением  $r$  подключают в качестве внешнего сопротивления реостат и дважды измеряют силу тока и напряжение при различных его сопротивлениях. Как следует из закона Ома для замкнутой цепи  $\left(I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}\right)$  и закона Ома для участка цепи  $\left(I = \frac{U}{R}\right)$ , при сопротивлении реостата  $R_1$  будет выполняться равенство:

$$\mathcal{E} = I_1 R_1 + I_1 r = U_1 + I_1 r. \quad (1)$$

Аналогично при сопротивлении реостата  $R_2$ :

$$\mathcal{E} = I_2 R_2 + I_2 r = U_2 + I_2 r. \quad (2)$$

Значения  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $U_1$  и  $U_2$  определяют по показаниям приборов в ходе проведения опыта.

Система двух уравнений (1) и (2) содержит две неизвестные величины  $\mathcal{E}$  и  $r$ . Решая ее относительно этих неизвестных получают расчетные формулы для определения ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока:

$$\mathcal{E} = \frac{I_1 U_2 - I_2 U_1}{I_1 - I_2} \quad (3)$$

и

$$r = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2}. \quad (4)$$



## Оборудование

Источник постоянного тока типа ВУ-4, амперметр лабораторный, вольтметр лабораторный, лабораторный реостат, ключ, соединительные провода.

### Описание экспериментальной установки

Схема электрической цепи экспериментальной установки показана на рис. 5.1.

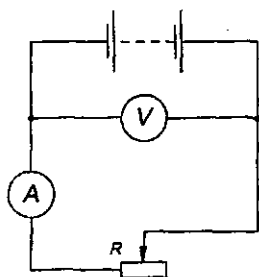


Рис. 5.1

Перед монтажом цепи ползун реостата переводят в такое положение, при котором его сопротивление максимально.

### Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Прделайте вывод формул (1), (2), (3) и (4).
2. Повторите вывод формул (см. введение, с. 10) для вычисления границ относительной и абсолютной погрешностей измерения ЭДС.
3. Выведите формулы для определения границ относительной и абсолютной погрешностей измерения внутреннего сопротивления источника тока.

## Ход работы

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

$I_1, \text{A}$	$\Delta I_1, \text{A}$	$U_1, \text{В}$	$\Delta U_1, \text{В}$	$I_2, \text{A}$	$\Delta I_2, \text{A}$	$U_2, \text{В}$	$\Delta U_2, \text{В}$

2. Начертите в тетради схему электрической цепи экспериментальной установки.

3. Соберите электрическую цепь.

4. Убедитесь в том, что ползун реостата находится в положении, при котором сопротивление реостата максимально. Представьте собранную цепь преподавателю для проверки.

5. Включите источник тока, замкните ключ и измерьте силу тока  $I_1$  и напряжение  $U_1$ .

6. Отключите цепь от источника и переведите движок реостора в среднее положение.

7. Еще раз замкните ключ и измерьте силу тока  $I_2$  и напряжение  $U_2$ .

8. Отключите источник тока от электросети и разберите установку.

9. Определите, используя формулы (3) и (4), значения ЭДС и внутреннего сопротивления источника.

10. Вычислите границы абсолютных погрешностей прямых измерений силы тока и напряжения.

11. Вычислите границы относительных и абсолютных погрешностей определения ЭДС и  $r$ .

12. Запишите полученные значения ЭДС и  $r$  с учетом погрешностей:

$$\mathcal{E}_{\text{ист}} = \mathcal{E} \pm \Delta \mathcal{E} \quad \text{и} \quad r_{\text{ист}} = r \pm \Delta r.$$

### Контрольные вопросы

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

## Лабораторная работа № 6

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МОЩНОСТИ, ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ЛАМПОЙ НАКАЛИВАНИЯ, ОТ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЕЕ ЗАЖИМАХ

**Цель работы:** 1) освоить метод измерения мощности, потребляемой электроприбором, основанный на измерении силы тока и напряжения; 2) исследовать зависимость мощности, потребляемой лампой от напряжения на ее зажимах; 3) исследовать зависимость сопротивления проводника от температуры.

### Введение

Работа электрического тока, совершаемая на участке электрической цепи, равна

$$A = UI\tau,$$

где  $U$  — напряжение на участке цепи;  $I$  — сила тока, протекающего по цепи;  $\tau$  — время его протекания.

Мощность определяется как работа, совершаемая за единицу времени:

$$P = \frac{A}{\tau}.$$

Проволочную спираль лампы накаливания можно рассматривать как резистор с определенным сопротивлением.

Если участок цепи содержит резистор, на нем будет происходить необратимое преобразование энергии электрического тока во внутреннюю энергию проводника резистора. Иными словами резистор, потребляя энергию электрического тока, преобразует ее в тепло. Из закона сохранения энергии следует, что количество теплоты  $Q$ , которое при этом выделится в проводнике, равно работе электрического тока  $A$ :

$$Q = A = UI\tau.$$

Следовательно, потребляемая лампой мощность

$$P = UI. \quad (1)$$

Сопротивление спирали лампы вычисляют на основании закона Ома для однородного участка цепи:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (2)$$

Увеличение внутренней энергии спирали лампы приводит к повышению ее температуры и сопротивления. Зависимость сопротивления проводника от температуры имеет вид:

$$R = R_0(1 + \alpha t),$$

где  $R_0$  — сопротивление проводника при  $0^\circ\text{C}$ ;  $\alpha$  — температурный коэффициент сопротивления материала, из которого изготовлен проводник. (Спираль лампы накаливания изготовлена из вольфрама, его  $\alpha = 0,0048 \text{ K}^{-1}$ .)

Зная сопротивления «нагретого» и «холодного» проводника, а также температурный коэффициент сопротивления материала, из которого он изготовлен, можно определить температуру проводника:

$$t = \frac{R - R_0}{\alpha R_0}. \quad (3)$$

## Оборудование

Выпрямитель ВУ-4, мультиметр, лабораторный вольтметр, ключ, реостат с сопротивлением обмотки 100 Ом, лампа накаливания (3,5 В; 0,25 А), соединительные провода.

## Описание экспериментальной установки

Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рис. 6.1.

К выходным гнездам выпрямителя подключают электрическую цепь, составленную из соединенных последовательно лам-

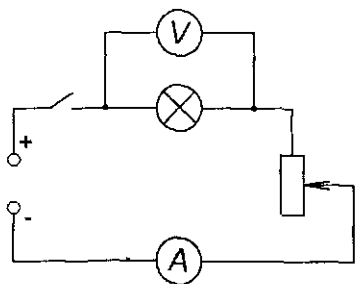


Рис. 6.1

пы накаливания, реостата и амперметра. Амперметром служит мультиметр, переведенный в режим измерения силы постоянного тока. Параллельно лампе подключают лабораторный вольтметр.

Напряжение выпрямителя  $U$ , напряжения на реостате  $U_p$  и лампе  $U_l$  связаны соотношением

$$U = U_p + U_l.$$

Напряжение на лампе равно разности выходного напряжения выпрямителя и напряжения на реостате:

$$U_l = U - U_p.$$

Напряжение на выходе выпрямителя в ходе опыта не меняется. Для изменения напряжения, приложенного к лампе, меняют напряжение на реостате, которое зависит от его сопротивления: чем оно больше, тем больше и напряжение. Напряжение на лампе при этом минимально. Уменьшая сопротивление резистора, уменьшают приложенное к нему напряжение, при этом напряжение на лампе увеличивается. Если движок резистора перевести в левое по схеме положение, напряжение на нем станет равным нулю, а напряжение на лампе достигнет максимально возможного в условиях опыта значения, равного значению напряжения на выходе выпрямителя:  $U_l = U$ .

В данном опыте сопротивление спирали лампы при комнатной температуре допустимо приравнять к сопротивлению при  $0^\circ\text{C}$ .

### Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. В каком положении должен находиться ползун реостата, чтобы напряжение на лампе было минимальным?
2. Может ли напряжение на лампе при использовании данной установки стать равным нулю?
3. Запишите формулы для вычисления границ абсолютных погрешностей прямых измерений напряжения и силы тока.

4. Запишите формулы для расчета границ относительных и абсолютных погрешностей определения мощности лампы, сопротивления и температуры ее спирали.

### Ход работы

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

№ измерения	$U$ , В	$I$ , А	$P$ , Вт	$\Delta P$ , Вт	$R$ , Ом	$\Delta R$ , Ом	$t$ , °С	$\Delta t$ , °С

2. Измерьте мультиметром сопротивление лампы при комнатной температуре. В дальнейшем это значение сопротивления считать равным  $R_0$ .

3. Подготовьте мультиметр для измерения силы постоянного тока.

4. Соберите экспериментальную установку по схеме рис. 6.1.

5. Включите выпрямитель и установите ползун реостата в положение, при котором напряжение на лампе составляет 0,4 В.

6. Занесите показание мультиметра, соответствующее этому напряжению в таблицу.

7. Увеличивайте напряжение на лампе с интервалом 0,4 В до максимально возможного и заносите в таблицу показания мультиметра, соответствующие каждому значению напряжения.

8. Вычислите границы абсолютных погрешностей прямых измерений напряжения и силы тока.

9. Вычислите по формуле (1) мощность, потребляемую лампой в те моменты опыта, когда напряжение на ней соответствовало значениям, указанным в таблице.

10. Вычислите границу абсолютной погрешности, с которой получено значение мощности лампы для каждого измерения.

11. Вычислите по формуле (2) сопротивление спирали лампы в те моменты опыта, когда напряжение на ней соответствовало значениям, указанным в таблице.

12. Вычислите границу абсолютной погрешности, с которой получено значение сопротивления спирали лампы для каждого измерения.

13. Вычислите по формуле (3) температуру спирали лампы в те моменты опыта, когда напряжение на ней соответствовало значениям, указанным в таблице.

14. Вычислите границу абсолютной погрешности, с которой получено значение температуры спирали лампы для каждого измерения.

15. Постройте график зависимости силы тока в лампе от приложенного к ней напряжения.

16. Постройте график зависимости мощности, потребляемой лампой от приложенного к ней напряжения.

17. Постройте график зависимости температуры спирали от приложенного к лампе напряжения.

18. Постройте график зависимости сопротивления спирали от ее температуры.

19. Сделайте вывод по виду построенных графиков о том, как менялись потребляемая лампой мощность, сопротивление и температура спирали при увеличении приложенного к лампе напряжения.

20. Сделайте вывод о том, как изменялось сопротивление спирали лампы при увеличении ее температуры.

### Контрольные вопросы

1. Как объяснить зависимость сопротивления спирали лампы от температуры?
2. Какие характеристики измерительных приборов должны быть изменены и как, чтобы повысить точность измерения мощности рассмотренным способом.
3. Как объяснить тот факт, что сила тока в лампе изменялась не прямо пропорционально изменению напряжения?

### Дополнительные задания

1. По графику  $I(U)$  определите силу тока, соответствующую напряжению, указанному на цоколе лампы. Сравните полученное значение тока со значением, указанным на цоколе.
2. По графику  $I(U)$  определите сопротивление спирали лампы при минимальном и максимальном ее накалах. Сравните данные, полученные при анализе графика, со значениями, взятыми из таблицы.

## Лабораторная работа № 7

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

**Цель работы:** 1) исследовать зависимость сопротивления полупроводника от температуры; 2) овладеть приемом проверки исправности полупроводникового диода и транзистора.

### Введение

При нагревании внутри полупроводникового материала увеличивается число свободных носителей электрического заряда — дырок в полупроводнике *p*-типа и электронов — в полупроводнике *n*-типа. Этим объясняется зависимость удельного сопротивления полупроводников от температуры.

Эта зависимость лежит в основе работы полупроводниковых приборов, получивших название терморезисторов, или термисторов, применяемых в качестве датчиков температуры в различных терморегулирующих автоматах.

Но эта же зависимость иногда отрицательно сказывается на стабильности работы полупроводниковых приборов. Например, если транзистор, работающий в электронном приборе, сильно нагреть, то его рабочий режим может настолько измениться, что качество работы всего прибора в целом заметно ухудшится. Полупроводниковые приборы на кремниевой основе в меньшей степени подвержены этому недостатку.

Один из методов проверки исправности полупроводниковых диодов и транзисторов основан на измерении сопротивлений их *p-n*-переходов. Известно, что сопротивление *p-n*-перехода велико, если к его зоне с дырочной проводимостью приложен отрицательный потенциал внешнего электрического поля, а к зоне с электронной проводимостью — положительный (иначе говорят, что напряжение подано в обратной полярности), если изменить полярность потенциалов внешнего поля, сопротивление резко



уменьшается. Сопротивление исправного  $p$ - $n$ -перехода при прямой и обратной полярности внешнего напряжения должно меняться как минимум в десятки раз.

## Оборудование

Цифровой мультиметр, лабораторный термометр, терморезистор, полупроводниковый диод, транзистор  $p$ - $n$ - $p$ -типа, транзистор  $n$ - $p$ - $n$ -типа, штатив лабораторный, сосуд с горячей водой.

## Описание экспериментальной установки

Общий вид экспериментальной установки для определения зависимости сопротивления термистора от температуры показан на рис. 7.1.

Используемый в работе термистор типа ММТ-4 представляет собой полупроводниковый стержень, заключенный в металлический корпус. К электрической цепи его подключают двумя выводами. Один из них припаян непосредственно к металлическому корпусу, второй выведен из торцевой части корпуса наружу через стеклянный изолятор.

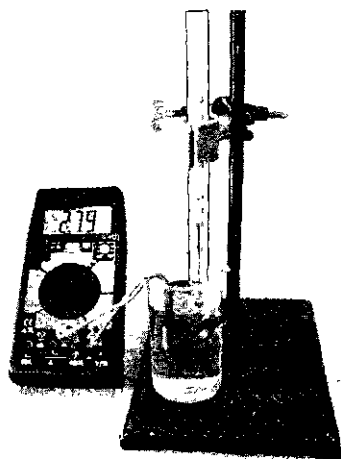


Рис. 7.1

Сопротивление термистора измеряют мультиметром, который используют как омметр.

Для проверки исправности диода и транзисторов используют цифровой мультиметр в режиме пробника электрических цепей. В этом режиме в нем образуется электрическая цепь из внутреннего источника питания, зуммера и милливольтметра, подключенного параллельно к выходным гнездам прибора, причем положительный полюс источника соединен с гнездом на корпусе, отмеченным надписью «СОМ», а отрицательный — с гнездом с надписью «VΩ». Если к этим гнездам подключить внешнюю цепь небольшого сопротивления, в цепи пробника потечет ток, и зуммер зазвенит. Индикатор прибора покажет напряжение внешней цепи в милливольтках. Если подключенная цепь имеет сопротивление более 1 кОм, сигнал зуммера будет отсутствовать.

Подключая «положительный» щуп пробника к аноду диода, а «отрицательный» — к катоду, приводят диод в открытое состояние. Его сопротивление станет небольшим, по цепи пробника пойдет ток, а зуммер зазвенит. При подключении щупов в обратной полярности звонка не будет.

Некоторые мультиметры имеют специальный режим проверки исправности полупроводниковых диодов. Для перевода их в этот режим переключатель режимов устанавливают напротив условного обозначения диода, нанесенное рядом с одним из пределов измерений омметра. В этом режиме при подаче на диод напряжения в прямой полярности мультиметр показывает напряжение на диоде в милливольтках. При обратной полярности напряжения индикатор мультиметра покажет единицу в левом разряде.

### **Задания для проверки готовности к выполнению работы**

1. Изучите руководство по эксплуатации мультиметра и определите, имеет ли данный прибор режим пробника электрических цепей.

2. Выясните порядок подготовки мультиметра к работе в качестве омметра и пробника электрических цепей.

## Ход работы

**Задание 1.** Исследовать зависимость сопротивления полупроводника от температуры.

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений:

$t, ^\circ\text{C}$									
$R, \text{Ом}$									

2. Переключите мультиметр в режим работы в качестве омметра. Установите необходимый предел измерения омметра учитывая значение сопротивления термистора, указанное на его корпусе.

