МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М.АУЭЗОВА

Кафедра «Физика для технических специальностей»

Пономаренко Е.В.

Методические указания по проведению лабораторных занятий по дисциплине «Физика» для студентов специальностей 5В073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды, 5В071200 – Машиностроение, 5В072400 – Технологические машины и оборудование (по отраслям)

Шымкент – 2017 г.

УДК 378.6:53

Составитель: Пономаренко Е.В. Методические указания по проведению лабораторных занятий по дисциплине «Физика» для студентов специальностей 5В073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды, 5В071200 – Машиностроение, 5В072400 – Технологические машины и оборудование (по отраслям). – Шымкент: ЮКГУ им. М.Ауэзова, 2017. – 64 с.

Методические указания по проведению лабораторных занятий составлены в соответствии с требованиями учебного плана и программой дисциплины «Физика» и включают все необходимые сведения по выполнению лабораторных работ курса.

Методические указания по проведению лабораторных занятий составлены в полном соответствии типовой, рабочей программе дисциплины, силлабусу, календарно-тематическим планам лабораторных занятий и содержат: введение; типовую инструкцию по технике безопасности; правила оформления, защиты и оценки лабораторных работ; цель, задачи, описание всех лабораторных работ; контрольные вопросы; список литературы.

Методические указания по проведению лабораторных занятий предназначены для студентов специальностей 5В073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды, 5В071200 – Машиностроение, 5В072400 – Технологические машины и оборудование (по отраслям).

Рецензент: Ортаева К. – к.п.н., ст.преп. кафедры «Физика для технических специальностей» ЮКГУ им. М.Ауэзова

Рассмотрено и рекомендовано к печати заседанием кафедры
«Физика для технических специальностей»
(протокол № ____ от «_____»_____2017 г.) и
методической комиссией факультета «Строительство и транспорт»
(протокол № ____ от «_____»_____2017 г.) и

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом
ЮКГУ им. М.Ауэзова, протокол № ____ от «_____»_____2017 г.

© Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауэзова, 2017 г.

Ответственный за выпуск: Пономаренко Е.В.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ 3
ВВЕДЕНИЕ 4
ТИПОВАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ 6
ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ 7
МОДУЛЬ 1 МЕХАНИКА, МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА, ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ 9
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ 9
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА МАЯТНИКЕ ОБЕРБЕКА 20
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА 28
МОДУЛЬ 2.ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ, ОПТИКА, КВАНТОВАЯ И АТОМНАЯ ФИЗИКА 35
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ДИФРАКЦИЕЙ 35
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ИЗУЧЕНИЕ ДИСПЕРСИИ СВЕТА 43
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА 48

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные занятия являются важным видом учебной работы студентов по дисциплине «Физика» и выполняются в пределах часов, предусмотренных типовой программой. Описание каждой лабораторной работы включает: цели и задачи; содержание; оборудование, технические и инструментальные средства; порядок выполнения; контрольные вопросы; список литературы.

Общие цели и задачи лабораторных занятий – углубление и расширение знаний в процессе выполнения конкретных практических задач, развитие инициативы и самостоятельности студентов, приобретение умений анализировать полученные экспериментальные результаты и навыков использования технических средств, эксплуатации оборудования, конструкций.

В содержании указаны тематика лабораторного занятия согласно рабочей программе, краткие теоретические сведения, поясняющие сущность работы, достаточные для ее выполнения, методические рекомендации студентам по подготовке к занятию.

Оборудование, технические и инструментальные средства содержат перечень необходимого оборудования, технические и инструментальные средства либо компьютерные программы, используемые при проведении занятия.

Порядок выполнения работы включает в себя изложение общих правил и последовательность проведения занятия, формулировку темы занятия, проверку готовности студентов к занятию, анализ результатов выполнения работы и рекомендации к формированию выводов. Работы выполняются в соответствии с календарно-тематическим планом.

Контрольные вопросы предназначены для самоконтроля знаний и умений, полученных в результате выполнения работы. Формулируются задачи, вопросы (или указываются источники) с градацией по уровням сложности с указанием весомости каждого задания. В соответствии с модульно-рейтинговой системой и графиком выполнения и сдачи заданий результаты работы каждого студента оцениваются по 100-бальной шкале.

В списке литературы указываются учебно-информационные источники и другие материалы, которые могут быть использованы при подготовке и проведении занятия.

ТИПОВАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

- Не приступайте к работе в верхней одежде.
- Не приступайте к работе без разрешения преподавателя. Приступать к занятиям, только получив предварительно допуск к работе.
- Размещайте приборы, материалы, оборудование на своем рабочем месте так, чтобы исключить их падение или опрокидывание.
- Перед выполнением работы внимательно изучите ее содержание и последовательность действий.
- Не допускайте во время опытов предельных нагрузок измерительных приборов.
- Следите за исправностью механизмов. Не прикасайтесь и не наклоняйтесь к вращающимся частям установок.
- При сборке электрических цепей используйте провода с прочной изоляцией.
- Подключайте электропитание в последнюю очередь, после проверки правильности собранной схемы.
- Не прикасайтесь к корпусу стационарного электрооборудования и к зажимам даже отключенных конденсаторов.
- Пользуйтесь электроинструментами с изолирующими ручками.
- По окончании работы отключите источник питания, затем разберите цепь.
- Обнаружив неисправность в электрическом устройстве, находящемся под напряжением, немедленно отключите источник электропитания и сообщите о неисправности преподавателю или лаборанту.
- В лаборатории нужно поддерживать порядок и чистоту. После выполнения работы приведите рабочее место в порядок.
- Помнить о том, что студенты несут ответственность за используемые принадлежности и препараты.
- Перед уходом из лаборатории проверить, отключены ли штепсельные вилки.

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Чтобы приступить к выполнению лабораторной работы, предварительно нужно получить у преподавателя допуск, для чего необходимо:

1. Внимательно прочитать методические указания к работе.
2. Изучить теоретический материал, необходимый для усвоения знаний по работе. При необходимости изучить дополнительную литературу.
3. На листах формата А-4 аккуратно написать: цель и задачи работы; содержание; оборудование, технические и инструментальные средства; порядок выполнения работы; таблицу для записи результатов измерения; формулы для расчетов.
4. При подготовке к занятию ознакомиться с лабораторной установкой, выяснить для себя, что и как измерять.
5. Во время аудиторного лабораторного занятия получить допуск к работе у преподавателя.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Титульный лист: Министерство образования и науки РК, ЮКГУ им. М.Ауэзова, кафедра «Физика для технических специальностей», название и номер лабораторной работы, ФИО студента, группа, ФИО преподавателя, город, год.
2. Начиная со второго листа, аккуратно, без ошибок, пишутся: цель и задачи работы; содержание; оборудование, технические и инструментальные средства; порядок выполнения работы; таблица с результатами измерения; формулы; расчеты; контрольные вопросы и ответы на них.
3. Ксерокс, сканирование текста, распечатка методических указаний не допускаются.
4. Если в работе нужно строить графики, то их необходимо чертить на миллиметровой бумаге.

ЗАЩИТА И ОЦЕНКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Чтобы защитить выполненную лабораторную работу, нужно представить преподавателю письменный и устный отчет по работе. Максимальный балл за лабораторную работу выставляется студенту, если:

1. Студент выполнил работу в полном объеме.
2. Студент знает название, цель и задачи, содержание, порядок выполнения работы.
3. Студент знает оборудование, технические и инструментальные средства, используемые в работе, а также на лабораторной установке может показать, как он выполнял работу, что и как измерял.
4. Студент может написать и объяснить используемые в работе формулы и прокомментировать свои расчеты.
5. Студент дает полные и правильные ответы на контрольные вопросы.

Минимальный балл за лабораторную работу выставляется студенту, если он выполнил работу в полном объеме, правильно ее оформил, но во время защиты предоставил только письменный отчет.

МОДУЛЬ 1 МЕХАНИКА, МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА, ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Цели и задачи: ознакомление с методикой определения погрешности косвенных измерений физических величин.

Содержание работы:

Если в процессе многократных измерений прибор дает одни и же показания, то повторения измерений теряет смысл – достаточно провести его один раз. Это получается в том случае, когда абсолютная погрешность рабочего измерительного прибора будет больше, чем остаточные погрешности отдельных измерений. Предельная абсолютная погрешность либо указана в техническом паспорте измерительного прибора, либо определяется половиной цены наименьшего деления его шкалы.

Если, например, при измерении стороны куба штангенциркулем было получено значение $\ell = 12{,}5$ мм, а цена деления штангенциркуля $\Delta\ell = 0{,}1$ мм, то предельная абсолютная погрешность измерения равна относительной погрешности штангенциркуля:

$$\frac{\Delta a}{a}\cdot 100\% = \frac{\Delta\ell}{\ell}\cdot 100\% = \frac{0{,}1}{12{,}5}\cdot 100\% = 0{,}8\% \quad (1)$$

Результат измерения следует записать так:

$$\ell = (12{,}5 \pm 0{,}1)\ \text{мм} \quad (2)$$

Часто дают значение разных величин, измеренных заранее: число π, физические постоянные, табличные данные. В таких случаях абсолютную погрешность принимают равной ее предельной величине, т.е. равной половине единицы наименьшего разряда, представленного в числе. Например, если масса тела равна 636,4 г, то абсолютная ошибка равна половине последнего разрядного числа 0,05 г. Тогда результат измерения массы надо записывать так: m = (636,4 ±0,05) г. Для числа π абсолютная погрешность равна 0,005.

В общем случае искомая величина является функцией одной или нескольких величин. Например, электрический ток в проводнике является

функцией разности потенциалов на концах проводника и его сопротивления. Поэтому для определения силы тока необходимо провести ряд прямых измерений – напряжения и сопротивления, а затем уже вычислить искомую величину. В таком случае говорят о косвенных измерениях.

Пусть искомая величина A есть функция измеряемой величины χ:

$$A=f(\chi) \quad (3)$$

Абсолютная ошибка измеренной величины A приводит к появлению ошибки $\Delta A: A \pm \Delta A = f(x \pm \Delta x)$.

Разложение правой части в ряд Тейлора дает:

$$f(x \pm \Delta x) = f(x) \pm \frac{1}{1!}\frac{df}{dx} \cdot \Delta x \pm \ldots \qquad (4)$$

Ограничимся двумя членами этого ряда, так как остальные члены являются бесконечно малыми высшего порядка. Тогда:

$$A \pm \Delta A = f(x) \pm \frac{df}{dx} \cdot \Delta x \qquad (5)$$

Согласно (3), имеем:

$$\Delta A = f'(x)\Delta x \qquad (6)$$

То есть абсолютная ошибка функцией равна произведению производной этой функции на абсолютную ошибку аргумента.

