

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ И
МЕЛИОРАЦИИ**

КАФЕДРА «ФИЗИКА И ХИМИЯ»

**СБОРНИК ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ФИЗИКЕ
(раздел оптика)**

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

ТАШКЕНТ - 2007

Данное методическое пособие рассмотрено на собрании № 8 научно-методического совета института от 13 июня 2007 года и рекомендовано к публикации.

В предлагаемом методическом пособии приведены описания 22 лабораторных работ по оптике, где освещены практические обоснования теорий физических явлений и законов, изучаемых в вышеуказанном разделе курса физики. Методическое пособие предназначается для студентов, обучающихся по линии бакалавриата.

Составители: Каримов Зокиржон Шукурович, д.х.н., профессор.
Илхамджанов Нигмат Акилджанович, к.ф.м.н., доцент
Ахмеджанов Гулом, к.т.н., доцент
Бахронов Хаёт Нурович, к.х.н., ст.преподаватель.
Бекназарова Замира Формановна, ассистент

Рецензенты: 1. К.Абдурахмонов, Ташкентский Университет
Информации и технологии, профессор кафедры
«Физика».

2. М.М.Хафизов, профессор кафедры «Физика и химия»
ТИИМ.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Общий курс физики в вузе закладывает основы теоретической подготовки будущих инженеров. Изучение курса включает и лабораторный практикум по разделу «Геометрическая и физическая оптика». Выполнение лабораторных работ помогает студентам приобрести навыки в использовании измерительных приборов, глубже изучить те или иные физические явления.

Для оказания помощи студентам в подготовке к выполнению лабораторных работ были составлены настоящее методическое пособие, которое включает краткое теоретическое введение, методику выполнения работ, описание экспериментальной установки, таблица результатов и контрольные вопросы для самопроверки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 50

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВОГО УВЕЛИЧЕНИЯ И ПОЛЯ ЗРЕНИЯ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ

Цель работы: Ознакомление с оптическими системами, определение углового увеличения зрительной трубы.

Приборы и принадлежности: 1. Зрительная труба на штативе.
2. Вертикальная рейка с делениями (линейка).

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Угол зрения. Разрешающая способность глаза.

Органом нашего зрения является глаз. Он представляет собой оптическую систему аналогичную линзе с оптической силой около 58,5 диоптрий ($F=17,2$ мм). Глаз должен одинаково хорошо видеть предметы, расположенные на разных расстояниях от него. Как бы не менялось расстояние d от предмета до глаза, на сетчатке должно получиться четкое изображение. Согласно формуле линзы

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

это возможно лишь в том случае, если одновременно меняется фокусное расстояние F оптической системы. Изменение оптической силы глаза D и его

фокусного расстояния $F = \frac{1}{D}$ происходит за счет изменения радиусов кривизны

поверхности (R_1, R_2) хрусталика. Это явление называется аккомодацией.

Величина изображения предмета на сетчатке определяется исключительно углом

зрения $\varphi = \frac{h}{F}$ с вершиной в оптическом центре глаза и с лучами, направленными

на крайние точки предмета (рис.1.).

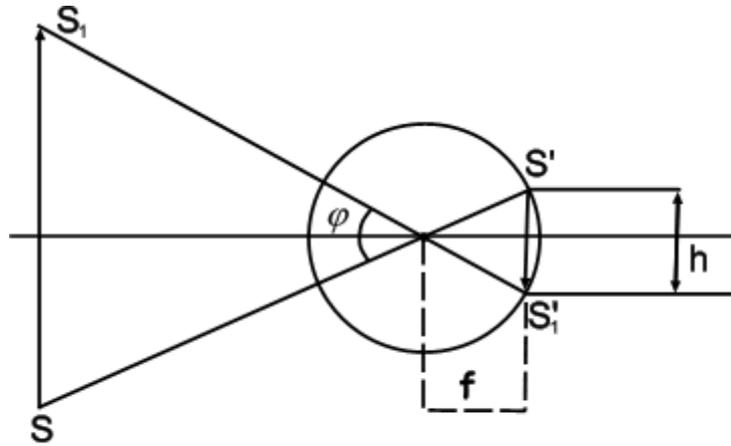


Рис.1. Изображение предмета на сетчатке глаза.

Угол зрения можно увеличить, приблизив предмет к глазу. Однако при этом усиливается напряжение цилиарной мышцы, и глаз устает. Особенно трудна аккомодация глаза, при котором угол зрения оказывается максимальным и глаз не устает.

Разрешающая способность глаза оценивается по минимальному углу зрения φ_0 , под которым при хорошем освещении две точки видны отдельно.

Простейшим прибором, позволяющим увеличить угол зрения, является лупа короткофокусная линза, которую помещают между предметом и глазом так, как это показано на рис 2.

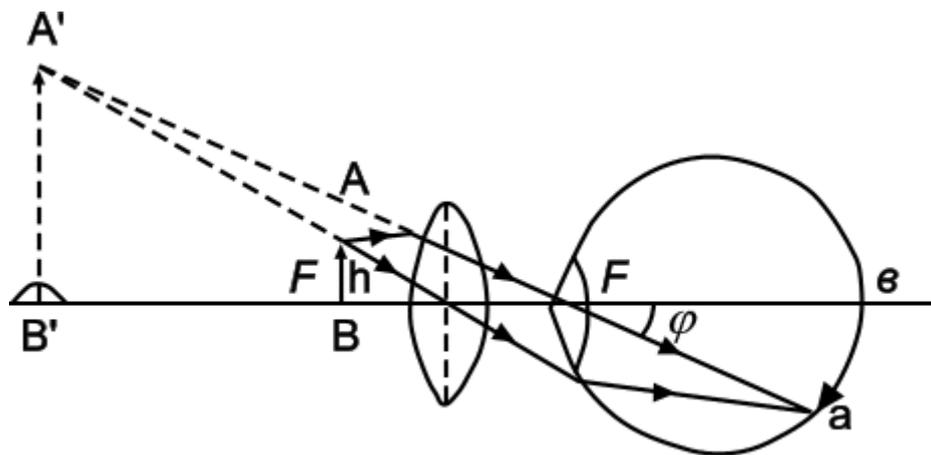


Рис. 2. Короткофокусная линза.

С помощью невооруженного глаза мы рассматриваем небольшой предмет $AB=h$, помещенный на расстоянии наилучшего зрения $d=25$ см, под углом зрения φ_0 , тангенс которого $\text{tg}\varphi_0 = \frac{h}{d_0}$. Если этот же предмет поместить вблизи фокуса лупы, то глаз будет его воспринимать под углом зрения φ_0 , который определяется из условия $\text{tg}\varphi_0 = \frac{h}{F}$, где F - фокусное расстояние линзы. В ре-

в результате изображение этого предмета на сетчатке глаза вооруженного лупой окажется больше изображения, которое возникает на сетчатке невооруженного глаза. Нам будет казаться, что мы видим не маленький предмет AB , а большой A_1B_1 .

Угловым увеличением γ лупы называется отношение тангенса угла φ , под которым предмет виден в лупу, к тангенсу угла φ_0 под которым предмет виден невооруженным глазом на расстоянии наилучшего зрения. Но $\operatorname{tg}\varphi = \frac{h}{f}$, а

$\operatorname{tg}\varphi_0 = \frac{h}{d_0}$ следовательно.

$$\gamma = \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\operatorname{tg}\varphi_0} = \frac{d_0}{f} \quad (2)$$

На практике применяются лупы, с фокусными расстояниями от 10 до 1 см. Это позволяет получить увеличения от 2,5 до 25 раз.

Для увеличения угла зрения при рассмотрении удаленных предметов применяются зрительные трубы. Зрительная труба представляет собой обычно телескопическую систему, у которой задний фокус объектива совмещается с передним фокусом окуляра.

Рассмотрим один из примеров телескопа, зрительную трубу Кеплера, которая представляет собой систему, состоящую в простейшем виде из двух линз L_1 и L_2 (рис.3.).

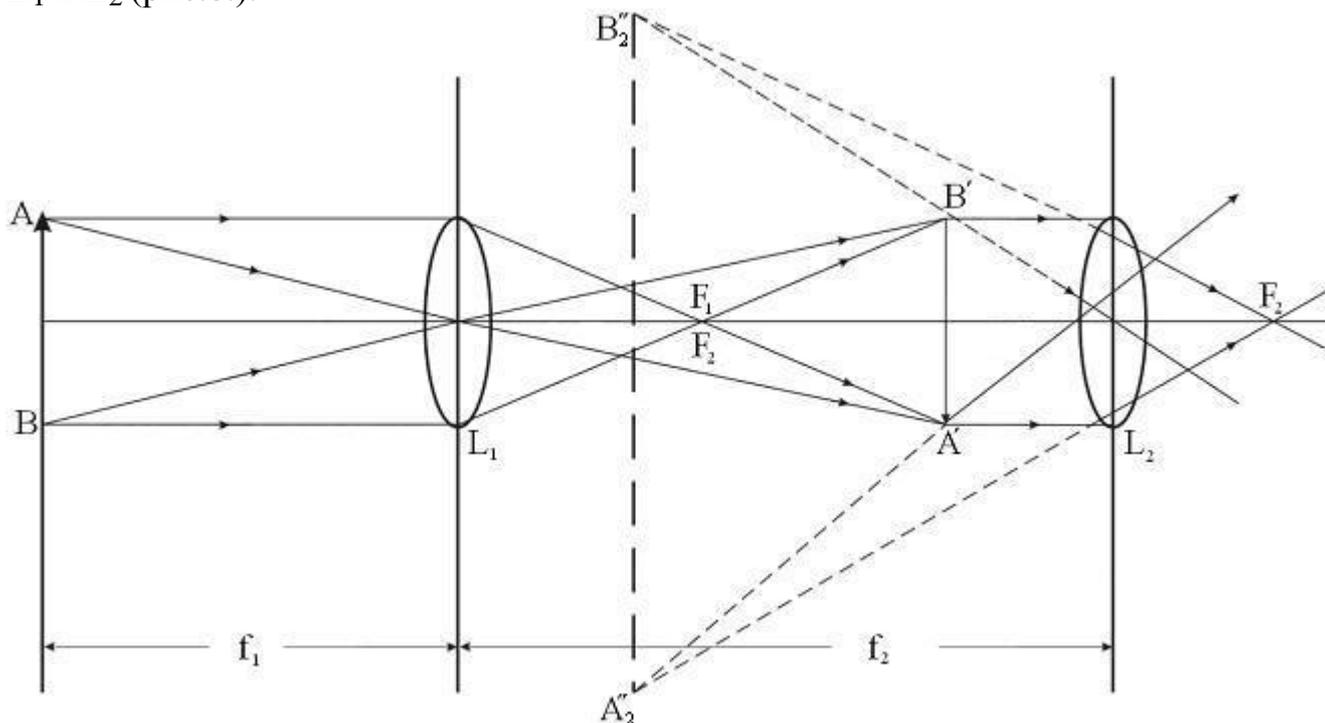


Рис.3. Ход лучей в зрительной трубе.

Линза L_1 , обращенная к наблюдаемому объекту, называется объективом.

Она создает действительное уменьшенное обратное изображение A_1B_1 , предмета AB .

Это изображение является предметом по отношению к 2-ой линзе L_2 , которая называется окуляром и которая, действуя, как лупа дает мнимое увеличенное изображение по отношению A_1B_1 к A_2B_2 .

Для характеристики углового увеличения даваемого зрительной трубой, используется величина, называемая углом зрения (смотрите рассуждения выше). Углом зрения φ называется угол, под которым виден глазу, находящемуся в точке O , предмет l_0 или изображение предмета l перпендикулярной оси OX (рис.4).

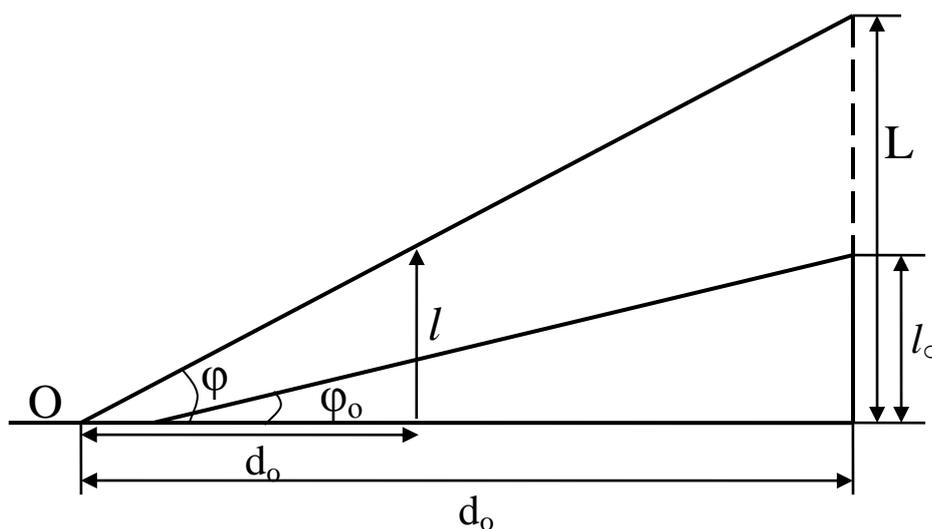


Рис.4. Угол зрения φ , под которым виден глазу предмет.

Отношение тангенса угла зрения, $\text{tg}\varphi_0 = \frac{l}{d}$ под которым видно изображение в трубу, к тангенсу угла зрения $\text{tg}\varphi_0 = \frac{l_0}{d_0}$ под которым виден предмет невооруженным глазом, называется угловым увеличением системы, т.е.

$$\gamma = \frac{\text{tg}\varphi}{\text{tg}\varphi_0} = \frac{l d_0}{d l_0} \quad (3)$$

Спроецируем изображение l на плоскость предмета, при помощи центральной проекции с центром в точке O , т.е. так, чтобы все точки изображения переместились вдоль лучей, соединяющих их с глазом наблюдателя. Спроецированное таким образом изображение, займет положение l .

Очевидно, что угол зрения, под которым видна эта проекция, есть φ , а её расстояние от глаза есть d_0 .

В этом случае

$$\frac{\operatorname{tg}\varphi}{\operatorname{tg}\varphi_0} = \gamma = \frac{\ell}{\ell_0} \quad (4)$$

Если предмет представляет собой шкалу, длина одного деления у которой ℓ_0 , то спроецировав её изображение на ту же шкалу, получим изображение, длина деления которого будет ℓ , причем $\ell > \ell_0$.

Если теперь выбрать такой отрезок шкалы, чтобы на нем разместилось W делений предмета и n делений изображения, причем $W > n$, получим $N\ell_0 = n\ell$ тогда

$$\frac{\ell}{\ell_0} = \frac{N}{n} = \gamma \quad (5)$$

Поле зрения оптической системы - часть пространства (или плоскости) изображаемая этой системой.

Величина поля зрения измеряется углом 2φ , под которым видны крайние точки видимой части O_1O_2 предмета из центра входного зрачка (угловое поле), либо линейными размерами этой части предмета O_1O_2 (линейное поле).

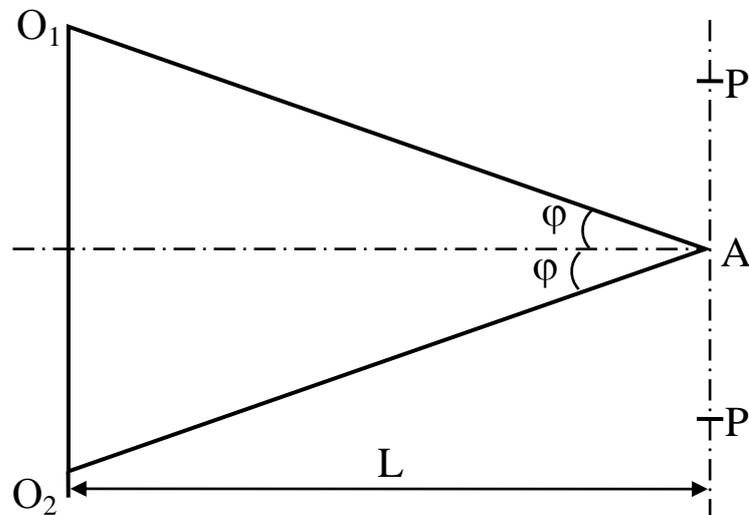


Рис. 5. Поле зрения предмета.

PP - входная зрачка;
 A - центр входного зрачка;
 2φ - угловое поле зрения.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

При нахождении увеличения зрительной трубы опытным путем, сравнивают величину предмета видимого невооруженным глазом, с величиной предмета, видимого в трубу.

Направляя ось зрительной трубы на шкалу и, передвигая окуляр, добиваются отчетливой видимости каких-либо делений шкалы. Затем смотрят

правым глазом в трубу, фиксируя число увеличенных и одновременно число не увеличенных делений видимых невооруженным глазом (рис.6.).



Рис. 6. Увеличенные и неувеличенные деления шкал

Далее подсчитывают, сколько на одном в том же участке находится увеличенных и не увеличенных делений. Чем больше участок, на котором подсчитывается количества делений, тем точнее результат.

Пусть на одном и том же участке находится N увеличенных и n не увеличенных делений. Если через λ и ℓ обозначены видимые величины одного деления для вооруженного и не вооруженного глаза, то можем написать:

$$n\lambda = N\ell$$

Отсюда:
$$\frac{\lambda}{\ell} = \frac{N}{n} \quad (6)$$

Отношение двух видимых величин одного деления шкалы для вооруженного и невооруженного глаза есть увеличение зрительной трубы. Тогда можно написать формулу:

$$\gamma = \frac{N}{n} \quad (7)$$

Находя из опыта N и n по формуле (7), вычисляет увеличение зрительной трубы и при этом, как было указано, чем больше n , тем точнее результат.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Фокусировка прибора, т.е. установка его на ясное видение изображения производится изменением расстояния между объективом в окуляре трубы, при помощи кремальеры, которая состоит из укрепленного на неподвижной части прибора зубчатого колеса, которое при вращении передвигает подвижную часть при помощи установленной на ней зубчатой рейки. В других конструкциях зрительной трубы фокусировка изображения производится при помощи специального винта, перемещающего окуляр.

1. Направить ось зрительной трубы на шкалу, перемещая окуляр добиться отчетливой видимости делений шкалы.
2. Смотреть правым глазом в трубу, а левым глазом мимо трубы на шкалу, и добиться одновременной видимости увеличенных и не увеличенных делений шкалы.
3. Незначительным изменением направления оси зрительной трубы добиться того, чтобы увеличенные и не увеличенные деления шкалы были расположены рядом.
4. Сосчитать сколько не увеличенных делений находится против одного, двух, трех и т.д. увеличенных делений.
5. По формуле (7) вычислить увеличение зрительной трубы при различных значениях γ ($n=1,2,3 \dots$).
6. Результаты наблюдений и вычислений занести в таблицу 1.

Таблица 1

№ опыта	n_i	N_i	γ_i	γ_{icc}
1				
2				
3				

n - число увеличенных делений шкалы;

N_i - число не увеличенных делений шкалы;

γ_i - увеличение зрительной трубы при различных значениях;

γ_{cp} - наиболее точное значение увеличения зрительной трубы, полученное при наибольшем значении.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется угловым увеличением зрительной трубы и от чего оно зависит?
2. Какой расчетной формулой пользуются при опытном определении увеличения зрительной трубы?
3. Почему результат получается более точный при больших значениях числа увеличенных делений.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 51

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СТЕКЛА ПРИ ПОМОЩИ МИКРОСКОПА

Цель работы: Определение показателя преломления стекла

Приборы и принадлежности: 1. Микроскоп.