3. Поместите термометр и термистор в сосуд с горячей водой.

4. Подключите термистор к омметру.

5. Начинайте регистрировать показания омметра и термометра после того, как температурный режим стабилизируется и сопротивление термистора перестанет уменьшаться.

6. Заносите в таблицу показания термометра и омметра каждый раз, когда температура воды изменится на  $5^\circ\text{C}$ .

7. Постройте график зависимости сопротивления термистора от температуры используя результаты измерений.

**Задание 2.** Проверить исправность полупроводникового диода и транзистора.

1. Рассмотрите диод и определите выводы катода и анода.

2. Переведите мультиметр в режим работы его в качестве пробника и оцените способность диода проводить ток при прямой и обратной полярностях приложенного напряжения. Сделайте вывод о исправности диода.

3. Определите расположение выводов транзистора  $p-n-p$ -типа.

4. Убедитесь в существовании  $p-n$ -переходов база—эмиттер и база—коллектор.

5. Составьте план действий для доказательства того, что испытуемый транзистор относится к  $p-n-p$ -типу. Выполните необходимые действия и убедитесь в этом.

6. Выполните аналогичные действия с другим транзистором и определите его тип.

**Контрольные вопросы**

1. Как и во сколько раз изменилось сопротивление термистора в ходе опыта?
2. Можно ли утверждать, что сопротивление термистора изменялось прямо пропорционально изменению температуры?
3. Одинакова ли температурная чувствительность термистора во всем диапазоне изменения температуры?
4. Почему у полупроводникового диода существует обратный ток?

**Дополнительное задание**

**Цель задания:** убедиться в возможности использовать термистор в качестве датчика температуры.

1. Налейте в стакан воды неизвестной температуры.
2. С помощью термистора, омметра и построенного графика зависимости сопротивления термистора от температуры определите температуру воды.
3. Проверьте термометром полученный результат.

# Лабораторная работа № 8

## ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

**Цель работы:** исследовать закономерности возникновения индукционного тока в проводнике при изменении магнитного поля, в котором он находится.

### Введение

Работа включает два задания. При выполнении первого задания исследуют на качественном уровне зависимость силы индукционного тока в катушке от скорости изменения индукции магнитного поля, от числа витков катушки и от взаимной ориентации плоскости катушки и направления магнитного поля. Во втором задании экспериментально проверяется правило Ленца.

Явлением электромагнитной индукции называют возбуждение электрического тока в замкнутом контуре, находящемся в изменяющемся магнитном поле. Сила индукционного тока пропорциональна ЭДС индукции  $\mathcal{E}_i$ . По закону электромагнитной индукции:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

где  $\Delta\Phi$  — изменение магнитного потока, пронизывающего контур, образованный замкнутым проводником;  $\Delta t$  — время, за которое изменяется магнитный поток.

Магнитный поток  $\Phi$  определяется произведением индукции магнитного поля  $B$ , площади контура  $S$  и косинуса угла  $\alpha$  между направлением вектора индукции магнитного поля и направлением нормали к плоскости контура (рис. 8.1):  $\Phi = BS\cos\alpha$ .

Индукционный ток появится при изменении со временем любого из этих сомножителей.

Чтобы увеличить силу индукционного тока, в качестве замкнутого контура используют катушку, которую можно рассматривать как несколько витков, соединенных последовательно.

Общая ЭДС индукции, действующая в катушке, равна сумме ЭДС, действующих в каждом витке, поэтому сила индукционного тока в катушке при прочих равных условиях будет зависеть от числа витков в ней.

Индукционный ток в катушке можно создать, приближая и удаляя от нее постоянный магнит или поместив рядом с ней другую катушку. При подключении дополнительной катушки к источнику тока, в ней

возникнет электрический ток. Сила тока за очень короткое время изменится от нуля до некоторого определенного значения. Появление тока вызовет, в свою очередь, возникновение в окружающем пространстве магнитного поля. С увеличением силы тока увеличивается и индукция магнитного поля. Так как дополнительная катушка находится рядом с основной, ее магнитное поле, пронизывая эту катушку, вызовет в ней индукционный ток. После того как сила тока в дополнительной катушке достигнет определенного значения и перестанет меняться, ток в основной катушке исчезнет. Влияние магнитного поля дополнительной катушки на силу индукционного тока в основной будет заметнее, если обе катушки поместить на общий железный сердечник.

Направление индукционного тока зависит от направления магнитного поля, которое его порождает, и от того, как меняется (увеличивается или уменьшается) магнитная индукция этого поля. Э. Х. Ленц установил, что возникающий в замкнутом контуре индукционный ток направлен так, что своим магнитным полем противодействует изменению того магнитного потока, которым он вызван (правило Ленца).

При применении правила Ленца следует помнить, что за направление магнитного поля принято считать направление от северного полюса магнита к южному.

Приведем пример определения направления индукционного тока с помощью правила Ленца. Если к лежащему на столе металлическому кольцу сверху подносить магнит северным полюсом вниз (магнитное поле магнита направлено вниз), в кольце возникнет ток, который создаст собственное магнитное поле. Направления магнитных полей кольца и тока в нем связаны правилом правого винта. При приближении к кольцу северного полюса магнита его собственное магнитное поле, по Ленцу, дол-

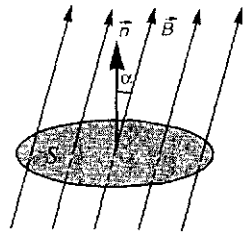


Рис. 8.1

жно быть направлено вверх. Чтобы создать поле, направленное вверх, ток в кольце должен протекать в направлении против часовой стрелки.

Для определения направления индукционного тока можно предложить следующий алгоритм.

1. Выяснить, как направлено и как изменяется внешнее магнитное поле (в рассмотренном примере оно было направлено вниз, а индукция магнитного поля увеличивалась).

2. Установить, как должно быть направлено собственное поле проводника, чтобы препятствовать этому изменению. (Чтобы препятствовать увеличению магнитного потока внешнего поля в кольце, поле кольца должно быть направлено навстречу внешнему.)

3. Зная направление собственного поля проводника, по правилу правого винта найти направление создавшего его тока. (Чтобы поступательное движение винта было направлено вверх, вращать его надо против часовой стрелки.)

## Оборудование

Миллиамперметр с нулевым делением в середине шкалы, полосовой магнит, электромагнит разборный, выпрямитель, ключ, кусок тонкого гибкого провода длиной 3 м с наконечниками на концах.

## Описание экспериментальной установки

В качестве объекта исследования при проведении опыта используют самодельную катушку из монтажного провода. Наматывают провод так, чтобы катушка имела диаметр  $\sim 3$  см. Длина концов катушки должна быть в пределах 7—10 см (рис. 8.2). При трехметровой длине провода в ней окажется примерно 25 витков. После намотки витки катушки желательно закрепить скотчем или изоляционной лентой. Наконечники, закрепленные на концах провода, вставляют в гнезда миллиамперметра.

В опыте по исследованию индукционного тока при взаимодействии двух катушек в качестве дополнительной служит катушка от разборного электромагнита с сердечником. Дополнительную катушку помещают внутрь основной.

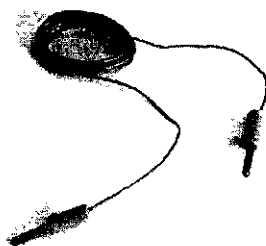


Рис. 8.2

Общий вид экспериментальной установки для проведения опыта показан на рис. 8.3.

Направление индукционного тока определяют по направлению отклонения стрелки миллиамперметра. (Она отклоняется вправо, когда внутри миллиамперметра ток протекает от правого гнезда прибора к левому.)

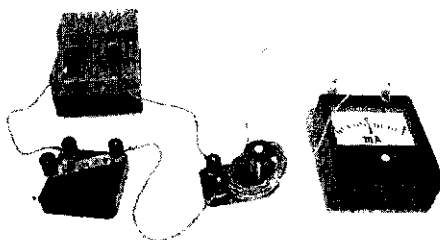


Рис. 8.3

### Вопросы для проверки готовности к выполнению работы

1. Сформулируйте правило правого винта и правило Ленца.
2. Как направлено магнитное поле внутри полосового магнита?

### Ход работы

**Задание 1.** Исследовать зависимость силы индукционного тока в катушке от изменения магнитного потока в ней.

1. Изготовьте из куска гибкого провода катушку и подключите ее к миллиамперметру.



2. Установите факт появления индукционного тока при перемещении магнита относительно неподвижной катушки. Поднося к катушке магнит с разной скоростью и разными полюсами, убедитесь, что миллиамперметр регистрирует появление тока в цепи.

3. Установите факт появления индукционного тока при перемещении катушки относительно покоящегося магнита. Удерживая одной рукой магнит, в другую возьмите катушку и поднесите ее вначале к одному полюсу, затем — к другому с разной скоростью и разными сторонами. Убедитесь, что миллиамперметр и в этом случае отмечает появление тока.

4. Исследуйте зависимость силы индукционного тока от скорости изменения магнитного поля. Для этого с разной скоростью вводите магнит в катушку и отмечайте показания миллиамперметра.

5. Исследуйте зависимость силы индукционного тока от взаимного расположения катушки и магнитного поля. Опыт проделайте несколько раз, поднося магнит перпендикулярно плоскости катушки, под углом к ней и вдоль плоскости. Скорость движения магнита старайтесь выдержать одинаковой. Каждый раз отмечайте отклонение стрелки миллиамперметра.

6. Исследуйте зависимость силы индукционного тока от числа витков в катушке. Зафиксируйте показание стрелки миллиамперметра при внесении магнита в катушку с максимально возможной скоростью. Затем повторите опыт несколько раз, отматывая от катушки каждый раз по пять витков. Скорость магнита старайтесь не изменять. После опыта восстановите в катушке прежнее число витков.

7. Установите факт появления индукционного тока при взаимодействии двух катушек.

Соберите установку, показанную на рис. 8.3. В катушку разборного электромагнита вставьте сердечник и подключите ее через ключ к выпрямителю. На катушку электромагнита наденьте самодельную катушку, как показано на рисунке. Убедитесь, что стрелка миллиамперметра отклоняется только в момент замыкания и размыкания ключа. При замкнутом ключе индукционного тока нет. Заметьте, в какую сторону отклоняется стрелка при замыкании и размыкании ключа. Измените полярность подключения катушки электромагнита к выпрямителю и установите, как это отразится на направлении отклонения стрелки.

8. Установите влияние сердечника на силу индукционного тока. Зафиксируйте, до какого деления отклоняется стрелка миллиамперметра в момент замыкания и размыкания ключа при наличии в катушке электромагнита сердечника. Удалите сердечник и определите, как это отразится на отклонении стрелки.

9. Составьте отчет о выполнении работы, в котором укажите, как изменяется сила индукционного тока:

- а) при увеличении и уменьшении скорости изменения магнитного поля;
- б) при увеличении и уменьшении угла между направлением магнитного поля и перпендикуляром к плоскости катушки;
- в) при изменении числа витков в катушке;
- г) при удалении сердечника из катушек.

**Задание 2.** Проверить выполнение правила Ленца.

1. Подготовьте таблицу для записи результатов наблюдений:

	Расположение полюсов и направление их движения			
	S N ↑	S N ↓	N S ↑	N S ↓
	1	2	3	4
Отклонение стрелки миллиамперметра				
Направление тока в катушке				
Направление поля катушки				

2. Самодельную катушку положите на стол рядом с миллиамперметром и подключите к прибору.

3. Определите направление намотки провода в катушке.

4. Удерживая над катушкой магнит северным полюсом вниз, поднесите его к катушке и заметьте, в какую сторону отклонится при этом стрелка миллиамперметра. Занесите результат наблюдения в графу 1 таблицы.

5. Повторите опыт для случаев, указанных во 2-й, 3-й и 4-й графах таблицы.

6. По отклонению стрелки определите для каждого случая направление тока в катушке.

7. Используя правило правого винта, определите для каждого случая направление собственного магнитного поля катушки.

8. Сопоставьте направление собственного магнитного поля катушки с изменением в ней внешнего поля, вызванным движением магнита.

9. Сделайте вывод о выполнении правила Ленца в каждом из рассмотренных случаев.

### Контрольные вопросы

1. Чем объяснить увеличение силы индукционного тока в опыте с двумя катушками при внесении сердечника?
2. Почему изменилось направление отклонения стрелки миллиамперметра при изменении полярности подключения катушки электромагнита к выпрямителю?
3. Как получить индукционный ток в проводнике?
4. Всегда ли в замкнутом проводнике, движущемся в однородном магнитном поле, возникает индукционный ток?
5. От чего зависит сила индукционного тока?

## Лабораторная работа № 9

### УСТРОЙСТВО И РАБОТА ТРАНСФОРМАТОРА

**Цель работы:** исследовать зависимость напряжения на вторичной обмотке трансформатора от числа витков в ней.

#### Введение

Трансформатор состоит из сердечника и нескольких проводочных катушек, называемых обмотками, отличающимися числом витков. Сердечник, изготовленный из пластин специальной стали, имеет замкнутую форму.

Обмотка, подключаемая к источнику переменного напряжения, называется первичной, а обмотку, к которой подключают устройства, потребляющие электроэнергию, называют вторичной. Вторичных обмоток может быть несколько. Принцип действия трансформатора основан на явлении электромагнитной индукции.

При работе на холостом ходу отношение ЭДС, индуцированных в обмотках, равно отношению числа витков в них:

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (1)$$

Активные сопротивления обмоток сравнительно невелики, поэтому при работе под нагрузкой напряжения на выводах обмоток мало отличаются от ЭДС в них, поэтому равенство (1) приближенно выполняется и для отношения напряжений на выводах обмоток:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{N_1}{N_2} = K, \quad (2)$$

где  $K$  — коэффициент трансформации.

## Оборудование

Разборный трансформатор, мультиметр, тонкий гибкий провод на мотовильце.

### Описание экспериментальной установки

Объектом изучения является низковольтный понижающий трансформатор. Его первичная обмотка рассчитана на напряжение 42 В. Поверх нее намотана вторичная обмотка с выходным напряжением ~6 В. Обе обмотки размещены на одном каркасе. Выводы обмоток соединены с гнездами, установленными на той же панели. К выводам первичной обмотки присоединен шнур со специальной вилкой для подключения трансформатора к электросети напряжением 42 В. (Розетки с таким напряжением закреплены на лабораторных столах.)

На каркас катушек помещен сердечник, состоящий из двух П-образных частей. Части сердечника стянуты друг с другом металлической лентой, которая одновременно крепит трансформатор к панели. Общий вид экспериментальной установки показан на рис. 9.1.

Для исследования зависимости напряжения на обмотке от числа витков в ней на верхней, свободной от каркаса, части сердечника, по ходу выполнения работы наматывают мотовильцем дополнительную обмотку. Гибкий провод на мотовильце имеет оголенные концы для подключения к ним вольтметра.

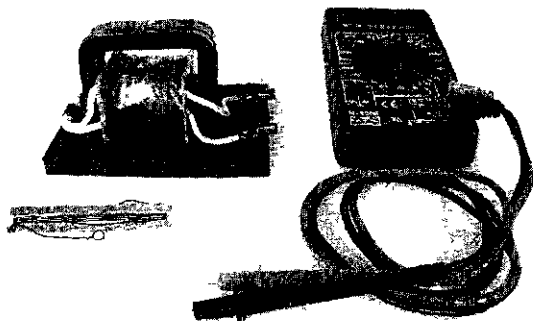


Рис. 9.1

Напряжение первичной обмотки определяют, подключив вольтметр к гнездам розетки.

Работая с трансформатором, следует помнить, что сила тока в его первичной обмотке определяется напряжением, которое подается к ней из электросети, и ее сопротивлением. При удалении сердечника индуктивное сопротивление обмотки значительно уменьшится, из-за этого уменьшится и полное сопротивление обмотки, что приведет к сильному возрастанию силы тока и выведет ее из строя. Поэтому разборный трансформатор запрещается подключать к электросети без закрепленного сердечника.

### Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Ознакомьтесь с руководством по эксплуатации мультиметра в качестве вольтметра для измерения переменного напряжения.
2. Может ли трансформатор работать от источника постоянного напряжения?
3. От чего зависит сила тока в первичной и вторичной обмотках трансформатора?

### Ход работы

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений:

Число витков $N$	10	20	30	40	50
Напряжение $U$ , В					

2. Подготовьте мультиметр для работы в качестве вольтметра для измерения переменного напряжения.
3. Рассмотрите трансформатор, обратите внимание на особенности конструкции его основных частей. Определите расположение выводов первичной и вторичной обмоток.
4. Используя зазор между обмотками и сердечником, намотайте на сердечник с помощью мотовильца дополнительную обмотку из 10 витков.

5. Подключите трансформатор к сети и измерьте вольтметром напряжение на выводах дополнительной обмотки.

6. Увеличивая число витков дополнительной обмотки сначала до  $N = 20$ , а затем до 30, 40 и 50, отслеживайте изменение напряжения на ее концах.

7. По данным измерений постройте график зависимости напряжения на обмотке от числа витков.

8. Пользуясь графиком, определите, какое число витков  $n$  должна иметь обмотка, чтобы напряжение на ней было равно

$$1 \text{ В} \left( n = \frac{N}{U} \right).$$

9. Измерьте напряжения на первичной и вторичной обмотках и вычислите коэффициент трансформации  $K$  по формуле (2). Убедитесь в том, что  $K > 1$ .

10. Зная  $n$ , определите число витков в первичной и вторичной обмотках разборного трансформатора:

$$N_1 = nU_1; \quad N_2 = nU_2.$$

11. Сделайте вывод о зависимости напряжения на обмотке от числа витков в ней.

### Контрольные вопросы

1. Почему сердечник трансформатора делают из отдельных пластин?
2. Можно ли подключать ко вторичной обмотке трансформатора любую нагрузку, если напряжение на первичной обмотке не превышает предельно допустимого значения?
3. Почему в понижающей обмотке используют более толстый провод, чем в повышающей?

# Лабораторная работа № 10

## СБОРКА И НАСТРОЙКА ПРОСТЕЙШЕГО РАДИОПРИЕМНИКА

**Цель работы:** ознакомиться с порядком сборки и настройки простейшего транзисторного радиоприемника.

### Введение

Принципиальная схема одного из простейших радиоприемников (рис. 10.1) включает антенну WA, резонирующий контур LC1, диод VD, конденсатор C2 и телефон BF.

Резонирующий контур выделяет из всех сигналов радиостанций, попавших в антенну, тот, в котором частота высокочастотных электромагнитных колебаний совпадает с собственной частотой контура. Чтобы перейти на прием сигнала другой станции, изменяют собственную частоту контура изменением его емкости или индуктивности. Последний способ используется в данной работе.

Принятый высокочастотный модулированный сигнал необходимо протектировать. Для этого переменное напряжение высокой частоты с обкладок конденсатора C1 резонирующего контура подводят через диод VD на параллельно соединенные конденсатор C2 и телефон BF (в других схемах к конденсатору

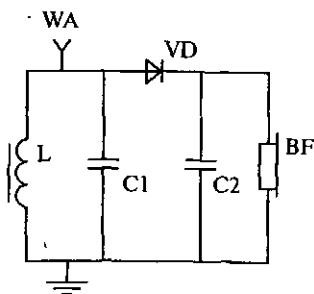


Рис. 10.1



С2 вместо телефона подключен резистор R1). Диод пропускает ток в одном направлении. Конденсатор С2 заряжается через диод VD в течение половины периода высокочастотных колебаний и непрерывно разряжается через телефон (или резистор R1 в других схемах).

Напряжение на обкладках конденсатора С2 меняется в соответствии с изменениями амплитуды принятого сигнала. Сила тока, проходящего через телефон, зависит от приложенного напряжения. Напряжение на телефоне равно напряжению на конденсаторе С2 (они включены параллельно). Поэтому изменение силы тока в телефоне будет происходить в соответствии с изменением амплитуды принятого сигнала. Если радиостанция передаст сигнал, амплитуда которого меняется под влиянием звуковой волны, то мембрана телефона воспроизведет этот звук.

На рис. 10.2 и 10.3 представлены доработанные схемы этого приемника, где для увеличения громкости принимаемого сообщения радиосигнала используются транзисторные усилители.

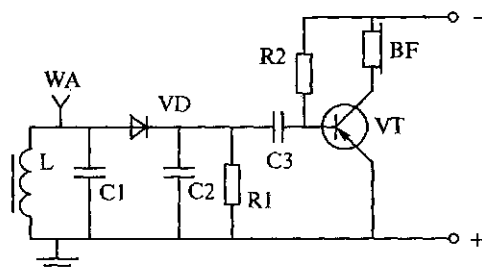


Рис. 10.2

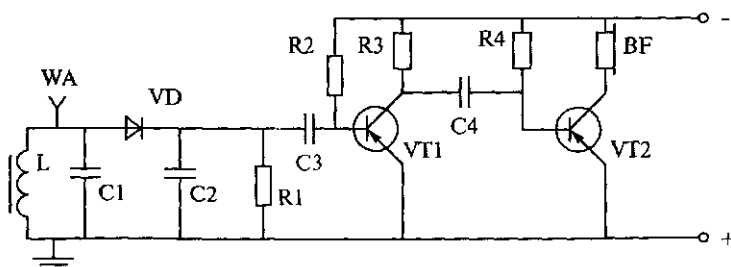


Рис. 10.3

Усиливающее свойство транзистора проявляется в том, что при поступлении на один из его электродов — базу — электрического сигнала с небольшой амплитудой колебаний на другом электроде — коллекторе — возникнет сигнал, по форме точно соответствующий поданному на базу, но амплитуда которого во много раз больше. Усилительный режим работы транзисторов VT1 и VT2 устанавливают, подключая их базы к источнику питания через резисторы R2 и R3 соответственно. Чтобы режим не изменился при подключении к базе других элементов схемы, усилимый сигнал подают на нее через разделительный конденсатор (C3 на рис. 10.2; C3 и C4 на рис. 10.3). Если амплитуда сигнала после прохождения через каскад усиления на одном транзисторе не достигает достаточного уровня, сигнал еще раз усиливают, подавая на базу другого транзистора. Усилитель, дважды усиливающий сигнал, называют двухкаскадным.

## Оборудование

Набор радиодеталей, источник питания, моток провода.

## Описание экспериментальной установки

В качестве внешней приемной антенны используют кусок гибкого провода длиной не менее 6—7 м, который растягивают вдоль оконной стены класса.

Индуктивность резонирующего контура изменяют перемещением сердечника внутри каркаса катушки L.

При сборке радиоприемника особое внимание следует уделить подключению транзисторов и диода. Транзистор будет усиливать сигнал только в том случае, когда на три его электрода — эмиттер, базу и коллектор — будут поданы напряжения определенного значения и полярности. Для удобства определения электродов транзистора на них надеты цветные трубочки: на коллектор К — синяя, на базу Б — белая, на эмиттер Э — красная. Условные обозначения выводов показаны на рис. 10.4. Полупроводниковый диод также важно включить в нужной полярности. Расположение выводов диода и его условное обозначение показаны на рис. 10.5. Анод диода А определяют по красной точке, нанесенной на корпусе вблизи этого вывода. Электром-

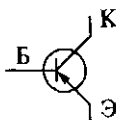


Рис. 10.4



Рис. 10.5

кости конденсаторов и сопротивления резисторов указаны на их корпусах.

Источник питания подключают к схеме только после того, как она полностью собрана и проверена.

### Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Какова роль антенны в радиоприемнике?
2. Укажите назначение элементов схемы радиоприемника, изображенной на рис. 10.1.
3. Какими способами можно изменить собственную частоту входного контура радиоприемника?

### Ход работы

1. Соберите приемник по схеме рис. 10.3.
2. Подключите внешнюю антенну и заземление.
3. Подключите источник питания.
4. Убедитесь в том, что транзисторный усилитель работает. Для этого металлическим предметом коснитесь вывода базы транзистора VT1. О том, что усилитель работает, судят по появлению при таком касании характерного гудения в наушнике. Если коснуться вывода базы транзистора VT2, гудение будет менее громким.
5. Перемещая сердечник вдоль каркаса катушки резонирующего контура, добейтесь уверенного приема сигнала какой-либо радиостанции.
6. Изменяя положение сердечника в каркасе катушки, убедитесь в возможности перенастройки приемника на прием сигнала других станций.

7. Измените схему приемника сначала в соответствии с рис. 10.2, а затем — с рис. 10.1 и сделайте вывод о влиянии усиления на качество воспроизводимого сигнала.

### Контрольные вопросы

1. Как нужно изменить индуктивность входного контура радиоприемника, чтобы перестроить его на прием сигнала радиостанции, работающей на меньшей длине волны?
2. Как происходит выделение низкочастотной звуковой составляющей принимаемых модулированных высокочастотных колебаний?
3. Каково назначение транзисторов в схемах рис. 10.2 и 10.3?

### Дополнительное задание

Если в вашей местности работает мощная радиостанция, то ее сигнал может быть принят при отключенной внешней антенне. При осуществлении приема на внутреннюю антенну, убедитесь в том, что электромагнитная волна, излучаемая антенной радиостанции, является поляризованной. Для этого после настройки на станцию поверните катушку колебательного контура в вертикальной плоскости на  $90^\circ$  и проследите за изменением громкости приема. Установите, при какой ориентации катушки громкость приема максимальна. Определите по положению катушки при максимальной громкости звучания сигнала направления колебаний векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  в принимаемой электромагнитной волне.

# Лабораторная работа № 11

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВА

**Цель работы:** определить показатель преломления стекла относительно воздуха методом построения хода луча сквозь стеклянную пластину с параллельными гранями.

### Введение

Относительным показателем преломления называют величину, показывающую, во сколько раз скорость света  $v_1$  в одной среде больше, чем скорость света  $v_2$  в другой:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Определить относительный показатель преломления можно, воспользовавшись законом преломления света:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  — угол падения луча на границу раздела двух сред;  $\beta$  — угол преломления.

Из (1) следует, что для определения относительного показателя преломления вещества необходимо измерить углы  $\alpha$  и  $\beta$  или найти отношение их синусов.

### Оборудование

Стеклянная пластинка с параллельными гранями, пластиковый коврик, булавки (4 шт.), лист бумаги, линейка, тонко отточенный карандаш.

## Описание экспериментальной установки

Для определения показателя преломления стекла относительно воздуха рассматривают прохождение луча света через стеклянную пластину с параллельными гранями.

Углы непосредственно не измеряют, а находят отношение их синусов. Для этого поступают следующим образом. Коврик из пористого материала накрывают листом бумаги. В центральной части листа размещают прозрачную стеклянную пластину. Карандашом обводят на листе контур ее основания. Пластины временно удаляют с листа. С внешней стороны контура к середине одной из его параллельных сторон до пересечения с ней проводят прямую, наклоненную к этой стороне под углом  $20\text{--}30^\circ$ . В эту прямую втыкают две булавки на расстоянии  $5\text{--}7$  см одна от другой, причем одну из булавок втыкают в точку пересечения прямой с контуром. После этого пластину возвращают на прежнее место — с этого момента смещать ее относительно обведенного контура не следует. Затем коврик с пластиной кладут на ладонь и располагают перед собой так, чтобы было удобно смотреть на булавки сквозь боковые грани пластины. Поворачивая коврик вокруг вертикальной оси, находят такое его положение, при котором булавки, наблюдаемые сквозь пластину, окажутся совмещенными. Сразу после этого в коврик перед пластиной втыкают еще две булавки, но так, чтобы все четыре казались расположенными на одной линии. Вид экспериментальной установки показан на рис. 11.1.

Добившись нужного эффекта, приступают к нахождению отношения синусов углов. Предварительно сняв пластину, лист

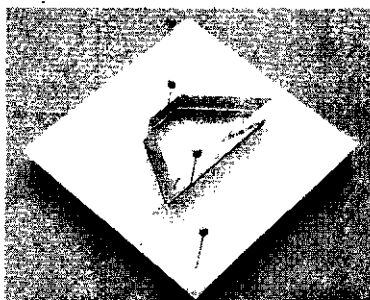


Рис. 11.1

бумаги снимают с коврика. В точку пересечения наклонной прямой с контуром пластины (ранее в эту точку была вколота одна из булавок) восстанавливают перпендикуляр к контуру и продолжают его внутрь контура (рис. 11.2). На перпендикуляре от точки  $A$  откладывают отрезки  $AB$  и  $AC$  равной длины.

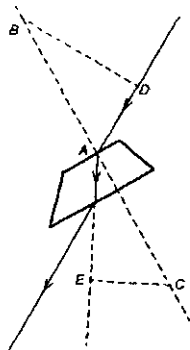


Рис. 11.2

Далее строят ход луча внутри пластины. Для этого соединяют линией точки, куда были воткнуты булавки второй пары, и продолжают эту линию до пересечения с контуром. Точку пересечения линии с контуром соединяют отрезком с точкой пересечения с контуром наклонной прямой, которую начертили в начале опыта. Луч внутри пластины распространялся вдоль отрезка, соединяющего эти точки. Чтобы уменьшить погрешность измерения, отрезок продолжают за границу контура.

Из точек  $B$  и  $C$  опускают перпендикуляры  $BD$  и  $CE$  на направление хода луча до падения на пластину и на направление хода луча внутри нее. При этом образуются прямоугольные треугольники  $ABD$  и  $ACE$ . Используя известные тригонометрические соотношения, находят

$$\sin \alpha = \frac{BD}{AB} \quad \text{и} \quad \sin \beta = \frac{CE}{AC},$$

откуда

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{BD}{AB} \frac{AC}{CE}.$$

Но  $AB = AC$  по построению. Тогда

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{BD}{CE} = n_{21}. \quad (2)$$

Значит, чтобы определить относительный показатель преломления стекла, надо измерить отрезки  $BD$  и  $CE$ .

### Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Какую размерность имеет относительный показатель преломления?
2. Как длины отрезков  $AB$  и  $AC$  влияют на точность определения показателя преломления?
3. Запишите формулу для вычисления границы абсолютной погрешности определения  $n_{21}$ .

### Ход работы

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

$BD$ , мм	$\Delta(BD)$ , мм	$CE$ , мм	$\Delta(CE)$ , мм	$n_{21}$	$\Delta n_{21}$

2. Постройте ход луча до падения на пластину (см. описание экспериментальной установки).

3. Постройте ход луча внутри пластины.

4. Восставьте перпендикуляр к контуру пластины в том месте, где луч входил в нее.

5. Постройте отрезки  $BD$  и  $CE$  (см. описание экспериментальной установки) и измерьте их длину.

6. Определите границы абсолютных погрешностей измерений длин отрезков  $BD$  и  $CE$ .

7. Вычислите по формуле (2) относительный показатель преломления стекла  $n_{21}$ .

8. Вычислите границу абсолютной погрешности определения показателя преломления  $\Delta n_{21}$ .



9. Запишите результат определения относительного показателя преломления  $n_{ст}$  стекла относительно воздуха с учетом границы абсолютной погрешности:  $n_{ст} = n_{21} \pm \Delta n_{21}$ .

10. Найдите табличное значение коэффициента преломления стекла.

11. Установите, попадает ли табличное значение показателя преломления стекла в интервал его возможных значений, полученных в результате проведения опыта.

### Контрольные вопросы

1. Что характеризует относительный показатель преломления вещества?
2. Какая среда называется более оптически плотной?
3. Может ли скорость электромагнитной волны в веществе быть больше, чем в вакууме?