Пусть искомая величина A зависит от *n* переменных:

$$A = f(x_1, x_2, \ldots, x_n) \qquad (7)$$

Тогда дифференциал функции многих переменных можно представить в виде:

$$dA = \frac{\partial f}{\partial x_1} dx_1 + ... \frac{\partial f}{dx_n} dx_n = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial f}{\partial x_i} dx_i \quad (8)$$

где $\partial f / \partial x_i$ - частные производные, при вычислении которых все аргументы, кроме x_i, считаются постоянными, а по величине x_i дифференцирование производится так же, как для функции одной переменной.

Вместо абсолютной погрешности часто бывает удобно вычислить относительную погрешность.

Относительная погрешность может быть представлена в виде:

$$\varepsilon = \frac{dA}{A} = \frac{f'(x)}{f(x)} dx = d\left|\ln f(x)\right| \quad (9)$$

Когда функция $f(\chi)$ имеет одночленную (логарифмическую) форму, то и вывод формул, и расчеты по ним оказываются проще, если использовать правило (9). Выражение (8) можно использовать для нахождения ошибки, если заменить знак дифференциала, на знак ошибки:

$$\Delta A = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 \Delta x_1^2 + ... + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 \Delta x_n^2} \quad (10)$$

Или

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_1} \cdot \Delta x_1\right)^2 + ... + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_n} \cdot \Delta x_n\right)^2} \quad (11)$$

Общий результат записывают в виде:

$$A = \overline{A} \pm \Delta \overline{A} \quad (12)$$

Таким образом, для определения погрешности результатов косвенных измерений необходимо: прологарифмировать расчетную формулу; взять

полный дифференциал от обеих частей равенства; заменить знак d на знак Δ, все знаки минус - на знак плюс; по формуле (11) найти относительную ошибку; зная ε, определить абсолютную ошибку: $\Delta\overline{A} = \overline{A} \cdot \varepsilon$ (13); результат записать в форме (12).

Абсолютную погрешность результата следует округлять до одной значащей цифры, а результат измерений округлить до того порядка, в котором начинается погрешность.

В качестве примера рассмотрим вычисление объема шара. Объем равен:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 \quad (14)$$

где R - радиус шара, который непосредственно измеряется. Объем шара есть величина, измеряемая косвенно.

Пусть радиус измеряется с помощью штангенциркуля, цена деления которого равна 0,1 мм, и результат непосредственного измерения с учетом погрешности имеет следующее значение:

$$R = (22{,}2 \pm 0{,}1)\ \text{мм} \qquad (15)$$

Рассчитаем объем шара по формуле (14) - он равен 45806,5 мм^3. Далее рассчитываем погрешность ΔV по формуле:

$$\frac{\Delta V}{V} = \sqrt{\left(\frac{\Delta\pi}{\pi}\right)^2 + \left(3 \cdot \frac{\Delta R}{R}\right)^2} \quad (16)$$

Что касается погрешности $\Delta\pi$, то она может быть сделана сколько угодно малой, если взять π с достаточным количеством знаков. Тогда ими можно пренебречь. Окончательно:

$$\frac{\Delta V}{V} = \sqrt{\left(3 \cdot \frac{0{,}1}{22{,}2}\right)^2} = 0{,}0135 \quad (17)$$

и $\Delta V = 618\,\text{мм}^3$, $V = 45807\,\text{мм}^3$. Абсолютную погрешность результата обязательно следует округлить до одной значащей цифры, а результат измерений (в рассматриваемом примере V) округлить до того порядка, в котором начинается погрешность. В данном случае следует округлить до сотен.

В итоге результат измерения объема шара запишем так:

$$V = (45800 \pm 600)мм^3 = (4.58 \pm 0.06)10^4\,мм^3$$

Оборудование: линейка, штангенциркуль, микрометр, весы с разновесками, прямоугольный параллелепипед, цилиндр, шар.

Порядок выполнения работы:

1. Определить массу тела (параллелепипед, цилиндр, шар).
2. Измерить линейные размеры этих тел с помощью штангенциркуля.

Примечание

Штангенциркуль - универсальный инструмент, предназначенный для высокоточных измерений наружных и внутренних размеров, а также глубин отверстий. Это один из самых распространенных инструментов измерения, благодаря простой конструкции, удобству в обращении и быстроте в работе.

Устройство

Штангенциркуль (рис.1) имеет измерительную штангу с основной шкалой и нониус.

Нониус – это вспомогательная шкала, служащая для более точного определения количества долей делений. Принцип работы нониуса основан на том факте, что глаз лучше замечает совпадение делений, чем относительное расположение одного деления между другими. Нониус обычно имеет 10 делений, как и основная шкала, а по длине равен только 9 её делениям.

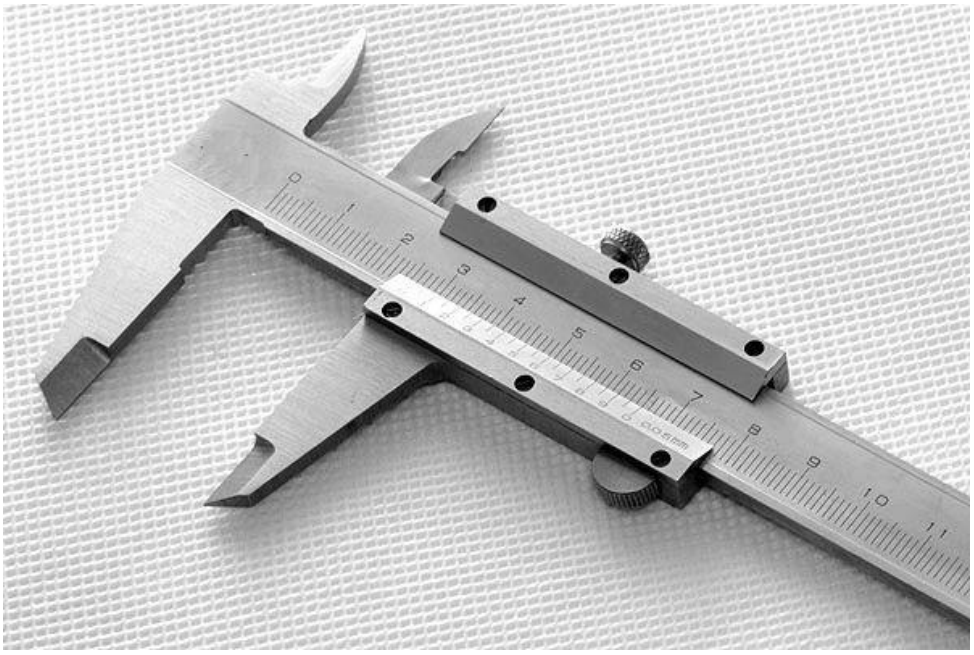


Рис.1 – Штангенциркуль (общий вид)

Точность измерения штангенциркулем составляет десятые или сотые доли миллиметра, в зависимости от модели прибора.

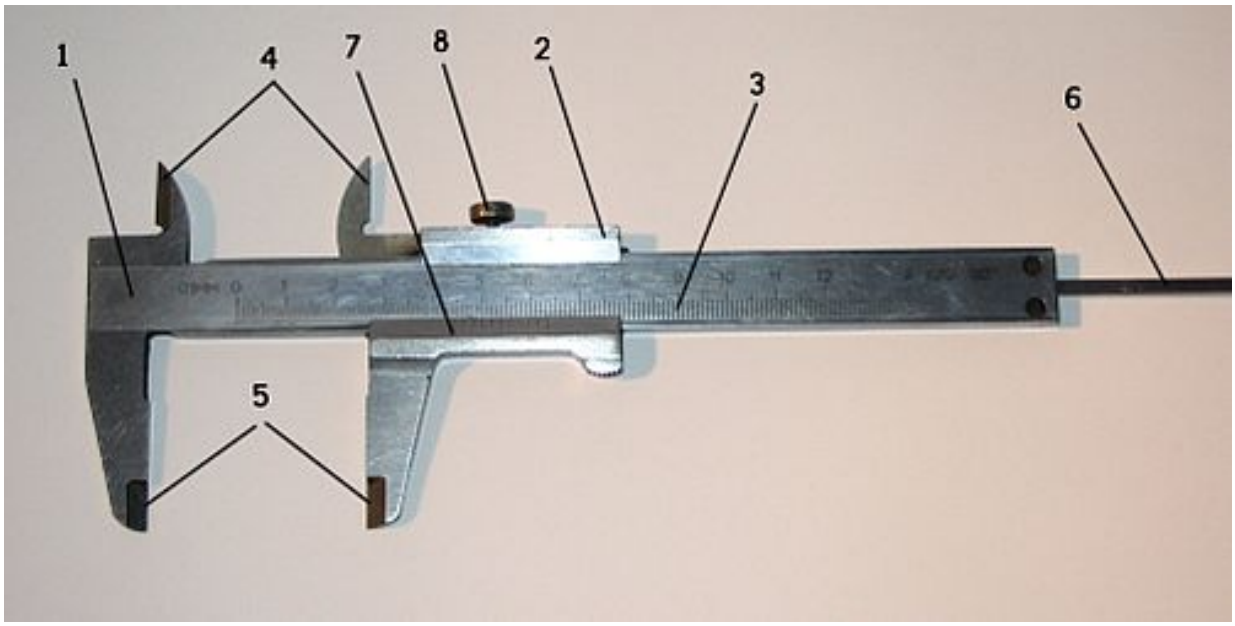


Рис.2 – Строение штангенциркуля

На рисунке 2 изображено строение штангенциркуля:

1. штанга
2. подвижная рамка
3. шкала штанги
4. губки для внутренних измерений

5. губки для наружных измерений
6. линейка глубиномера
7. нониус
8. винт для зажима рамки

Порядок отсчёта показаний штангенциркуля:

1. определяют число целых миллиметров, для этого находят на шкале штанги штрих, ближайший слева к нулевому штриху нониуса, и запоминают его числовое значение;
2. определяют доли миллиметра, для этого на шкале нониуса находят штрих, ближайший к нулевому делению и совпадающий со штрихом шкалы штанги, и умножают его порядковый номер на цену деления (на рисунке - 0,1 мм) нониуса.
3. подсчитывают полную величину показания штангенциркуля, для этого складывают число целых миллиметров и долей миллиметра.

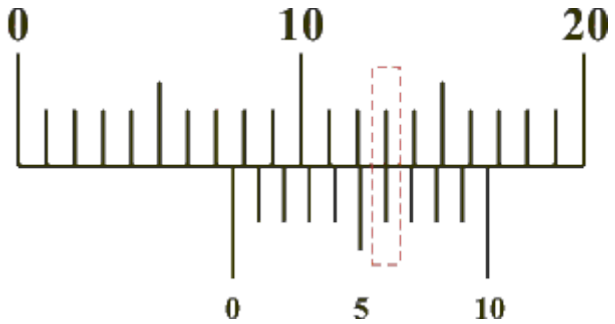


Рис.3 - Отсчет по шкале штангенциркуля

На рисунке 3 нониус (нижняя шкала) показывает 7 целых 6 десятых деления основной (верхней) шкалы. Целая часть обычно определяется по показаниям нулевого деления нониуса, а дробная часть определяется по номеру того деления нониуса, которое точно совпадает с делением основной шкалы (обведено красным пунктиром).