2. Стеклопластинка с двумя царапинами на противоположных гранях.

3. Микрометр.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

При переходе света из одной среды в другую возникают отраженный и преломленный лучи. Управляющие этими явлениями законы для оптики удобно формулировать, пользуясь понятием луча - нормали к волновой поверхности. Эти законы, известные еще из курса физики средней школы, таковы:

1. Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр к поверхности раздела, восстановленный к точке падения луча, лежат в одной плоскости, называемой плоскостью падения.

2. Угол падения i равен углу отражения i_1 . Эти углы расположены по разные стороны перпендикуляра

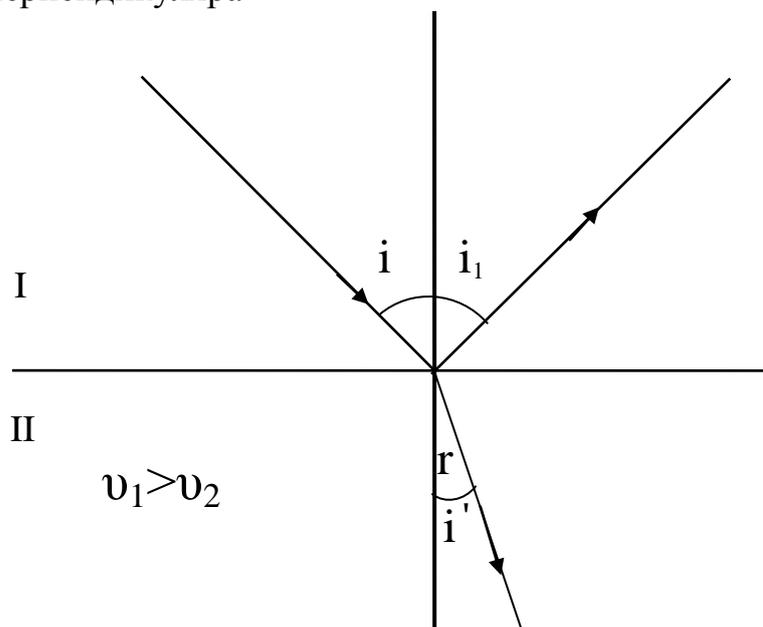


Рис.1. Ход лучей при переходе из одной среды в другую.

3. Луч падающий, преломленный и перпендикуляр к поверхности раздела, восстановленный к точке падения луча, лежат в одной плоскости - плоскости падения.

4. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления i' (эти углы лежат по разные стороны перпендикуляра см. рис.1.) равно отношению скоростей волны в обеих средах.

Величина $n_{12} = \frac{v_1}{v_2}$ называется относительным показателем преломления

среды.

Выбрав некоторую стандартную среду (в оптике - вакуум,

характеризующийся наибольшей скоростью распространения света C) и введя величину абсолютного показателя преломления $n = \frac{c}{g}$, можно записать закон преломления в удобном для запоминания виде:

$$n_1 \sin i = n_2 \sin i' \quad \text{или} \quad \frac{\sin i}{\sin i'} = \frac{n_2}{n_1},$$

где i и i' угол падения и преломления.

В настоящей работе опытным путем можно найти показатель преломления стекла по отношению к воздуху. Показатель преломления стекла, мы будем определять на основании кажущегося изменения толщины стеклянной пластинки, вследствие преломления света. Допустим, что на нижней грани стеклянной пластинки из точки A (рис.2) идет очень узкий пучок лучей света, ось которого AO , как перпендикулярная к граням не изменяет своего направления при переходе из стекла в воздух. Все же остальные лучи пучка преломляются и отклоняются от перпендикуляра.

Если наблюдатель смотрит в точку A так, что зрачок его глаза попадает на осевой луч AO , то вместе с этим лучем в зрачок его глаза попадут соседние с ним лучи ABC и AB_1C_1 .

Эти лучи должны составлять очень малый угол с осевым лучем OA , так как площадь зрачка очень мала.

Согласно законам преломления лучи AB и AB_1 испытывают преломление, как указано на

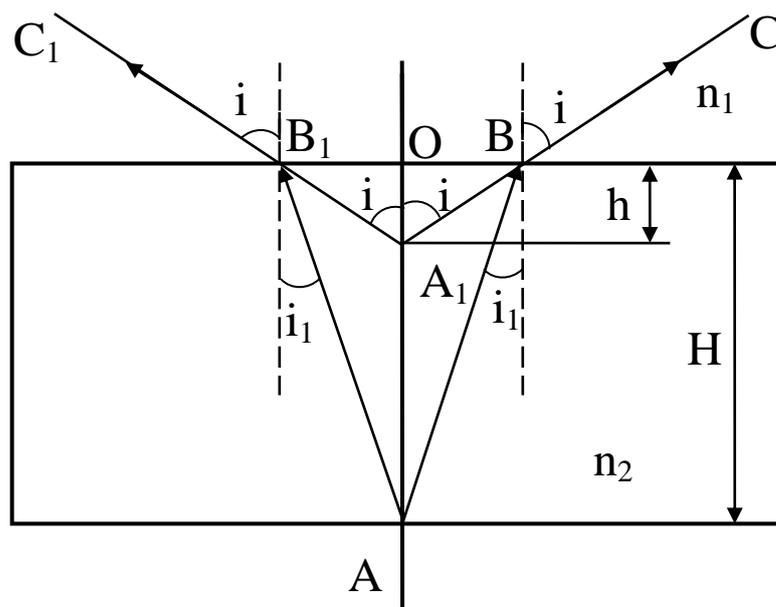


Рис. 2. Ход лучей при прохождении через стеклянную пластинку.

Расстояние AO или H является действительной толщиной пластинки, а расстояние A_1O кажущейся толщиной (h).

Показатель преломления стекла относительно воздуха равен

$$n = \frac{\sin i}{\sin i'}$$

Так как i и i' очень малы, то можем синусы заменить тангенсами.

Из треугольников АОВ находим

$$\frac{\text{tgi}}{\text{tgi}'} = \frac{H}{h} \quad \text{или} \quad \frac{H}{h} = \frac{\sin i}{\sin i'}$$

Согласно закону преломления света, запишем: $n = \frac{H}{h}$

Этой формулой и пользуются для определения показателя преломления стекла в данной работе.

ОПИСАНИЕ АППАРАТУРЫ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

Прибором для измерения толщины пластинки служит микрометр. Измерение толщины H пластинки нужно произвести 10 раз, ограничиваясь той её частью, где нанесены штрихи. Результаты измерения величины H заносятся в таблицу.

Прибором для точного измерения расстояния между положениями изображений верхнего и нижнего штриха служит измерительный микроскоп. При подготовке его выдвигают окуляр "Ок" так, чтобы движение 160 пришлось в уровень с краем остальной части микроскопа. В некоторых измерительных микроскопах такая установка уже произведена и закреплена наглухо.

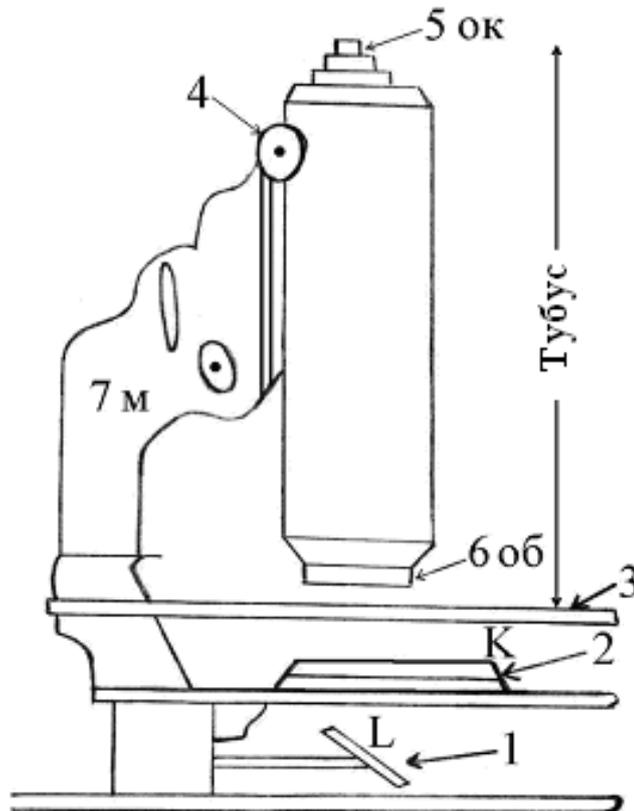


Рис.3. Общий вид микроскопа.

Затем производят следующие «операции»:

I. УСТАНОВКА ПОЛЯ ЗРЕНИЯ:

Поставив перед зеркалом L электрическую лампочку, поворачивают зеркало и лампу так, чтобы, глядя в окуляр, получить освещенность поля зрения сильной и равномерной. Если имеется конденсатор K, то регулируют его положение: специальным винтом.

2. УСТАНОВКА ПРЕДМЕТА:

На столик S кладется стеклянная пластинка с крестообразно нанесенными на её верхней и нижней стороне двумя штрихами. Зажав пластинку двумя пружинящими держателями, опускают тубус винтом P почти до соприкосновения с пластинкой и перемещают её так, чтобы место пересечения штрихов пришлось возможно точнее против центра объектива OB.

3. ФОКУСИРОВКА ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРЕДМЕТА:

Общий прием фокусировки заключается в следующем. Головку фокусировочного винта вращают до тех пор, пока изображение, ставшее максимально резким не станет заметно ухудшаться. Тогда вращением винта в обратную сторону достигают прежней резкости изображения.

В данной работе нужно фокусировать край штриха, т.е. какую-нибудь мелкую деталь края царапины на стекле. Если фокусировать её середину, лежащую глубже, то ошибка в определении кажущегося поднятия изображения может достигнуть десятка микронов.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Прежде всего, поворачивают микровинт M в сторону увеличения числа делений, замечают, что тубус при этом поднимается. После этого, подняв тубус винтом грубой наводки P примерно на 1 см от пластинки, вывертывает микровинт до отказа так, чтобы при последующих измерениях путем вращения его в обратную сторону он мог бы поднять тубус соответственно максимально возможному числу оборотов (обычно 20-24). Тогда можно поручиться, что свободной длины микровинта хватит на фокусировку, нижнего и верхнего штриха, не прибегая к помощи винта грубой наводки P.

2. Далее, пользуясь винтом P, убеждаются, что в поле зрения последовательно появляются изображения сперва нижнего, потом верхнего штриха, что будет иметь место, если видимая точка пересечения штрихов была установлена достаточно точно под центром объектива. Если это условие не соблюдено, то улучшают центрировку штрихов приемом, указанным выше. Получив поочередно оба изображения, слегка перемещают пластинку, чтобы место пересечения штрихов пришлось посередине поля зрения.

3. Получив с помощью винта P наиболее резкое изображение нижнего штриха, слегка опускают тубус тем же винтом. Тогда, если поднимать тубус микровинтом, то, как указывалось, запаса свободных оборотов последнего хватит

для фокусировки изображения не только нижнего штриха, но и верхнего.

4. Сфокусировав нижний штрих микровинтом М, делают отсчет. При этом если против указателя на головке М стоит число делений n' , в таблицу записывают $Q-n'$ делений, где Q – общее число делений на головке, обычно равное 50. Далее, поворачивают головку микровинта в сторону увеличения числа делений до первого совпадения указателя с 50-м или то же самое с нулевым делением. Число полных оборотов головки М при этом равно нулю. Продолжая поворачивать головку в ту же сторону, следят за числом m его полных оборотов, заглядывая в окуляр, чтобы убедиться, не появилось ли изображение верхнего штриха в поле зрения. Когда это изображение появится и будет наведено в максимальную резкость, записывают в таблице целое число m полных оборотов головки М и число делений от последнего перехода через нуль до положения максимальной резкости изображения верхнего штриха пластинки производят 10 раз.

5. По формуле $N=(Q-n')+mQ+n''$ находится число делений. N – соответствующее кажущейся толщине пластинки. Цена деления α головки микровинта (указывается на приборе и обычно $\alpha=0,002$ мм) показывает, сколько смещается тубус по вертикали при повороте на 1 деление. Тогда кажущаяся толщина пластинки будет: $h = \alpha N$

6. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу.

7. Рассчитать относительную, абсолютную ошибки и окончательный результат:

$$n=(n_{cp} \pm \Delta h)$$

Таблица

№	Толщина пластинке			Смещение тубуса				Кажущаяся толщина		
				Нижний штрих	Верхний штрих					
	H	H _{cp}	ΔH	Q-n'	m	n''	N	h	h _{cp}	Δh
1										
2										
3										

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется показателем преломления?
2. Какое различие между абсолютным и относительным показателями преломления?
3. Какой физический смысл имеет показатель преломления по волновой теории?
4. Доказать, что показатель преломления равен отношению действительной толщины пластинки и кажущейся при перпендикулярном к пластине луче зрения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 52

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ ПОМОЩИ РЕФРАКТОМЕТРА

Цель работы: Определения показателей преломления жидкостей различной концентрации

Приборы и принадлежности: 1. Рефрактометр ИР5-22.
2. Раствор сахара с различными концентрациями и оплавленная стеклянная палочка к ним.
3. Дистиллированная вода в колбе.
4. Чистые тряпочки.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

При переходе света из одной среды в другую возникают отраженные и преломленные лучи (рис.1).

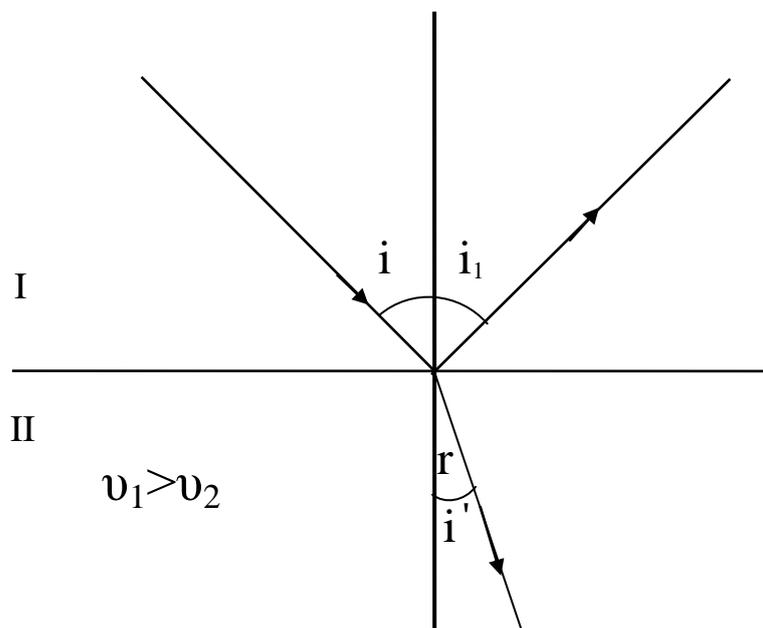


Рис. 1. Прохождение луча из одной среды в другую.

Запишем закон преломления в виде

$$n_1 \sin i = n_2 \sin i' \quad (1)$$

где $n_1 > n_2$ абсолютные показатели преломления первой и второй среды i - угол падения; i' - угол преломления. Из (1) видно, что при переходе света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную среду, луч удаляется от нормали к поверхности (рис.1.). Увеличение угла падения i сопровождается более быстрым ростом угла преломления i' и по достижении углом значения предельного угла:

$$i_{\text{пред}} = \arcsin \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

Угол, $i' = \frac{\pi}{2}$ определяемый формулой (2) называется предельным углом.

Если свет падает на границу двух сред под углом большим $i_{\text{пред}}$ происходит полное внутреннее отражение. (рис.2)

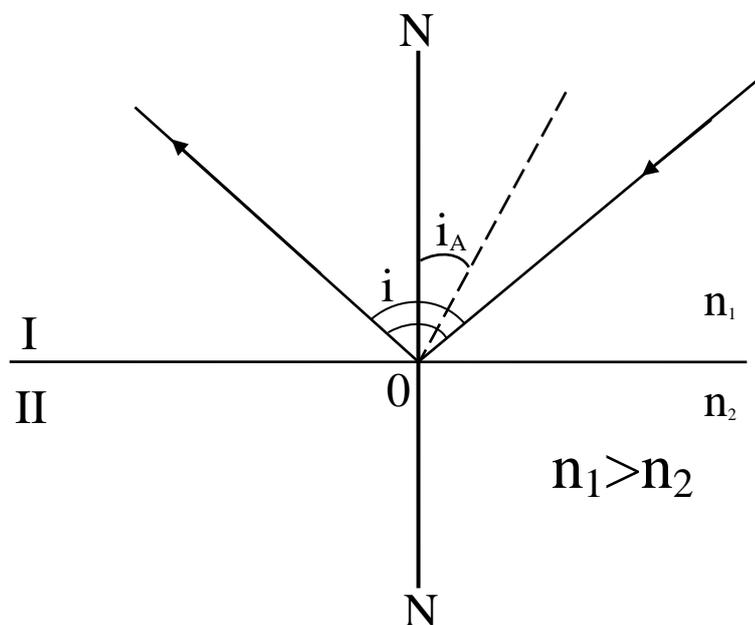


Рис.2. Полное отражение

Явление в целом получил название полного внутреннего отражения света. Оно имеет место только при падении света на границу раздела из среды с большим показателем преломления, или, как говорят, оптически более плотной.

Следует учесть, что энергия падающего луча распределяется между отраженным и преломленным лучами. При увеличении угла падения интенсивность отраженного луча растет, интенсивность преломленного луча убывает, обращаясь в нуль при предельном угле. При углах падения,

заключенных в пределах от $i_{\text{пред}}$ до $\frac{\pi}{2}$, световая волна проникает во вторую среду на расстояние порядка длины волны λ и затем возвращается в первую среду. Это явление и называется полным внутренним отражением,

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Рефрактометр называется прибор для измерения показателя преломления твердых, жидких и газообразных тел. Все измерения на приборе проводят при белом свете. Показатель преломления прозрачных жидкостей определяют в проходящем свете. Несколько капель исследуемой жидкости помещают между двумя гранями призмы I и II (рис.3).

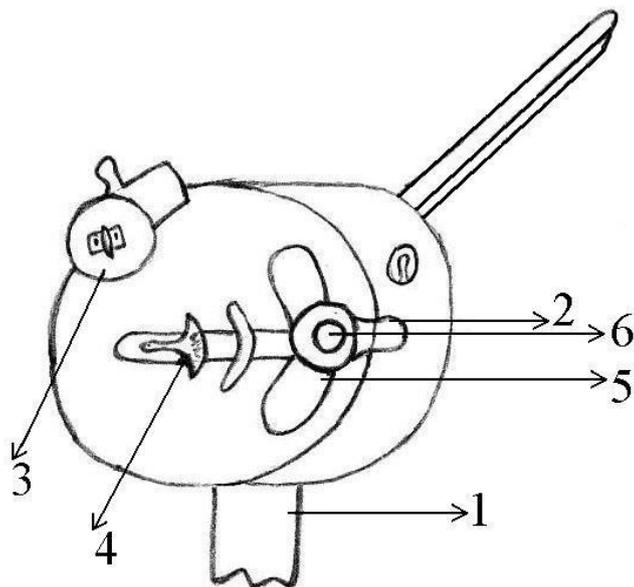


Рис.3. Внешний вид рефрактометра

Призмы изготовлены из тяжелого стекла (флинт), показатель преломления которого больше 1,70. Грань АВ верхней осветительной призмы матовая и служит для освещения рассеянным светом жидкости, нанесенной тонким слоем в узкий зазор между призмами. Свет, рассеянный матовой гранью верхней призмы, проходит плоскопараллельный слой исследуемой жидкости и падает на диагональную грань нижней призмы (3) под различными углами, в пределах от 0° до 90° .