## Лабораторная работа № 12

# НАБЛЮДЕНИЕ ЯВЛЕНИЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ И ДИФРАКЦИИ СВЕТА

**Цель работы:** 1) исследовать вид интерференционных полос на мыльной пленке и характер их изменения с течением времени; 2) исследовать зависимость дифракционной картины от ширины щели.

### Введение

Интерференционная картина, получаемая с помощью тонких пленок, образуется в результате взаимодействия световых волн, отраженных от верхней и нижней поверхностей пленки. В тех точках пространства, где эти волны встречаются с разностью хода  $\Delta$ , кратной четному числу полуволн:  $\Delta = 2m \frac{\lambda}{2}$  ( $m$  — любое целое число;  $\lambda$  — длина волны), образуются максимумы интенсивностей интерференционной картины.

При освещении пленки белым светом, в котором присутствуют электромагнитные волны разных длин, положения интерференционных максимумов одного порядка будут зависеть от длины волны. В итоге интерференционная картина приобретет вид цветных полос. Вид интерференционных полос зависит от толщины пленки в разных местах, иными словами от «профиля» пленки. Если пленка имеет клинообразный профиль, то интерференционные полосы будут иметь вид прямых и располагаться параллельно ребру клина (рис. 12.1).

Расстояние между интерференционными максимумами зависит от разности хода взаимодействующих волн: чем она больше, тем ближе максимумы друг к другу.

В толстых пленках разность хода получается настолько большой, что полосы максимумов раз-

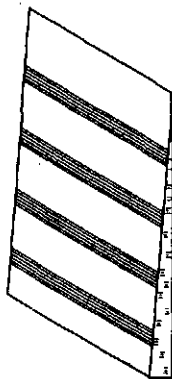


Рис. 12.1

ных порядков и цветов практически сливаются, и картина интерференции не наблюдается. В очень тонких пленках, для которых разность хода оказывается меньше длины волны, интерференция также не наблюдается.

Дифракцией света называют огибание световыми волнами границы непрозрачного тела. Если на пути света оказывается непрозрачное препятствие или свет проходит через отверстие в непрозрачном экране, то в результате дифракции он проникает за препятствием в область, куда свет не должен попадать, распространяясь прямолинейно. Наиболее отчетливо это удастся наблюдать, когда размеры препятствия или отверстия сопоставимы с длиной световой волны.

При прохождении пучка света через узкую щель в результате дифракции в нем появятся электромагнитные волны, распространяющиеся под углом к прежнему направлению. Отклонившиеся волны, взаимодействуя друг с другом, образуют интерференционную картину. Положение максимумов интерференционной картины, образованной из-за дифракции света на узком отверстии, определяется из условия:

$$D \sin \theta = m \lambda,$$

где  $D$  — ширина щели;  $\theta$  — угол отклонения волны.

При освещении щели белым светом условие центрального максимума ( $m = 0$ ) выполняется для волн любой длины, следовательно, этот максимум останется неокрашенным. В максимумах, соответствующих значениям  $m \neq 0$ , более длинные волны отклоняются на больший угол, в результате чего эти максимумы приобретают цветную окраску.

Расстояние между соседними максимумами зависит от ширины щели: чем она больше, тем ближе максимумы друг к другу.

При наблюдении невооруженным глазом светового пучка, прошедшего через узкую щель, роль устройства, сводящего воедино отдельные части пучка, выполняет хрусталик глаза. Преломившись в хрусталике, части пучка сводятся на сетчатке глаза и создают на ней картину интерференции.

### Оборудование

Проволочный каркас, полосовой магнит, пара бритвенных лезвий, кусок капроновой ткани, лампа накаливания (3,5 В; 0,25 А) на подставке, выпрямитель, сосуд с мыльным раствором.

## Описание экспериментальной установки

Интерференцию света наблюдают, рассматривая поверхность мыльной пленки в отраженном свете.

Мыльную пленку получают с помощью каркаса из толстой медной проволоки в виде кольца диаметром 40—50 мм с ручкой. Кольцо, которое непосредственно перед опытом смазывают мылом, погружают в сосуд с мыльным раствором, в который для большей прочности пленки добавляют несколько капель глицерина. Затем кольцо плавно извлекают из раствора так, чтобы его отверстие оказалось затянутым мыльной пленкой, и удерживают таким образом, чтобы отраженный пленкой свет направлялся в сторону наблюдателя. При этом на поверхности пленки станут заметны радужные интерференционные полосы.

Дифракцию света наблюдают, рассматривая светящуюся нить лампы накаливания через узкую щель или кусочек плотной капроновой ткани. Узкую щель получают с помощью двух лезвий, которые прикладывают к одному из полюсов полосового магнита так, чтобы их края были строго параллельны друг другу, а расстояние между ними не превышало 0,1 мм. Общий вид экспериментальной установки для наблюдения дифракции света с помощью щели показан на рис. 12.2.

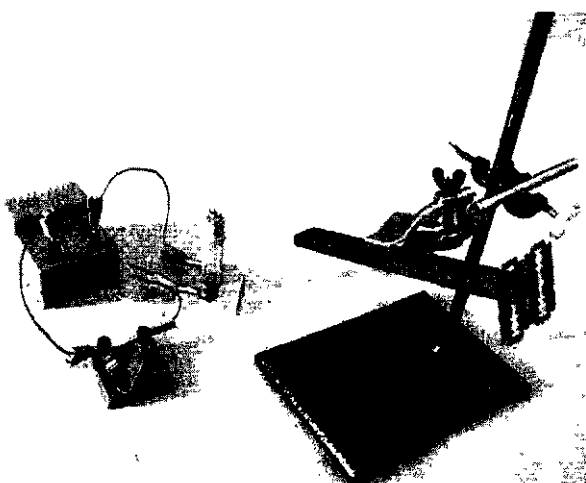


Рис. 12.2

## Вопросы для проверки готовности к выполнению работы

1. Какой должна быть толщина прозрачной пленки, чтобы с ее помощью можно было наблюдать интерференцию света?
2. Как получить тонкую пленку для наблюдения интерференции, не используя мыльный раствор?
3. Почему в опыте по наблюдению дифракции света сквозь щель ширина щели не должна превышать десятой доли миллиметра?

## Ход работы

**Задание 1.** Наблюдение интерференции света.

1. Получите на проволочном каркасе мыльную пленку, расположите ее вертикально и наблюдайте образование цветных полос.
2. Определите чередование цветов в интерференционных полосах.
3. Подсчитайте количество полос одного цвета, которые одновременно наблюдаются на пленке.
4. Проследите, как изменяется положение полос на пленке с течением времени.
5. Установите, как меняется расстояние между полосами одного цвета в зависимости от расстояния до верхней части каркаса.
6. Установите, как изменяется ширина полос одного цвета по мере их удаления от верхней части каркаса.
7. Определите, изменяются ли ориентация и форма полос при повороте рамки в вертикальной плоскости.
8. Повторите наблюдения для случая, когда каркас с пленкой удерживается горизонтально.
9. Сравните, как изменялся со временем вид интерференционных полос при вертикальной и горизонтальной ориентации пленки.

**Задание 2.** Наблюдение дифракции света.

1. Подключите лампу к выпрямителю.
2. Закрепите лезвия с помощью магнита так, чтобы они были обращены друг к другу острыми краями, а просвет между ними

составлял не больше 0,1 мм. Ширина просвета должна быть примерно равна толщине лезвия.

3. Отрегулируйте ширину щели так, чтобы она была одинаковой по всей длине.

4. Поднесите магнит с лезвиями к глазу, второй глаз закройте. Взгляните на раскаленную нить лампы сквозь щель между лезвиями и отрегулируйте расстояние между последними так, чтобы получить четкую дифракционную картину в виде параллельных щели светлых полос с цветными окантовками.

5. Поворачивая магнит, установите, при какой ориентации щели относительно нити лампы дифракционная картина наблюдается наиболее четко.

6. Определите, в каком порядке чередуются цвета окантовок относительно центральной полосы.

7. Изменяя ширину щели, установите, как от этого зависит расстояние между полосами и количество наблюдаемых полос.

8. Обратите внимание на цвет центральной полосы.

9. Сравните данные наблюдений с выводами теории, изложенными во введении.

10. Повторите наблюдение дифракции света, рассматривая светящуюся лампу сквозь кусок капроновой ткани. Объясните различие вида дифракционной картины, полученной с помощью ткани, от той, которую получали с помощью лезвий.

### Контрольные вопросы

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

# Лабораторная работа № 13

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ

**Цель работы:** определить длину световой волны с помощью дифракционной решетки.

### Введение

Метод определения длины световой волны с помощью дифракционной решетки основан на использовании формулы дифракционной решетки:

$$d \sin \theta = 2m \frac{\lambda}{2}, \quad (1)$$

где  $m$  — любое целое число ( $m = 0, \pm 1; \pm 2; \pm 3$  и т. д.);  $d$  — период решетки;  $\theta$  — угол отклонения волны от нормали;  $\lambda$  — длина волны.

Число  $m$  называют порядком максимума. Максимум интенсивности, которому соответствует  $m = 0$ , лежит на нормали к решетке ( $\sin \theta = 0 \rightarrow \theta = 0$ ) и называется центральным, имеющим нулевой порядок. Два максимума интенсивности ( $m = \pm 1$ ), ближайших к центральному и расположенных симметрично относительно него, называют вторичными максимумами первого порядка. Далее наблюдаются вторичные максимумы интенсивности второго порядка и т. д.

Таким образом, чтобы вычислить длину волны, надо знать период решетки  $d$ , порядок максимума  $m$  и измерить угол  $\theta$  (или найти синус этого угла):

$$\lambda = \frac{d \sin \theta}{m}. \quad (2)$$

### Оборудование

Прибор для определения длины световой волны; дифракционная решетка (100 штрихов на 1 мм); штатив лабораторный.

## Описание экспериментальной установки

Для выполнения работы используют специальный прибор, который закрепляют в лабораторном штативе (рис. 13.1).

Вдоль бруска 1 нанесена шкала, оцифрованная в сантиметрах с ценой деления 1 мм. Стержнем 2 брусок крепится к муфте штатива. Рамка 3 используется для закрепления дифракционной решетки. Место расположения решетки, вставленной в рамку, совпадает с нулевым делением шкалы бруска. Ползунок 4 может передвигаться вдоль бруска. К нему прикреплен экран размером  $150 \times 40$  мм, в центре которого имеется прямоугольное отверстие. Под отверстием по обе стороны от него на нижней части экрана нанесена шкала в сантиметрах с ценой деления 1 мм. Нулевое деление шкалы находится точно под серединой отверстия.

На рис. 13.2 представлена схема распространения световых пучков при проведении опыта. Свет распространяется от удаленного источника, расположенного справа, и попадает в глаз наблюдателя, показанный слева. Вышедшие из решетки  $P$  (на рисунке показана только одна щель) световые пучки фокусируются хруста-

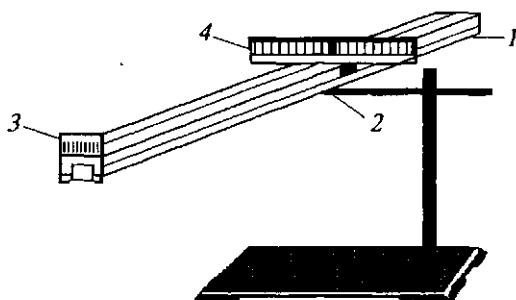


Рис. 13.1

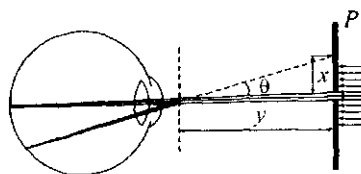


Рис. 13.2



ликом глаза на сетчатку. Для упрощения рисунка на нем показан ход световых пучков, образующих на сетчатке центральный дифракционный максимум, и один из максимумов первого порядка. Смотря на источник света сквозь решетку, наблюдатель увидит справа и слева от белой полосы центрального максимума симметрично расположенные пары максимумов и других порядков:

Настраивают прибор в следующей последовательности. В рамку помещают дифракционную решетку так, чтобы ее штрихи располагались вертикально. Прибор направляют на источник света, который должен быть виден сквозь отверстие экрана. По обе стороны от отверстия на черном фоне экрана появятся дифракционные спектры. Если они наклонены по отношению к шкале, то решетку поворачивают на некоторый угол и перекося устраняют. В таком положении прибор фиксируют с помощью штатива. По шкале экрана, рассматриваемой сквозь решетку, измеряют расстояния между красными границами максимумов первого порядка  $x_{к1}$  и второго порядка  $x_{к2}$ , затем измеряют расстояния между фиолетовыми границами —  $x_{ф1}$  и  $x_{ф2}$  (рис. 13.3). По шкале бруска измеряют расстояние  $y$  от дифракционной решетки до экрана.

Принимая во внимание, что при использовании дифракционной решетки с периодом 0,01 мм углы, под которыми наблюдаются границы спектров 2-го порядка, не превысят  $5^\circ$ , вместо  $\sin \theta$  в формуле (2) можно использовать  $\operatorname{tg} \theta$ :  $\sin \theta \approx \operatorname{tg} \theta$ , причем в прямоугольном треугольнике  $\operatorname{tg} \theta = \frac{x}{2y}$ , где  $\frac{x}{2}$  — расстояние от центра экрана до линии спектра, длину волны которой измеряют;  $y$  — расстояние от решетки до экрана (см. рис. 13.3).

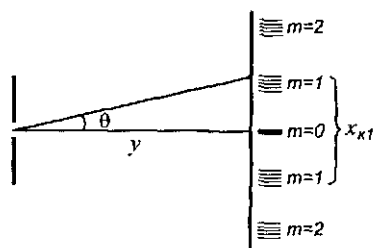


Рис. 13.3

С учетом сделанных замечаний из формулы (2) можно получить расчетную формулу для определения длины волны, использование которой не требует измерения угла  $\theta$ :

$$\lambda = \frac{d \sin \theta}{m} \approx \frac{d \operatorname{tg} \theta}{m} = \frac{dx}{2my}. \quad (3)$$

Зная период решетки  $d$ , порядок рассматриваемого спектра  $m$  и измерив расстояния  $x$  и  $y$ , по формуле (3) находят длину световой волны.

### Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. Почему при наблюдении дифракции белого света центральный максимум не имеет цветных полос?
2. В чем отличие дифракционного спектра от спектра, получаемого с помощью призмы?
3. Запишите формулы для вычисления границ абсолютной и относительной погрешностей определения длины волны описанным методом.

### Ход работы

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

№ опыта	$d$ , мм	$m$	$x_k$ , $10^{-3}$ м	$\Delta x_k$ , $10^{-3}$ м	$x_{\text{ф}}$ , $10^{-3}$ м	$\Delta x_{\text{ф}}$ , $10^{-3}$ м	$y$ , $10^{-3}$ м	$\Delta y$ , $10^{-3}$ м	$\lambda_k$ , $10^{-9}$ м	$\Delta \lambda_k$ , $10^{-9}$ м	$\lambda_{\text{ф}}$ , $10^{-9}$ м	$\Delta \lambda_{\text{ф}}$ , $10^{-9}$ м

2. Установите прибор на рабочем столе в соответствии с приведенной выше методикой его настройки.
3. Произведите наблюдение дифракционных спектров и при необходимости скорректируйте положение прибора.
4. Занесите в таблицу значение постоянной решетки  $d = 0,01$  мм.
5. Установите ползунок на максимально возможном расстоянии от дифракционной решетки и определите расстояния  $x$  между границами спектров 1-го и 2-го порядков.

6. Измерьте расстояние  $u$  от решетки до экрана.
7. Проведя измерения несколько раз, занесите в таблицу средние значения измеренных величин.
8. Вычислите длины световых волн, соответствующих красной и фиолетовой границам спектра.
9. Изменяя положение ползунка относительно дифракционной решетки, повторите измерения и вычисления 2—3 раза.
10. По результатам вычислений определите средние значения длин волн для красной и фиолетовой границ спектра.
11. Сравните результаты вычислений и сделайте вывод, какому цвету соответствует меньшая длина волны.