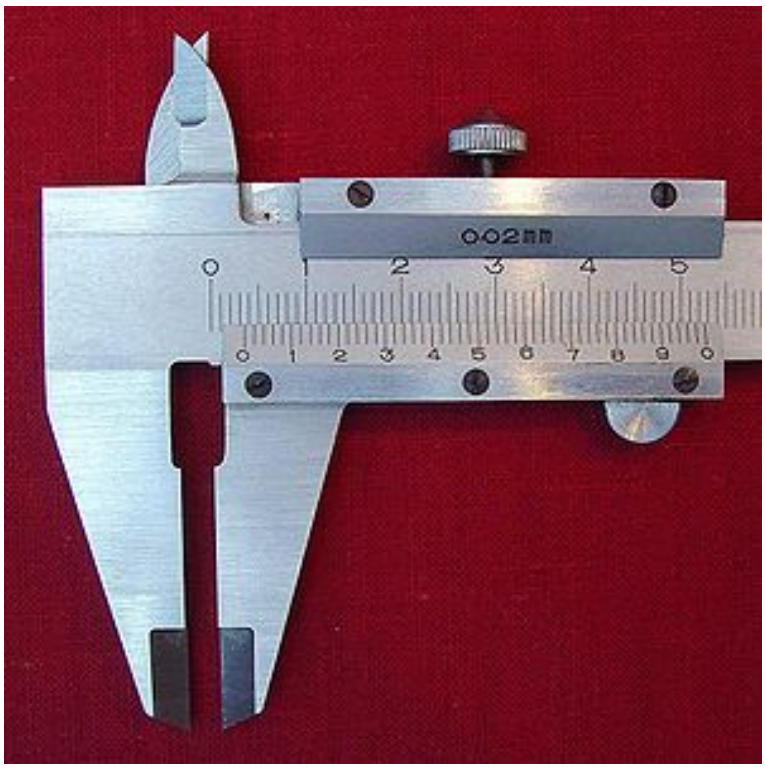


Рис.4 - Нониус штангенциркуля

На рисунке 4 представлен нониус штангенциркуля с точностью 0,02 мм.

3. Определить абсолютную погрешность измерения линейных размеров.
4. Определить плотность вещества, из которого состоят тела:

а) для параллелепипеда

$$\rho = \frac{m}{hb\ell} \qquad (18)$$

где m - масса , h - высота, b - ширина, l - длина параллелепипеда;

б) для цилиндра

$$\rho = \frac{m}{\pi R^2 h} \qquad (19)$$

где m - масса, R - радиус основания, h - высота цилиндра;

в) для шара

$$\rho = \frac{3}{4} \cdot \frac{m}{\pi R^3} \qquad (20)$$

где m - масса, R - радиус шара.

4. Вычислить абсолютные погрешности измерения плотности:

а) для параллелепипеда:

$$\Delta\rho = \rho\sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2} \qquad (21)$$

б) для цилиндра*:

$$\Delta\rho = \rho\sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \pi}{\pi}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta R}{R}\right)^2} \qquad (22)$$

в) для шара*:

$$\Delta\rho = \rho\sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \pi}{\pi}\right)^2 + \left(3\cdot\frac{\Delta R}{R}\right)^2} \qquad (23)$$

*<u>*Примечание*</u>: *слагаемым* $\left(\frac{\Delta\pi}{\pi}\right)^2$ *ввиду его малого значения в формулах (22) и (23) можно пренебречь.*

5. Вычислить относительные погрешности измерений плотности (для каждого тела) по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\rho}{\rho} \qquad (24)$$

6. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

№	Тело	m, кг	Δm, кг	h, м	b, м	l, м	R, м	Δh=Δb= =Δl=ΔR, м	ρ ± Δρ, кг/м^3	ε, %
1	Паралле-лепипед						-			
2	Цилиндр				-	-				
3	Шар			-	-	-				

Контрольные вопросы

1. Что такое прямые измерения? косвенные измерения?
2. Как определяются приборные погрешности?
3. Как определяются абсолютные погрешности физических постоянных?
4. Как оценивается точность косвенных измерений?

Тест для самоконтроля знаний

1. Каковы цель и задачи работы?
2. Какие приборы и материалы используются в данной работе?
3. В предлагаемой Вам работе будут производиться многократные косвенные измерения различных физических величин. Но иногда измерения достаточно провести один раз. В каком случае это возможно?
4. Как определить предельную абсолютную погрешность измерения физической величины?
5. Чему равна абсолютная погрешность измерения, если цена деления штангенциркуля составляет 0,1 мм?
6. При измерении стороны куба штангенциркулем было получено значение 12,5 мм. Чему равна предельная абсолютная погрешность измерения, если цена деления штангенциркуля составляет 0,1 мм?

7. При измерении стороны куба штангенциркулем было получено значение 12,5 мм. Цена деления штангенциркуля составляет 0,1 мм. Как записать результат измерения длины?

8. Чему равна абсолютная погрешность физических постоянных, табличных данных?

9. Чему равна абсолютная погрешность числа π?

10. В каких случаях измерения физической величины являются косвенными?

11. Чему равна абсолютная ошибка функции?

12. Как следует округлять абсолютную погрешность результата?

13. Как следует округлять результат измерений?

14. Радиус шара равен 22,2 мм. Цена деления штангенциркуля равна 0,1 мм. Как правильно записать результат измерения радиуса шара?

15. Каков порядок выполнения данной лабораторной работы?

16. Напишите формулы для расчета плотности параллелепипеда, цилиндра, шара

17. Каковы обозначения физических величин в формулах для расчета плотности тел в данной лабораторной работе?

18. Напишите формулы для расчета относительной ошибки измерения плотности параллелепипеда, цилиндра, шара.

19. Напишите формулу для расчета относительной погрешности измерения плотности для каждого тела

20. В каких единицах в данной лабораторной работе измеряются погрешности измерения длины, высоты, ширины, радиуса тел?

21. В каких единицах в данной лабораторной работе измеряются погрешности измерения плотности тел?

22. В каких единицах в лабораторной работе измеряются относительные погрешности измерения плотности тел?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА МАЯТНИКЕ ОБЕРБЕКА

Цели и задачи работы: изучение законов вращательного движения твердого тела; определение момента инерции маятника Обербека.

Содержание работы:

Твердое тело можно рассматривать как систему материальных точек, расстояние между которыми неизменно. Вращательным движением твердого тела называется такое движение, при котором траектории всех точек тела являются концентрическими окружностями с центром на одной прямой, называемой осью вращения. Пусть твердое тело, вращаясь вокруг неподвижной в данной системе отсчета оси $00'$, совершило за время Δt бесконечно малый поворот $\Delta\vec{\varphi}$ (рис. 1).

Соответствующий угол поворота характеризуется вектором $d\vec{\varphi}$, модуль которого равен углу поворота $\Delta\varphi$, а направление совпадает с осью $00'$, причем так, что направления вращения и вектора $d\vec{\varphi}$ отвечают правилу правого винта. Величина

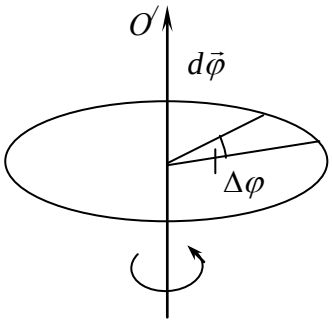


Рис. 1

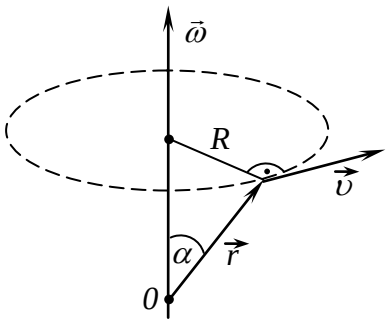
$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{\varphi}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt} \quad (1)$$

характеризующая быстроту изменения угла поворота, называется угловой скоростью. Направление вектора угловой скорости совпадает с направлением вектора $d\vec{\varphi}$.

Единица угловой скорости – радиан в секунду (рад/с).

При вращательном движении все точки тела имеют одинаковую угловую скорость и угловое ускорение, но линейная скорость различна.

Линейная скорость любой точки твердого тела равна векторному произведению угловой скорости на радиус-вектор, соединяющий эту точку с произвольной точкой О оси вращения (рис. 2)



$$\vec{\upsilon} = [\vec{\omega}\vec{r}] \qquad (2)$$

Рис.2

Модуль вектора линейной скорости равен

$$\upsilon = \omega r \sin\alpha = \omega R \quad (3)$$

где R - радиус окружности, которую описывает рассматриваемая точка. Вектор $\vec{\upsilon}$ направлен в сторону вращения по касательной к траектории и перпендикулярен плоскости, в которой лежат $\vec{r}$ и $\vec{\omega}$.

При неравномерном вращении величина ω меняется со временем и за промежуток времени Δt получает приращение $\Delta\omega$. Величина

$$\vec{\varepsilon} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \quad (4)$$

характеризующая быстроту изменения во времени угловой скорости, называется угловым ускорением вращающегося тела. Если тело вращается вокруг неподвижной оси, то вектор углового ускорения направлен вдоль этой же оси; в ту же сторону, что и вектор угловой скорости, при ускоренном вращении и в противоположную – при замедленном вращении. Единица углового ускорения – радиан на секунду в квадрате (рад/с^2).

При вращательном движении тела изменение его кинематических и динамических величин зависит от действующего на тело вращательного момента сил и момента инерции тела. Моментом силы называется векторная величина $\vec{M}$, равная векторному произведению радиус–вектора $\vec{r}$, проведенного из точки О в точку приложения силы А, на вектор силы $\vec{F}$

$$\vec{M} = \left[\vec{r}\vec{F}\right] \quad (5)$$

Вектор М перпендикулярен плоскости, в которой расположен вектор силы F и радиус – вектор r , и образует с ними правовинтовую пару (рис. 3). Модуль вектора М равен

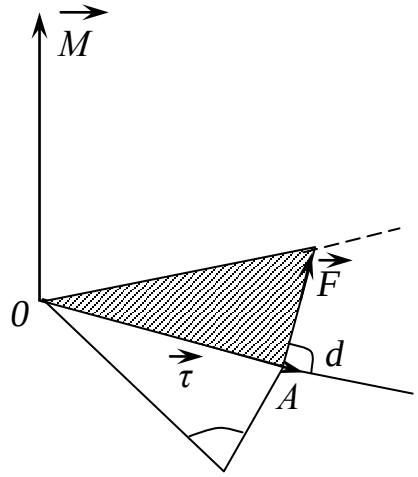


Рис. 3

$$M = Fr\sin\alpha = FR \quad (6)$$

где R - плечо вектора F относительно точки О.