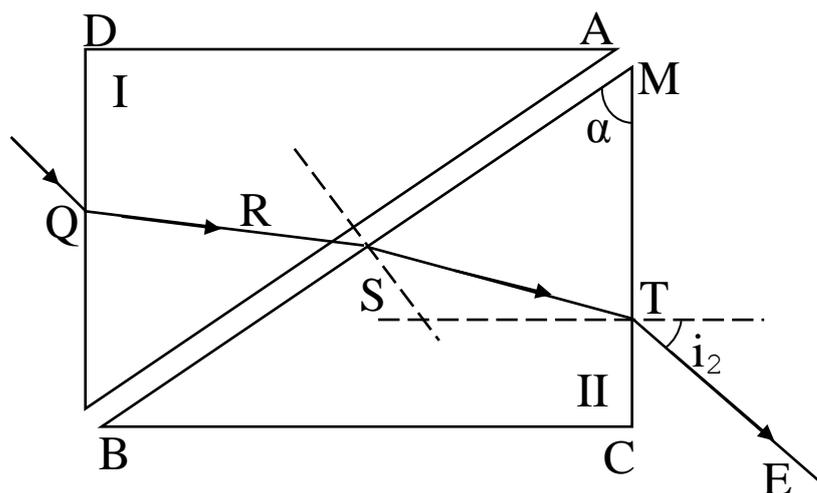


Рис.4. Определение показателя преломления прозрачных жидкостей в проходящем свете.

Пучок света, угол падения которого равен 90° , называется скольльзящим пучком. Так как показатель преломления призмы больше чем показатель преломления жидкости, скольльзящий световой пучок RS, преломляясь на границе жидкость-стекло пойдет в нижней призме под предельным углом преломления MST. Преломление светового пучка RS в точке O подчинено закону

$$\sin r = \frac{n_{ж}}{n_{ст}} \quad (3)$$

где:

$n_{ж}$ - показатель преломления исследуемой жидкости;

$n_{ст}$ - показатель преломления стекла, из которого сделаны призмы;

r - угол преломления в нижней призме.

В точке Т где выходит световой пучок из призмы имеем:

$$n_{ст} \cdot \sin r' = \sin i \quad (4)$$

где: r' - угол падения пучка в точке Т на грань призмы АС;

i - предельный угол выхода пучка света из призмы.

Пучок света ТЕ делит поле зрения на две части, так как представляет собой границу распространения света, прошедшего призму со стороны наименьших углов i .

Преломляющий угол призмы:

$$\alpha = r + r' \quad (5)$$

Из соотношений (3) и (5) получим формулу, связывающую искомый показатель преломления $n_{ж}$ с предельным углом i :

$$n_{ж} = \sin \alpha \sqrt{n_{ст}^2 - \sin^2 i} - \cos \alpha \sin i$$

Граница раздела, видимая в поле зрения, окрашена вследствие дисперсии. Для устранения окраски, в оптическую часть прибора введен компенсатор, состоящий из двух призм прямого зрения, могущих вращаться во взаимно противоположных направлениях. Винтом, расположенным на корпусе прибора, справа от наблюдателя, вращают призмы компенсатора до полного устранения окраски границы раздела. Призмы, таким образом, образуют оптическую систему с переменной дисперсией. Оптическая схема прибора изображена на (рис.5).

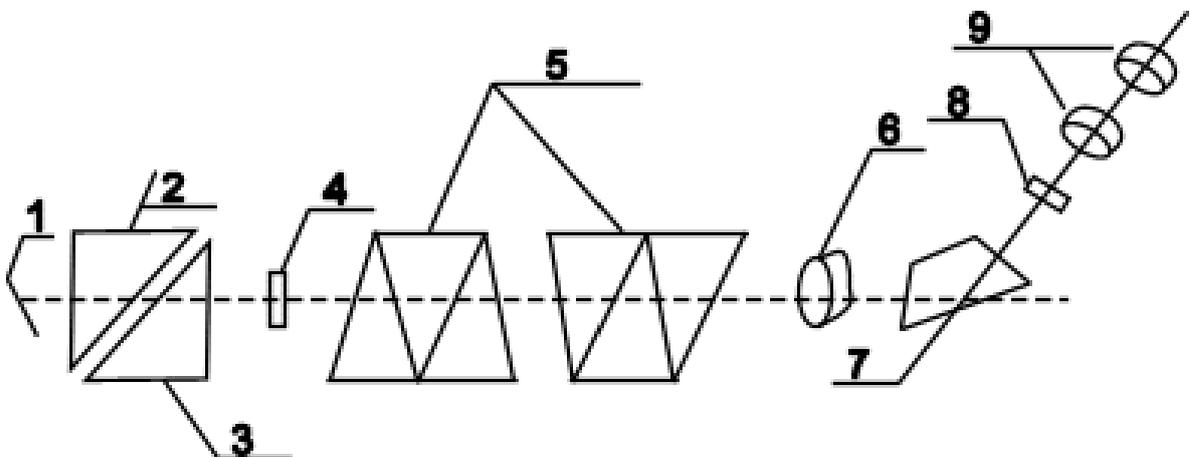


Рис.5. Оптическая схема прибора.

Свет отраженный от зеркала I, направляется в осветительную призму 2,

проходит через тонкий слой исследуемой жидкости и измерительную призму 3, затем через защитное стекло 4 и компенсатор с маховичком 5, попадает в объектив 6, проходит через призму полного внутреннего отражения 7, попадает в пластину с крестом 8 и через окуляр 9, попадает в глаз наблюдателя. По шкале отсчитывается значение показателя преломления.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Поднять верхнюю призму рефрактометра и протереть призмы тряпочкой, сначала смоченной дистиллированной водой, а затем сухой;
2. Протереть таким же образом оплавленный конец стеклянной палочки;
3. При помощи стеклянной палочки, ввести одну или несколько капель дистиллированной воды на поверхность нижней призмы 1 (рис.4.), (не царапая её палочкой) и опустить верхнюю призму;
4. Поворотом зеркала 2, добиваются наилучшей освещенности поля зрения и устанавливают в окуляре 3 не отчетливую видимость;
5. Вращая маховичок компенсатора 5, добиваются уничтожения окраски граничной линии;
6. С помощью маховичка компенсатора 5, точно устанавливают перекрестье на границе светлого и темного полей и производят отсчет по шкале, пользуясь лупой 7. Цена наименьшего деления шкалы 6 равна 0,001 (четвертый знак после запятой оценивается на глаз).
7. Так как показатель преломления дистиллированной воды при комнатной температуре можно считать равным - 1,333, то ошибка шкалы на отсчет показателя преломления находится по формуле:

$$\Delta n = n_0 - 1,333$$

8. Поднять верхнюю призму, вытереть (досуха) поверхности призм, ввести на их поверхность одну или несколько капель сахарного раствора из колбы № I и как указано в пунктах - 4, 5, 6 найти показатель преломления без поправки;
9. Таким же путем (после каждого отсчета, протирая призмы тряпочками, смоченными дистиллированной водой и сухой), найти показатели преломления растворов сахара 2, 3, 4 (без поправки);
10. Принимая, что при отсчете показателя преломления допускается ошибка (пункт 7), найти показатели преломления растворов сахара с поправкой по формулам:

$$n_1^1 = n_1 - \Delta n$$

$$n_3^1 = n_3 - \Delta n$$

$$n_2^1 = n_2^1 - \Delta n$$

$$n_4^1 = n_4 - \Delta n$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется абсолютным и относительным показателем преломления?
2. Объясните принцип действия рефрактометра.
3. В чем заключается явление полного отражения?
4. Что называется предельным углом ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 53

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ПРИЗМЫ ПРИ ПОМОЩИ ГОНИОМЕТРА

Цель работы: Определение показателя преломления материала призмы

Прибора и принадлежности: 1. Гониометр.
2. Призма.
3. Осветитель

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В работах (51, 52) был рассмотрен вопрос о преломлении световых лучей, при падении на границу раздела двух сред с различными показателями преломления. На основе принципа Гюйгенса был установлен закон преломления:

$$\frac{\sin i}{\sin i^1} = \frac{n_2}{n_1} = n \quad (1)$$

В настоящей работе мы рассмотрим применение закона преломления для случая прохождения света через трехгранную оптическую призму (рис.1). Луч L падает на грань призмы AC так, что он испытывает преломление на этой грани в плоскости сечения призмы ABC . Затем он второй раз преломляется на грани AB и выходит из призмы, испытав после двух преломлений отклонение от первоначального направления на угол δ . Величина этого угла связана с углом падения i_1 , углом преломления i_2 и углом A , при вершине сечения призмы соотношением:

$$\delta = i_1 + i_2 - A \quad (2)$$

При симметричном ходе лучей через призму, когда луч L отсекает с обеих сторон призмы, равные отрезки от вершины угла A , угол δ - имеет наименьшее значение, а углы i_1 и i_2 - равны между собой т.е.:

$$i_1 = i_2 = i$$

В таком случае из (1) получим:

$$\frac{\sin i}{\sin i'} = n \quad (3)$$

или

$$\sin i = n \sin i'$$

где:

$$i' = i_1' = i_2'$$

Следовательно: $n \sin i' = \sin \frac{\delta + A}{2}$ (4)

Но, как видно из рисунка: $i = \frac{A}{2}$

Тогда соотношение (4) примет вид:

$$n \sin \frac{A}{2} = \sin \frac{\delta + A}{2} \quad (5)$$

$$n = \frac{\sin \frac{\delta + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}} \quad (6)$$

При наименьшем угле отклонения δ , удовлетворяющем условию (6), призма дает наименьшее искажение проходящих через нее световых пучков, т.е. оптическое изображение при этом обладает наименьшими погрешностями (абберациями).

Если синус угла A - мал, то синус угла δ - также мал, поэтому синусы можно заменить углами, и мы будем иметь:

$$\delta = (n - 1)A \quad (7)$$

Такая призма называется клином.

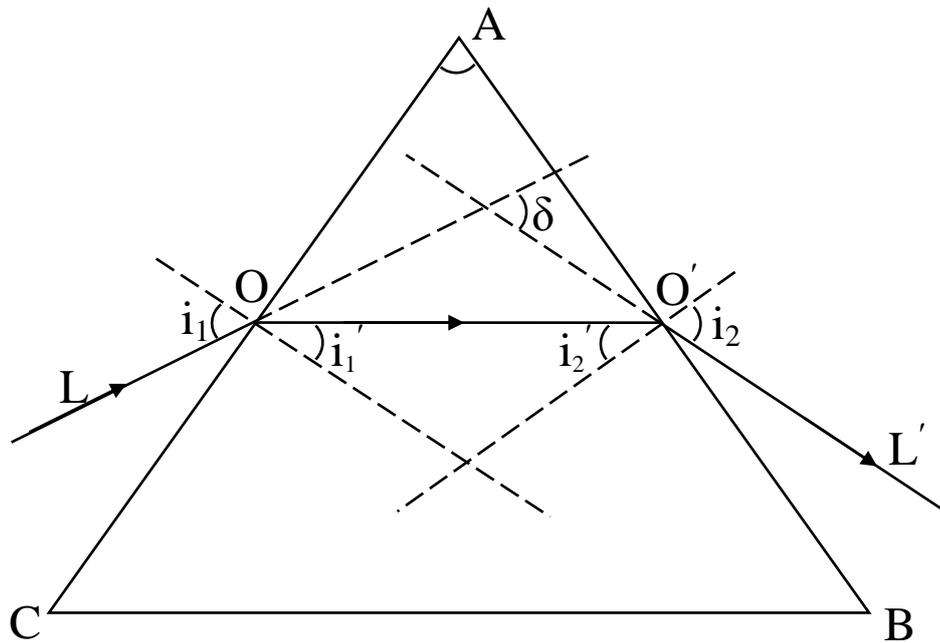


Рис.1. Ход лучей в призме.

Таким образом, если известна величина угла, при вершине призмы A , то определение величины показателя преломления для каждой световой волны $n(\lambda)$, сводится к измерению соответствующего угла δ_{\min} . Следует помнить, что показатель преломления зависит от длины световой волны. Чем больше λ , тем меньше n . Зависимость показателя преломления от длины световой волны называется дисперсией. Для нормальной дисперсии:

$$n\lambda = \text{const}$$

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Как показывают выше приведенные выводы, для определения показателя преломления призмы нужно опытным путем найти преломляющий луч, угол призмы "A" и угол наименьшего отклонения луча.

Для определения этих углов служит гониометр (рис.2):

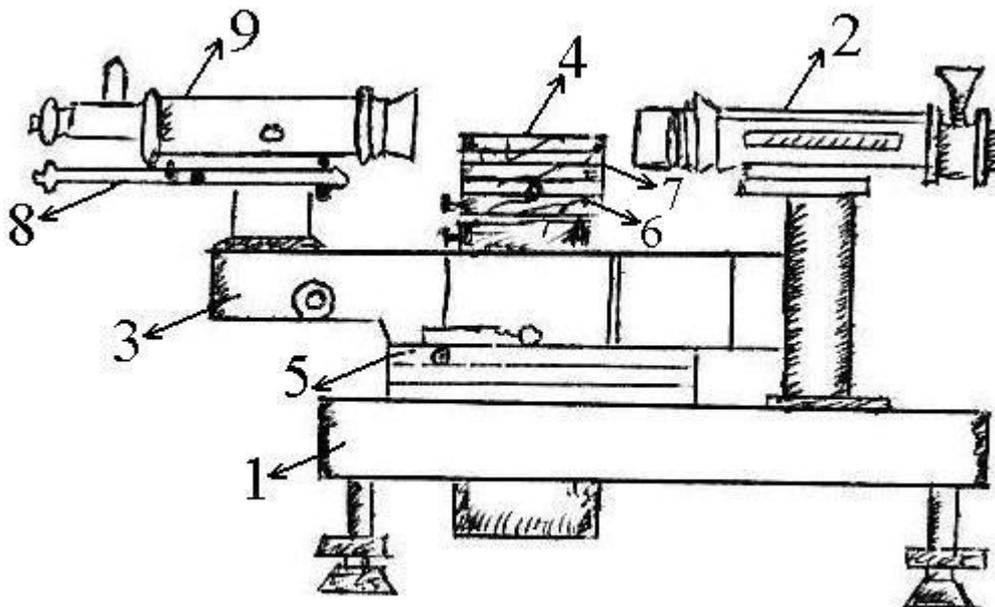


Рис.2. Внешний вид гониометра.

- 1-спектральная щель;
- 2- стойка коллиматора;
- 3- коллиматор;
- 4- алидада;
- 5- микрометрический винт алидады;
- 6- зажимный винт алидады;
- 7- маховичок оптического микрометра;
- 8- маховичок фокусировки трубы 4;
- 9- столик;
- 10- зажимный винт столика;
- 11-микрометрический винт столика;
- 12- зрительная труба;
- 13- окуляр зрительной трубы;
- 14- окуляр отсчетного устройства.

Для выполнения измерений, преломляющая призма закрепляется на столике 9, поворот которого можно осуществлять грубо – рукой, при освобожденном зажимном винте столика 10 и точно с помощью микрометрического винта II (при этом зажимный винт столика 10 должен быть повернут без особого усилия по часовой стрелке до упора). При зажатом винте 10 должны быть исключены попытки вращения столика рукой. Алидада 4, вместе со зрительной трубой 12, может вращаться относительно столика с призмой. Вращение её также может осуществляться грубо - рукой, при освобожденном зажимном винте алидады 6 и точно с помощью микрометрического винта алидады 5, при зафиксированном положении зажимного винта 6.

Спектр осветителя рассматривается через окуляр зрительной трубы 13, а отсчеты углов делаются по шкалам наблюдаемым в окуляре отсчетного устройства 14.

Поле зрения окуляра отсчетного устройства (приведено на рис.3.), в левом,

горизонтально расположенном окне, наблюдаются изображения диаметрально противоположных участков лимба 2 в 3, оцифровкой через 1^0 и вертикальный индекс 4, для отсчета градусов. Цена деления лимба равна $20'$.

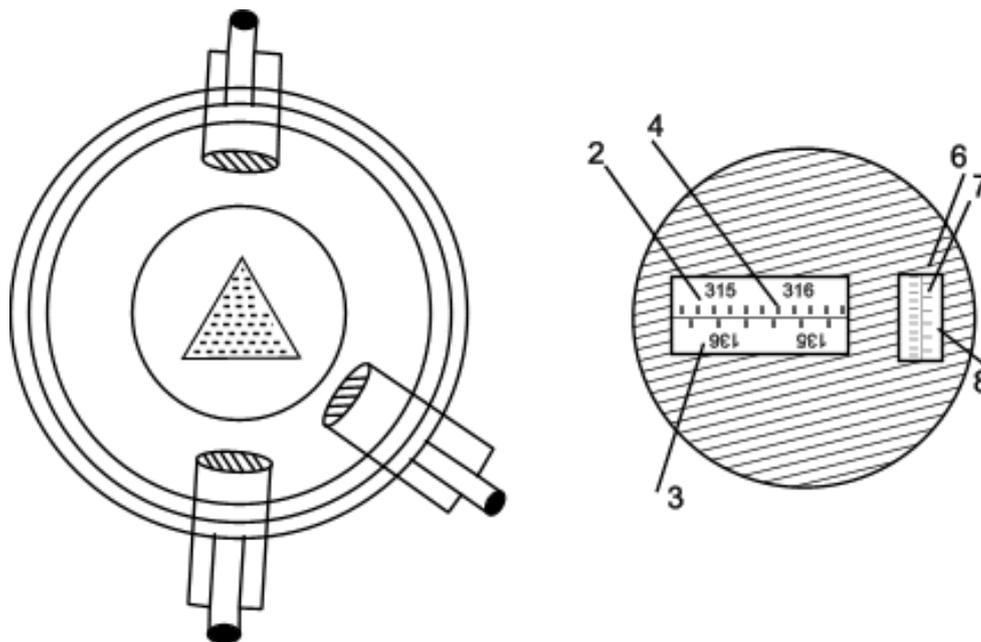


Рис. 3. Поле зрения микроскопа.

В правом вертикально расположенной окне наблюдаются деления шкал оптического микрометра - шкалы единиц минут 6 и секунд 7, а также горизонтальный индекс для отсчета единиц минут и секунд (рис.3.), соответствует произвольному, не компенсированному положению лимба. Для того, чтобы снять отсчет, необходимо повернуть маховичок 7 (рис.3.), оптического микрометра настолько, чтобы верхние и нижние изображения штрихов лимба в левом окне точно совместились (рис.3.).

ПРАВИЛА ПОЛЗОВАНИЯ НОНИУСОМ ЛИМБА.

