

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА
В ЖИДКИХ И ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ**

**Методические указания к лабораторной работе № 62
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Кафедра физики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА
В ЖИДКИХ И ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

Методические указания к лабораторной работе № 62
по дисциплине «Физика»

Уфа 2016

Составитель Э. В. Сагитова

УДК
ББК

Определение показателей преломления света в жидких и твердых телах: методические указания к лабораторной работе № 62 по дисциплине «Физика» «» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. Э. В. Сагитова – Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2016. – 17 с.

Цель методических указаний – закрепление и совершенствование знаний студентов по дисциплине «Физика» и формирование умений их применять для решения научно-технических задач в теоретических и прикладных аспектах, возникающих в последующей профессиональной деятельности выпускников технического университета.

Приведены краткая теория и методы измерения показателя преломления жидких и твердых тел, порядок выполнения работы и контрольные вопросы; дана схема экспериментальной установки.

Предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Физика» по разделу «Волновая оптика. Квантово – оптические явления» на всех направлениях подготовки бакалавров и специалистов.

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук, доц. Трофимова Е. В.,
канд. физ.-мат. наук, доц. Якупов Э. З.

© Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2016

Содержание

Введение	4
1. Цели работы	5
2. Задачи.....	5
3. Теоретическая часть	5
4. Экспериментальная часть.....	9
4.1. Определение показателя преломления стекла с помощью микроскопа.....	9
4.2. Определение показателя преломления жидкостей с помощью рефрактометра	10
5. Требования по технике безопасности	12
6. Задания.....	12
7. Выполнение работы	12
7.1. Установка для измерения показателя преломления стеклянной пластинки	12
7.2. Установка для определения показателя преломления жидкостей.....	14
Контрольные вопросы	16
Требования к содержанию и оформлению отчета	16
Критерии результативности выполнения лабораторной работы	16
Список литературы	17

ВВЕДЕНИЕ

На основании современных представлений свет имеет двойственную корпускулярно-волновую природу: с одной стороны он обладает волновыми свойствами, с другой – представляет собой поток частиц – фотонов. Корпускулярно-волновой дуализм есть проявление наиболее общей взаимосвязи двух основных форм материи – вещества и поля.

Одной из физических характеристик вещества является показатель преломления света, изучение которого дает возможность определить структуру сложных молекул, судить о типах химической связи между атомами, с высокой степенью точности установить процентный состав газообразных и жидких смесей, измерить их плотности, исследовать диффузию и другие явления.

В результате выполнения данной лабораторной работы формируются следующие компетенции:

- способность демонстрировать базовые знания в области общенаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности;

- способность проводить эксперименты по заданной методике, обрабатывать результаты, оценивать их погрешность и достоверность.

Перечисленные компетенции формируются через умения:

- работать с измерительными приборами;
- рассчитывать физические величины по экспериментальным данным;
- анализировать результаты опыта;
- оформлять отчет.

Перечисленные компетенции формируются через владения:

- теоретическим материалом;
- навыками измерения физических величин по приборам;
- технологией обработки экспериментальных данных.

Лабораторная работа № 62

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА В ЖИДКИХ И ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

1. ЦЕЛИ РАБОТЫ

1. Изучение явлений преломления, отражения и полного внутреннего отражения света на границе раздела двух сред исходя из волновой природы света.
2. Определение показателей преломления жидких и твердых тел.

2. ЗАДАЧИ

1. Закрепление знаний студентами законов распространения света, взаимодействия света с веществом.
2. Освоение методов измерения показателя преломления света жидкостями и твердыми телами.
3. Приобретение навыков проведения физических измерений, умения обработки полученных данных и оценки погрешностей измерений.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

При переходе луча света через границу раздела двух сред с различными оптическими свойствами происходит изменение направления его распространения в случае наклонного падения. Луч частично проходит во вторую среду, частично возвращается в первую. Свет представляет собой сложное явление: в одних случаях он ведет себя как электромагнитная волна, в других – как поток особых частиц (фотонов). Рассмотрим явление, в основе которого лежит волновая природа света. В электромагнитной волне колеблются векторы \vec{E} и \vec{H} – напряженности электрического и магнитного полей. Как показывает опыт, физиологическое, фотохимическое, фотоэлектрическое и другие действия света вызываются колебаниями вектора напряженности электрического поля, его называют световым вектором. Атомы и молекулы любого вещества в целом электрически нейтральны и содержат отрицательно заряженные электроны и положительно заряженные ядра. Под действием поля световой волны эти заряды начинают совершать вынужденные колебательные движения и сами становятся

источниками вторичных электромагнитных волн. Эти волны когерентны, поскольку они возбуждаются одной и той же падающей волной и распространяются со скоростью света c в вакууме. Их интерференция между собой и с падающей волной определяет результирующее электромагнитное поле в веществе, которое и вызывает вынужденное движение входящих в состав вещества зарядов. Результирующее вторичное возмущение распространяется в веществе со скоростью $v < c$.

Появление преломленной и отраженной световых волн на границе раздела двух сред обусловлено изменением фазовой скорости волны в среде по сравнению со скоростью света в вакууме. Зависимость напряженности электрического поля плоской монохроматической волны от координат и времени может быть записана в виде

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 \cos(\omega t - \vec{k} \vec{r}), \quad (3.1)$$

где \vec{E}_0 – амплитуда напряженности поля волны, \vec{k} – волновой вектор, перпендикулярный поверхностям постоянной фазы и характеризующий распространение волны, \vec{r} – расстояние, отсчитываемое вдоль направления распространения световой волны.