Моментом инерции материальной точки относительно какой-либо оси называется произведение ее массы на квадрат расстояния r от оси вращения:

$$J = mr^2 \quad (7)$$

Момент инерции тела равен сумме моментов инерции всех материальных точек

$$J = \sum_{i=1}^{n} \Delta m_i r_i^2 \quad (8)$$

где Δm_i - элементарная масса, заключенная в объеме ΔV_i i - й частицы. Элементарная масса Δm_i равна произведению плотности тела ρ_i в данной точке на соответствующий элементарный объем ΔV_i :

$$\Delta m_i = \rho_i \Delta V_i \quad (9)$$

Следовательно, момент инерции можно представить в виде:

$$J = \sum_{i=1}^{n} \rho_i r_{1i}^{\ 2} \Delta V_i \qquad (10)$$

Если плотность тела постоянная, ее можно вынести за знак суммы:

$$J = \rho \sum_{i=1}^{n} r_i^{\ 2} \Delta V_i \quad (11)$$

Соотношения (10) и (11) являются приближенными, причем тем более точными, чем меньше элементарные объемы и соответствующие им элементарные массы. Следовательно, задача нахождения моментов инерции сводится к интегрированию:

$$J = \int r^2 dm = \int \rho r^2 dV \quad (12)$$

Момент инерции является физической величиной, характеризующей инертность тела при изменении им угловой скорости под действием вращающего момента.

В случаях, когда ось вращения тела произвольна, то вычисление момента инерции значительно упрощается, если воспользоваться теоремой Штейнера: *момент инерции J относительно произвольной оси равен сумме момента инерции Jc относительно геометрической оси и произведения массы тела на квадрат расстояния* a_0 *между осями*:

$$J = J_c + m a_0^2 \quad (13)$$

Основной закон динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси z записывается следующим образом:

$$M_z = J \frac{d\omega}{dt} = J\varepsilon \quad (14)$$

где M_z - суммарный момент всех внешних сил относительно оси вращения.

Экспериментальная установка (рис. 4) состоит из четырех стержней, укрепленных на втулке под прямым углом друг к другу. На ту же втулку насажены два шкива радиусами $R_м$ и $R_б$. Эта система может вращаться свободно вокруг горизонтальной оси. Момент инерции системы можно изменять, передвигая цилиндрические грузы вдоль стержней.

Момент силы создается грузом P, привязанным к нити, которая навита на один из шкивов. Груз P удерживается на высоте h и обладает потенциальной энергией *mgh*, где m - масса груза; g - ускорение свободного потения. Если предоставить грузу возможность падать, то это падение будет происходить с ускорением $\bar{a}$. При этом шкив со стержнями и расположенными на нем грузами будет вращаться с угловым ускорением $\bar{\varepsilon}$.

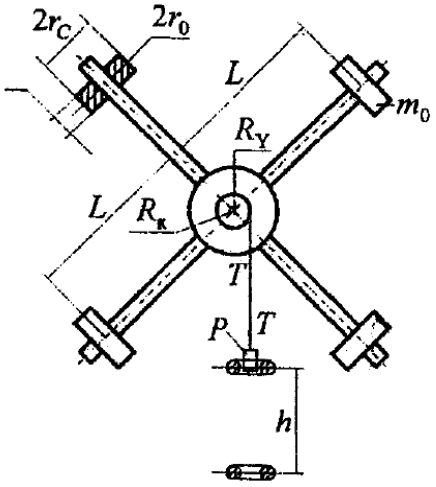


Рис. 4

Измеряя время t, в течение которого груз P из состояния покоя опустится на расстояние h, можно найти ускорение груза:

$$a = \frac{2h}{t^2} \quad (15)$$

которое связано с угловым ускорением соотношением

$$\varepsilon = \frac{a}{R} \quad (16)$$

где R - радиус шкива.

Если через T обозначить силу натяжения нити, то вращающий момент сил будет определяться по формуле:

$$M = T \cdot R \quad (17)$$

Силу T можно найти из уравнения движения груза P:

$$ma = mg - T \quad (18)$$

Из (18) следует:

$$T = mg - ma = m(g - a) \qquad (19)$$

Подставляя (19) в (17), получим формулу для момента сил:

$$M = mR(g - a) \quad (20)$$

Момент инерции всей системы можно вычислить по следующей формуле:

$$J_T = J_0 + m_0\left(4L^2 + \frac{1}{3}\ell^2 + r_c^2 + r_0^2\right) \quad (21)$$

где L, ℓ, r_c, r_0 – параметры, указанные на рис. 4.

Оборудование, технические и инструментальные средства: маятник Обербека, грузы, штангенциркуль, счетчик-секундомер.

Порядок выполнения работы:

1. Установить цилиндрические грузы массой m_0 на некотором расстоянии L от оси маятника так, чтобы маятник находился в безразличном равновесии, для чего рекомендуется несколько раз привести маятник во вращение, каждый раз давая ему возможность остановиться. После этого окончательно определить расстояние L по формуле

$$L = \frac{L_1 + L_2}{4} \quad (22)$$

где L_1 и L_2 - расстояния между центрами цилиндрических грузов на стержнях.

2. Измерить размеры цилиндрического груза и радиусы R_M малого и $R_б$ большего шкивов, внешний r_c, внутренний r_0 радиусы и длину образующей l цилиндрического груза.

3. Измерить высоту h - расстояние между двумя датчиками.

4. Прикрепить к нити, намотанной на шкив радиуса R_M, груз массой m.

5. Включить счетчик – секундомер.

6. Отпустить груз и определить время его падения t с высоты h.

7. Вычислить линейное ускорение по формуле (15) и угловое ускорение по формуле (16)

8. Вычислить момент сил по формуле (20).

9. Повторить пункты 4-8 для двух-трех грузов других масс.

10. По вычисленным значениям M_i и ε_i построить график зависимости $\varepsilon = f(M)$, по оси ординат которого откладывают величину ε, по оси абсцисс – момент силы М. Полученная зависимость должна быть линейная.

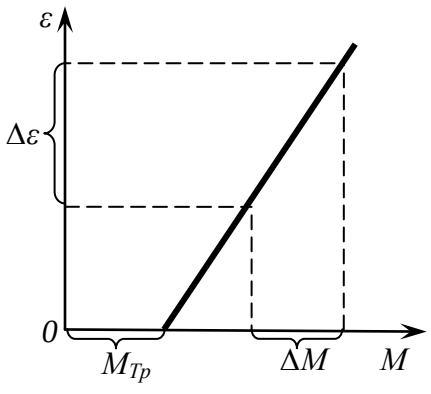


рис.5

11. Из графика определите *экспериментальный момент инерции* системы

$$J_э = \Delta M / \Delta\varepsilon$$

и момент силы трения $M_{тр}$ на оси вращения, способ нахождения которого показан на рис. 5

12. Повторить пункты 4-11 для шкива радиуса $R_б$. Выбирая масштаб для значений M и ε, построить графики зависимости $\varepsilon = f(M)$ от малого и большего шкивов в одной системе координат и убедиться, что они лежат на одной прямой.

13. Определить *теоретический момент инерции* системы расчетным путем по формуле 21. Значение момента инерции J_0 маятника без цилиндрических грузов указано на установке.

14. Проверить сходимость экспериментально и теоретически полученных значений моментов инерции системы по формуле:

$$K = \frac{J_T - J_Э}{J_T} \cdot 100\% \quad (23)$$

13.Результаты измерений и вычислений занести в таблицу:

№	R, м	h, м	m_i, м	t_i, с	a_i, м/с^2	$\acute{\varepsilon}_i$, рад/с^2	M_i, Н·м	$J_э$, кг·м^2	$J_т$, кг·м^2	K, %
1										
2										

Контрольные вопросы

1. Что такое вращательное движение?
2. Сформулируйте определение и напишите формулу для угловой скорости.
3. Сформулируйте определение и напишите формулу для углового ускорения.
4. Укажите направление и единицы измерения угловой скорости.
5. Укажите направление и единицы измерения углового ускорения.
6. Какова связь между линейной и угловой скоростью?
7. Как направлена линейная скорость?
8. Что называется моментом инерции? Что характеризует момент инерции?
9. Сформулируйте теорему Штейнера, запишите ее формулу.
10. Что такое момент сил? Как направлен вектор момента силы?
11. Напишите формулу основного закона динамики вращательного движения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА

Цели и задачи работы: определение коэффициента вязкости жидкости по скорости падения шарика (метод Стокса).

Содержание работы:

Вязкость или внутреннее трение - это свойство реальных жидкостей оказывать сопротивление перемещению одной части-жидкости относительно другой. Возникновение сопротивления, обусловленного вязкостью жидкости, объясняется следующим образом. Представим себе две пластинки А и В, разделенные плоскопараллельным слоем жидкости. Рассмотрим, что произойдет, если начать перемещать верхнюю пластинку А относительно нижней В.

Мысленно разобьем жидкость на тончайше слои. Молекулы жидкости, ближайшие к подвижной пластинке А, прилипают к ней, в силу этого они начинают перемещаться вместе с пластинкой с той же скоростью. Эти молекулы в свою очередь увлекают молекулы следующего слоя и т.д. Слой молекул, непосредственно прибегающих к нижней неподвижной пластинке В, остается в покое, а остальные слои перемещаются, скользя друг по другу со скоростями тем большими, чем больше их расстояние от нижнего слоя. Вязкость жидкости проявляется в возникновении силы, препятствующей относительному сдвигу соприкасающихся слоев жидкости, а, следовательно, и сдвигу пластинок относительно друг друга.

Величина сопротивления, обусловленного вязкостью жидкости, зависит от разности скоростей между ее слоями и расстоянию между ними. Чем больше меняется скорость жидкости при перехода от слоя к слою, тем больше величина вязкостного сопротивления.

Чтобы охарактеризовать величины изменения скорости, определим разность скоростей $V_2 - V_1 = \Delta V$ двух слоев жидкости и расстояние Δy между этими слоями, отсчитываемого по нормали к направлению скорости. Предел отношения этих двух величин называется градиентом скорости

$$\lim_{\Delta y \to 0}\left(\frac{\Delta V}{\Delta y}\right) = \frac{\partial V}{\partial y} \quad (1)$$

Градиент скорости $\partial v / \partial y$ показывает, как быстро меняется скорость при переходе от слоя к слою в направлении y, перпендикулярном направлению движения слоев. При ламинарном течении (т.е. течение без завихрений) модуль силы внутреннего трения пропорционален градиенту скорости

$$F = \eta \frac{\partial v}{\partial y} S \quad (2)$$

или

$$f = \eta \frac{\partial v}{\partial y} \quad (3)$$

где F - сила внутреннего трения; S - площадь поверхности скользящих друг по другу слоев жидкости; f - сила внутреннего трения, действущая на единицу площади поверхности слоя (касательное напряжение); η - коэффициент пропорциональности, зависящий от природа жидкости, называется динамической - вязкостью (или просто вязкостью).