При отсчете число градусов будет равно ближайшей левой, от вертикального индекса - цифре 4 (рис.3). Это число в данном случае равно 315° . Число десятков минут равно числу интервалов, заключенных между верхней оцифровкой, соответствующей отсчитанному числу градусов, с нижней оцифровкой, отличающейся от верхней на 180° . В данном случае оно равно $40'$. Число единиц минута отсчитывается по шкале единиц (рис.3.), которое показывает 6 минут 7 секунда, соответствующая $5'37''$. По рис. 3 показание положений угол $315^{\circ}45'37''$.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Включить осветитель в сеть, установить окуляр трубы Е на отчетливую видимость нити;
2. Установить зрительную трубу так, чтобы в трубу видно было

изображение щели коллиматора, совместить нить с изображением щели и сделать нулевой (начальный) отсчет по нониусу (m_0);

3. Поставить на столик гониометра призму так, чтобы лучи из коллиматора падали на одну из граней найденного преломляющего угла призмы и установить зрительную трубу так, чтобы в трубу было видно изображение щели, проходящей через призму;

4. Добившись такого положения призмы, совместить поворотом зрительной трубы нить с изображением щели с желтой частью спектра и сделать отсчет по нониусу (3);

5. Опыт повторить не менее трех раз и взять среднее значение

$$m_{\delta} = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3}$$

где:

m_{δ} - среднее значение отсчета для белых лучей;

6. По разности отсчетов $m_{\delta} - m_0$ найти величину угла наименьшего отклонения для белых лучей (δ_{δ}) и записать в таблицу;

7. Вставляя поочередно в осветитель прилагаемые фильтры, найти указанным способом углы наименьшего отклонения для цветных лучей;

8. Пользуясь формулой (6), вычислить показатели преломления цветных и белых лучей, результаты записать в таблицу;

9. Построить график зависимости n от λ ;

10. Найти угол полной дисперсии для данной призмы ($D = \delta_{\text{сп}} - \delta_{\lambda}$)

($D = \delta_{\text{сп}} - \delta_{\lambda}$);

Таблица

№	A	m_0	m	$\delta = m - m_0$	N	D	λ	$n\lambda$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой угол призмы называют преломляющим? Какой угол отклонения призмы?

2. Когда угол отклонения имеет наименьшее значение? Как практически его определяют?

3. Назовите расчетную формулу для определения показателя преломления призмы.

4. Как зависит показатель преломления от длины волны?

5. Опишите устройство гониометра и правило пользования нониусом.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 54.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ВЫПУКЛОЙ И ВОГНУТОЙ ЛИНЗЫ ПО СПОСОБУ БЕССЕЛЯ.

Цель работы: Практическая проверка способа Бесселя по определению фокусного расстояния линзы, а также ознакомление студентов с основными положениями теории тонкой линзы.

Приборы принадлежности:

1. Оптическая скамья с ползушками, на которых устанавливаются экран в рамки для линз.
2. Специальный кожух со стрелкой электрической лампочкой.
3. Две линзы (выпуклая и вогнутая).

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ.

Линза - это стеклянное тело, ограниченное с двух сторон сферическими поверхностями. На рис.1 изображены поперечные сечения двояковыпуклой (а) и двояковогнутой (б) сферических линз (R_1 , R_2 и R_3 , R_4 - радиусы сфер.

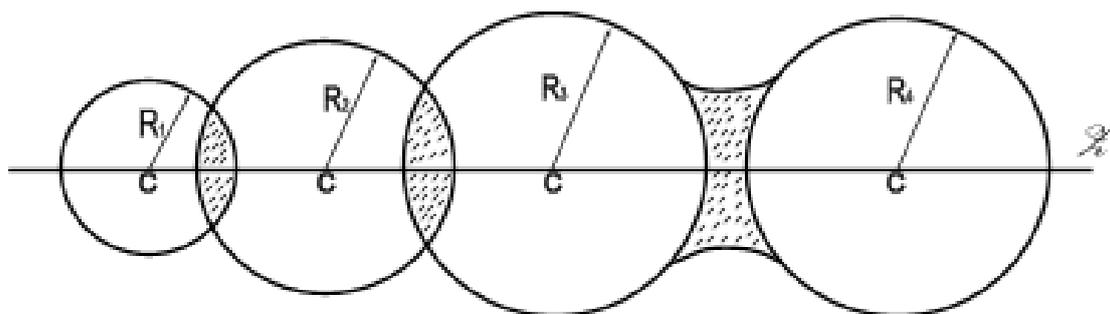


Рис. 1. Поперечные сечения линз.

Прямая $Z'Z$, проходящая через центры кривизны поверхностей, образующих линзу называется главной оптической осью линзы.

В данной работе рассматривается тонкая линза, толщина которой пренебрежимо мала, по сравнению с радиусами кривизны линзы (рис.2.)

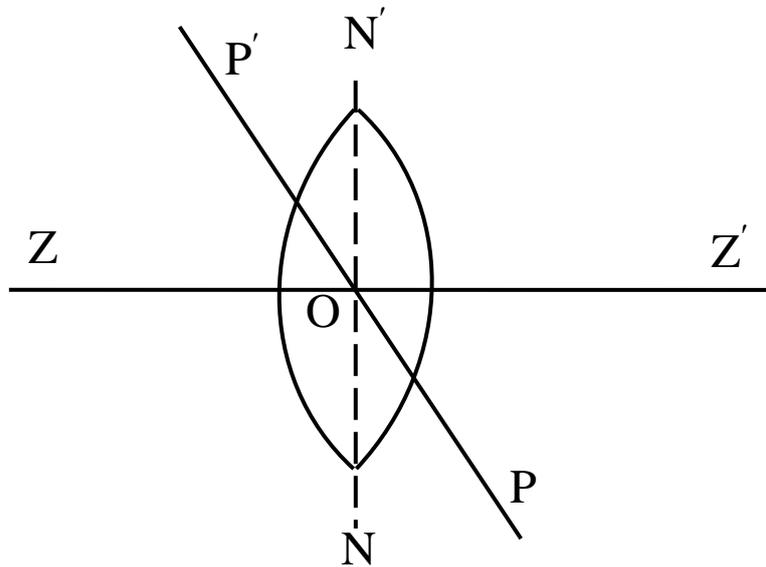
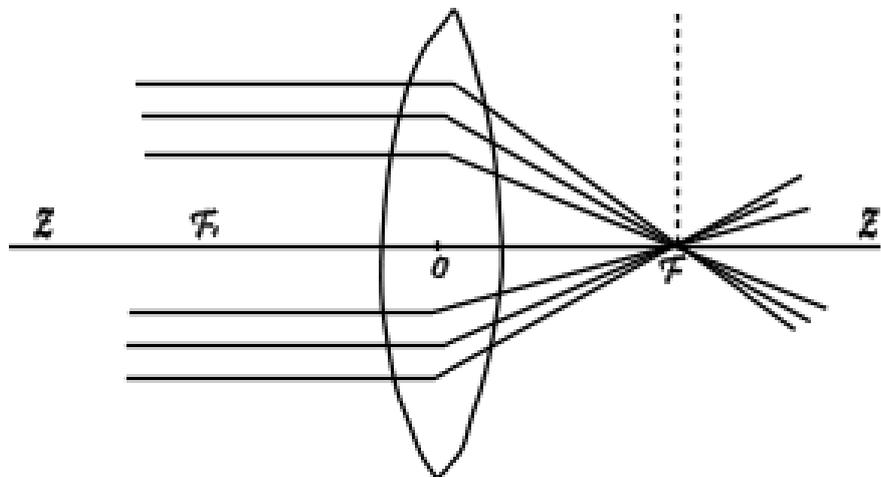


Рис.2. Тонкая линза.

У тонкой линзы имеется точка O , обладающая следующим свойством: проходящие через неё лучи практически не преломляются линзой. Эту точку называют оптическим центром линзы. Она лежит на пересечении главной оптической оси со средним сечением линзы. Любая прямая, проходящая под углом к главной оптической оси через оптический центр линзы, называется побочной оптической осью. Луч, идущий вдоль оптической оси (главной или побочной), носит название центрального луча.

Линзу можно представить как совокупность множества призм (рис.3.). Тогда становится очевидным, что выпуклая линза отклоняет лучи к оптической оси, а вогнутая - от оптической оси, поэтому выпуклая линза называется собирающей, а вогнутая рассеивающей (рис.3.). При этом предполагается, что оптическая плотность среды, окружающая линзу, меньше оптической плотности линзы.



Определение фокуса линзы.

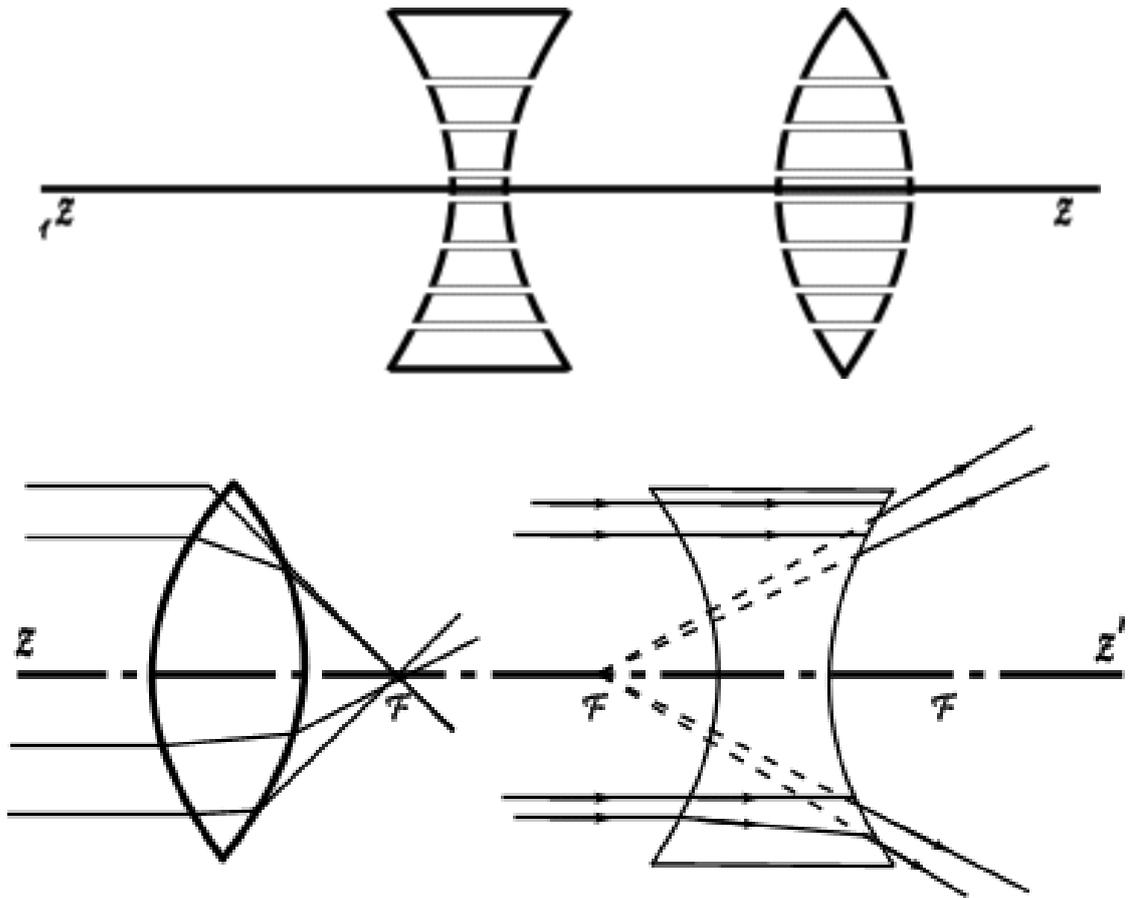


Рис.3. Собирающая и рассеивающая линзы.

Фокусом собирающей линзы называется точка, в которой после преломления собираются все лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси.

Точки F' и F лежащие по обе стороны от линзы, называются, соответственно, передним и задним фокусами линзы. Расстояние между оптическим центром линзы и её фокусом (OF) называется фокусным расстоянием линзы. Плоскости Q и Q' проходящие через фокусы перпендикулярно главной оптической оси, носят название фокальных плоскостей.

В отличие от собирающей линзы, рассеивающая линза имеет мнимые фокусы. В мнимом фокусе воображаемые продолжения лучей сходятся (после преломления), падающих на рассеивающую линзу параллельно главной оптической оси. (рис.3.).

Из элементарной теории линзы известна формула тонкой линзы:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

где:

a - расстояние от предмета до линзы;

b - расстояние от изображения до линзы;
 f - фокусное расстояние линзы;

Формула (I) остается справедливой и для рассеивающей линзы, только в этом случае расстояния f и b следует считать отрицательными:

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = -\frac{1}{f} \quad (1a)$$

Измерив опытным путем расстояния можно было бы найти, пользуясь формулой (1a), фокусное расстояние выпуклой линзы. Однако чтобы избежать измерений расстояний от линзы ввиду неопределенности начальной точки отсчета, Бессель несколько изменил указанный способ определения фокусного расстояния.

Сущность метода Бесселя состоит в следующем: на оптической скамье устанавливают плоский, освещенный предмет и экран, на достаточно большом расстоянии друг от друга. Расстояние между предметом и экраном (L) должно быть больше учетверенного фокусного расстояния линзы, так как при $a = 2f$ и $b = 2f$, следовательно:

$$L \geq (a + b) \geq 4f$$

На той же оптической скамье, между предметом и экраном, на ползушке в рамке устанавливается выпуклая линза. Перемещением линзы в области, более близкой к предмету, чем к экрану, добиваются отчетливого увеличенного изображения предмета на экране. Отмечают положение ползушки с линзой на оптической скамье. Затем перемещением линзы в область, более близкой к экрану, чем к предмету, получают на экране уменьшенное изображение предмета; фиксируют новое положение ползушки. Подсчитывают расстояние между положениями линзы при переходе от увеличенного изображения к уменьшенному (r). Зная L и r можно найти фокусное расстояние выпуклой линзы.

На рис.4. показано расположение предмета экрана линзы в обоих случаях.

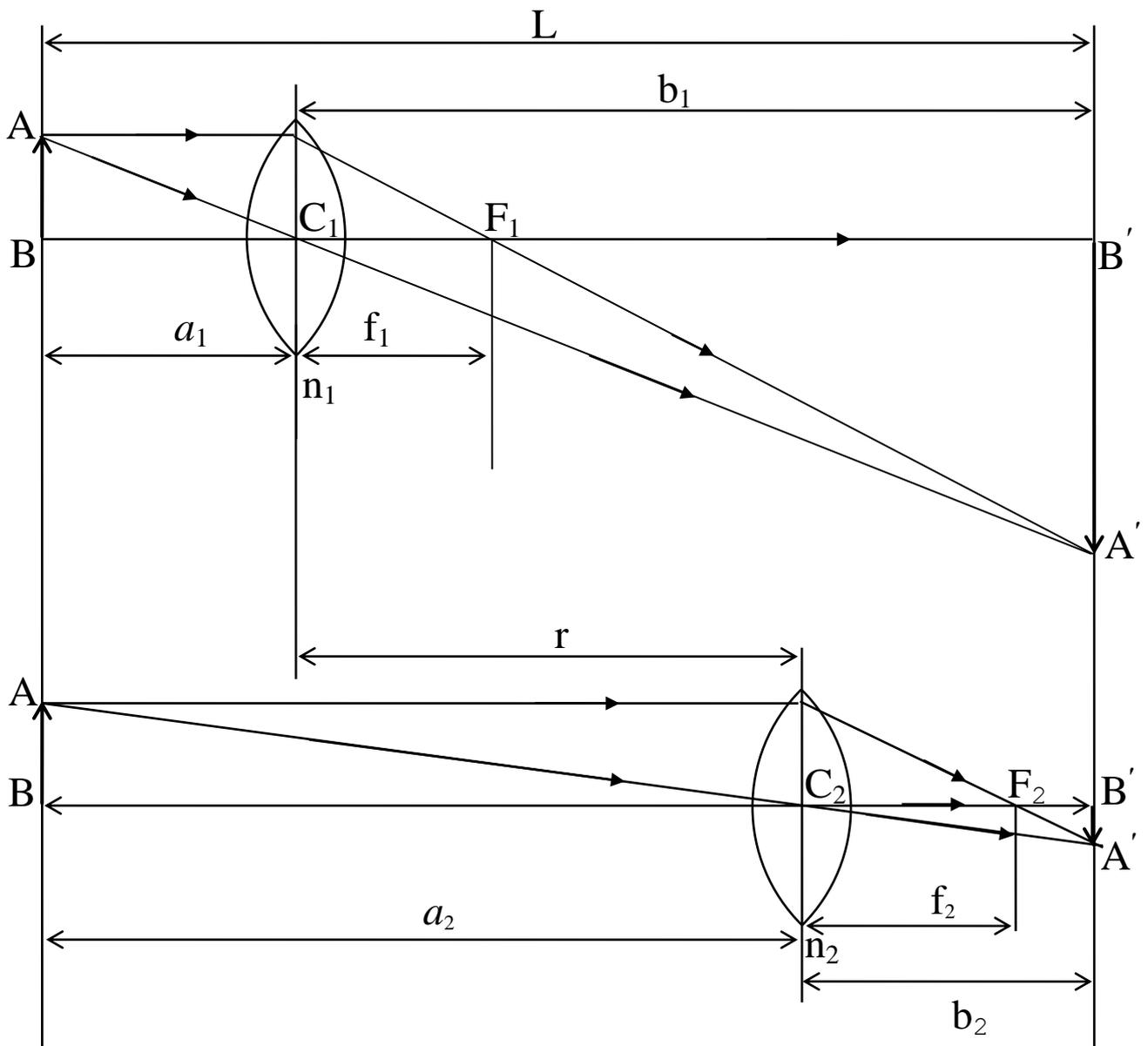


Рис.4. Расположение предмета экрана и линзы для двух случаев;

- а) получение увеличенного изображения;
 б) получение уменьшенного изображения.

На рис.4. показаны:

A - предмет;

B - экран;

C - линза;

L - расстояние между предметом и экраном;

r - расстояние между положениями линзы при переходе от увеличенного изображения к уменьшенному;

a_1 и a_2 - отсчета на оптической скамье при I и II положениях линзы.

Из формулы линзы (1) можно определить:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{a+b}{ab} \quad \text{или} \quad f = \frac{ab}{(a+b)} \quad (2)$$

Выразим теперь расстояния a и b через L и r . Из (рис.4.) видно, что:

$$a_1 + b_1 = L \quad \text{и} \quad a_2 + b_2 = L.$$

Учитывая то что $a_1 = b_2$ и $a_2 = b_1$, а также $b_1 - b_2 = r$ и $a_2 - a_1 = r$.

И на основании вышеизложенного, получим :

$$L + r = a_1 + b_1 + a_2 - a_1 = a_2 + b_1 = 2b_1 \quad (3)$$

$$b_1 = \frac{L+r}{2}$$

$$L - r = a_2 + b_2 - a_2 + a_1 = a_1 + b_2 = 2a_1 \quad (4)$$

$$a_1 = \frac{L-r}{2}$$

Обобщая эти формулы можно записать:

$$a = \frac{L-r}{2}, \quad b = \frac{L+r}{2} \quad (5)$$

Подставляя значения a и b в формулу (2), получим формулу для определения фокусного расстояния выпуклой линзы:

$$f = \frac{ab}{a+b} = \frac{ab}{L} = \frac{(L-r)(L+r)}{4L} = \frac{L^2 - r^2}{4L} \quad (6)$$

Формула (6) является расчетной формулой, которой пользуются при определении фокусного расстояния линзы по способу Бесселя, этим же способом определяется фокусное расстояние системы двух тонких линз.