### Контрольные вопросы

1. Как изменится вид спектров, если использовать дифракционную решетку с другим периодом  $d$ ?
2. Какие факторы влияют на точность определения длины световой волны опробованным методом?

### Дополнительное задание

Определите период дифракционной решетки с неизвестным количеством штрихов на 1 мм. Выведите самостоятельно формулу для расчета периода решетки и разработайте план выполнения задания.

## Лабораторная работа № 14

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ФОТОЭФФЕКТА

**Цель работы:** 1) ознакомиться с устройством и действием полупроводникового фотоэлемента; 2) исследовать зависимость силы тока в цепи фотоэлемента от его освещенности.

#### Введение

Основной частью фотоэлемента является пластина, изготовленная из полупроводника с электронной проводимостью ( $n$ -типа). На пластину нанесена полупрозрачная пленка полупроводника с дырочной проводимостью ( $p$ -типа). Оба полупроводника имеют электрический контакт с выводами, которыми их подключают к внешней цепи. В области соприкосновения двух полупроводников разного типа проводимости возникает особая зона — так называемый  $p$ - $n$ -переход. Для этой зоны характерно наличие электрического поля, направленного от полупроводника  $n$ -типа к полупроводнику  $p$ -типа, которое препятствует движению через нее электронов из полупроводника  $n$ -типа и дырок из полупроводника  $p$ -типа. В области  $p$ - $n$ -перехода образуется потенциальный барьер. Для полупроводников на основе кремния он имеет значение 0,5—0,6 В.

Кванты света, попадая в зону  $p$ - $n$ -перехода со стороны пленки, вызывают появление в этой зоне электрон-дырочных пар свободных зарядов. Под действием электрического поля перехода электроны отклоняются в сторону полупроводника  $n$ -типа, а дырки — в сторону полупроводника  $p$ -типа. В том и другом полупроводнике начинают накапливаться электрические заряды разных знаков, создающие собственное поле, направленное противоположно полю  $p$ - $n$ -перехода. В момент, когда оба поля станут одинаковыми по величине, дальнейшее разделение зарядов прекратится. При этом разность потенциалов на выводах фотоэлемента становится равной потенциальному барьеру  $p$ - $n$ -перехода. Другими словами, на выводах фотоэлемента при освещении его полупрозрачного слоя может возникнуть разность по-

тенциалов не более 0,5—0,6 В (у фотоэлементов на основе селена примерно 0,2 В). Если к фотоэлементу подключить внешнюю цепь, по ней потечет электрический ток. Фотоэлемент при этом будет выполнять роль источника тока, преобразующего энергию света в энергию электрического тока.

Ознакомление с устройством и действием фотоэлемента в данной работе сводится к доказательству наличия у него *p-n*-перехода, проверке утверждения о том, что на его выводах напряжение не может превысить 0,5—0,6 В.

Освещенность поверхности  $E$ , создаваемая точечным источником света, связана с расстоянием  $R$  от поверхности до источника и углом падения  $\alpha$  лучей света на поверхность соотношением

$$E = \frac{\Phi_0}{4\pi R^2}, \quad (1)$$

где  $\Phi_0$  — световой поток, равномерно распределенный по поверхности, и

$$E = E_0 \cos \alpha, \quad (2)$$

где  $E_0$  — освещенность поверхности, расположенной перпендикулярно падающим на нее лучам.

Исследование зависимости силы тока в цепи фотоэлемента от его освещенности в данной работе сводится к исследованию зависимости силы тока от расстояния между источником света и фотоэлементом и зависимости силы тока от угла падения света на поверхность фотоэлемента.

## Оборудование

Фотоэлемент кремниевый; лампа накаливания (3,5 В; 0,25 А) на подставке; ключ замыкания тока; выпрямитель лабораторный; цифровой мультиметр; линейка, транспортир.

## Описание экспериментальной установки

В наличии у фотоэлемента *p-n*-перехода убеждаются, обнаружив его одностороннюю проводимость. Для этого собирают электрическую цепь из последовательно соединенных фотоэлемента, ключа и лампы. Окно фотоэлемента полностью закрыва-

ют. Цепь подключают к выпрямителю так, чтобы к фотоэлементу было приложено напряжение обратной полярности. Положительный вывод фотоэлемента помечен на корпусе точкой или знаком «+».

Схема электрической цепи для выполнения этого задания показана на рис. 14.1.

Обнаруживают, что лампа при этом не горит. Затем фотоэлемент подключают в прямой полярности и наблюдают свечение лампы, что и доказывает его одностороннюю проводимость.

Для исследования зависимости тока в цепи фотоэлемента от освещенности к фотоэлементу подключают мультиметр, подготовленный для измерения малых постоянных токов. Фотоэлемент размещают в 8—10 см от лампы — в этом случае ее можно приближенно считать точечным источником света. Лампу и ключ подключают к выпрямителю; в начале опыта ключ разомкнут (рис. 14.2). Окно фотоэлемента открывают.

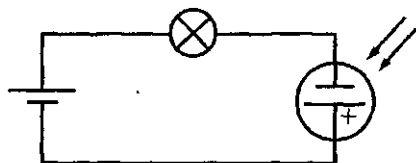


Рис. 14.1

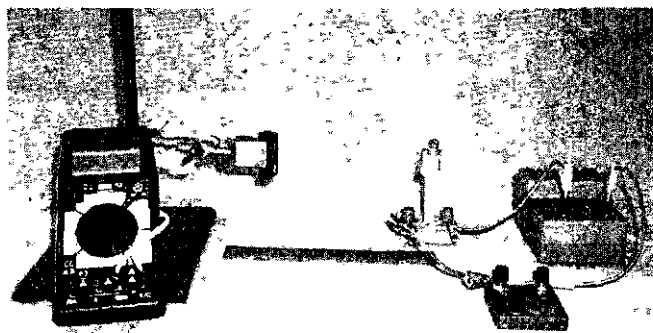


Рис. 14.2

При проведении опыта в окно фотоэлемента будут попадать два световых потока: один — от светящейся лампы, другой — от посторонних источников света (окна, ламп освещения класса и др.). Чтобы исключить влияние постороннего освещения, силу тока измеряют дважды: сначала при выключенной лампе (этот ток возник под влиянием постороннего светового потока), а затем при включенной (этот ток возник под влиянием обоих световых потоков). Вычитая из первого значения силы тока второе, определяют силу тока, появившегося в цепи под воздействием света лампы.

Если во время проведения опыта внешняя подсветка сильно меняется, например когда работа выполняется в солнечную погоду при переменной облачности, зону размещения лампы и фотоэлемента затемняют экраном. Удобно использовать экран, представляющий собой согнутый полуцилиндром лист картона.

Силу тока измеряют несколько раз, изменяя расстояние между лампой и фотоэлементом. При перемещении фотоэлемента на новое место нужно следить, чтобы нить лампы располагалась на перпендикуляре, мысленно восставленном от центра окна фотоэлемента. Расстояние измеряют от нити накала лампы до поверхности светочувствительного слоя фотоэлемента.

### **Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы**

1. Как устроен полупроводниковый фотоэлемент?
2. Как образуется запирающее поле  $p$ - $n$ -перехода?
3. Почему напряжение на выводах фотоэлемента на кремниевой основе не может превысить значение 0,6 В?
4. Как уменьшить влияние посторонней подсветки фотоэлемента?

5. Изучите инструкцию по использованию мультиметра и выясните, как готовить прибор к работе в качестве вольтметра постоянного напряжения и миллиамперметра.

6. Запишите формулы для вычисления границ абсолютных погрешностей измерения силы тока, расстояния и значения величины  $\frac{1}{R^2}$ .

## Ход работы

**Задание 1.** Доказать существование  $p$ - $n$ -перехода у полупроводникового фотоэлемента.

1. Осмотрите фотоэлемент и определите полярность его выводов.

2. Полностью затемните окно фотоэлемента.

3. Соберите электрическую цепь по схеме, изображенной на рис. 14.1.

4. Замокните ключ и убедитесь в том, что при обратной полярности приложенного к фотоэлементу напряжения тока в цепи нет.

5. Измените схему так, чтобы на фотоэлемент подавалось напряжение прямой полярности.

6. Повторите опыт и убедитесь, что при прямой полярности напряжения на фотоэлементе в цепи протекает электрический ток.

7. Подготовьте мультиметр для работы в режиме измерения постоянного напряжения.

8. Подключите лампу к выпрямителю, поднесите к ней вплотную фотоэлемент и измерьте напряжение на его выводах.

9. Сделайте вывод о том, какой полупроводник (кремниевый или селеновый) использовался при изготовлении фотоэлемента.

**Задание 2.** Исследовать зависимость силы тока в цепи фотоэлемента от его расстояния до источника света.

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

№ измерения	R, $10^{-3}$ м	I <sub>ф</sub> , $10^{-3}$ А	I <sub>фл</sub> , $10^{-3}$ А	I <sub>л</sub> , $10^{-3}$ А	ΔI <sub>л</sub> , $10^{-3}$ А	R <sup>2</sup> , $10^{-6}$ м <sup>2</sup>	1/R <sup>2</sup> , $10^6$ м <sup>-2</sup>	Δ(1/R <sup>2</sup> ), $10^6$ м <sup>-2</sup>

2. Подготовьте цифровой мультиметр для работы в качестве миллиамперметра.

3. Соберите экспериментальную установку, как показано на рис. 14.2.

4. Измерьте расстояние R между нитью накала лампы и поверхностью фотоэлемента.



5. Измерьте силу тока  $I_{\phi}$ , возникшего в цепи фотоэлемента под действием постороннего светового потока.

6. Заключите ключ и измерьте силу тока в цепи  $I_{\phi л}$ , возникшего под действием постороннего светового потока и светового потока лампы.

7. Повторите измерения силы тока несколько раз, увеличивая каждый раз расстояние между фотоэлементом и лампой на 2 см.

8. Вычислите силу тока в цепи фотоэлемента при отсутствии посторонней подсветки:  $I_{л} = I_{\phi л} - I_{\phi}$ .

9. Вычислите границы абсолютных погрешностей измерений силы тока  $\Delta I_{л}$ , расстояния  $\Delta R$ , а также величин  $R^2$ ,  $\frac{1}{R^2}$ .

10. Постройте график зависимости силы тока  $I_{л}$  от величины  $\frac{1}{R^2}$ . При построении каждой точки графика необходимо учитывать границы интервалов допустимых значений  $I_{л}$  и  $\frac{1}{R^2}$  для каждого измерения.

11. Принимая во внимание, что освещенность  $E$  прямо пропорциональна величине  $\frac{1}{R^2}$  (см. формулу (1)), сделайте вывод о характере зависимости силы фототока в цепи фотоэлемента от его освещенности.

**Задание 3.** Исследовать зависимость силы тока в цепи фотоэлемента от угла падения света на его поверхность. (Экспериментальная установка используется так же, как при выполнении задания 1.)

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

$\alpha$ , град.	$\cos \alpha$	$I_{\phi}$ , $10^{-3}$ А	$I_{\phi л}$ , $10^{-3}$ А	$I_{л}$ , $10^{-3}$ А

2. Поместите фотоэлемент на расстоянии 10 см от лампы так, чтобы ее свет падал на середину его поверхности перпендикулярно. Ключ не замыкайте.

3. Измерьте силу тока  $I_{\phi}$ , возникшего в цепи фотоэлемента под действием постороннего светового потока.

4. Замкните ключ и измерьте силу тока в цепи  $I_{\phi л}$ , возникшего под действием постороннего светового потока и светового потока лампы.

5. Поверните фотоэлемент на  $20^\circ$  относительно вертикальной оси, стремясь не изменить расстояния от нити лампы до центра светочувствительного слоя. Снова запишите показания миллиамперметра при разомкнутом и замкнутом ключе.

6. Повторите опыт при углах падения  $40^\circ$ ,  $60^\circ$  и  $80^\circ$ .

7. Вычислите  $\cos \alpha$  для тех значений углов, при которых проводились измерения силы тока.

8. Вычислите силу тока в цепи фотоэлемента при отсутствии посторонней подсветки:  $I_n = I_{\phi л} - I_{\phi}$ .

9. Принимая во внимание, что освещенность  $E$  прямо пропорциональна  $\cos \alpha$  (см. формулу (2)), сделайте вывод о характере зависимости силы фототока в цепи фотоэлемента от его освещенности.

### Контрольные вопросы

1. Назовите возможные области применения полупроводникового фотоэлемента в технике.
2. В чем отличие принципа действия вакуумного фотоэлемента от полупроводникового?
3. Как объяснить изменение силы тока в цепи фотоэлемента при увеличении его освещенности?

# Лабораторная работа № 15

## НАБЛЮДЕНИЕ СПЛОШНОГО И ЛИНЕЙЧАТОГО СПЕКТРОВ

**Цель работы:** 1) качественно исследовать зависимость вида спектра излучения раскаленного тела от его температуры; 2) доказать утверждение о том, что каждому химическому элементу соответствует определенный набор спектральных линий.

### Введение

Атом каждого химического элемента имеет свой строго определенный набор энергетических состояний или уровней, в которых он может находиться. При переходе из одного состояния в другое он испускает электромагнитные волны строго определенных частот.

Спектры, состоящие из отдельных линий, называют линейчатыми. Такие спектры дают вещества, находящиеся в газообразном, разреженном состоянии и состоящие из отдельных атомов. В этом состоянии атомы практически не взаимодействуют друг с другом и излучают волны только тех частот, которые свойственны данному химическому элементу.

При объединении атомов в молекулы возникают дополнительные энергетические уровни, большинство из которых мало отличается от основных, а в спектре вещества рядом с основными присутствуют дополнительные линии. Линии спектра как бы образуют полосы. Чем сильнее межатомное взаимодействие, тем шире полосы спектра. Такой спектр представляет собой совокупность цветных полос, разделенных темными промежутками, и называется полосатым. Полосатые спектры дают, например, газы, состоящие из молекул, слабо связанных друг с другом. Для получения линейчатых и полосатых спектров используют свечение газового разряда или раскаленных паров.

Вещества, атомы которых сильно взаимодействуют друг с другом, излучают волны всех частот оптического диапазона.

Спектр такого излучения представляет собой цветную радужную полосу, где цвета плавно переходят от красного к фиолетовому, и называется сплошным. Такие спектры дают сильно сжатые газы, раскаленные жидкости и твердые тела, а также высокотемпературная плазма.

Для изучения спектров применяют специальные приборы — спектроскопы и спектрографы. В зависимости от конструкции прибора разложение света на спектральные составляющие происходит в нем с помощью либо призмы, либо дифракционной решетки.

### Оборудование

Прибор для определения длины световой волны; дифракционная решетка (100 штрихов на 1 мм); лабораторный штатив; набор цветных карандашей.

**Дополнительное оборудование** (один комплект на класс): набор спектральных трубок, заполненных разными газами; высоковольтный источник напряжения; универсальный штатив; люминесцентная лампа на панели; лампа накаливания на подставке; реостат.

### Описание экспериментальной установки

Для получения спектров используют прибор для измерения длины световой волны. Его готовят к работе и настраивают так же, как это рекомендовано в описании к лабораторной работе № 13. Объектами наблюдения являются нить лампы накаливания, люминесцентная лампа, а также газы в спектральных трубках.

В первом задании наблюдают сплошной спектр, полученный от раскаленной нити лампы накаливания. Лампу закрепляют на демонстрационном столе с помощью универсального штатива так, чтобы она была видна ученикам с каждого рабочего места (рис. 15.1). Лампу последовательно соединяют с реостатом. Изменяя силу тока, протекающего через лампу, изменяют температуру ее нити. Ученики настраивают стоящие у них на столах приборы, предназначенные для измерения длины световой волны, так, чтобы нить лампы была видна сквозь отверстие в экра-

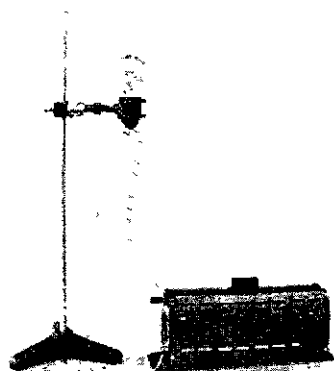


Рис. 15.1

не прибора. Вначале наблюдают спектр лампы, светящейся при полном накале нити. Затем, уменьшая реостатом силу тока в лампе, исследуют, как изменяется спектр при уменьшении температуры ее нити.