Из формулы (3) видим, что динамическая вязкость η равна силе внутреннего прения, действующей на единицу площади поверхности слоя при градиенте скорости, равном единице. Единица вязкости в СИ - паскаль-секунда. (Па*с): I Па*с равен динамической вязкости среды в которой при ламинарном течении и градиенте скорости с модулем, равным 1 м/с на I м, возникает сила внутреннего трения в 1Н на 1 м^2 поверхности касания слоев (1Па*с = 1Н*с/м^2).

Вязкость зависят от температуры, причем характер этой зависимости для жидкостей и газов различен (для жидкостей η с увеличением температуры уменьшается, у газов, наоборот, увеличивается), что указывает на различие в них механизмов внутреннего трения. Особенно сильно от температур зависит вязкость масел. Например, вязкость касторового масла в интервале 13-40 °С падает в четыре раза.

Вискозиметр для определения вязкости жидкости по методу Стокса представляет собой стеклянный цилиндрический сосуд, установленный вертикально. Сосуд наполнен исследуемой жидкостью. По высоте сосуда

нанесены риски А и В. Выбирают несколько шариков из материала с известной плотностью и измеряют время прохождения шариком расстояния между рисками А и В при падении в жидкости.

На шарик, движущийся в жидкости, действуют три силы:

- сила тяжести

$$m\vec{g} = \frac{4}{3}\pi ч^3 \rho_ш \vec{g} \qquad (4)$$

- сила Архимеда

$$\vec{F}_a = -\frac{4}{3}\pi ч^3 \rho_ж \vec{g} \qquad (5)$$

- сила внутреннего трения

$$\vec{F}_c = -6\pi\eta ч\vec{v} \qquad (6)$$

где $\rho_ш$ - плотность материала шарика; $\rho_ж$ л - плотность жидкости; r - радиус шарика; η - динамическая вязкость; V - скорость установившегося движения шарика в жидкости. В установившемся движении, когда ускорение шарика равно нулю:

$$m\vec{g} + \vec{F}_a + \vec{F}_c = 0 \qquad (7)$$

Проецируя все силы на вертикальную ось и подставляя в (7) выражения для сил, получим:

$$\eta = \frac{2g(\rho_ш - \rho_ж)ч^2}{9v} \qquad (8)$$

Скорость шарика можно определить по времени t прохождения пути l:

$$v = \frac{l}{t} \qquad (9)$$

Тогда

$$\eta = \frac{1}{18l} \cdot 4g(\rho_ш - \rho_ж)r^2 t \qquad (10)$$

или через диаметр шарика:

$$\eta = \frac{1}{18l} g(\rho_ш - \rho_ж)r^2 t \qquad (11)$$

В расчетах принять ускорение свободного падения равным 9,8 м/с^2.

Оборудование, технические и инструментальные средства: вискозиметр; секундомер; микрометр; набор шариков; измерительная линейка.

Порядок выполнения работы:

1 Уточнить в лаборатории плотность исследуемой жидкости $\rho_ж$ и плотность материала, из которого изготовлены шарики $\rho_ш$.

2 Определить с помощью микрометра диаметры шариков.

3 Измерить расстояние l между рисками А и В на сосуде с жидкостью.

4 Определить погрешность измерения расстояния.

5 Определить погрешность плотности жидкости $\Delta\rho_ж$ и плотности материала, из которого изготовлены шарики $\Delta\rho_ш$ (см. описание лабораторной работы №1).

6 Измерить время t прохождения первым шариком расстояния l.

7 Вычислить вспомогательный параметр k_i по формуле:

$$k_i = d_i^2 \cdot t_i \quad (12)$$

8 Повторить опыты для других шариков, для каждого рассчитать вспомогательный параметр.

9 Вычислить среднее арифметическое значение вспомогательного параметра $к_{ср}$:

$$k_{ср} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{N} k_i = \frac{1}{n}\left(k_1 + k_2 + ... + k_n\right) \quad (13)$$

10 Вычислить среднее арифметическое значение вязкости жидкости через вспомогательный параметр $к_{ср}$:

$$\eta_{ср} = \frac{1}{18l} g \cdot k_{ср}\left(\rho_{ш} - \rho_{ж}\right) \quad (14)$$

11 Определить величину Δk (стандартную погрешность многократных прямых измерений параметра k):

$$\Delta k = S_k \cdot t_{\alpha}\left(n\right) \quad (15)$$

<u>Порядок определения стандартного отклонения</u> S_k *:*

- *найти для каждого опыта величину* $\Delta k_i = \left| \; k_i - k_{ср} \; \right|$;
- *возвести* Δk_i *в квадрат, сложить полученные значения;*
- *найти стандартное отклонение вспомогательного параметра по формуле:*

$$S_k = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{1}^{n}(\Delta k_i)^2}$$

Для формулы (15) значение коэффициента Стьюдента $t_\alpha(n)$, соответствующее надежности, указанной преподавателем, и числу опытов, определяется по специальной таблице (имеется в лаборатории).

12 Определить относительную погрешность измерения вязкости жидкости ε по формуле:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{{}_\Delta\rho_ш^2 + {}_\Delta\rho_ж^2}{(\rho_ш - \rho_ж)} + \left(\frac{{}_\Delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{{}_\Delta k}{k}\right)^2} \qquad (16)$$

13 Вычислить абсолютную погрешность измерения вязкости по формуле:

$$\Delta\eta = \eta_{ср} \cdot \varepsilon \qquad (17)$$

14 Записать результат измерения вязкости жидкости с указанием доверительного интервала в следующем виде:

$$\eta = \eta_{ср} \pm \Delta\eta \qquad (18)$$

12 Результаты измерений и вычислений занести в таблицу:

№	l, м	d_i, м	t_i, с	k_i	$k_{ср}$	$\eta_{ср}$, Па·с	$\eta_{ср} \pm \Delta\eta$, Па·с	ε, %
1								
2								
3								

Контрольные вопросы

1. В чем заключается явление внутренного трения?
2. Напишите и объясните формулу закона Ньютона.
3. Что называется градиентом скорости?
4. Каков физический смысл коэффициента внутреннего трения (вязкости)?

5. Как зависит коэффициент вязкости от температуры?
6. В чем заключается сущность метода Стокса?
7. Какое движение называется ламинарным?
8. Назовите силы, которые действуют на шарик, движущийся в жидкости. Укажите направления этих сил и напишите формулы для их расчета.

МОДУЛЬ 2.ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ, ОПТИКА, КВАНТОВАЯ И АТОМНАЯ ФИЗИКА

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ДИФРАКЦИЕЙ

Цель работы: наблюдение дифракции света на дифракционной решетке, определение периода дифракционной решетки и области пропускания светофильтров

Оборудование: дифракционные решетки, экраны с щелью, оптическая скамья, источники света (ртутная лампа, лампа накаливания).

Содержание работы:

Дифракцией называется явление огибания волнами препятствий. Применительно к световым волнам дифракция означает проникновение света в область геометрической тени. Одним из наиболее распространенных технических средств для создания дифракционных эффектов служит дифракционная решетка. *Дифракционной решеткой* называется тонкая структура, содержащая ряд параллельных равноотстоящих и близко расположенных друг от друга щелей.

Расстояние d между серединами соседних щелей или сумма прозрачной a и непрозрачной b частей называется постоянной (периодом) дифракционной решетки и находится по формуле

$$d=a+b$$

(рис.1).

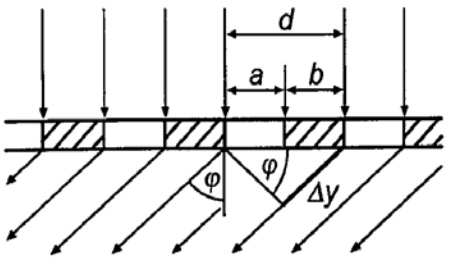


Рис. 1

При падении плоской световой волны на решетку каждый элемент её поверхности становится источником вторичных когерентных волн. Результирующее световое колебание в любой точке пространства определяется согласно *принципу Гюйгенса-Френеля* суммированием вторичных волн, проходящих в данную точку от всех элементов решетки, с учетом их амплитуд и фаз.

Если на пути волн за решеткой поставить собирающую линзу, то в

плоскости будет наблюдаться дифракционная картина (рис.2). Дифракционную картину можно наблюдать глазом, воспринимая лучи, прошедшие сквозь решетку. Роль линзы в этом случае играет хрусталик глаза.

Главные дифракционные *максимумы* возникают в тех направлениях, для которых оптическая разность хода лучей, идущих от соседних щелей решетки, равна целому числу длин волн λ:

$$\Delta y = m \cdot \lambda$$

Из рис.1 видно, что оптическая разность хода лучей, идущих от двух соседних щелей под углом дифракции φ,

$$\Delta y = d \cdot sin\varphi. \quad (1)$$

Таким образом, углы дифракции, под которыми наблюдаются максимумы, определяются условием

$$d \cdot sin\varphi = m \cdot \lambda. \quad (2).$$

Здесь m=0,±1,±2…- порядок дифракционного максимума.

Из формулы (2) следует, что если падающий свет содержит несколько различных длин волн, то решетка разложит его в спектр (рис.3). В направлении начального распространения света (φ=0) возникает максимум нулевого порядка (m=0). Справа и слева от него возникнут сплошные или линейчатые спектры различных порядков (m=±1,±2…). В каждом из спектров максимумы более коротких длин волн располагаются ближе к центральной полосе.

Угловой дисперсией спектрального прибора D_φ называют величину

$$D_\varphi = \frac{d\varphi}{d\lambda},$$

где $d\varphi$ – угловое расстояние между близкими спектральными линиями, $d\lambda$ – разность длин волн этих спектральных линий.

Для нахождения конкретного вида выражения D_φ продифференцируем уравнение (2). Тогда получим

$$D_\varphi = \frac{m}{d\ cos\varphi},$$

где m – максимальной порядок спектра, который можно получить с помощью решётки, d – период решетки, φ - угол между нормалью и направлением на m-й порядок спектра (для малых φ: $D_\varphi = m/d$).