Для определения фокусного расстояния вогнутой линзы используют соотношение: оптическая сила системы двух тонких соприкасающихся линз равна сумме оптических сил составляющих линз, т.е.:

$$D_{1,2} = D_1 + D_2 \quad (7)$$

или

$$\frac{1}{f_{1,2}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (8),$$

где:

$f_{1,2}$ - фокусное расстояние системы двух соприкасающихся линз;
 f_1 - фокусное расстояние одной из системы линз, например, выпуклой;
 f_2 - фокусное расстояние другой линзы, например, вогнутой.

Отсюда:

$$f_2 = \frac{f_1 \cdot f_{1,2}}{f_1 - f_{1,2}} \quad (9)$$

Определив из опыта фокусное расстояние выпуклой линзы f_1 , а также фокусное расстояние системы двух линз $f_{1,2}$, по формуле (9) можно найти фокусное расстояние вогнутой линзы f_2 .

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Установить ползушки, со светящимся предметом (стрелкой), достаточно далеко от экрана так, чтобы при помощи выпуклой линзы можно было получить на экране отчетливое изображение предмета (стрелки).
2. Измерить расстояние L между предметом (стрелкой) и экраном.
3. Установить рамку с выпуклой линзой на ползушке. Перемещая ползушку с линзой по оптической скамье, получить на экране отчетливое изображение предмета (стрелки), при этом линза должна находиться ближе к предмету (стрелке), чем к экрану.
4. Отметить по шкале оптической скамьи положение ползушки с линзой n_1 .
5. Перемещением ползушки с линзой ближе к экрану, добиться получения на экране отчетливого уменьшенного изображения предмета (стрелки).
6. Отметить новое положение ползушки на оптической скамье – n_2 .
7. Вычислить расстояние r , на которое перемещается линза при переходе от увеличенного изображения предмета к уменьшенному:

$$r = n_2 - n_1$$

8. По формуле (1) нужно вычислить фокусное расстояние выпуклой линзы f :
9. Прodelать опыт не менее трех раз при разных расстояниях, вычислить для каждого случая фокусное расстояние выпуклой линзы, затем найти среднее значение f_{cp} .
10. Приложить к выпуклой линзе вогнутую линзу и для полученной системы определить фокусное расстояние $f_{1,2}$. Прodelать опыт не менее трех раз при других расстояниях L . Найти среднее значение $f_{1,2}$.

11. По средним значениям f_{1cp} и f_{2cp} используя формулу (9) определить фокусное расстояние вогнутой линзы f_2 .

таблица 1

№	L	N_1	N_2	r	f_1	f_{1cp}
1						
2						
3						

таблица 2

№	L	n_1	n_2	r	f_{12}	f_{1cp}	f
1							
2							
3							

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется линзой? Какие бывают линзы?
2. Что называется фокусом линзы? Какая плоскость называется фокальной?
3. Какой фокус называется мнимым или действительным?
4. Что называется оптической силой линзы и её единицы измерения?
5. В чем заключается способ Бесселя? Вывести расчетную формулу для фокусного расстояния по способу Бесселя.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 56.

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ФОТОМЕТРИИ.

Цель работы: Опытное подтверждение основных законов фотометрии.

Приборы и принадлежности: 1. Прибор для изучения законов фотометрии.

2. Микроамперметр.

3. Источник постоянного тока.

4. Лампочки 6,3 в.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ.

Фотометрией называется область оптики, в которой рассматриваются измерения энергии, переносимой электромагнитными волнами оптического диапазона, к которому относятся инфракрасное и ультрафиолетовое излучения, и видимый свет.

В более узком смысле под фотометрией понимают световые измерения, т.е. оценку видимого излучения, в соответствии с его действием на глаз. Для характеристики этого действия; вводятся световые величины, отличающиеся от

энергетических и характеризующих полную энергию электромагнитных волн всего оптического диапазона.

Перечислим фотометрические величины, характеризующие источник света:

1) Световой поток Φ испускаемых источником: это есть лучистый поток P , спектральная плотность которого Φ_λ в каждом монохроматическом участке $\lambda_1, \lambda + d\lambda$ умножена на V_λ .

Так как за пределами видимого спектра (от $\lambda_1=0,38$ до $\lambda_2=0,7$ мкм) чувствительность глаза равна нулю, то световой поток равен:

$$\Phi = \int_{\lambda_1=0,38}^{\lambda_2=0,77} V_\lambda \Phi_\lambda d\lambda = V_o \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} k_\lambda \Phi_\lambda d\lambda$$

Отношение: $\frac{\Phi}{P}$ показывает, сколько люменов светового потока

соответствует лучистому потоку 1 Вт. Для монохроматического излучения длины волны $\lambda - 1$ Вт лучистого потока равен 682 Кл люменов светового потока.

2) Световая энергия, излучаемая источником за время, измеряется в люмен-секундах (лм·с):

$$W = \int_0^t \Phi(t) dt = \Phi_{cp} t$$

где:

Φ_{cp} - среднее значение светового потока за время t .

3) Светимость поверхности источника - отношение излучаемого светового потока к светящейся площади (собственной или отраженной светом) поверхности (в лм/м²).

$$R_{cp} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} \quad R = \frac{d\Phi}{dS}$$

4) Сила света источника в данном направлении есть отношение светового потока $d\Phi$, испускаемого им в этом направлении внутри телесного угла $d\Omega$, к величине этого угла:

$$I_{cp} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega}; \quad I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

Сила света измеряется в канделах (ранее эта единица силы света называлась «свечей») «Кандела» - сила света испускаемого с площади 1/600000 м² сечения полного излучателя, равной температуре затвердевания платины при давлении 101 325 П.

5) Освещенность поверхности - отношение светового потока, равномерно распределенного по этой поверхности к её площади (измеряется в люксах $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$).

$$E_{\text{cp}} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} \quad E_{\text{cp}} = \frac{d\Phi}{dS}$$

6) Количество освещения - произведение освещенности на время освещения (измеряется в лк·с).

$$H = E_{\text{cp}} t; \quad H = \int_0^t E(t) dt$$

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Прибор состоит из горизонтально расположенного корпуса, закрепленного на двух стойках (1) (рис.1.) . Корпус состоит из двух частей: камеры (2), внутри которой вмонтирован селеновый фотоэлемент из разъемного цилиндра (3).

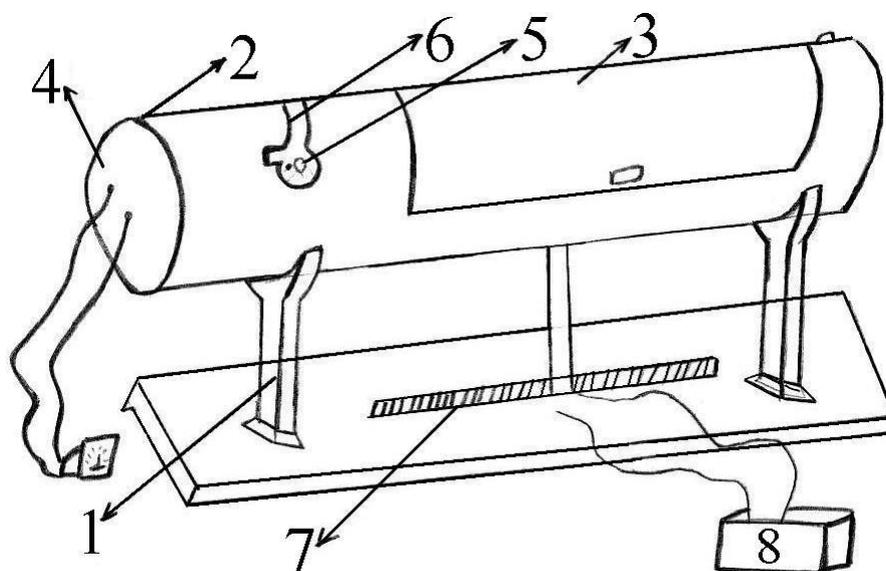


Рис. I. Внешний вид прибора.

На торцевой части камеры помещены две клеммы (4), к которым подведены выводы от фотоэлемента. К этим же клеммам присоединяется микроамперметр или гальванометр. При помощи рукоятки (5), фотоэлемент можно вращать вокруг оси с максимальным углом поворота, равным 90° . Шкала (6), укрепленная на цилиндрической части камеры, служит для измерения угла поворота фотоэлемента. В нижней части откидной крышки цилиндра укреплена еще одна шкала (7) с сантиметровыми делениями, предназначенная для линейных измерений. Нулевое деление шкалы совпадает с плоскостью чувствительного слоя фотоэлемента. Внутри цилиндра имеются несколько защитных ребер, которые предохраняют фотоэлемент от отраженных лучей. К прибору прилагаются:

- а) стойка с собирающей линзой $F = 15$ см;
- б) стойка с лампочкой в 3,5 в.;
- б) гальванометр типа М 122;
- г) диафрагмы с матовым стеклом площадью отверстий 9 см^2 , 6 см^2 , 3 см^2 .

Высота стойки лампочки такова, что волосок накала лампочки находится на геометрической оси корпуса в пределах длины шкалы.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

Опыт № I: Зависимость освещенности от расстояния до источника света.

Собирают прибор и соединяют клеммы фотоэлемента с микроамперметром, а лампочку - с источником тока, как показано на (рис.1.). Рукоятка должна находиться на нуле угломерной шкалы. При трех различных положениях лампочки, записывают показания микроамперметра, соответствующие указанным положениям лампочки. Результаты измерений записывают в таблицу.

таблица

№	Расстояние от лампочки до фотоэлемента в см. r	Показания микроамперметра E	$\frac{r_n^2}{r_i^2}$	$\frac{E_i}{E_n}$
1				
2				
3				

Если учесть, что сила фототока пропорциональна освещенности фотоэлемента, то можно показание микроамперметра использовать как величину освещенности. Из закона освещенности:

$$E_1 = \frac{I}{r_1^2}; \quad E_2 = \frac{I}{r_2^2}; \quad E_3 = \frac{I}{r_3^2};$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}; \quad \frac{E_2}{E_3} = \frac{r_3^2}{r_2^2}; \quad \frac{E_3}{E_1} = \frac{r_1^2}{r_3^2}.$$

Пользуясь значениями расстояний лампочки от фотоэлемента и показаниями микроамперметра, вычислите эти отношения. И если эти отношения близки по числовым значениям, то закон освещенности:

$$E = \frac{I}{r^2} \quad \text{-удовлетворяет действительности.}$$

Опыт № 2: Зависимость освещенности от угла падения лучей ($E=E_0 \cos\alpha$).

Прибор собирают так же, как и в опыте I. Рукоятку фотоэлемента ставят на нуль шкалы угломера и при неизменных положениях лампочки и линзы записывают показания микроамперметра (при различных углах положения фотоэлемента начиная с 0.).

Показания микроамперметра при 0° принять за E_0 . Освещенность при различных углах вычислить по формуле $E=E_0 \cos\alpha$. Сравнить результаты с показаниями микроамперметра при соответствующих углах.

Таблица.

№	Показание Угломера	Показание микроамперметра	Значение косинуса при данных углах	$E=E_0 \cos\alpha$
1				
2				
3				

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое сила света?
2. Что такое световой поток?
3. Что такое освещенность?
4. Зависимость освещенности от угла падения лучей на освещаемую поверхность?
5. Единицы измерения фотометрических величин?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 55.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА ВОДОЙ С ПОМОЩЬЮ ФОТОЭЛЕМЕНТА.

Цель работы: Определение коэффициента поглощения дистиллированной воды.

Приборы и принадлежности: I. Источник света.

2. Люксометр.
3. Сосуды.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ.

Свет, проходя через любую среду, в той или иной мере в ней поглощается. Обычно поглощение носит селективный характер, т.е. свет различных длин волн поглощается различно.

Наиболее сильным поглощением обладают проводники, чем выше проводимость проводника, тем сильнее в нем поглощение света. Диэлектрики поглощают свет значительно слабее.

Поглощенная телом световая энергия расходуется на возбуждение электронов как связанных с атомами (у диэлектриков), так и свободных у проводников. При этом одна часть лучистой энергии превращается в другие виды энергии (обычно в тепловую), а другая рассеивается средой.

Явление превращения лучистой энергии в другие виды энергий, при прохождении света через среду, называется поглощением света.

Убывание плотности потока лучистой энергии в однородной среде при прохождении через слой конечной толщины подчиняется закону Бугера:

$$W = W_0 e^{-kd} \quad (1)$$

где:

W_0 - плотность потока энергии в начале слоя (при $x=0$) ($\text{вт}/\text{см}^2$) (рис.1.);

W - плотность потока энергии, прошедшего через слой вещества, толщиной ($\text{вт}/\text{см}^2$);

d - толщина слоя (см);

k - коэффициент поглощения, зависящий от рода вещества и длины волны (см^{-1});

e - основание натуральных логарифмов.

Этот закон показывает, что поглощение света идет очень быстро, с увеличением толщины слоя и тем больше, чем больше коэффициент поглощения среды.

В данной работе определяется коэффициент поглощения дистиллированной воды. Источником света служит электрическая лампочка накачивания, расположенная в фокусе линзы, а приемником селеновый фотоэлемент. Так как источник света не монохроматический, то найденное значение для (K), будет являться усредненным для всей видимой части спектра.

Для определения коэффициента поглощения необходимо оценить величину плотности потока света, падающего на слой вещества и прошедшего через него. Это осуществляется с помощью фотоэлемента, работа которого основана на явлении фотоэффекта. Фотоэлектрическим эффектом называется испускание электронов веществом под действием света. Как показал Эйнштейн, согласно

закону сохранения энергии, энергия падающего фотона затрачивается на работу выхода электрона и оставшаяся часть превращается в кинетическую энергию вырванного электрона:

$$h\nu = A + \frac{m\vartheta^2}{2}$$

где:

$h\nu$ - энергия падающего фотона;

A - работа выхода электрона;

$\frac{m\vartheta^2}{2}$ - кинетическая энергия электрона.

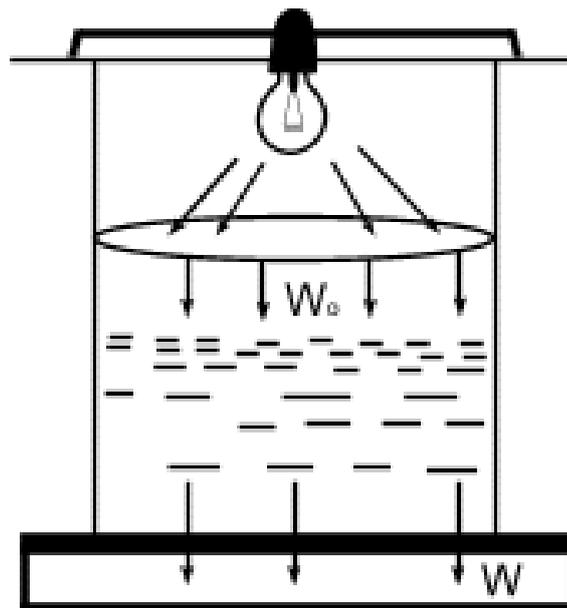


Рис.1.

Так как сила фототока прямо пропорциональна плотности потока лучистой энергии, падающей на фотоэлемент, то можно написать:

$$I = I_0 e^{-kd} \quad (2)$$

Откуда:

$$\ln \frac{I_0}{I} = kd \quad (3)$$

где:

I_0 - сила фототока, при плотности падающего на фотоэлемент потока лучистой энергии;

I - сила фототока, при энергии W .

Заменяя в формуле (3) отношение сил фототоков, соответственно отношением числа делений шкалы люксметра, получим окончательное выражение расчетной формулы:

$$\ln \frac{n_0}{n} = kd \quad (4)$$

Коэффициент поглощения есть величина, обратная толщине слоя, при прохождении которого интенсивность света убывает в «e» раз (смотрим формулу (2)).

$$k = \frac{\ln \frac{n_0}{n}}{d} \quad \text{при} \quad \ln \frac{n_0}{n} = 1 \quad k = \frac{1}{d}$$

Графически уравнение представляет собой - прямую, проходящую через начало координат. Тангенс угла наклона этой прямой к оси абсцисс численно равен коэффициенту поглощения воды:

($\operatorname{tg} \varphi - 1$).

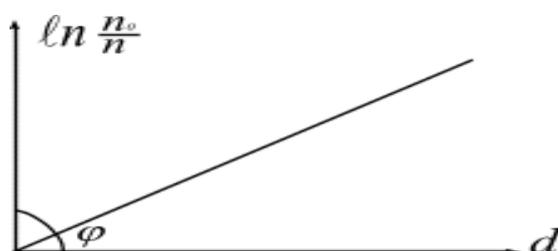


Рис.2.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ.

Общий вид установки приводится на рис 3, в жидкость, коэффициент поглощения которой необходимо измерить из сосуда (1) через соединительные трубки подается в сосуд (2). Уровень жидкости в сосуде (2) определяется с помощью капиллярной, трубки (3), соединенной с сосудами. Источником света служит лампочка накаливания (4), помеченная в фокусе линзы (5).

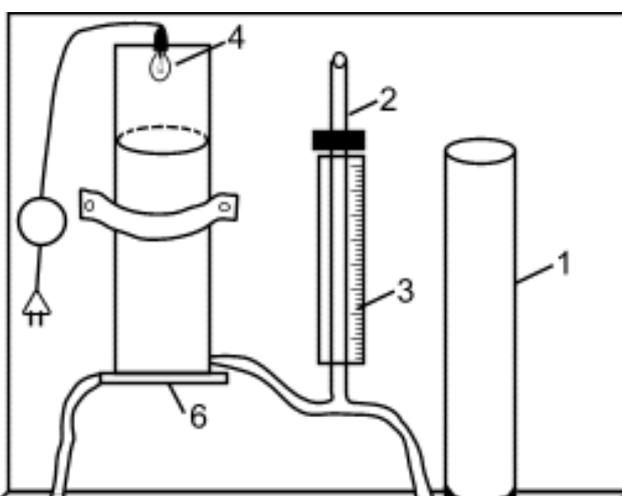


Рис.3. Общий вид установки.

Пучок параллельных лучей падает на поверхность воды, пройдя воду, попадает на фотоэлемент (6), соединенный люксометром (7), по которому производятся отсчеты.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Проверить вертикальность расположения осветителя (свет от лампочки должен падать на центральную часть дна банки).

2. Поддерживая напряжение на зажимах лампочки строго постоянным током, открыть фотоэлемент и записать показания гальванометра при отсутствии воды в банке.

3. Опыт повторить не менее трех раз. Найденное среднее значение для фотоэлемента, занести в таблицу (после каждого отсчета фотоэлемент необходимо закрывать).

4. Заполняя банку водой произвести отсчеты по люксометру при разных высотах водяного столба.

5. Повторить наблюдения при тех же высотах, при выливании воды из банки. Полученные средние значения для этих высот занести в таблицу.

6. Произвести соответствующие расчеты по формулам, построить график согласно (рис. 2.) и определить коэффициент поглощения воды.