Во **втором задании** наблюдают линейчатые спектры света люминесцентной лампы и газовых разрядов в спектральных трубках.

Люминесцентная лампа представляет собой стеклянный цилиндр, в основания которого впаяны электроды (рис. 15.2). Цилиндр заполнен парами ртути. Внутренняя поверхность цилиндра покрыта слоем специального порошка — люминофора, который светится под действием излучения паров ртути, давая спектр, близкий по виду к солнечному. Спектр этой лампы представляет собой как бы два спектра, наложенные друг на дру-



Рис. 15.2

га: на фоне сплошного спектра люминофора наблюдаются отдельные яркие линии спектра паров ртути.

Набор спектральных трубок включает трубки, заполненные водородом, гелием и неона. При подаче на электроды высокого напряжения (рис. 15.3) в газе, наполняющем трубку, возникает тлеющий разряд.

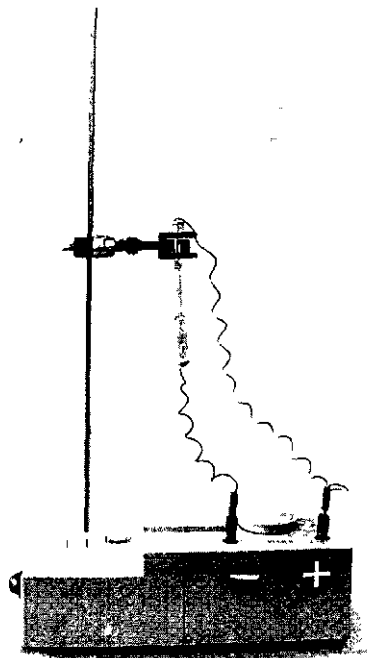


Рис. 15.3

При проведении наблюдений помещение класса рекомендуется затемнять.

### **Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы**

1. Как определить длину электромагнитной волны в вакууме, зная частоту ее колебаний?
2. Изменяется ли длина и частота электромагнитной волны при переходе из одной среды в другую?

3. Поясните принцип действия дифракционной решетки как устройства для наблюдения спектров.

### Ход работы

**Задание 1.** Наблюдение сплошного спектра.

1. Вставьте дифракционную решетку в прибор для измерения длины световой волны.

2. Настройте прибор так, чтобы на его экране отчетливо наблюдались дифракционные спектры 1-го и 2-го порядков.

3. Зарисуйте вид спектра лампы накаливания, светящейся при максимальном накале нити, соблюдая последовательность расположения основных цветов.

4. Сравните полученный спектр со спектром солнечного света.

5. Проследите за изменением спектра лампы при постепенном уменьшении силы тока в ней.

6. Зарисуйте спектры при максимальном накале нити лампы и после уменьшения накала нити примерно наполовину.

7. Сделайте вывод о характере изменения спектра при уменьшении температуры нити лампы.

**Задание 2.** Наблюдение линейчатых спектров.

1. Замените лампу накаливания люминесцентной лампой и получите на экране прибора спектр этого источника света.

2. Обратите внимание на несколько ярких линий, наблюдаемых на фоне менее яркого сплошного спектра.

3. Зарисуйте спектр, который даст люминофор, и выделите на нем спектр паров ртути.

4. Сравните спектр люминесцентной лампы со спектром лампы накаливания и сделайте вывод, какой из двух источников света дает свет, более близкий к естественному.

5. Настройте прибор для наблюдения спектров газов, заполняющих спектральные трубки.

6. Проведите наблюдение спектров трех газов, зарисуйте их один под другим.

7. Сравните спектры газов и сделайте вывод о справедливости утверждения о том, что каждому веществу соответствует определенный набор спектральных линий.

**Контрольные вопросы**

1. Как объяснить изменение спектра лампы накаливания при уменьшении температуры ее нити?
2. Почему по виду линейчатого спектра можно установить, какие химические элементы входят в состав источника света?
3. Почему предметы, окружающие наблюдателя, при освещении их белым светом оказываются окрашенными в различные цвета? Как изменится их окраска при освещении монохроматическим светом, например, красным?

**Дополнительное задание**

Установите, как изменится вид спектра лампы накаливания, если ее наблюдать через красный светофильтр. Объясните принцип его действия.



## Лабораторная работа № 16

# ИЗУЧЕНИЕ ТРЕКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПО ФОТОГРАФИЯМ

**Цель работы:** познакомиться с методами исследования ядерных реакций и свойств элементарных частиц по фотографиям их треков.

### Введение

Треком частицы называют след, оставленный ею в среде, где она двигалась.

По виду треков определяют электрический заряд, скорость и ее направление, длину свободного пробега, энергию частицы.

Трек образуется ионами атомов той среды, через которую движется частица. Его толщина зависит от концентрации ионов и определяется величиной заряда частицы и ее скоростью. Толщина трека тем больше, чем больше заряд частицы и меньше ее скорость.

При движении частицы в среде ее энергия постепенно убывает в основном из-за взаимодействия с атомами среды. Следовательно, длина трека определяется энергией частицы. При прочих равных условиях трек тем длиннее, чем большей энергией обладала частица в начальный момент своего движения.

Дополнительную информацию о свойствах частицы можно получить с помощью магнитного поля. При движении частицы в магнитном поле на нее со стороны поля действует сила Лоренца, которая зависит от величины ее заряда  $q$ , скорости  $v$ , индукции магнитного поля  $B$  и угла  $\alpha$  между направлениями вектора скорости и вектора индукции магнитного поля:

$$F_{\text{л}} = qvB \sin \alpha. \quad (1)$$

Эта сила сообщает частице центростремительное ускорение  $a_{\text{ис}} = \frac{v^2}{R}$ . По второму закону Ньютона  $F = ma$ , и тогда можно записать, что  $qvB \sin \alpha = \frac{mv^2}{R}$ , где  $m$  — масса частицы;  $R$  — радиус ее траектории.

Для случая, когда частица движется перпендикулярно полю,  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\sin \alpha = 1$ , и тогда

$$qvB = \frac{mv^2}{R}. \quad (2)$$

Направление силы Лоренца определяют по правилу левой руки.

Зная радиус трека, модуль и направление индукции магнитного поля и скорости, определяют знак заряда частицы и вычисляют отношение ее заряда к массе. Для этого сравнивают треки исследуемой частицы и той, для которой известно отношение заряда к массе. Воспользовавшись формулой (2) и записав ее для одной и другой частицы, получим:

$$\frac{q_1}{m_1} = \frac{v_1}{BR_1} \quad \text{и} \quad \frac{q_2}{m_2} = \frac{v_2}{BR_2}.$$

Если скорости частиц одинаковы ( $v_1 = v_2$ ), то, выразив их из последнего равенства, находим:

$$\frac{q_1}{m_1} = \frac{q_2}{m_2} \frac{R_2}{R_1}. \quad (3)$$

Радиус трека определяют по длинам его хорды  $L$  и отрезка между окружностью и хордой  $H$ :

$$R = \frac{L^2 + 4H^2}{8H}. \quad (4)$$

Связь между хордой окружности и радиусом можно получить, если к центру хорды восставить перпендикуляр и продолжить его до пересечения с окружностью (рис. 16.1). (При выводе формулы (4) учитывалось, что радиус, проведенный через центр хорды, образует с ней прямой угол, и использовалась теорема Пифагора.)

Изменение радиуса кривизны трека указывает, в каком направлении двигалась частица и как менялась ее

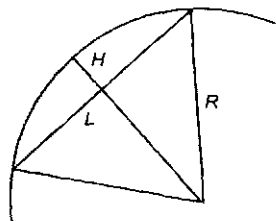


Рис. 16.1

скорость. Радиус кривизны трека больше на его начальном участке; по мере уменьшения скорости он уменьшается.

## Оборудование

Фотографии треков заряженных частиц, линейка, циркуль, транспортир, лист кальки.

## Вопросы для проверки готовности к выполнению работы

1. Можно ли отождествлять понятия «трек частицы» и «траектория движения частицы»?
2. Почему трек большей ширины оставляют частицы, движущиеся с меньшей скоростью?
3. Какую дополнительную информацию о частице можно получить благодаря наличию магнитного поля в зоне фотографирования ее трека?
4. Как меняется вид трека при уменьшении скорости частицы?
5. Какие измерения нужно выполнить, чтобы определить радиус трека?

## Ход работы

**Задание 1.** Исследование свойств осколков деления ядра атома урана.

На рис. 16.2 представлена картина треков, оставленных в фотоэмульсии осколками ядра атома урана. Распад произошел в точке «g». Деление произошло в результате захвата теплового нейтрона ядром атома изотопа урана ( $^{235}_{92}\text{U}$ ). Кроме осколков ядер, одним из которых является ядро атома ксенона ( $^{140}_{54}\text{Xe}$ ), образовались два нейтрона. Левый осколок при движении от места рождения столкнулся с ядром атома фотоэмульсии.

Внимательно рассмотрите особенности треков осколков, найдите на фотографии место, где произошел распад ядра, и ответьте на следующие вопросы:

1. На сколько частей распалось ядро атома урана?
2. Можно ли утверждать, что образовавшиеся осколки сразу после рождения двигались в противоположные стороны?

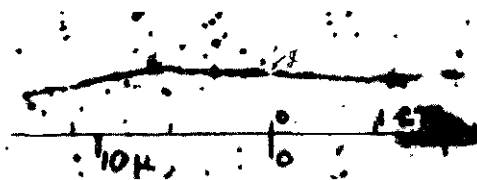


Рис. 16.2

3. Можно ли считать, что заряды и скорости осколков примерно одинаковы?

4. Можно ли утверждать, что в момент, предшествующий распаду, атом урана покоился?

5. Какой путь пролетел левый осколок до столкновения с ядром атома фотоэмульсии?

6. Можно ли считать столкновение осколка с ядром атома фотоэмульсии центральным ударом? (Центральным называют столкновение, при котором скорости сталкивающихся тел направлены вдоль прямой, соединяющей их центры масс.)

7. Используя закон сохранения электрического заряда и таблицу Менделеева, установите, какой химический элемент, кроме ксенона, появился в результате деления ядра урана.

**Задание 2.** Исследование особенностей взаимодействия заряженных частиц по виду их треков.

На рис. 16.3 показана фотография треков, оставленных при рассеивании  $\alpha$ -частиц на ядрах атомов газа. Треки  $\alpha$ -частиц получены в камере Вильсона. Перед опытом камеру заполнили па-

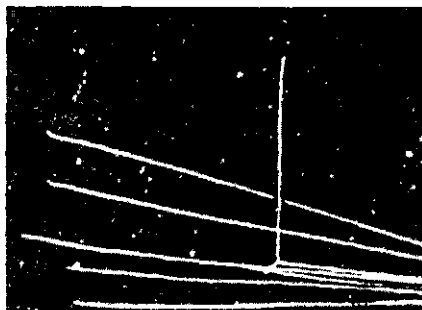


Рис. 16.3

рами хлора. Поток частиц был направлен справа налево. Одна из частиц в результате взаимодействия с ядром атома хлора отклонилась на значительный угол относительно начального направления движения. На фотографии хорошо виден трек  $\alpha$ -частицы до и после рассеивания, а также короткий и относительно более широкий трек самого ядра.

Рассмотрите фотографию, найдите на ней место, где зафиксировано рассеивание  $\alpha$ -частицы, и ответьте на следующие вопросы.

1. На какой примерно угол была отклонена  $\alpha$ -частица?
2. Какую часть пути  $\alpha$ -частице удалось пройти до взаимодействия с ядром хлора?
3. Каким количеством  $\alpha$ -частиц были образованы треки? Какое их количество было отклонено ядрами атомов газа? Какова (ориентировочно) вероятность рассеивания частиц в условиях опыта? Как ее повысить?
4. Можно ли считать, что  $\alpha$ -частицы имели примерно одинаковую энергию?
5. Какая особенность трека позволяет считать, что рассеивание произошло практически без потери энергии?
6. При описании столкновения тел в физике применяют термины «упругий удар» и «неупругий удар». К какому типу столкновений относится зафиксированное рассеивание  $\alpha$ -частицы на ядре хлора?
7. Была ли направлена скорость частицы до рассеивания точно на центр ядра?
8. Каким физическим законом определяется взаимная ориентация треков  $\alpha$ -частицы и ядра отдачи?
9. Сравнивая толщину треков ядра хлора и  $\alpha$ -частицы, можно ли утверждать, что ионизирующая способность заряженной частицы зависит от ее заряда?
10. Можно ли утверждать, что в момент съемки в камере Вильсона существовало магнитное поле?

**Задание 3.** Исследование свойств элементарных частиц по их трекам.

На рис. 16.4 показаны три смонтированные фотографии треков заряженных частиц, сделанные в камере Вильсона. Камера находилась в однородном магнитном поле с магнитной индукцией  $B = 2,2$  Тл. Первый трек оставлен  $\alpha$ -частицей, второй — яд-

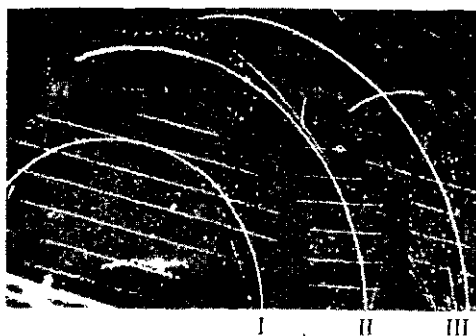


Рис. 16.4

Id.

R

ром изотопа водорода дейтерия ( ${}^2_1\text{H}$ ), третий — неизвестной частицей. Начальная скорость всех частиц была направлена снизу вверх. По виду треков необходимо установить знак заряда неизвестной частицы и его отношение к массе частицы, а также оценить значения ее скорости и энергии в начале и конце пути.

1. По виду трека  $\alpha$ -частицы укажите, как было направлено магнитное поле в камере Вильсона.

2. По виду трека неизвестной частицы с учетом направлений ее скорости и магнитного поля определите знак ее заряда.

3. Скопируйте на кальку треки частиц.

4. Измерьте радиусы первой половины треков  $\alpha$ -частицы и неизвестной частицы. При измерении радиусов необходимо учесть масштаб снимка, указанный на рисунке.

5. Зная структуру  $\alpha$ -частицы, вычислите отношение ее заряда к массе.

6. Вычислите по формуле (3) отношение заряда к массе неизвестной частицы.

7. Укажите, какая из известных вам элементарных частиц имеет аналогичные характеристики.

8. Вычислите скорость и энергию этой частицы в начале ее движения в камере.

9. Измерьте радиус трека частицы в конце ее пути.

10. Вычислите ее скорость на этом отрезке и укажите, как она изменилась за время движения частицы в камере.

11. Обратите внимание на изменение толщины трека и сделайте вывод о связи ионизирующей способности частицы со скоростью ее движения.

**Контрольные вопросы**

1. В чем преимущество применения фотоэмульсии по сравнению с камерой Вильсона и пузырьковой камерой?
2. Какие нейтроны называют тепловыми?
3. Каковы принципы действия камеры Вильсона и пузырьковой камеры?

**Дополнительные задания**

1. Измерьте радиус трека ядра дейтерия (см. рис. 16.4).
2. По структуре ядра дейтерия определите отношение его заряда к массе.
3. Докажите справедливость формулы (3) для треков  $\alpha$ -частицы и ядра дейтерия.
4. Оцените ширину трека дейтерия. Зная структуру его ядра, оцените размер этой частицы, сопоставьте его с шириной трека и сделайте вывод о том, можно ли отождествлять понятия «траектория движения частицы» и «трек частицы».