Линейной дисперсией называют величину, численно равную отношению расстояния *dl* на экране (или фотопластинке) между близкими спектральными линиями к разности $d\lambda$ длин волн этих спектральных линий

$$D_i = \frac{dl}{d\lambda}$$

Из рис. 4 следует, что при малых φ отрезок $dl = f d\varphi$, где f- главное фокусное расстояние линзы. Тогда

$$D_i = f\frac{dl}{d\lambda} = fD_\varphi$$

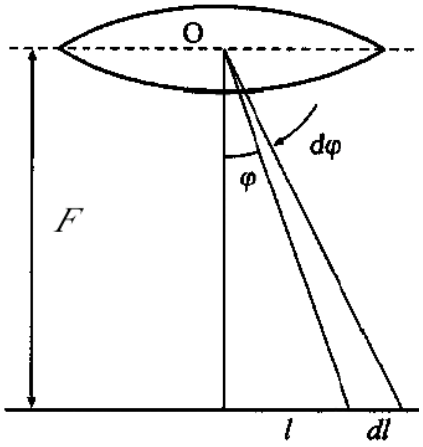


Рис.4

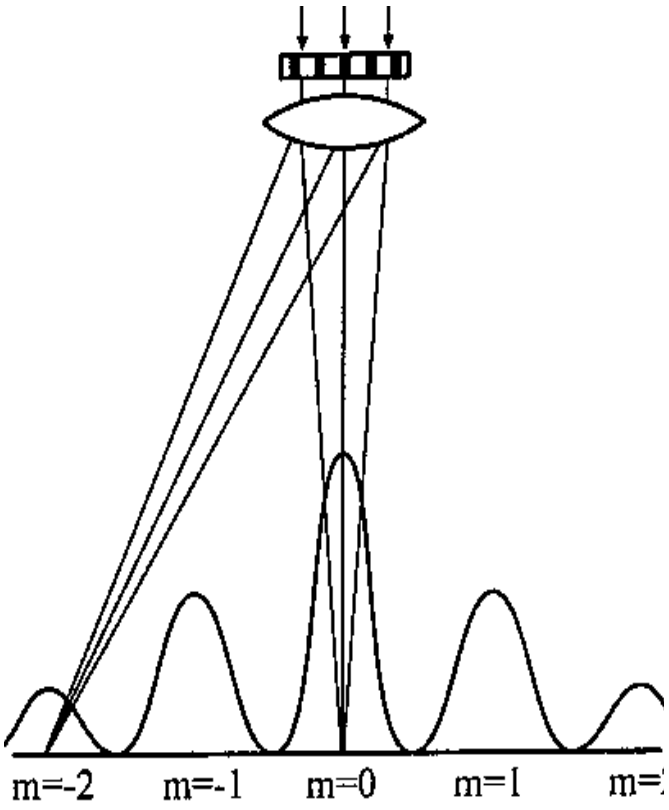


Рис. 2

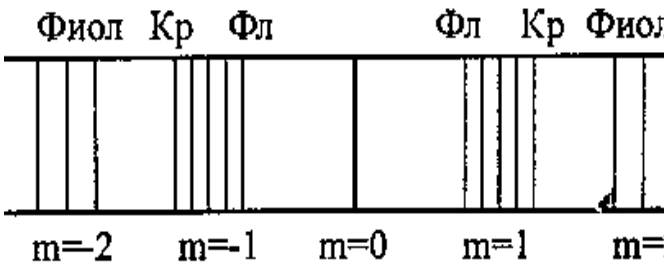


Рис. 3

Описание установки

Оптическая схема установки показана на рис.5. все элементы установки помещаются в стойках на оптической скамье.

Свет от источника 1, пройдя через щель 2, попадает на дифракционную решетку 3. Дифракционная картина наблюдается непосредственно глазом на экране 4. Максимум нулевого порядка (центральный) совпадает со щелью. По обе стороны от нее расположены главные максимумы первого, второго и т.д. порядков. На экране находится отсчетная линейка. Из рис.5 видно, что

$$sin\varphi = \frac{l}{\sqrt{L^2 + l^2}}, \qquad (3)$$

где L – расстояние от экрана до дифракционной решетки;

l – расстояние от щели до максимума с углом дифракции φ.

Подставляя значение синуса в уравнение (2), получаем для *d*

$$d = m\frac{\sqrt{L^2 + l^2}}{l}\lambda, \quad (4)$$

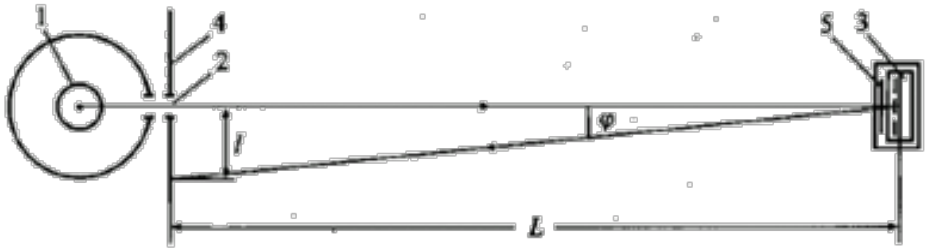


Рис.5

Задание 1 *Исследование линейчатого спектра (определение постоянной дифракционной решетки)*

1.На оптическую скамью (рис.5) устанавливаем ртутную лампу 1, дающую линейчатый спектр, экран 4 со щелью 2 и дифракционную решетку 3.

2.Подключив ртутную лампу к «Блоку питания ламп» в разъём «Ртутная лампа», включаем ртутную лампу и, перемещая щель или дифракционную решетку в вертикальном направлении, добиваемся попадания светового луча на дифракционную решетку.

ВНИМАНИЕ! Если после включения клавиши выключателя *ртутная лампа не загорится, нужно немедленно выключить блок питания, дать лампе остыть и затем повторно включить лампу.*

3.Наблюдаем через дифракционную решетку на экране со шкалой дифракционную картину в виде линейчатых спектров. Регулируя расстояние между решеткой и экраном со щелью, получаем четкое изображение спектров 1 и 2 порядков.

4.Измеряем расстояние между дифракционной решеткой и экраном.

5.По шкале влево l' и вправо l'' от центрального максимума определяем положение первой фиолетовой линии в спектре 1 и 2 порядка, и результаты заносим в табл. 1.

Таблица 1

L = мм							
λ, нм	Порядок спектра	Отсчёт по шкале		$l = \frac{l' + l''}{2}$ мм	d_i, мм	$(d_i - \bar{d})$, мм	$(d_i - \bar{d})^2$ мм^2
		влево l', мм	вправо l'', мм				
Фиолетовая 407,8	1						
	2						
Синяя 435,8	1						
	2						
Голубая 491,6	1						
	2						
Зелёная 546,1	1						
	2						
Жёлтая 577,0	1						
	2						
				Среднее		Сумма	

6.Аналогичные измерения проводим для других ярких линий спектра.

7.По полученным данным для каждой линии рассчитываем её среднее расстояние l' от центрального максимума и постоянную решетки по формуле (4). Находим среднее значение величины $\bar{d}$.

Задание 2. *Исследование светофильтра (определение области прозрачности светофильтра в видимой части спектра с помощью дифракционной решетки).*

Часть сплошного спектра, для которой данный фильтр прозрачен называется областью прозрачности светофильтра или полосой пропускания светофильтра. Цель данного упражнения - определить область прозрачности фильтра. Для этого надо найти коротковолновую $\lambda_к$ и длинноволновую $\lambda_д$ границу области прозрачности фильтра. Область прозрачности находится

между $\lambda_к$ и $\lambda_д$.

1. На оптическую скамью (рис.5) устанавливаем лампу накаливания 1, дающую сплошной спектр, экран 4 со щелью 2 и дифракционную решетку 3. Постоянная решетки указана на ее корпусе.
2. Подключив галогеновую лампу к «Блоку питания ламп» в разъём «Галогеновая лампа», включаем галогеновую лампу и, перемещая щель или дифракционную решетку в вертикальном направлении, добиваемся попадания светового луча на дифракционную решетку.
3. Наблюдаем через дифракционную решетку на экране со шкалой 4 дифракционную картину в виде сплошных спектров. Регулируя расстояние между дифракционной решеткой и щелью, получаем четкое изображение спектров 1 и 2 порядков.
4. Устанавливаем исследуемый светофильтр 5 (рис.5) и записываем его цвет в табл.2
5. Измеряем расстояние *L* между дифракционной решеткой и экраном.
6. Наблюдаем спектры первого порядка. По шкале слева l' и справа l'' от центрального максимума определяем положение коротковолновой границы пропускаемого светофильтром света (рис.6) с точностью до 1мм. Результаты измерения вносим в таблицу 2.

Таблица 2

L = мм		d = мм					
Цвет фильтра	Порядок спектра *m*	Граница области прозрачности					
		коротковолновая $\lambda_к$			длинноволновая $\lambda_д$		
		отсчёт по шкале, мм					
		Влево l'	Вправо l''	$l_к = \frac{l' + l''}{2}$	Влево l'	Вправо l''	$l_д = \frac{l' + l''}{2}$
	1						
	2						
среднее значение λ, нм		$\lambda_к$=			$\lambda_д$=		

7. Находим среднее значение $l_к$ и по формуле (4) рассчитываем коротковолновую $\lambda_к$ границу спектра.

8. Аналогичные измерения и расчеты проводим для спектра второго порядка. Из двух полученных значений $\lambda_к$ по 1 и 2 порядку спектра берем среднее. Это и будет значением коротковолновой границы пропускаемого света.

9. Повторяем пункты 6-8 для нахождения длинноволновой границы пропускаемого светофильтром света. Результаты измерений и расчетов заносим в табл.2.

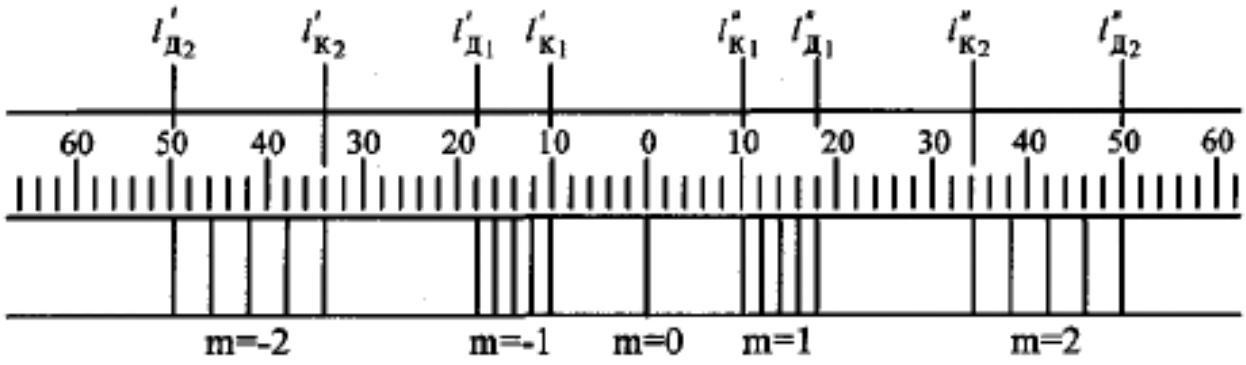


Рис. 6

10.Аналогичные измерения и расчеты проводим для других светофильтров.