Таблица.

№ Наблюдений	d (см)	Средние значения		$\frac{n_o}{n}$	k	$\ln \frac{n_o}{n}$
		n_0	N			

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. В чем состоит явление поглощения света?

2. От чего зависит поглощение света средой?
3. Что называется коэффициентом поглощения?
4. Сформулируйте закон Бугера.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 57.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ.

Цель работы: Определение концентрации растворов колориметрическим методом.

Приборы и принадлежности: 1. Колориметр.
2. Набор растворов различной концентрации.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ.

Колориметрический анализ, позволяющий определить концентрацию растворов, основан на поглощении света окрашенным раствором. При прохождении электромагнитной волны через вещество, часть энергии волны затрачивается на возбуждение колебаний электронов. Частично эта энергия вновь возвращается излучению в виде вторичных волн, возбуждаемых электронами; частично же она переходит в другие виды энергии (например, в энергию движения атомов, т.е. во внутреннюю энергию вещества).

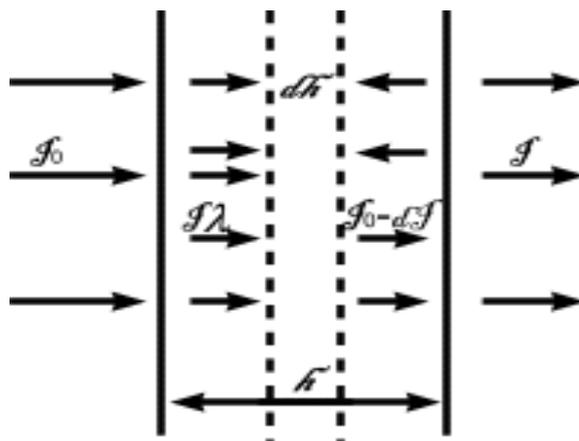


Рис.1.

Таким образом, интенсивность света при прохождении через вещество уменьшается, свет поглощается в веществе. Пусть через однородное вещество проходит пучок параллельных лучей (рис.1.), выделим в этом веществе бесконечно тонкий слой толщиной, ограниченный параллельными поверхностями, перпендикулярными к направлению распространения света.

Где:

I_0 - сила света, вошедшего в слой поглощающего вещества;

I - сила света, вышедшего из поглощающего вещества;

I_λ - сила света, падающая на слой;

dI_λ - величина, характеризующая уменьшение силы света, при прохождении слоя dh .

Уменьшение силы света пропорционально силе падающего света в толщине слоя:

$$-dI_\lambda = kI_\lambda dh \quad (1)$$

В этом выражении k - постоянная, зависящая от свойств поглощающего вещества и называемая коэффициентом поглощения. Интегрируя уравнение (1) в пределах от k до h получим закон Бугера:

$$I = I_0 e^{-kh} \quad (2)$$

Опыт показывает, что при поглощении света веществами, растворенными в прозрачном растворителе, коэффициент поглощения, пропорционально концентрации раствора:

$$k = \chi c \quad (3)$$

где:

c - концентрация раствора;

χ - постоянный коэффициент не зависящий от концентрации раствора.

Подставляя это значение « k » в формулу (2) получим:

$$I = I_0 e^{-\chi ch} \quad (4)$$

Это выражение является уравнением закона поглощения и носит название закона Бугера и Бера. Эту формулу можно переписать в виде:

$$\ln \frac{I_0}{I} = \chi ch \quad (5)$$

Пусть имеем 2 раствора с известной концентрацией C и неизвестной C_x . Меняя значение h для одного из растворов, можно добиться одинаковой оптической плотности:

$$hc_x = h_x c_x \quad (6)$$

откуда:

$$c_x = c \frac{h}{h_x} \quad (7)$$

Таким образом, измерив h и h_x при известной C , можно определить искомую величину c_x .

Для получения точных результатов измерений колориметр снабжен набором из семи светофильтров. Применяя светофильтр, можно получить различие в интенсивностях окраски, заменить различием цветов. При использовании светофильтров, для измерений в колориметре толщины слоя, испытуемого раствора, меняют до тех пор, пока не будет достигнут одинаковый свет (оттенок) обеих половин поля зрения.

ОПИСАНИЕ ПРИБОРА.

Колориметр (рис.2.) состоит из штатива (8), на котором крепятся осветитель (10), столика (14), стеклянных столбиков (4), фотометрической головки (18) с диском светофильтра (5). На столике (14) имеются пазы для направляющих оснований кювет (3) до определенного положения.

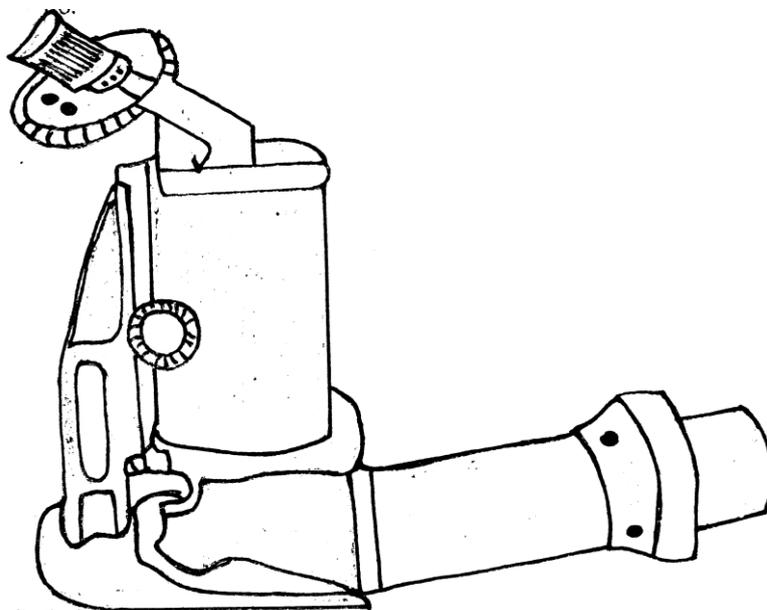


Рис.2.

Столбики в своих оправах крепятся в пазах колодок, расположенных на пластине (1) и отдельно перемещающиеся при вращении маховичков (7) и (15). С каждым из столбиков связан нониус (16), соединенный с призмой (12). При перемещении столбика нониус дает отсчет по шкале (13). Призма предназначена для удобства подсчета по шкале. Нониус дает отсчет по шкале с точностью до 0,1 мм. В диске (5) помещены семь светофильтров и одно свободное окошечко. Наводка окуляра на резкость, изображения линии раздела поля зрения, осуществляется вращением кольца с накаткой 21. В рабочем положении на прибор надевается кожух 6, предохраняющий от попадания в прибор света.

ВЫБОР СВЕТОФИЛЬТРА.

Для этого в кювет наливают растворы различной концентрации. Высоты слоев растворов устанавливают одинаковые. Затем, вращая диск со светофильтрами, отмечают тот светофильтр, для которого разница в яркости наиболее заметна.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Известный (стандартный) раствор наливают в один из кюветов, например в левый, а исследуемый в другую. В кюветы опускают столбики.

2. Установив высоту слоя раствора с известной концентрацией, постоянным перемещением правого столбика, добиваются равенства яркостей полей сравнения. Производят отсчет по правой шкале и нониусу.

3. Установку на равенство яркостей повторяют не менее 3 раз и вычисляют среднее из полученных отсчетов.

4. Концентрацию исследуемого раствора вычисляют по формуле:

$$C_x = C \frac{h}{h_x}$$

5. Определяют концентрацию не менее в 3-х различных растворах.

6. Результаты наблюдений записывают в таблицу.

Таблица.

№	C Концентрация известного Раствора	h Показание по левому Нониуса	h _x Показание по правому Нониуса	$C_x = C \frac{h}{h_x}$
I раствор				
II раствор				
III раствор				

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Сформулируйте закон Бугера –Беера.
2. Объясните сущность колориметрического метода.
3. Что дает применение светофильтров в данной работе?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 61.

ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ ВОЛНЫ СВЕТА С ПОМОЩЬЮ

ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ.

Цель работы: Ознакомить студента с методами наблюдения дифракции света и способом измерения длины световой волны.

Приборы и принадлежности: 1. Прибор для наблюдения спектров, с помощью дифракционной решетки.
2. Осветитель.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ.

Во многих оптических явлениях можно рассматривать свет как волновой процесс.

Принцип Гюйгенса дает возможность представить, как перемещается фронт световой волны и найти его «новое» положение по заданному «старому».

Формулируется он так: «Каждая точка фронта волны представляет собой точечным источником электромагнитных волн, явлением нового положения фронта волны. Линии, перпендикулярные фронту волны, являются лучами света».

Все точечные источники, расположенные на одном фронте волны являются когерентными источниками света, т.е. излучают сферические волны, имеющие одинаковую частоту и начальную фазу. Для таких волн через любую точку пространства можно провести поверхность, на которой они имеют одинаковую фазу, которая называется волновой поверхностью.

Принцип Гюйгенса применим не только для фронта волны, но и для любой волновой поверхности.

Для расчета интенсивности света в любой точке экрана, Френель предложил метод зон, который был назван «зоны Френеля».

Для этого волновая поверхность разбивается на участки или зоны так, чтобы волны, достигающие данной точки на экране, проходили от краев зоны пути, отличающиеся друг от друга по длине на $\frac{\lambda}{2}$,

Где: λ -длина световой волны.

При этом волны, идущие от вторичных источников, расположенные на краях зоны, придут в точку наблюдения в противоположенных фазах и погасят друг друга.

Поэтому, все излучения, идущие в точку наблюдения от соседних зон, гасят друг друга.

Необходимо, помнить, что разбивание волновой поверхности на зоны Френеля, будут разными для различных точек экрана.

Световые колебания различных точек экрана возбуждаются волнами, приходящими к экрану от различных точек волновой поверхности, которые накладываются друг на друга, создавая интерференционную картину.

Интерференционной картиной является устойчивый, результат положения двух (и более) систем поперечных волн, при котором в одних точках волнового поля амплитуда результирующих колебаний резко уменьшается, а в других

возрастает.

Для осуществления интерференции, накладывающиеся волны должны быть когерентными.

Уравнения двух когерентных плоских волн, распространяющиеся вдоль осей X_1 и X_2 имеют вид:

$$\begin{aligned} Y_1(t, X_1) &= A_1 \cos(\omega t - kx_1 + \varphi_{01}) \\ Y_2(t, X_2) &= A_2 \cos(\omega t - kx_2 + \varphi_{02}) \end{aligned} \quad (1)$$

где:

A_1 и A_2 – амплитуды колебание;

ω - циклическая частота;

k - волновое число $\left(k = \frac{2\pi}{\lambda} \right)$;

$\varphi_{01}, \varphi_{02}$ - начальные фазы.

В некоторой точке экрана оси X_1 и X_2 пересекаются, и следовательно происходит наложение колебания, уравнения колебаний запишутся в виде:

$$\begin{aligned} Y_1(t) &= A_1 \cos(\omega t - kx_1 + \varphi_{01}) \\ Y_2(t) &= A_2 \cos(\omega t - kx_2 + \varphi_{02}) \end{aligned} \quad (2)$$

В отличие от (1) в уравнении (2)

Y – функция, зависит только от одного переменного - « t ».

Так как X_1 и X_2 уже не переменные, а постоянные величины, то равные расстояния от источников света до той общей точки, в которой происходит наложение колебаний, то разность фаз складываемых колебаний равна:

$$\delta = (\omega t - kx_2 + \varphi_{02}) - (\omega t - kx_1 + \varphi_{01}) = k(x_2 - x_1) + (\varphi_{02} - \varphi_{01}) \quad (3)$$

Так как волны излучаются с одинаковой фазой, $\varphi_{02} - \varphi_{01} = 0$. Но это не изменит распределения освещенности интерференционной картины, а лишь незначительно сместит её вдоль экрана.

К тому же это условие: $\varphi_{02} = \varphi_{01}$, всегда выполняется, так как источники света являются, как вторичными, лежащими на одной волновой поверхности. Учитывая это равенство, формулу (3) можно переписать в виде:

$$\delta = k(x_2 - x_1) = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta \quad (4)$$

где:

$\Delta = x_2 - x_1$ - геометрическая разность хода лучей.

Известно, что суммарная амплитуда достигает максимума при $\delta = 2m\pi$, и минимума $\delta = (2m + 1)\pi$, где $m=0,1,2,3,\dots$

Тогда, с учетом (4), можно получить:

$$\Delta m_{\max} = m\lambda = 2m \frac{\lambda}{2} \quad (5) \quad (\text{максимум})$$

$$\Delta m_{\min} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (6) \quad (\text{минимум})$$

При взаимодействии света непрозрачными предметами, экранами, щелями, отверстиями и т.д. наблюдается дифракция света.

Дифракция света – это отгибание волнами препятствий, размеры которых сравнимы с длиной волны.

Вблизи краев экрана или щели по принципу Гюйгенса, фронт волны искривляется и волны распространяются в области геометрической тени. Это явление имеет место и у краев больших экранов или щелей, но интенсивность волны, идущей в область геометрической тени, во много раз меньше интенсивностей волны, распространяющейся прямолинейно, поэтому практически они не наблюдаются.

В области тени освещенной искривленными лучами, наблюдается интерференционная картина, т.е. чередование светлых и темных полос, что связано с интерференцией световых волн, поскольку их источники лежат на одной волновой поверхности и эти волны когерентны. Таким образом, дифракция света всегда сопровождается интерференцией дифрагированных волн. Рассмотрим дифракцию волн, на дифракционной решетке, где $v=AB$ – ширина щели.

Разобьем волновую поверхность в плоскости щели, на зоны Френеля, для данной точки экрана М. (напомним, что для другой точки экрана разбиение на зоны будет другим). Как указывалось, выше излучения двух смежных зон гасят друг друга, поэтому, если число зон четное, то в точке М будет наблюдаться минимум освещенности, а если нечетное, то получение одной зоны.

Из рис., видно, что разность хода лучей Δ , идущих в данную точку, под углом φ равна $\Delta = k \frac{\lambda}{2}$, где k —число зон, уместившиеся на щели. Тогда

максимум освещенности будет наблюдаться при выполнении условия:

$$\Delta_{\max} = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}, \text{ и минимум } \Delta_{\min} = 2n \frac{\lambda}{2}. \text{ При любом целом «n» (} n=0,1,2,3,\dots)$$

$2n$ -четное, а $2n+1$ – нечетное .

Из рис., видно, что $\Delta = v \sin \varphi$, тогда, условия максимума и минимума для одной щели можно записать в виде:

$$b \sin \varphi = 2n \frac{\lambda}{2} \quad (7) \quad \text{-- минимум}$$

$$b \sin \varphi = (2n + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (8) \quad \text{-- максимум}$$

Если рядом расположить две одинаковые щели, то они создадут две совершенно одинаковые дифракционные картины, накладывающиеся друг на друга, т.к. щели являются когерентными источниками в резельтирующей картине на экране, считаеой будет интерференционная картина, с дополнительными максимумами и минимумами.

Множества одинаковых, тонких щелей, шириной «в», разделенных непрозрачными промежутками «а», представляют собой дифракционную решетку (рис.), где $d = a + b$ - период решетки. Если решетка длины ℓ имеет N щелей, то $n = N/\ell$ число щелей на единицу длины и период решетки будет равен, тогда $d = \ell/n$. Каждая щель создает свою дифракционную картину. Кроме того, лучи от каждой щели, будучи когерентными, интерферируются между собой, создавая дополнительные максимумы и минимумы.

Главный максимум получится, когда все лучи, складываясь, усиливают друг друга. Для этого разность хода Δ (рис.), между соседними лучами, должна быть равна $n\lambda$, где $n = 0, 1, 2, 3, \dots$, но $\Delta = d \sin \varphi$. Следовательно, условие главных максимумов:

$$\Delta = d \sin \varphi = n\lambda \quad (9)$$

Между двумя главными максимумами расположены $(N-1)$ минимумов и $(N-2)$ побочных максимума, где N - число щелей в решетке. Интенсивностей побочных максимумов много меньше интенсивности главного максимума, что вызвано частичным гашением интерферирующих лучей, причем в этом процессе, участвуют одновременно лучи от всех щелей решетки. Интенсивности главных максимумов решетки в N раз больше интенсивности соответствующих максимумов щели, а ширина их в N раз меньше. Поэтому дифракционная картина от решетки существенно отличается от картины одной щели. При освещении решетки монохроматическим светом, она дает на экране несколько ярких, очень узких, линий на темном фоне, т.к. побочные максимумы практически не видны.

При освещении решетки белым светом, имеющий сплошной спектр, нулевой максимум, (т.е. соответствующий значению $n = 0$ в формуле (7)), расположенный на оси решетки, остается белым, а максимумы первого и второго порядка соответственно, превращаются в разноцветные спектральные полосы, причем красная часть спектра расположена ближе к нулевому максимуму, а фиолетовая – дальше от него.

Растягивание узкого максимума в спектр вызвано тем, что для разных длин волн белого света выполняется условия максимума. При разных углах дифракции φ и, следовательно, максимумы разных цветов оказываются смещенными по

экрану, образуя спектр.

ОПИСАНИЕ ПРИБОРА И МЕТОД РАБОТЫ

Прибор для наблюдения спектра изображен на рис 1.

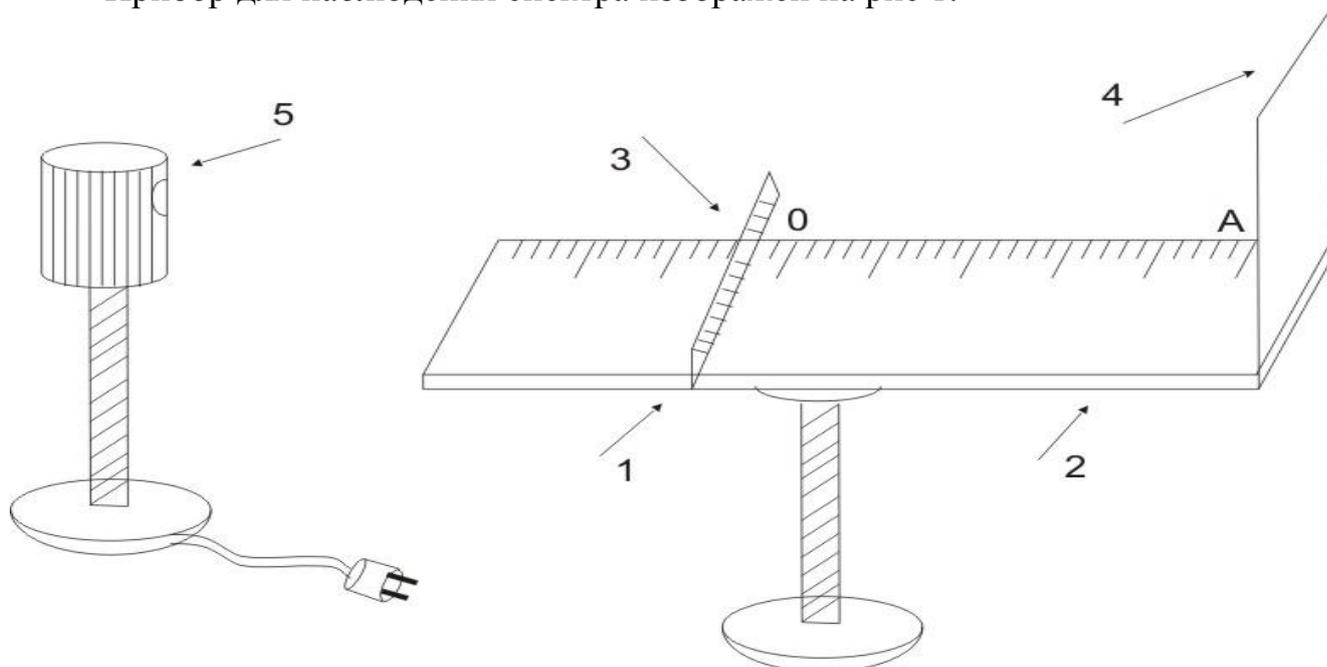


Рис.1.