# Лабораторная работа № 17

## АСТРОНОМИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН, ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ, ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД, ТУМАННОСТЕЙ

**Цель работы:** 1) получить практические навыки оценки фазы солнечной активности, определения положения звезд и созвездий на небосклоне; 2) получить представление о методах исследования поверхности небесных тел с помощью простейших оптических приборов.

### Часть 1

#### Наблюдение солнечных пятен

#### Введение

Солнце — ближайшая к Земле звезда. Видимую поверхность Солнца называют фотосферой. На фотографиях фотосферы, сделанных с помощью специальных телескопов, видно, что она состоит из мельчайших частиц — гранул. Наиболее крупными объектами фотосферы, наблюдать которые можно с помощью простейших приспособлений, являются темные образования, получившие название солнечных пятен, которые кажутся темными благодаря контрасту с более горячими соседними участками фотосферы.

На поверхности фотосферы пятна располагаются неравномерно. Их число и распределение зависят от фазы активности Солнца, период которой составляет примерно 11 лет. Наибольшее количество пятен образуется в годы максимальной активности Солнца, при этом они могут образовываться как в зонах, расположенных вблизи солнечного экватора, так и удаленных от него на 30—40° в ту и другую стороны. В годы минимальной активности пятна появляются в небольшом количестве вблизи экваториальной зоны.



Для характеристики солнечной активности используют число Вольфа  $W$ :

$$W = 10g + f,$$

где  $g$  — число групп пятен;  $f$  — их общее количество.

Группой считают несколько пятен, расположенных на участке поверхности фотосферы протяженностью  $5-7^\circ$  по солнечной широте и  $10-15^\circ$  по солнечной долготе. Кроме того, каждое отдельное пятно также считают группой. Например, если в момент наблюдения на диске видны четыре отдельных пятна и две группы пятен, причем одна включает два пятна, а другая три, то  $f = 4 + 2 + 3 = 7$ ,  $g = 4 + 2 = 6$ , а  $W = 10 \cdot 6 + 7 = 67$ . В годы наибольшей солнечной активности число Вольфа, как правило, значительно превышает значение 100, в годы минимальной активности — не более 10.

Положения пятен относительно солнечного экватора находят по направлению суточных параллелей, вдоль которых они перемещаются. Для построения параллелей положения пятен наносят на один и тот же рисунок с интервалом в несколько дней и всякий раз соединяют линией новое положение каждого пятна с предыдущим. Интервалы наблюдений выбирают, принимая во внимание период обращения Солнца вокруг своей оси: для экваториальных зон фотосферы период составляет около 25 сут. (земных), для полярных — 34 сут.

При наблюдениях Солнца следует учитывать, что это необычайно яркий объект. Его нельзя рассматривать невооруженным глазом и тем более через любой оптический прибор без риска полной потери зрения. Астрономы наблюдают Солнце, используя плотные светофильтры. Не располагая специальными приборами, наблюдать Солнце проще и безопаснее, если спроецировать его изображение на белый экран. Сделать это можно с помощью небольшого телескопа-рефрактора, подзорной трубы, половины бинокля или монокуляра. Одна из возможных конструкций такого устройства показана на рис. 17.1.

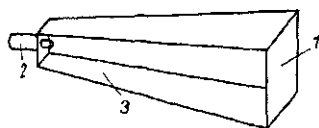


Рис. 17.1

Плотный лист белой бумаги 1, выполняющий роль экрана, крепят за окуляром перпендикулярно оптической оси прибора. Оптический прибор 2 закрепляют в штативе 3 и наводят на Солнце. О том, насколько

точно прибор наведен на Солнце, судят по его тени на экране. Экран перемещают вдоль оптической оси и добиваются нужного размера изображения, резкость которого регулируют окуляром. Для наблюдения солнечных пятен диаметр изображения Солнца должен составлять не менее 10—15 см.

### **Оборудование**

Телескоп-рефрактор (возможна замена на подзорную трубу, теодолит, бинокль или монокуляр):

### **Вопросы для проверки готовности к выполнению работы**

1. Как по распределению солнечных пятен на поверхности фотосферы Солнца оценить фазу его активности?
2. Как определить положение солнечного экватора и широту солнечной параллели пятна?
3. Как определяется число Вольфа?
4. Какие меры предосторожности необходимо соблюдать при проведении наблюдений поверхности Солнца?

### **Ход работы**

1. Используя имеющиеся в вашем распоряжении оптические приборы, изготовьте установку для наблюдения солнечных пятен.

2. Зарисуйте картину солнечных пятен. Зарисовку пятен проводите с учетом соотношения размеров изображений пятна и фотосферы.

3. Подсчитайте общее количество пятен и групп.

4. Определите значение числа Вольфа и укажите ориентировочно фазу солнечной активности.

5. Оцените по рисунку, во сколько раз размер изображения наиболее четко наблюдавшегося пятна меньше изображения диска солнца.

6. Зная линейные размеры поверхности Солнца (определяются по справочнику), сопоставьте размеры солнечного пятна и земного шара.

### Контрольные вопросы

1. Какое значение числа Вольфа было получено в ходе наблюдений?
2. К какой фазе активности можно отнести состояние Солнца в период проведения наблюдений?
3. Можно ли считать, что размеры наблюдавшихся пятен превосходят размеры земного шара?

### Дополнительное задание

Определить период вращения Солнца вокруг его оси, выполнив следующие операции:

1. Проведите наблюдение солнечного диска 3—4 раза с интервалом в 1—2 дня.
2. Каждый раз зарисовывайте положения солнечных пятен. На рисунках указывайте дату и час наблюдения.
3. Сопоставьте сделанные зарисовки и установите ориентацию параллелей, по которым перемещалось каждое пятно.
4. По картине параллелей определите ориентацию солнечного экватора.
5. По сделанным зарисовкам измерьте смещение пятна, находившегося в начале наблюдений в центральной части солнечного диска вблизи экватора.
6. Определите по справочнику радиус Солнца.
7. Зная смещение пятна, время, в течение которого оно произошло, и радиус Солнца, вычислите период обращения Солнца вокруг собственной оси.

## Часть 2

### Наблюдение лунной поверхности

#### Введение

Рассматривая Луну невооруженным глазом, на ее поверхности можно заметить обширные темные участки — моря и светлые участки — материк. Лунные моря, в отличие от земных, лишены воды и по сравнению с материками представляют собой относительно более ровные участки поверхности, покрытые веществом более темного цвета. На границах некоторых морей располагаются протяженные горные хребты, имеющие названия земных горных массивов: Пиренеи, Кавказ, Альпы и др. Еще од-

ной особенностью лунного рельефа являются кольцевые образования — кратеры. В центре некоторых кратеров возвышаются отдельные горки.

Рассматривая поверхность Луны через бинокль, можно различить Океан Бурь и море Дождей (в левой верхней четверти диска), море Ясности и море Спокойствия (в правой верхней четверти диска), море Нектара и море Изобилия (в верхней части правой нижней четверти диска), море Облаков и море Влажности (в левой нижней четверти диска). К северу от моря Ясности находится горная цепь Кавказ, за ней — Альпы, слева от этого моря — горный хребет Апеннины. К кратерам, наиболее доступным для наблюдения с помощью обычных биноклей, следует отнести Кеплер и Коперник (нижняя часть левой верхней четверти диска), Тихо (левая нижняя четверть).

Сравнивая детали лунной поверхности, увиденные в бинокль, с картой Луны, нужно учитывать, что многие карты соответствуют изображению лунной поверхности, наблюдаемой в телескоп, и иметь в виду, что телескопы дают перевернутое изображение.

Рельеф кратера наблюдается особенно отчетливо, когда он находится вблизи границы освещенной и неосвещенной поверхностей (линии терминатора). Поэтому для знакомства с деталями рельефа лунной поверхности наблюдения лучше проводить, когда Луна находится в фазе первой четверти. В этой фазе хорошо просматриваются пики лунных гор, освещенные солнцем, как отдельные светлые точки слева от терминатора.

В полнолуние вся поверхность Луны, обращенная к Земле, полностью освещена, и интенсивность ее освещенности максимальна. В этой фазе удобнее проводить наблюдения с целью получения навыков ориентации среди деталей лунной поверхности, сопоставляя наблюдения с картой поверхности Луны. Следует помнить, что при сильной освещенности некоторые детали лунного рельефа становятся едва различимыми. И наоборот, те детали, для наблюдения которых с Земли требуется максимальная освещенность, видны наилучшим образом (например, лучи, располагающиеся веером вокруг некоторых кратеров).

На протяжении года высоты Солнца и Луны над горизонтом изменяются, поэтому наиболее благоприятные условия наблюдения разных фаз Луны связаны со временем года. Наблюдение Луны сразу после новолуния или непосредственно перед ним

лучше проводить летом. Полнолуние удобнее наблюдать зимой, когда Солнце имеет самую низкую высоту над горизонтом, а Луна — наибольшую. В первой четверти Луну лучше наблюдать весной, а в последней — осенью.

### **Оборудование**

Телескоп-рефрактор (возможна замена на подзорную трубу, бинокль или монокуляр), карта поверхности Луны, штангенциркуль, измерительная лента.

### **Вопросы для проверки готовности к выполнению работы**

1. В чем внешнее отличие лунного моря от других деталей поверхности?
2. В какое время года удобнее наблюдать полнолуние? первую четверть Луны?
3. В какой фазе должна находиться Луна для проведения наблюдений с целью ознакомления с взаимным расположением основных деталей рельефа ее поверхности?

### **Ход работы**

1. Изучите карту поверхности Луны и найдите на ней моря, горные хребты и кратеры, упомянутые во введении ко второй части работы.
2. Изучите особенности настройки оптического прибора, который будет использован для наблюдений. Установите, прямое или перевернутое изображение получают с его помощью.
3. Проведите наблюдение лунной поверхности с помощью оптического прибора.
4. Сделайте рисунок и укажите на нем (с соблюдением масштаба) положения и конфигурации наблюдавшихся морей, гор и кратеров.
5. Сопоставьте изображения на рисунке с изображениями на карте.
6. Проведите наблюдение лунной поверхности невооруженным глазом и укажите, какие из элементов рельефа можно рас-

смотреть. Назовите моря, которые удалось рассмотреть на Луне невооруженным глазом.

7. Оцените линейные размеры Луны. Для этого выполните следующее:

а) с помощью штангенциркуля, удерживаемого в вытянутой руке, измерьте видимый диаметр лунного диска  $d$ ;

б) измерительной лентой измерьте расстояние  $r$  от глаза до ножек штангенциркуля;

в) по справочнику определите среднее расстояние от Земли до Луны  $R$ ;

г) используя соотношение  $\frac{d}{r} = \frac{D}{R}$ , вычислите диаметр Луны  $D$ ;

д) сравните полученное значение диаметра со значением, приведенным в справочнике.

### Контрольные вопросы

1. Выведите соотношение, использованное для определения диаметра Луны.
2. Какие наиболее крупные лунные моря человек с нормальным зрением способен рассмотреть на поверхности Луны невооруженным глазом?

### Дополнительное задание

Зная диаметр Луны, оцените в километрах поперечные размеры тех элементов лунной поверхности, которые расположены в центральной части сделанного вами рисунка.

## Часть 3

### Наблюдение двойных звезд и туманностей

#### Введение

Звезды, располагающиеся на небесной сфере рядом друг с другом и образующие как бы звездные пары, принято называть двойными. Двойные звезды разделяют на оптически двойные и физически двойные.

Оптически двойными называют такие звезды, которые, находясь на огромных расстояниях друг от друга, при взгляде земного наблюдателя видны так, что одна из них как бы выглядывает из-за другой. Естественно, что это лишь кажущаяся близость, возникающая вследствие того, что в пространстве эти звезды и земной наблюдатель находятся практически на одной линии. При значительном удалении наблюдателя от Земли он сможет увидеть их на большом расстоянии друг от друга. Из-за такой удаленности звёзды практически не взаимодействуют. Примером этих звезд являются Мицар и Алькор из созвездия Большой Медведицы.

Физически двойными называют звезды, действительно расположенные в пространстве не далеко друг от друга. Они связаны между собой гравитационным взаимодействием и вращаются вокруг общего центра масс. Чтобы убедиться в том, что звезда действительно является физически двойной, необходимо установить, что ее компоненты движутся относительно общего центра масс. Такие наблюдения могут быть весьма продолжительны по времени.

Если плоскости орбит компонент двойной звезды совпадают с направлением взгляда земного наблюдателя, то ему будет казаться, что обе звезды, вращаясь вокруг общего центра масс, попеременно закрывают одна другую. Из-за этого общая яркость двойной звезды будет периодически изменяться от какого-то минимального до максимального значения. Яркость будет максимальной, когда наблюдателю видны обе составляющие двойной звезды, и минимальна, когда менее яркая звезда закроет собой более яркую.

Двойные звезды, яркость которых периодически изменяется из-за того, что одна звезда закрывает другую, называют затменно-двойными, или затменно-переменными. Примером такой звезды является Алголь из созвездия Персея ( $\beta$  Персея). Ее максимальная яркость соответствует яркости звезды, имеющей звездную величину  $m = 2,3$ , минимальная же сопоставима с яркостью звезды, имеющей  $m = 3,5$ . Период изменения яркости составляет  $\sim 69$  ч.

В табл. 1 приводится перечень двойных звезд, доступных для наблюдения в северном полушарии невооруженным глазом. Здесь же представлены видимые звездные величины их компо-

нент ( $m_1$  и  $m_2$ ), угловое расстояние между компонентами ( $\delta'$ ) в секундах дуги, цвет компонент и тип двойной звезды (оптически двойная — О или физически двойная — Ф).

Таблица 1

Название звезды	$m_1$	$m_2$	$\delta'$	Цвет	Тип
$\gamma$ Андромеды	2,3	5,1	10	Оранжевый, голубой	Ф
$\alpha$ Близнецов	2,0	2,9	36	Белый, голубой	Ф
$\zeta$ Б. Медведицы	2,4	4,0	14	Белый	Ф
$\alpha$ Весов	2,9	5,3	230	Белый, желтый	О
$\epsilon$ Волопаса	2,7	5,1	3	Желтый, зеленый	Ф
$\gamma$ Девы	3,6	3,7	6	Бело-желтый	Ф
$\nu$ Дракона	5,0	5,0	62	Бело-желтый, белый	Ф
$\alpha$ Козерога	3,8	4,5	380	Желтый	О
$\beta$ Лебеда	3,2	5,4	35	Желтый, голубой	Ф
$\delta$ Лиры	4,8	5,5	619	Красный, бело-голубой	О
$\epsilon$ Лиры	4,5	4,7	208	Белый	Ф
$\gamma$ Льва	3,6	3,8	4	Желтый	Ф
$\gamma$ Овна	4,8	4,8	8	Белый	Ф
$\theta$ Ориона	4,9	4,9	135	Белый	Ф
$\mu$ Скорпиона	3,0	3,6	347	Бело-голубой	Ф
$\theta$ Тельца	3,6	4,0	337	Белый, желтый	Ф

Туманности — еще один тип объектов, наблюдаемых на звездном небе. Они выглядят как светлые пятна неясных очертаний и наблюдаются в различных созвездиях неизменно на одних и тех же местах. По мере развития техники астрономических наблюдений было установлено, что часть этих объектов представляет собой скопления большого числа звезд. Другая часть является облаками газа и пыли, и такие туманности называют газопылевыми. Некоторые из них излучают свет, возникающий в силу протекающих в них физических процессов, некоторые светятся отраженным светом. Имеются и темные газопылевые туманности.