Контрольные вопросы

1. Что такое дифракция света?
2. В чем заключается принцип Гюйгенса-Френеля?
3. Каково отличие дифракции Фраунгофера от дифракции Френеля?
4. Запишите и поясните формулу минимума для дифракционной решетки.
5. Дайте определение угловой дисперсии и разрешающей способности дифракционной решетки.
6. В чем отличие дифракционной картины при наблюдении в монохроматическом и белом свете?
7. Что называется областью прозрачности светофильтра?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ИЗУЧЕНИЕ ДИСПЕРСИИ СВЕТА

Цель: исследовать зависимость оптической силы линзы и коэффициента преломления стекла от длины волны исследуемого света.

Оборудование: источник света, набор светофильтров, исследуемая линза, экран, слайд, линейка.

Содержание работы

Дисперсия – зависимость показателя преломления света в веществе от длины волны света. Следствие дисперсии света – разложение белого света в спектр при прохождении его сквозь призму и один из серьезных недостатков оптических систем – хроматизм положения изображения (рис. 1).

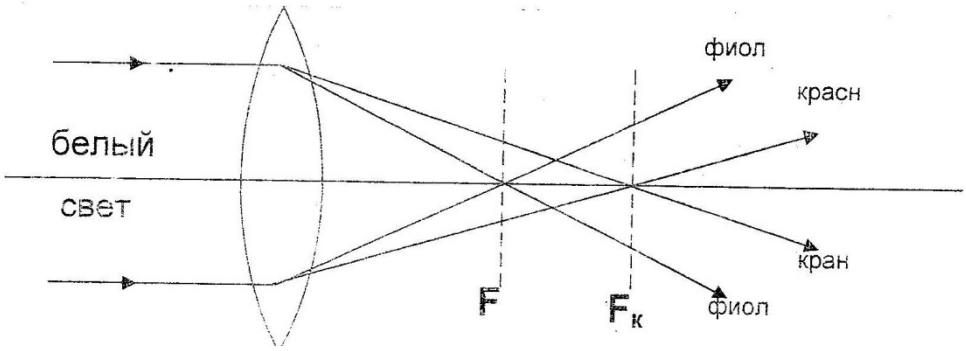


Рис. 1

Это значит, что нехроматический пучок имеет совокупность фокусов, расположенных вдоль оптической оси. Или, другими словами, линза дает ряд четких изображений предмета, расположенных на разных расстояниях от линзы, если изображения предмета получают в нехроматическом свете.

Оптическая сила тонкой линзы связана с показателем преломления *n* материала из которого изготовлена линза и радиусами кривизны R_1 и R_2поверхностей линзы (рис. 2).

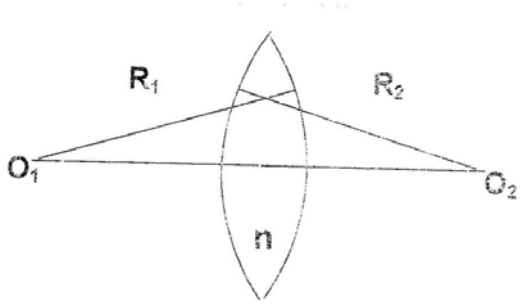


Рис. 2

$$D = (n-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right) \quad (1)$$

Таким образом, определяя экспериментально оптическую силу линзы для различных частей оптического спектра, можно исследовать ее зависимость от показателя преломления длины волн (дисперсию света).

Оптическую силу линзы достаточно просто рассчитать по положению изображения высотой H, получаемого с помощью линзы (рис. 3) от предмета высотой h.

$$D = \frac{1}{d}+\frac{1}{f} \quad (2)$$

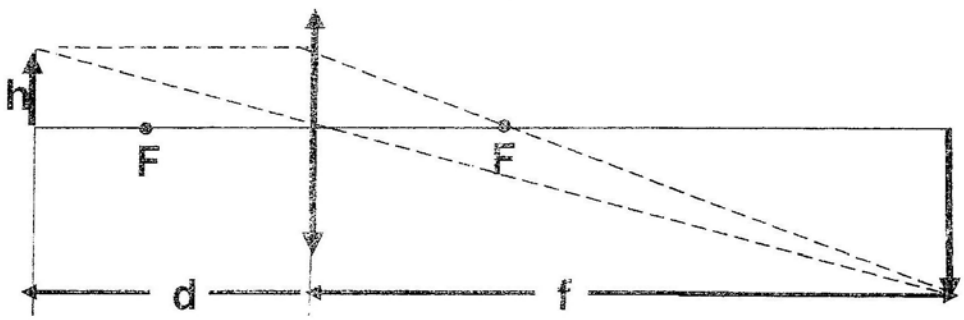


Рис. 3

Описание установки

Оптическая система установки изображена на рис. 4.

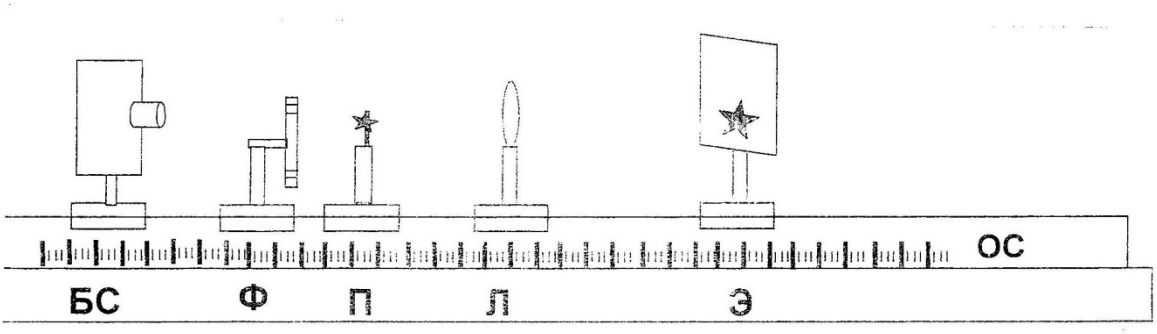


Рис. 4

ОС – оптическая скамья с нанесенной на ней шкалой,
БС – источник белого света,
Ф – обойма с набором светофильтров,
П – предмет,
Л – исследуемая линза,
Э – экран.

Если на оптической скамье расположить на определенном расстоянии ***d*** (больше ***F***) от линзы предмет, то, перемещая экран вдоль скамьи, можно получить его четкое изображение.

Порядок выполнения работы

1. Установите исследуемую линзу на оптическую скамью и закрепите ее. В таблицу запишите значения радиусов кривизны поверхностей линзы и длин волн, пропускаемых светофильтрами.

Таблица 1

R_1= м; R_2 = м; d = м					
λ, нм	№	f	D	$D_{ср}$	n
$\lambda_к$ =	1				
	2				
	3				
$\lambda_з$ =	1				
	2				
	3				
$\lambda_с$ =	1				
	2				
	3				

2. Установите в рабочее положение один из светофильтров (например, красный). Перемещая экран вдоль оптической скамьи, подберите такое его положение, при котором получается четкое изображение предмета.

Примечание: особенно уделите внимание тому, чтобы плоскость экрана и предмета были перпендикулярны оптической оси линзы.

3. Зафиксируйте положение светофильтра и измерьте расстояния ***d*** и ***f*** (рис. 3) с возможно большей точностью. Результаты запишите в таблицу.

4. Перемещая экран, получите четкое изображение предмета с зеленым и синим светофильтрами. Для каждого фильтра измерьте расстояние ***f*** и запишите его в таблицу.

5. Еще дважды проведите измерения (пункт 3) с другими светофильтрами и занесите в таблицу результаты измерения расстояния от линзы до экрана.

6. Для каждого светофильтра рассчитайте оптическую силу линзы по формуле 2, найдите ее среднее значение (расчеты выполняйте с точностью до третьего знака после запятой).

7. Рассчитайте по формуле 1 показатель преломления стекла n для каждого фильтра.

8. Постройте график зависимости показателя преломления от длины волны.

Контрольные вопросы

1. Что такое дисперсия света?
2. Чем отличается нормальная дисперсия от аномальной?
3. Каковы различия спектров, полученных с помощью призмы и дифракционной решетки?
4. Что представляет собой дисперсия света с точки зрения классических представлений?
5. В чем заключается основная задача дисперсии?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА

Цель работы: исследование поляризации света при отражении от диэлектрика, определение угла полной поляризации. Исследование прохождения света через поляроиды.

Оборудование: специальная установка, осветитель, измеритель интенсивности света.

Содержание работы:

Из электромагнитной теории света следует, что световая волна является поперечной, то есть три вектора: напряженность электрического поля E, напряженность магнитного поля H и скорость распространения света c взаимно перпендикулярны. Свет от обычных источников состоит из множества цугов волн, световой вектор E которых ориентирован случайным образом, а колебания различных направлений равновероятны. Такой свет называется естественным.

Свет, в котором направления колебаний каким-либо образом упорядочен, называется поляризованным, процесс получения поляризованного света называется поляризацией. Если колебания вектора происходят в одной плоскости относительно луча, то свет считается плоскополяризованным.

Частично поляризованный свет - свет, в котором имеется преимущественное направление колебаний вектора Е. Эти случаи схематически изображены на рис. 1 (луч перпендикулярен плоскости рисунка).



Рис. 1

Плоскость, в которой колеблется электрический вектор E, называется *плоскостью колебаний*, или плоскостью поляризации.

Поляризация света наблюдается при отражении, преломлении и при прохождении света через анизотропные вещества. Приборы для получения поляризованного света называются *поляризаторами.* Визуально поляризованный свет нельзя отличить от неполяризованного. Анализ поляризованного света делают с помощью поляризатора, через который пропускают исследуемый свет. В таких случаях поляризатор называют *анализатором*.

Для явления поляризации справедливы следующие законы.

1. При отражении световых лучей от поверхности изотропных диэлектриков, например от поверхности стекла, воды и так далее, отраженные лучи оказываются частично поляризованными в плоскости, перпендикулярной плоскости падения. Степень поляризации отраженных лучей меняется при изменении угла падения. Отраженный луч будет *плоскополяризован только* в том случае, *если* угол падения имеет определенную величину, называемую *углом полной поляризации.* Теория и опыт показывают, что угол полной поляризации в этом случае удовлетворяет условию

$$\operatorname{tg} \varphi_{Бр} = n \qquad (1)$$

где n - относительный показатель преломления второй среды относительно первой. Это *закон Брюстера.* Преломленный свет частично поляризован.