Он состоит из горизонтальной рейки 1 с делениями, по которой может перемещаться шкала 2 со щелью 3 в середине. На конце рейки в специальном держателе укреплена дифракционная решетка 4. Щель в шкале освещается специальным осветителем 5.

Спектры, даваемые дифракционной решеткой, видны на фоне шкалы, симметрично, относительно щели, С этой решеткой можно наблюдать спектры I-го и II-го порядков. По шкале 2 можно отсчитать координату максимума, для данной длины волны (данного цвета), в спектре первого и второго порядка. Затем, зная координату, определить угол дифракция φ , соответствующий данному максимуму согласно формуле (7), т.е.

$$d \sin \varphi = n\lambda$$

где:

d - постоянная решетки ;

φ - угол дифракции;

n -порядковые спектра;

λ -длина волны.

На рис. 2. изображена определение координат спектров.

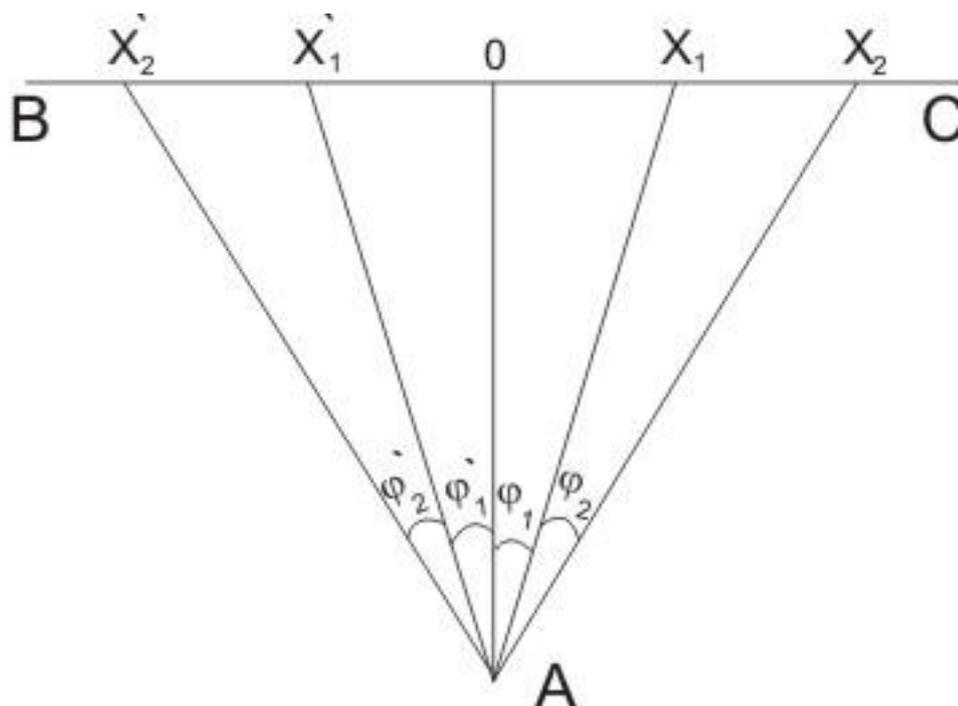


Рис.2. Определение координат спектров

На рис. 2 изображены шкала BC, в точке A помещена дифракционная решетка и в точке O- щель.

X_1 и X_1' – координаты наблюдаемого максимума для данного цвета (например красного) в спектрах 1-го порядка.

X_2 и X_2' – координаты максимума того же цвета, но в спектрах 11-го порядка.

OA- расстояние от решетки до шкалы.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Включить осветитель.
2. Установить расстояние от решетки до шкалы (OA) – задается преподавателем.
3. Смотря через решетку на шкалу, наблюдать дифракционные спектры. Наклоняя решетку вправо и влево за края, установить спектры в пределах шкалы.
4. Отсчитать по шкале координаты X_1 и X_1' для максимумов красного цвета в спектрах 1-го порядка (ближних от щели) справа (X_1) и слева (X_1') от щели. Затем аналогично найти X_2 и X_2' в спектрах 11-го порядка. Значения X_1 , X_1' , X_2 , X_2' и X_{1cp} , X_{2cp} записать в таблицу.
6. Повторить п. 4 для синего цвета.
7. Пункты 5 и 4 выполнить для трех расстояний OA.
8. Угол φ можно найти по известной координате X_{cp} и расстоянию OA, по следующей формуле:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{X}{OA} \quad \text{или} \quad \varphi = \operatorname{arctg} \frac{X}{OA}$$

Найденные значения φ для разных X и OA подставляя в формулу (1) и определяем λ и вписывается в таблицу.

Таблица

№	Цвет	Порядок спектра	OA	X	X'	X _{ср}	tg φ	φ	sin φ	λ	λ _{ср}

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему дифракционная решетка дает более узкие и яркие максимумы, чем одна щель?
2. Почему дифракционная решетка разлагает белый свет в спектр?
3. На каких местах образуются спектры 1-го и 2-го порядков?
4. Написать условие максимума освещенности экрана.
5. Как зависят яркость и ширина максимума от числа щелей?
6. Зависит ли угол дифракции φ от постоянной решетки и числа щелей?
7. Что называется постоянной решетки?
8. Что называется углом дифракции?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 62.

ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ ВОЛНЫ СВЕТА С ПОМОЩЬЮ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ.

Цель работы: Ознакомить студентов с принципами работы отражательной дифракционной решетки, показать возможность использования грампластинки в качестве отражательной дифракционной решетки и измерить длины волны света с её помощью.

Приборы и принадлежности:

1. Штатив с зажимом для грампластинки.
2. Шкала.
3. Источник света.

Теоретическое введение.

Отражательная дифракционная решетка изготавливается нанесением штрихов на полированную металлическую пластинку.

Неповрежденные зеркальные участки пластинки – площадки – являются вторичными когерентными источниками света. То, что сферические световые

волны от вторичных источников света появляются в результате отражения света от металла, совершенно не влияя на процесс их взаимодействия. Образующая при этом дифракционная картина, будет точно пропускающей дифракционной решеткой и будет описываться теми же уравнениями. Особый интерес представляет - возможность использования отражательной дифракционной решетки при больших углах падения света на решетки.

При этом вторичные источники уже не будут находиться на одной волновой поверхности и между лучами, идущими от смежных отражающих площадок, возникает дополнительный фазовый сдвиг, который вызывает смещение дифракционного максимума. (рис.1)

На рис.1. показан ход лучей, падающих на две смежные площадки отражательной дифракционной решетки А и Б.

Расстояние $A+B=d$ (1) - период или постоянная решетки.

1 и 2 –лучи, падающие на решетку, 3 и 4 отражены на Θ - угол падения лучей. φ_k - угол дифракции, определяющий положение K - го дифракционного максимума ($k=0, 1,2,3$).

АС – волновая поверхность падающих лучей, все её точки имеют одинаковую фазу. Отраженные лучи будут иметь различные фазы, т.к. они проходят пути разной длины.

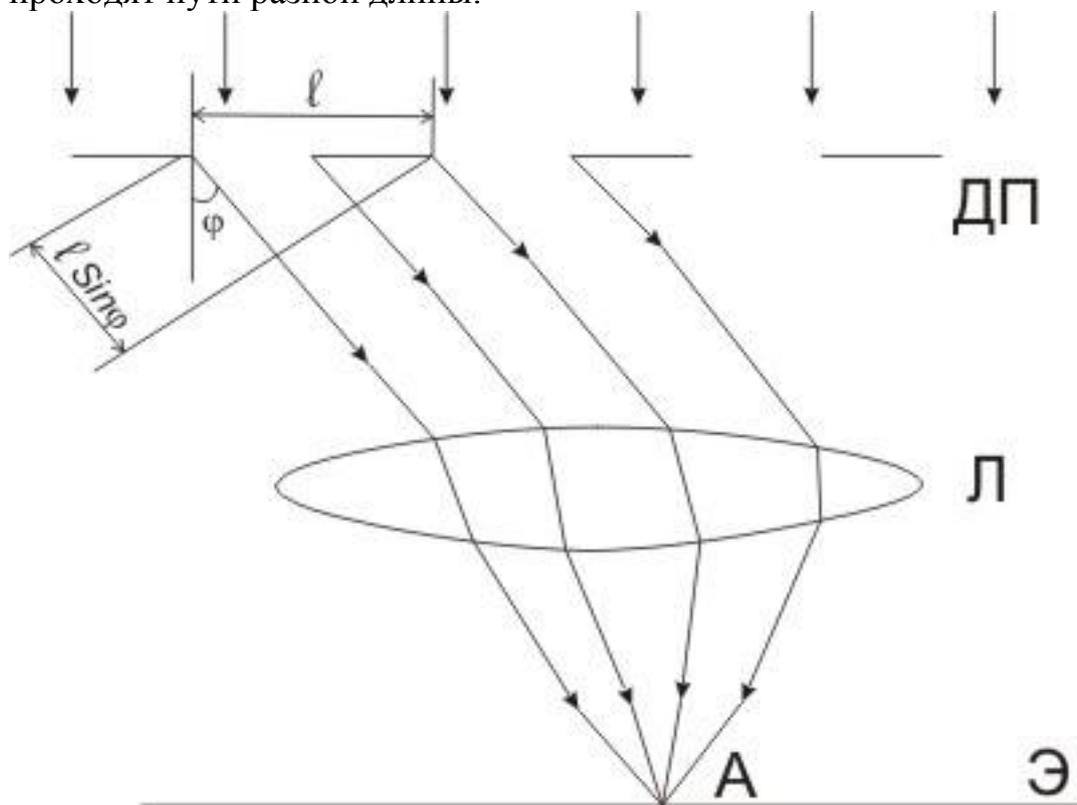


Рис.1. Ход лучей через дифракционной решётки.

Разность фаз Δ двух смежных а также 1 и 2, отраженных от смежных

площадок А и В лучей будет равна:

$$\Delta = BC - AD = d \sin \theta - d \sin \varphi_k = d(\sin \theta - \sin \varphi_k) \quad (2)$$

Как следует из части А, описания и условия (7) «главный максимум» получится, когда все отраженные лучи складываясь, сливаются друг друга. Для этого разность хода Δ между смежными лучами должна быть равна $k\lambda$, т.е.

$$\Delta = k\lambda \quad (3)$$

где: $k=0,1,2,3,\dots$

Сравнивая формулы (2) и (3), получим:

$$\Delta = k\lambda = d(\sin \theta - \sin \varphi_k) \quad (4)$$

Формула (4) является условием главного максимума для отражательной дифракционной решетки. Это условие можно упростить для случая, когда $\theta - \varphi_k$ достаточно мало, при котором можно заменить

$$\sin(\theta - \varphi_k) \approx \theta - \varphi_k \quad (5)$$

Это выполняется при

$$d \gg \lambda \text{ и } k \div 4,5 \quad (6)$$

Условие (6) заведомо выполняется, когда в качестве отражательной дифракционной решетки используется грампластинки, когда отношение длины волны к периоду решетки, при их следующих значениях :

$$d = 0,2 \text{ мм} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м. и}$$

$$\lambda = 7,6 \cdot 10^{-7} \text{ м, отношение } \frac{\lambda}{d} = \frac{7,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}}{2 \cdot 10^{-4} \text{ м}} = 3,8 \cdot 10^{-3}$$

Для таких значений $\frac{\lambda}{d}$ и $k < 4 \div 5$, условие (5) выполняется с точностью до четвертого знака.

Преобразуем (4), используя формулу для разности синусов двух углов:

$$\sin \theta - \sin \varphi_k = 2 \cos \frac{\theta + \varphi_k}{2} \cdot \sin \frac{\theta - \varphi_k}{2} = \sin \varphi_r \quad (7)$$

При малых φ_k , приняв $\sin \varphi_k = \varphi_k$, можно $d \sin \varphi_k = k\lambda$, писать в виде

$$d\varphi_k = k\lambda \quad (8)$$

Сравнивая формулы (4) и (8) видим, что разность хода лучей

$$\Delta = d' \varphi_k = k\lambda \quad (9)$$

Из формул (8) и (9) видно, что условие главных максимумов для отражательной и пропускающей дифракционных решеток имеют одинаковый вид, что подчеркивает единство физического смысла этих формул и эквивалентность физических явлений в обоих случаях.

$d' = d \cos \theta$ - эффективная постоянная, отражательной дифракционной решетки. При больших углах $\theta = 90^\circ$ « d' » становится очень малым. Этим объясняется возможность использования грампластинку в качестве дифракционной решетки. При нормальном падении лучей период решетки 0,25мм. Это очень много и дифракционная картина не видна. А при $\theta=87^\circ$ или $\cos \theta=0,05233$, и $d' = 0,25 \cdot 0,0523 = 0,013$ мм, что соответствует 77 штрихам на 1мм.

Это уже близко к параметрам типовой учебной дифракционной пропускающей решетки, имеющей 100 штрихов на 1 мм.

Такая решетка дает четкую дифракционную картину, позволяющую определить « λ » с точностью в несколько процентов.

С другой стороны

$$\Delta = BE = CD = d \cos \theta - d \cos \theta_1 = d(\cos \theta - \cos \theta_1) = 2k \frac{\lambda}{2} ;$$

Описание установки и ход работы.

Отсюда
$$\lambda = \frac{d(\cos \theta - \cos \theta_1)}{k} \quad (10)$$

Ниже приводится устройство установки по определению длины волны светового луча при помощи отражательной дифракционной решетки

d - постоянная отражательной решетки (в данном случае расстояние между звуковыми канавками грампластинки) ;

φ_n --угол падения лучей на решетку или

φ_k - угол к вертикали, под которым наблюдается k – максимум

K - порядок спектра 0,1,2,3 и т.д.

λ –длина световой волны.

Ниже приводится порядок выполнения работы.

1. Подключите источник питания к лампочке установленной ниже от нулевого значения шкалы на 30-40 см.
2. Установите горизонтально грампластинку на штатив, расположенный на расстоянии « z » от шкалы.
3. Наблюдайте отраженных лучей с нижней стороны грампластинки.
4. Отмечайте среднюю точку «О» в спектре и снимайте данные высоты « h » от точки «О» до изображения.
5. Определите величины высоты h' , h'' , h''' и т.д. соответствующие к различным цветам спектра.

6. Согласно рис.2 по формулам: $\frac{h^1}{z} = \operatorname{tg} \theta$ (при $k = 0$);

$$\frac{h^{11}}{z} = \operatorname{tg} \theta_1^1 \quad (\text{при } k = 1);$$

$$\frac{h^{111}}{z} = \operatorname{tg} \theta_1^{11} \quad (\text{при } k = 2);$$

Определяется углы θ , θ_1^1 , θ_1^{11} и т.д.

Вычисляя косинусы этих углов подставляется в формулу (10).

7. С помощью окуляра микроскопа определяется постоянная решетки « d » (или спросите величину у лаборанта).
8. Подставляя значения порядкового номера « K » и « d », вычисляется по формуле (10) длина волны света для каждого цвета.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Чем отличается спектр полученный дифракционной решеткой от спектра получаемый от одной щели?
2. Почему разлагает дифракционная решетка белого луча?
3. При выполнении какого условия можно использовать грампластинки в качестве дифракционной решетки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 63.

ПРОВЕРКА ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ С ПОМОЩЬЮ САХАРНОГО РАСТВОРА.

Цель работы: Определение взаимосвязи между углом вращения плоскости и поляризации с раствором сахара различной концентрации.

Приборы и принадлежности:

1. Полутеневого поляриметр.
2. Трубки – кюветы, с растворами сахара разной концентрации.
3. Источник света (Осветитель).

ТЕОРИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Световая волна – поперечная волна. Световые лучи являются поправлением распространения поперечных электромагнитных колебаний с длиной волны $(0,4 \div 0,75) \cdot 10^{-6}$ м.

Поляризованным светом называются свет, в котором направления колебаний светового вектора упорядочены каким-либо образом.

Плоскополяризованный свет можно получить из естественного колебания, с помощью приборов, называемых поляризаторами. Эти приборы свободно пропускают колебания, параллельные плоскости, которую мы будем называть плоскостью поляризатора, и полностью задерживают колебания, перпендикулярные к его плоскости.

Пусть на поляризатор падает плоскополяризованный свет амплитуды A_0 и интенсивности I_0 (рис.1.)

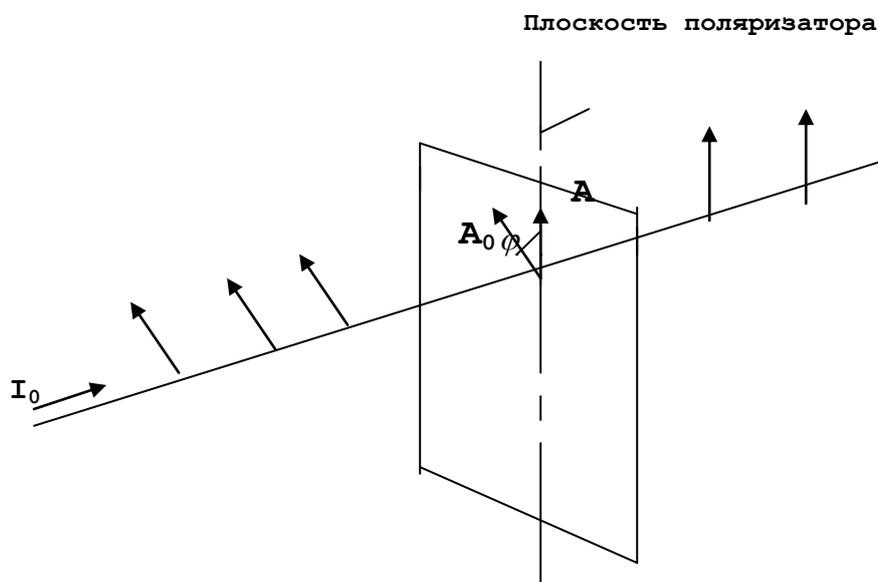


Рис.1. Прибор для получения плоско поляризованных лучей света.

Сквозь прибор проходят составляющая колебания, с амплитудой:

$$A = A_0 \cos \varphi,$$

где:

φ - угол между плоскостью колебаний падающего света и плоскостью поляризатора.

Следовательно, интенсивность прошедшего света «I» определяется выражением:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi \quad (1)$$

Соотношение (1) носит название закон Малюса. Поставим на пути естественного луча два поляризатора, плоскости которых образуют угол φ . Из первого поляризатора выйдет плоскополяризованный свет, интенсивность которого « I_0 » составит половину интенсивности естественного света $I_{\text{ест}}$. Согласно закону Малюса, из второго поляризатора выйдет свет интенсивности

$I_0 \cos^2 \varphi$. Таким образом, интенсивность света, прошедшего через два поляризатора, равна:

$$I = \frac{1}{2} I_{\text{ест}} \cos^2 \varphi \quad (2)$$

Максимальная интенсивность, равная: $\frac{1}{2} I_{\text{ест}}$, получается при $\varphi=0$

(поляризаторы параллельны). При: $\varphi = \frac{\pi}{2}$ интенсивность равна нулю – скрещенные поляризаторы, света не пропускают.