Наиболее известное звездное скопление — Млечный Путь. Он широкой светящейся полосой охватывает значительную часть большого круга небесной сферы. Этот объект легко наблю-



дается невооруженным глазом в любое время года. Однако его наиболее яркие участки с большим числом звезд лучше наблюдать летом в южной части небосклона в созвездии Стрельца. Несколько менее яркие скопления звезд можно видеть в созвездиях Кассиопеи, Лебеда и Персея. Звездные скопления Млечного Пути образуют гигантскую звездную систему — Галактику, к которой относится и наше Солнце. Однако это не единственная галактика, которую можно рассмотреть невооруженным глазом. В созвездии Андромеды видна ближайшая к нам спиральная галактика — Туманность Андромеды. В южном полушарии в виде двух светящихся пятен видны две соседние галактики — Магеллановы Облака. Вид светящихся туманных пятен имеют и звездные скопления значительно меньших размеров. Например, поздней осенью и зимой в созвездии Тельца можно наблюдать скопление звезд, именуемое Плеядами (иногда — Стожарами).

Наиболее известная светящаяся газовая туманность находится в созвездии Ориона. Ее нетрудно рассмотреть безлунной ночью в нижней зоне этого созвездия между тремя звездами, образующими пояс Ориона, и двумя нижними яркими звездами этого созвездия.

Туманности, не излучающие свет, можно увидеть только на фоне более удаленных светящихся туманностей. Такую темную туманность можно увидеть, например, в созвездии Орла, где Млечный Путь как бы разделяется темным веществом на две части. Другим примером является известная туманность Конская голова, наблюдаемая в созвездии Ориона.

При организации наблюдений двойных звезд и туманностей следует учитывать, что большинство этих объектов имеют невысокую яркость и наиболее четко видны лишь в темные безлунные ночи. Место наблюдения выбирают на возвышенности так, чтобы линия горизонта была возможно более открытой. Кроме того, рядом не должно быть ярких посторонних источников света (уличных фонарей, витрин, освещенных окон домов, света фар автомобилей).

Для поиска созвездий на небосклоне удобно пользоваться подвижной картой звездного неба. Карта представляет собой проекцию северной части и смежных с ней южных областей небесной сферы на плоскость небесного экватора. В центре карты находится северный полюс мира (рядом со звездой  $\alpha$  Малой Медведицы). Для большей наглядности на карту нанесены лишь основные со-

звездия, состоящие из достаточно ярких звезд, хорошо наблюдаемых невооруженным глазом. Кроме того, на карту нанесена сетка экваториальных координат. На краю карты имеется лимб, где указаны названия месяцев года и календарные числа.

С помощью накладного круга, прилагаемого к карте, можно установить вид звездного неба в момент проведения наблюдения. Для этого в круге должен быть вырезан овал, соответствующий той широте местности, где находится наблюдатель. По периметру круга также нанесен лимб, на котором с интервалом в 1 ч указано суточное время. Цена деления лимба составляет 10 мин. Пользоваться картой станет удобнее, если на накладной круг наклеить нить, соединяющую точки севера и юга. Эта нить будет указывать положение небесного меридиана, а ее середина укажет положение точки зенита.

Чтобы установить вид звездного неба в определенный день и час, круг накладывают на карту так, чтобы оба лимба совместились и штрих, отмеченный цифрой предполагаемого времени наблюдения, совпал со штрихом предполагаемой даты наблюдения. Необходимо также, чтобы накладной круг располагался симметрично относительно карты, а небесный меридиан проходил через северный полюс мира.

## Оборудование

Телескоп-рефрактор (возможна замена на подзорную трубу, теодолит, бинокль или монокуляр); подвижная карта звездного неба.

### Вопросы и задания для проверки готовности к выполнению работы

1. С помощью подвижной карты звездного неба укажите, какие из двойных звезд, перечисленных в табл. 1, удобнее наблюдать в зимние месяцы.
2. По подвижной карте звездного неба определите, в какое время года в вашей местности удобнее наблюдать созвездия Ориона, Андромеды, Большой Медведицы.
3. Как по Полярной звезде определить стороны горизонта?

## Ход работы

### 1. Наблюдение оптически двойной звезды:

- 1) отыщите на небосклоне созвездие Большой Медведицы;
- 2) найдите в нем звезду Мицар (вторая слева в ручке ковша);
- 3) проверьте остроту своего зрения, наблюдая рядом с Мицаром звезду Алькор (люди с нормальным зрением без труда находят Алькор, мысленно сопоставив с Мицаром центр циферблата стрелочных часов. Направление на Алькор соответствует направлению на цифру 11 циферблата);
- 4) при наличии оптического прибора с большим увеличением убедитесь, что Мицар является также двойной звездой.

### 2. Наблюдение затменно-двойной звезды Алголя:

- 1) найдите на карте звездного неба созвездие Персея и звезду этого созвездия, обозначенную буквой  $\beta$  (собственное имя этой звезды — Алголь);
- 2) заметьте расположение созвездия относительно других созвездий с яркими звездами, которые могут, по вашему мнению, служить ориентирами при определении положения Персея на звездном небе;
- 3) обратите внимание на то, в каком месте созвездия находится Алголь;
- 4) отметьте угловое расстояние созвездия от точек зенита и северного полюса мира (Полярной звезды), а также расположение этого созвездия относительно сторон горизонта в предполагаемый момент наблюдения;
- 5) наблюдение начните с того, что отыщите на небе Полярную звезду и определите положение сторон горизонта;
- 6) отыщите среди звезд созвездие Персея и звезду Алголь;
- 7) обратите внимание на яркость Алголя в момент проведения первого наблюдения, сопоставьте ее яркость с яркостью соседних звезд;
- 8) повторяйте наблюдения каждую ночь на протяжении нескольких суток;
- 9) сделайте вывод о зависимости яркости Алголя от времени.

### 3. Наблюдение физически двойных звезд с неизменной яркостью:

- 1) по таблице двойных звезд, приведенной во введении, укажите те, которые наиболее удобны для наблюдения в то время года, когда планируется его проведение;

2) найдите на карте звездного неба те созвездия, в состав которых входят выбранные звезды;

3) научитесь отыскивать на звездном небе данные созвездия и звезды;

4) подготовьте для работы подзорную трубу или другой пригодный для наблюдений оптический прибор из имеющихся в вашем распоряжении;

5) рассмотрите в подзорную трубу выбранные звезды и убедитесь в существовании двух (или более) их компонент;

6) обратитесь вниманием на цвета компонент двойной звезды;

7) оцените температуру компонент двойной звезды, учитывая, что красный цвет звезды соответствует температуре 3000—4000 К, а голубой 20 000—30 000 К.

#### **4. Наблюдение туманностей:**

1) рассмотрите Млечный Путь и определите, каким созвездиям принадлежат его наиболее яркие участки;

2) найдите на карте звездного неба положение туманности Андромеды в одноименном созвездии. Отыщите эту туманность на звездном небе;

3) найдите созвездие Тельца и находящееся в нем скопление звезд, именуемое Плеядами. Укажите число звезд этого скопления, видимых невооруженным глазом;

4) найдите на звездном небе созвездие Ориона и отыщите в нем Большую туманность Ориона;

5) найдите на карте звездного неба, а затем и на небосклоне созвездие Орла. Рассмотрите Млечный Путь вблизи этого созвездия и убедитесь в существовании темной туманности, разделяющей Млечный Путь в созвездии Орла на два участка.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какова причина некоторого несоответствия видимой на небесной сфере конфигурации и размеров созвездия с его формой и размерами на карте звездного неба?
2. По какой причине возможно не удастся зарегистрировать момент резкого ослабления яркости Алголя при наблюдении за ним в течение нескольких ночей, если наблюдение проводить короткое время и повторять через сутки.
3. Какая фаза Луны наиболее благоприятна для наблюдения двойных звезд и туманностей?

## Приложение

Таблица III. Основные сведения об измерительных приборах, используемых при выполнении работ лабораторного практикума

Название прибора	Назначение	Предел измерения	Цена деления шкалы <sup>1)</sup>	Предельная абсолютная погрешность ( $\Delta_{пр}$ )
Амперметр лабораторный АЛ-2,5	Измерение силы постоянного тока	0—2 А	0,1 А	0,05 А
Вольтметр лабораторный ВЛ-2,5	Измерение постоянного напряжения	0—6 В	0,2 В	0,15 В
Весы с разновесами	Измерение массы	10 мг — 200 г	См. примечание <sup>2)</sup>	См. примечание <sup>3)</sup>
Лента измерительная	Измерение длины	0—150 см	1 мм	5 мм
Линейка ученическая	Измерение длины	0—30 см	1 мм	1 мм
Секундомер	Измерение времени	0—30 мин	0,2 с	0,1 с
Барометр-анероид БР-52	Измерение атмосферного давления	96—104 кПа	0,1 кПа	0,4 кПа
Мультиметр цифровой М-830	Измерение силы постоянного тока	0—200 мкА; 0—2 мА; 0—20 мА; 0—200 мА; 0—10 А	0,1 мкА; 1 мкА; 10 мкА; 100 мкА; 10 мА	1 % + 2 ед. (см. <sup>4)</sup> ) 1 % + 2 ед. 1 % + 2 ед. 2 % + 2 ед.
Мультиметр цифровой М-830	Измерение постоянного напряжения	0—200 мВ; 0—2 В; 0—20 В; 0—200 В; 0—1000 В	100 мкВ; 1 мВ; 10 мВ; 100 мВ; 1 В	0,25 % + 2 ед. 0,5 % + 2 ед. 0,5 % + 2 ед. 0,5 % + 2 ед. 0,5 % + 2 ед.

Продолжение таблицы П1

Название прибора	Назначение	Предел измерения	Цена деления шкалы <sup>1)</sup>	Предельная абсолютная погрешность ( $\Delta_{пр}$ )
Мультиметр цифровой М-830	Измерение переменного напряжения	0—200 В; 0—750 В	100 мВ; 1 В	1,2 % + 10 ед. 1,2 % + 10 ед.
	Измерение сопротивления	0—200 Ом; 0—2000 Ом; 0—20 кОм; 0—200 кОм; 0—2 МОм	100 мОм; 1 Ом; 10 Ом; 100 Ом; 1 кОм	0,8 % + 2 ед. 0,8 % + 2 ед. 0,8 % + 2 ед. 0,8 % + 2 ед. 1 % + 2 ед.
Термометр ТС-4М	Измерение температуры	0—100 °С	1 °С	1 °С
Миллиамперметр лабораторный МА-2,5	Измерение силы постоянного тока	0—5 мА	1 мА	0,125 мА

1) Для цифрового мультиметра дискретность отсчета.

2) Дискретность измерения массы определяется массой наименьшей гири, входящей в комплект гирь, используемого при взвешивании.

3) Граница погрешности весов как измерительного прибора определяется суммой погрешностей самих весов и всех гирь, установленных на чашку при взвешивании:  $\Delta_{пр} = \Delta_{весов} + \Delta_{установленных\ гирь}$ . Погрешность весов зависит от нагрузки. Вид этой зависимости показан на рис. 1.

4) Процент берут от верхнего предела измерения данного диапазона. Число, которое к нему прибавляют, означает число единиц младшего разряда цифры, высвечиваемой на индикаторе мультиметра. Например, для измерения постоянного напряжения был выбран диапазон с пределами 0—20 В. На индикаторе появилась цифра 14,22. Предельная абсолютная погрешность мультиметра равна  $0,1 В + 0,02 В = 0,12 В$ . Первое слагаемое 0,1 В составляет 0,5 % от 20 В (верхнего предела), второе определилось из того, что в цифре 14,22 единицами младшего разряда являются сотые. В соответствии с таблицей для данного диапазона необходимо взять две единицы, т. е. 0,02 В.

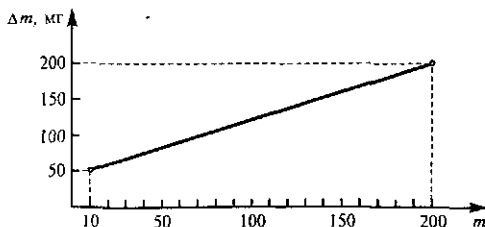


Рис. 1

Таблица П2. Состав и границы погрешностей гирь наиболее распространенного набора Г4-211

Масса гири $m_i$	Граница погрешности $\Delta m_i$
10 мг, 20 мг, 50 мг, 100 мг	$\pm 1$ мг
200 мг	$\pm 2$ мг
500 мг	$\pm 3$ мг
1 г	$\pm 4$ мг
5 г	$\pm 8$ мг
10 г	$\pm 12$ мг
20 г	$\pm 20$ мг
50 г	$\pm 30$ мг
100 г	$\pm 40$ мг

*Примечание.* За погрешность отсчета принимают половину массы наименьшей гири, которая выводит уравновешенные весы из равновесия.

# Содержание

Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	5
Лабораторная работа № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОБАРНОГО ПРОЦЕССА . . . . .	11
Лабораторная работа № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА . . . . .	15
Лабораторная работа № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ . . . . .	21
Лабораторная работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ КОНДЕНСАТОРА . . . . .	25
Лабораторная работа № 5. ИЗМЕРЕНИЕ ЭДС И ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ТОКА . . . . .	31
Лабораторная работа № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МОЩНОСТИ, ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ЛАМПОЙ НАКАЛИВАНИЯ, ОТ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЕЕ ЗАЖИМАХ . . . . .	34
Лабораторная работа № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВ . . . . .	39
Лабораторная работа № 8. ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ . . . . .	44
Лабораторная работа № 9. УСТРОЙСТВО И РАБОТА ТРАНСФОРМАТОРА . . . . .	51
Лабораторная работа № 10. СБОРКА И НАСТРОЙКА ПРОСТЕЙШЕГО РАДИОПРИЕМНИКА . . . . .	55
Лабораторная работа № 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВА . . . . .	60
Лабораторная работа № 12. НАБЛЮДЕНИЕ ЯВЛЕНИЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ И ДИФРАКЦИИ СВЕТА . . . . .	65
Лабораторная работа № 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ . . . . .	70
Лабораторная работа № 14. ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ФОТОЭФФЕКТА . . . . .	75
Лабораторная работа № 15. НАБЛЮДЕНИЕ СПЛОШНОГО И ЛИНЕЙЧАТОГО СПЕКТРОВ . . . . .	82
Лабораторная работа № 16. ИЗУЧЕНИЕ ТРЕКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПО ФОТОГРАФИЯМ . . . . .	88
Лабораторная работа № 17. АСТРОНОМИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН, ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ, ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД, ТУМАННОСТЕЙ . . . . .	95
Приложение.	
Таблица П1. Основные сведения об измерительных приборах, используемых при выполнении работ лабораторного практикума . . . . .	108
Таблица П2. Состав и границы погрешностей гирь наиболее распространенного набора Г4-211 . . . . .	110



**Степанов Сергей Васильевич,  
Смирнов Сергей Александрович**

**Лабораторный практикум  
по физике**

Редактор *Е. С. Гридасова*  
Корректор *В. Г. Овсянникова*  
Компьютерная верстка *И. В. Кондратьевой*

Слано в набор 31.12.2002. Подписано в печать 25.01.2003. Формат 60х90/16.  
Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 7. Уч.-изд. л. 7,69. Печать офсетная.  
Бумага типографская № 2. Тираж 6000 экз.  
Заказ № 6968

ЛР № 071629 от 20.04.98  
Издательский Дом «ФОРУМ»  
101831, Москва — Центр, Колпачный пер., д. 9а  
Тел./факс: (095) 925-32-07  
E-mail: forum-books@mail.ru

ЛР № 070824 от 21.01.93  
Издательский Дом «ИНФРА-М»  
127214, Москва, Дмитровское ш., 107  
Тел.: (095) 485-70-18; 485-74-00  
Факс: (095) 485-53-18. Робофакс: (095) 485-54-44  
E-mail: books@infra-ml.ru  
Http://www.infra-m.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством  
предоставленных диапозитивов в Тульской типографии.  
300600, г. Тула, пр. Ленина, 109.

ISEN 5-8199-0065-0



9 785819 900659