2. Если на анализатор падает плоскополяризованный свет, плоскость поляризации которого составляет угол α с плоскостью поляризации лучей, пропускаемых анализатором, то интенсивность пропущенного им света $I_П$ будет определяться соотношением

$$I_A = I_П \cos^2 \alpha \qquad (2)$$

Здесь $I_П$ - интенсивность света, падающего на анализатор. *Это закон Малюса.* Если частично поляризованный свет пропускать через анализатор, то интенсивность I_A прошедшего света будет меняться в зависимости от положения плоскости поляризации анализатора (ППА). Она достигает максимального значения I_{max} если ППА и

плоскость преимущественных колебаний частично поляризованного света совпадает. Если эти плоскости перпендикулярны друг другу, то интенсивность света, прошедшего через поляризатор, будет минимальной $\boldsymbol{I_{min}}$.

Для характеристики поляризованного света вводится величина, называемая *степенью поляризации* света P,

$$P = \frac{I\,max - Imin}{I\,max + I\,min} \qquad (3)$$

Для естественного света P=0, так как $I_{min} = I_{max}$, а для плоскополяризованного света P=1, так как $I_{min} = 0$.

Для исследования законов Брюстера и Малюса используется специальная установка, которая крепится на оптической скамье (рис.2).

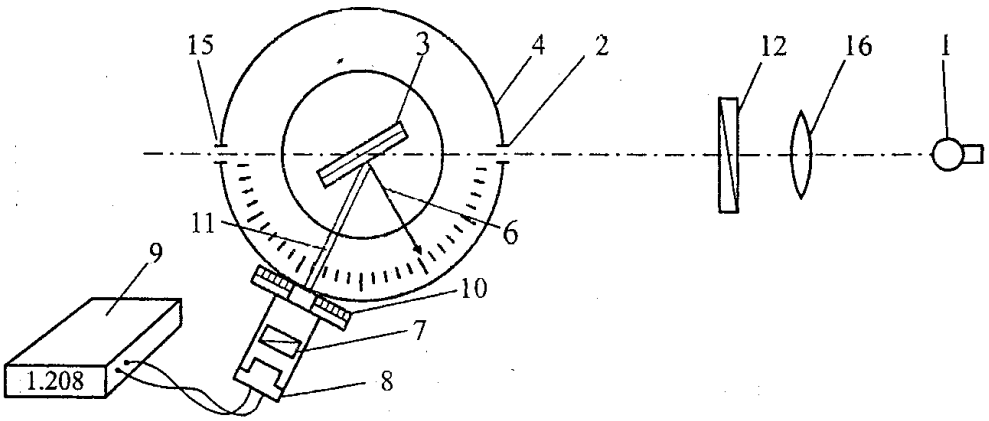


Рис. 2

Свет от лампы 1 через отверстие в корпусе лампы падает на стеклянную пластину 3, помещенную в фиксаторы поворотного столика. Изменение угла падания света осуществляется поворотом столика со стеклянными пластинами. Стрелка 6 поворотного столика указывает угол падения света. К установке прилагается набор съемных стеклянных пластин, закреплённых в обоймы (по 2, 4, 7, 12 шт.). Отраженный от пластины частично поляризованный свет через анализатор 7 попадает на фотоэлемент 8, подключенный к измерителю интенсивности света (ИИС) 9.

Показания ИИС пропорциональны световому потоку, попадающему на фотоэлемент. Положение плоскости поляризации анализатора отмечается по шкале *10* с помощью указателя.

Узел анализатор-фотоэлемент закреплён на коромысле *11,* которое может поворачиваться вокруг вертикальной оси на угол от 50° до 180.

Отражающая пластина *3* может вращаться вокруг вертикальной оси, и у отраженного от нее частично поляризованного света плоскость преимущественных колебаний вертикальна. На фотоэлемент *8* попадает световой поток, зависящий от положения ППА 7 - он будет максимальным (показание ИИС 9 максимально), если ППА вертикальна, и минимальным, если ППА горизонтальна.

Как следует из теоретических представлений, интенсивность этих двух составляющих (а следовательно, и показания вольтметра), поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях, будет меняться в зависимости от угла падения света φ в соответствии с графиком (рис.3). Изменяя угол падения света на пластину и отмечая показания вольтметра, можно найти *угол полной поляризации или угол Брюстера.* Для изучения закона Малюса используется дополнительный поляризатор *12.*

Порядок выполнения работы:

1. Изучение установки, знакомство с основными узлами и элементами:

а) изменение угла падения света на пластину;

б) изменение положения ППА;

в) узел анализатор-фотоэлемент.

2. Включите источник света и, вращая его вокруг вертикальной оси, добейтесь, чтобы световой луч был направлен вдоль оптической скамьи.

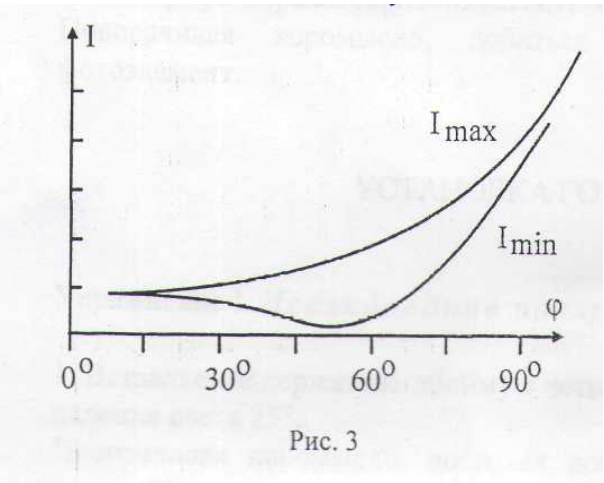


Рис. 3

3. Закрепите в держателе обойму с четырьмя пластинами. Установите держатель так, чтобы указатель угла поворота стоял на нулевом делении, а отраженный световой луч был направлен вдоль оптической скамьи.

Контролировать правильность установки осветителя дополнительно можно по отраженному от пластины свету: пятно света, отраженное на осветитель, должно быть симметрично относительно выходного отверстия осветителя.

4. Ознакомьтесь с устройством и работой анализатора и датчика интенсивности света. Для этого поверните коромысло узла анализатора так, чтобы свет, прошедший через пластину, попал на анализатор и фотоэлемент. Включите ИИС и подключите к нему фотоэлемент. Меняя положение ППА от 0° до 180°, убедитесь, что величина сигнала не меняется. Следовательно, свет, прошедший через пластину, не поляризован.

5. Поверните отражающую пластину, и задайте угол падения света φ = 25°-80°. Поворачивая коромысло, добейтесь попадания отраженного света на фотоэлемент.

Выполнение упражнений

Упражнение I. *Исследование поляризации отраженного света.*

1. Вставляем в держатель обойму с четырьмя пластинами и устанавливаем угол падения света 25°. Поворачивая коромысло, добиваемся попадания на фотоэлемент отраженного света. Измеряем интенсивность света при положениях ППА 0° и 90°. Аналогичные измерения проводим для других углов падения (указаны в таблице) и результаты заносим в табл. 1.

2. Повторяем все измерения еще дважды и находим среднее значение показаний ИИС для каждого угла падения.

3.Для каждого угла падения по формуле 3 рассчитываем степень поляризации отраженного света.

Таблица 1

Угол падения, φ, град		25	30	35	40	45	*50*	53	55	57	59	62	65	70	75
I_{max}, мВ	1														
	2														
	3														
среднее															
I_{min}, мВ	1														
	2														
	3														
среднее															
Степень поляриза-ции, Р															
Угол Брюстера $\varphi_{Бр}$ =						Показатель преломления n =									

4. Строим графики зависимости: $\mathbf{I_{max}=f(\varphi)}$; $\mathbf{I_{min}=f(\varphi)}$; $\mathbf{P=f(\varphi)}$, с помощью которых находим угол Брюстера.

5.По формуле (1) рассчитываем показатель преломления п материала пластины (стекла).

Упражнение 2. *Исследование поляризации прошедшего через пластину света*

1.Вставляем обойму с двумя пластинами (N=2) и устанавливаем угол падения света, равный углу Брюстера, найденному в упражнении 1.

2.Устанавливаем фотоэлемент для регистрации интенсивности *прошедшего через* пластины света.

3.Измеряем интенсивность прошедшего через пластины света при двух положениях ППА: I_{max} - при 90° и I_{min} - при 0°.

4.Аналогичные измерения проводим для N=4, 7, 12 пластин. Рассчитываем степень поляризации света для всех случаев и вносим в таблицу 2.

Таблица 2

Число пластин N	Показания вольтметра, мВ		Степень поляризации, P
	I_{max}	I_{min}	
2			
4			
7			
12			

5.Строим график $P = f(N)$.

Упражнение 3. *Изучение закона Малюса.*

1. Снимаем с установки обойму с пластинами, коромысло узла анализатор-фотоэлемент устанавливаем в положение 180°, между источником света и установкой помещаем поляризатор 12 ($\varphi_{ППП} = 0°$).

2. Устанавливаем ППА на 0° и, *меняя положение* ППА ($\varphi_{ППА}$)от 0° до 180° через каждые 15°, отмечаем показания ИИС $I_{п}$ (интенсивность света, прошедшего через поляризатор и анализатор). Результаты всех измерений заносим в табл. 3.

Таблица 3

$\varphi_{ППП} = 0°$	$\varphi_{ППА}$	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
	$I_{П}$													
$\cos^2\varphi$		0,00	0,07	0,25	0,50	0,75	0,93	1,00	0,93	0,75	0,50	0,25	0,07	0,00
$I_{П}^2$														

3. Проводим расчеты, необходимые для заполнения таблицы.

4. Строим график $\mathbf{I^2=f(\cos^2\varphi)}$

Контрольные вопросы

1. Чем отличается естественный свет от поляризованного?
2. Перечислите способы получения поляризованного света.
3. В чем состоит явление двойного лучепреломления?
4. Сформулируйте закон Брюстера.
5. Докажите, что отраженный и преломленный лучи при соблюдении условия Брюстера будут взаимно перпендикулярны.
6. Сформулируйте закон Малюса.
7. Почему при любом положении анализатора частично поляризованный свет проходит через него?

Елена Валерьевна Пономаренко

Методические указания по проведению лабораторных занятий
по дисциплине «Физика» для студентов специальностей
5В073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды,
5В071200 – Машиностроение,
5В072400 – Технологические машины и оборудование (по отраслям),

Подписано в печать _____

Формат бумаги $X^{x}Y$ 1/16

Бумага типографская. Печать офсетная. Объем 4 п.л.
Тираж 50 экз. Заказ №_____

© Издание Южно-Казахстанского государственного университета
им. М.Ауэзова

Издательский центр ЮКГУ им. М.Ауэзова, г. Шымкент,
пр. Тауке хана, 5