Рассмотрим вращение плоскости поляризации. Некоторые вещества, называемые оптически активными, обладают способностью вызывать вращение плоскости поляризации, проходящей через их плоскополяризованный свет. К числу таких веществ, принадлежат кристаллические тела, чистые жидкости и растворы оптически активных веществ, в неактивных растворителях (водные растворы сахара, винной кислоты и др.). В растворах угол поворота плоскости поляризации пропорционален пути света в растворе « ℓ » и концентрации активного вещества «C»:

$$\Psi = [\alpha] c \ell \quad (3)$$

где:

$[\alpha]$ - величина, называемая удельной постоянной вращения.

В зависимости от направления вращения плоскости поляризации, оптически активные вещества подразделяются на: правовращающие и левовращающие. Направление вращения (относительно луча), не зависит от направления луча. Поэтому, если луч, прошедший через оптически активные кристаллы, вдоль оптической оси, отразить зеркалом их зависимость, пройти через кристаллы ещё раз в обратном направлении, то восстанавливается

первоначальное положение плоскости поляризации.

Все оптически активные вещества существуют в двух разновидностях - правовращающей и левовращающей. Существуют правовращающий и левовращающий сахар, растворы сахара и т.д.

Если между двумя скрещенными поляризаторами поместить активное вещество, например прозрачную кювету с раствором сахара, то поле зрения просветляется. Чтобы снова получить темноту, нужно повернуть один из поляризаторов на угол Ψ , определяемый выражением (3). Используя это выражение, зная удельную постоянную вращения « $[\alpha]$ », данного вещества и длину « l », можно, измерив угол поворота « Ψ », определить концентрацию раствора « C ». Отсюда следует, что угол поворота « Ψ » прямо пропорционален концентрации раствора « C », т.е.:

$$\left\{ \frac{\Psi_1}{\Psi_2} = \frac{C_1}{C_2}; \frac{\Psi_1}{\Psi_3} = \frac{C_1}{C_3}; \frac{\Psi_2}{\Psi_3} = \frac{C_2}{C_3}; \right\} \quad (4)$$

Задачей данной лабораторной работы является проверка этих формул.

ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА И ИХ ПРИНЦИП РАБОТЫ.

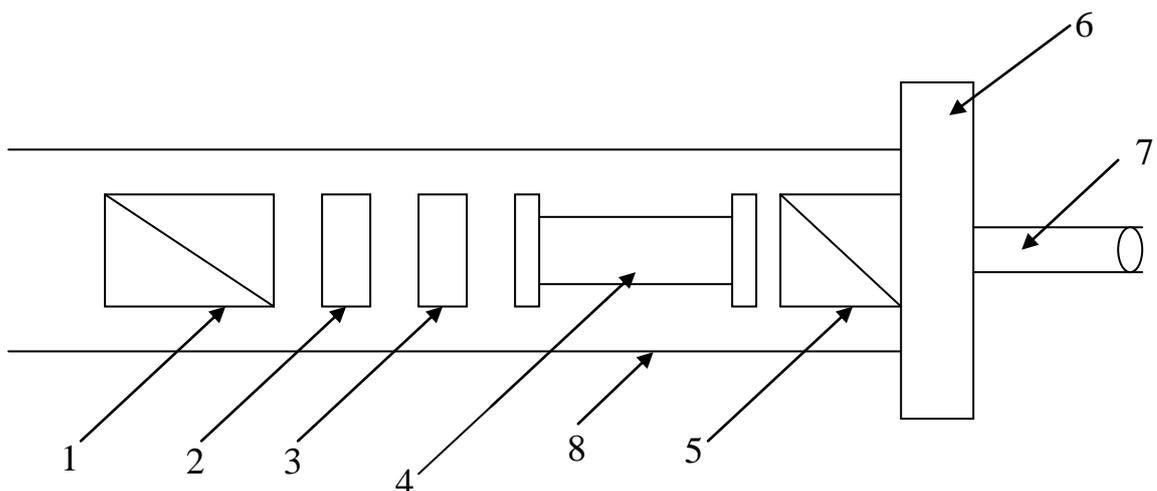


Рис 2. Схематическое устройство полутеневого поляриметра.

Основные оптические детали прибора собраны внутри светозащитной трубы «8», имеющей откидную крышку для установки кюветы с раствором «4» внутрь прибора.

- 1- призма Николя - поляризатор.
- 2- светофильтр.
- 3- разрезная кварцевая пластина.
- 4. призма Николя – анализатор.

6- вращающаяся шкала.

7- Объектив.

Назначении поляризатора и вращении плоскости поляризации, сказаны в теоретической части работы.

Светофильтр 2 необходим для получения монохроматического света, т.к. φ зависит от λ_0 и при освещении белым светом точная установка прибора невозможна, т.к. она оказывается разной для разных λ_0 . Пластина 3 позволяет повысить точность измерений угла поворота плоскости поляризации, раствором. Как указано выше, начальная установка прибора (без раствора) производится по минимуму света, прошедшего через систему поляризатор - анализатор. Однако человеческий глаз плохо фиксирует минимум освещенности поля зрения. Гораздо лучше он отвечает равенства освещенности двух смежных полей. Использовать это свойство глазам позволяет пластина 3. Она состоит из 3-х хорошо шлифованных друг к другу кварцевых пластин, одинаковой толщины. См. (рис. 2.)

Пластина I сделана из левовращающего кварца, а 2- правовращающего. Т.к. они равной толщины, то поворачивают плоскость поляризации света одинаково, но на разные стороны.

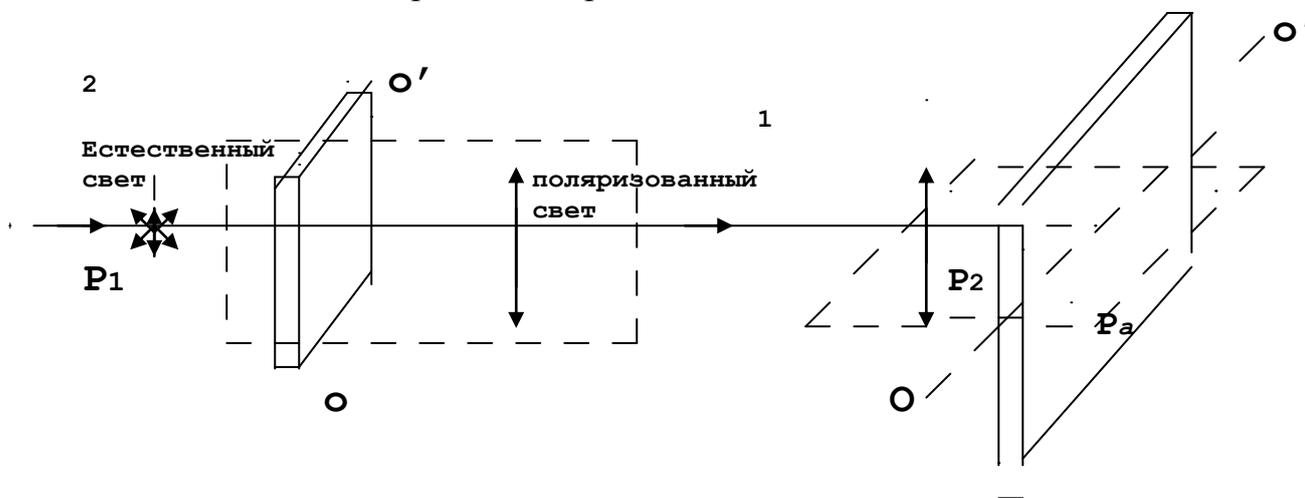


Рис. 3. Прохождение света через кристаллы турмалина.

На рис.3. указана ориентация плоскости поляризации лучей, прошедших разные части пластины 3 из рисунка 2. P - указывает направление плоскости поляризации света до пластины 3; а P₁ и P₂ - света, прошедшего участки I и II соответственно; Вектор P_a указывает ориентацию анализатора 5. Согласно закону Малюса, при отсутствии пластины 3 наблюдали бы полное затемнение поля зрения. Но глаз этот момент не может уловить, т.к. небольшое просветление поля зрения поворота P_a (при вращении анализатора) глаз не улавливает.

При наличии пластины 3 освещенность всех трех полей не будет минимальной, т.к. угол между P_a и P₁, определяющий освещенности крайних полей (10) будет $90^\circ - \gamma$.

Таким образом, по закону Малюса:

$$I_l = I_o \cos^2(90^\circ - \gamma),$$

а также:

$$I_{II} = I_o \cos^2(90^\circ - \gamma),$$

где:

I_I - интенсивность света, прошедшая через крайние поля пластины 3 (I);

I_{II} - интенсивность света, прошедшая среднее поле пластины 3 (II).

Т.к.:

$$\cos^2(90^\circ - \gamma) = \cos^2(90^\circ + \gamma)$$

то:

$$I_I = I_{II}$$

и мы видим равенство освещенностей всех трех полей, в то время, когда наблюдалась бы минимальная освещенность всего поля, при отсутствии пластины 3 (рис.2).

По вращающейся шкале 6 фиксируется положение анализатора 5.

Имеющиеся нониусные шкалы, позволяют отсчитывать угол с точностью до 0,1.

Объектив 7 перемещается вперед и назад, таким образом устанавливая объектив отчетливо, можно наблюдать три поля разной освещенности.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Проверить отсутствие кювета с раствором внутри прибора. При наличии кювета вынуть ее.
2. Включить осветитель.
3. Глядя в объектив и перемещая его вперед – назад, получить четкое изображение трех полей.
4. Вращая поворотную шкалу, добиться равенства освещенности всех 3-х полей, при их общей небольшой освещенности.
5. Сделать отсчет угла Φ_0 по шкале с точностью до 0,1°.
6. Поместить кювет внутрь прибора и перемещая объектив, восстановить резкость поля зрения.
7. Вращая шкалу вновь, добиться равенства освещенностей полей.
8. Сделать отсчет угла Φ_1 по шкале.
9. Пункты 6-8 повторить для всех 3-х кюветов.
10. Данные измерений занести в таблицу измерений $\Phi_0 - \Phi_1 = \Psi_1$ угол поворота плоскости поляризации с раствором сахара в 1-м кювете. Также определяем:

$$\Psi_2 = \Phi_0 - \Phi_2 \quad \text{и} \quad \Psi_3 = \Phi_0 - \Phi_3$$

Концентрации растворов в кюветах указывает преподаватель или лаборант.

Т.к.:

$$\begin{aligned} \Psi_1 &= [\alpha]c_1l \\ \Psi_2 &= [\alpha]c_2l \\ \Psi_3 &= [\alpha]c_3l \end{aligned}$$

то:

$$\frac{\Psi_1}{\Psi_2} = \frac{c_1}{c_2}; \quad \frac{\Psi_1}{\Psi_3} = \frac{c_1}{c_3}; \quad \frac{\Psi_2}{\Psi_3} = \frac{c_2}{c_3};$$

N кюветы	C	Φ_0	Φ_n	Ψ_n	$\frac{\Psi_i}{\Psi_k} \quad i \neq k$	$\frac{c_i}{c_k} \quad i \neq k$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Какие вещества называется оптически активными?
2. В чем состоит закон Малюса?
3. В чем состоит закон Био?
4. Что такое удельное вращение раствора?
5. Для чего используется в приборе светофильтр?
6. Какова функция разрезной кварцевой пластины?
7. От чего зависит угол поворота плоскости поляризации света в растворе?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Некоторые астрономические величины

Наименование	Величина (среднее значение)
Радиус Земли	$6.37 \cdot 10^6$ м
Масса Земли	$5.98 \cdot 10^{24}$ кг
Радиус Солнца	$6.95 \cdot 10^8$ м
Масса Солнца	$1.98 \cdot 10^{30}$ кг
Масса Луны	$7.35 \cdot 10^{22}$ кг
Радиус Луны	$1.74 \cdot 10^6$ м
Расстояние от центра Земли до центра Солнца	$1.49 \cdot 10^{11}$ м
Расстояние от центра Земли до центра Луны	$3.84 \cdot 10^8$ м
Период обращения Луны вокруг Земли	27.3 сут. = $2.36 \cdot 10^6$ с

Свойства некоторых твердых тел

Вещество	Плотность кг/м ³	Температура плавления, °С	Удельная теплоемкость		Удельная теплота плавления, ж/кг	Температурный коэффициент линейного расширения, град ⁻¹
			Ж/кг·град	ккал/кг·град		
Алюминий	2600	659	896	0,214	$3,22 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
Железо	7900	1530	500	0,119	$2,72 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Латунь	8400	900	386	0,092	-	$1,96 \cdot 10^{-5}$
Лед	900	0	2100	0,5	$3,35 \cdot 10^5$	-
Медь	8600	1100	395	0,094	$1,76 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
Олово	7200	232	230	0,055	$5,86 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^{-5}$
Платина	21400	1770	117	0,028	$1,13 \cdot 10^5$	$0,89 \cdot 10^{-5}$
Пробка	200		2050	0,49	-	
Свинец	11300	327	126	0,03	$2,26 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Серебро	10500	960	234	0,056	$8,8 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Сталь	7700	1300	460	0,11	-	$1,06 \cdot 10^{-5}$
Цинк	7000	420	391	0,093	$1,17 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^{-5}$

Свойства некоторых жидкостей

Вещество	Плотность кг/м ³	Удельная теплоемкость (20°C)		Поверхностное натяжение (20°C), Н/м
		Ж/кг·град	Кал/г.град	
Бензол	880	1720	0,41	0,03
Вода	1000	4190	1	0,073
Глицерин	1200	2430	0,58	0,064
Касторовое масло	900	1800	0,43	0,035
Керосин	800	2140	0,051	0,03
Ртуть	13600	138	0,033	0,5
Спирт	790	2510	0,6	0,02

Свойства упругости некоторых твердых тел

Вещество	Предел прочности Н/м	Модуль Юнга Н/м ²
Алюминий	$1,1 \cdot 10^8$	$6,9 \cdot 10^{10}$
Железо	$2,94 \cdot 10^8$	$19,6 \cdot 10^{10}$
Медь	$2,45 \cdot 10^8$	$11,8 \cdot 10^{10}$
Свинец	$0,2 \cdot 10^8$	$1,57 \cdot 10^{10}$
Серебро	$2,9 \cdot 10^8$	$7,4 \cdot 10^{10}$
Сталь	$7,85 \cdot 10^8$	$21,6 \cdot 10^{10}$

Значение тригонометрических функций

Угол	Sin	tg	ctg	cos	угол
0	0	0		1	90
1	0,0175	0,0175	57,29	0,9998	89
2	0,0349	0,0349	28,64	0,9994	88
3	0,0524	0,0524	19,08	0,9986	87
4	0,0698	0,0699	14,3	0,9976	86
5	0,0872	0,0875	11,43	0,9962	85
6	0,1045	0,1051	9,514	0,9945	84
7	0,1219	0,1228	8,144	0,9925	83
8	0,1392	0,1405	7,115	0,9908	82
9	0,1564	0,1584	6,314	0,9877	81
10	0,1736	0,1763	5,671	0,9848	80
11	0,1908	0,1944	5,145	0,9816	79

12	0,2079	0,2126	4,705	0,9781	78
13	0,225	0,3209	4,331	0,9744	77
14	0,2419	0,2498	4,011	0,9703	76
15	0,2588	0,2679	3,732	0,9659	75
16	0,2756	0,2867	3,487	0,9613	74
17	0,2924	0,3057	3,271	0,9563	73
18	0,309	0,3249	3,078	0,9511	72
19	0,3256	0,3443	2,904	0,9455	71
20	0,342	0,364	2,747	0,9397	70
21	0,3584	0,3839	2,805	0,9336	69
22	0,3746	0,404	2,475	0,9272	68
23	0,3997	0,4245	2,356	0,9205	67
24	0,4067	0,4452	2,246	0,9135	66
25	0,4226	0,4463	2,145	0,9063	65
26	0,4384	0,4877	2,05	0,8988	64
27	0,454	0,5065	1,163	0,891	63
28	0,4695	0,5317	1,881	0,8829	62
29	0,4848	0,5648	1,804	0,8746	61
30	0,5	0,5774	1,132	0,866	60
31	0,515	0,6009	1,664	0,8572	59
32	5290	0,6249	1,6	0,848	58
33	0,5446	0,6494	1,546	0,8387	57
34	0,5592	0,6745	1,483	0,829	56
35	0,5736	0,7002	1,428	0,8192	55
36	0,5878	0,7265	1,376	0,809	54
37	0,6018	0,7536	1,327	0,7986	53
38	0,6157	0,7813	1,28	0,788	52
39	0,6293	0,8998	1,235	0,7771	51
40	0,6428	0,8391	1,192	0,766	50
41	0,6561	0,8693	1,15	0,7547	49
42	0,6691	0,9004	1,111	0,7314	48
43	0,682	0,9325	1,072	0,7314	47
44	0,6947	0,9857	1,036	0,7193	46
45	0,7071	1	1	0,7071	45
	cos	ctg	tg	sin	

ЛИТЕРАТУРА

1. И.В.Савельев Курс общей физики, II, III том, 1984 г.
2. Г.А. Зисман и О.М.Тодес Курс общей физики, III – том.
3. Б.М. Яворский и А.А. Детлаф Курс физики, III том.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Лабораторная работа № 50. Определение углового увеличения и поля зрения зрительной трубы.....	4
Лабораторная работа № 51. Определение показателя преломления стекло при помощи микроскопа.....	9
Лабораторная работа № 52. Определение показателя преломления жидкостей при помощи рефрактометра.....	12
Лабораторная работа № 53. Определение показателя преломления призмы при помощи гониометра	18
Лабораторная работа № 54. Определение фокусного расстояния выпуклой и вогнутой линзы по способу Бесселя.....	24
Лабораторная работа № 55. Изучение законов фотометрии.....	31
Лабораторная работа № 56. Определение ускорения силы тяжести методом качания кольца.....	35
Лабораторная работа № 57. Определение коэффициента поглощения света водой с помощью фотоэлемента.....	39
Лабораторная работа № 58. Определение концентрации растворов колориметрическим методом.....	44
Лабораторная работа № 61. Измерения длины волны света с помощью дифракционной решетки.	
Лабораторная работа № 62. Измерение длины волны света с помощью отражательной дифракционной решетки.	
Лабораторная работа № 63. Проверка закономерностей вращения плоскости поляризации с помощью сахарного раствора.	
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	123
ЛИТЕРАТУРА.....	127

Каримов Зокиржон Шукурович
Илхамджанов Нигмат Акилджанович
Ахмеджанов Гулом
Бахронов Хаёт Нурович
Бекназарова Замира Формановна

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ОПТИКЕ
(МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ)

Редактор: Ш.К.Ганиев

Разрешено в печать
Размер бумаги 60x84 1/16
Объем 4 п.л. 100 экземпляров
Заказ №
Опубликовано в типографии ТИИМ.
Ташкент 700000, улица Кары-Ниязова, дом 39.