Модуль волнового вектора

$$|\vec{k}| = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v},$$

где λ – длина волны, ω – циклическая частота.

Напряженности электрического поля отраженной и преломленной плоских волн имеют вид, аналогичный (3.1). Волновой вектор в падающей (пд), отраженной (отр) и преломленной (пр) волнах связан со скоростью распространения в средах соотношениями:

$$k_{\text{пд}} = \frac{\omega_{\text{пд}}}{v_1},$$

$$k_{\text{отр}} = \frac{\omega_{\text{отр}}}{v_1},$$

$$k_{\text{пр}} = \frac{\omega_{\text{пр}}}{v_2},$$

где v_1 и v_2 – скорости распространения волн в первой и во второй средах.

Исходя из граничных условий для векторов электрического смещения D и напряженности E электрического поля волны, а также индукции B и напряженности H магнитного поля волны, имеющих вид:

$$\begin{aligned} D_{2n} &= D_{1n}, B_{2n} = B_{1n} \\ E_{2\tau} &= E_{1\tau}, H_{2\tau} = H_{1\tau}, \end{aligned} \quad (3.2)$$

можно доказать, что частота электромагнитной волны при отражении и преломлении не изменяется

$$\omega_{\text{пр}} = \omega_{\text{отр}} = \omega_{\text{пд}},$$

а законы отражения и преломления получаются как следствие этих граничных условий.

Из электромагнитной теории Максвелла следует, что фазовая скорость электромагнитной волны

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}}. \quad (3.3)$$

Для большинства прозрачных неферромагнитных сред $\mu \approx 1$, поэтому фазовая скорость в данной среде зависит от диэлектрической проницаемости среды ϵ . Введя в качестве характеристики оптических свойств вещества показатель преломления $n = \sqrt{\epsilon}$, можно фазовую скорость электромагнитной волны (3.3) выразить как

$$v = \frac{c}{n}, \quad (3.4)$$

и показатель преломления охарактеризовать как физическую величину, определяемую отношением скорости распространения света в первой и во второй средах. В вакууме $\epsilon = 1$ и $v = c$, а $n = 1$.

Физическая величина, определяемая отношением скорости света в вакууме к его скорости в веществе, называется абсолютным показателем преломления вещества

$$n = \frac{c}{v}. \quad (3.5)$$

Величина, определяемая отношением абсолютных показателей преломления второй среды относительно первой, называется относительным показателем преломления

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (3.6)$$

Показатель преломления зависит от длины волны и температуры среды, а для газов и от давления.

Среда с большим показателем преломления называется оптически более плотной.

На рис. 3.1 и 3.2 показан ход лучей при $n_2 > n_1$ и $n_2 < n_1$.

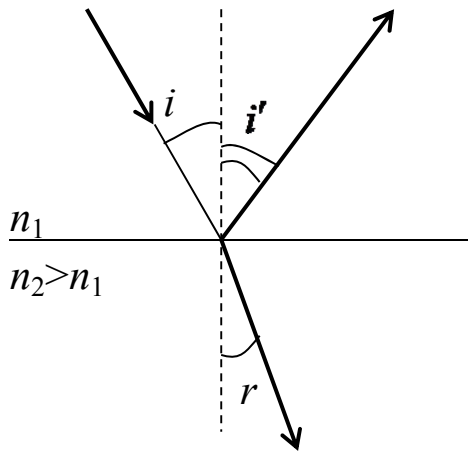


Рис. 3.1

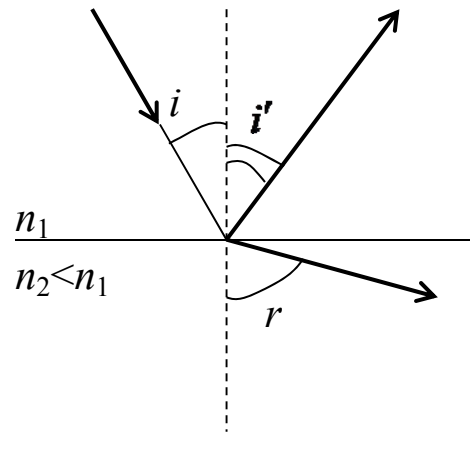


Рис. 3.2

Луч света при прохождении из вещества с меньшим показателем преломления (оптически менее плотного) в вещество с большим показателем преломления (оптически более плотное) приближается к нормали (рис. 3.1). При прохождении из вещества оптически более плотного в вещество оптически менее плотное (рис. 3.2) луч отходит от нормали. В этом случае, очевидно, существует такой угол падения

$i_{\text{пр}}$, меньший $\frac{\pi}{2}$, при котором угол преломления r равен $\frac{\pi}{2}$, т.е.

преломленный луч становится скольльзящим. При углах падения $i > i_{\text{пр}}$ падающий свет целиком отражается, преломленного луча не существует. Это явление носит название полного внутреннего отражения. Угол $i_{\text{пр}}$ называется предельным углом. Значение

предельного угла $i_{\text{пр}}$ определяется требованием, чтобы $r = \frac{\pi}{2}$, откуда по закону преломления имеем

$$\frac{\sin i_{\text{пр}}}{\sin r} = \sin i_{\text{пр}} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}.$$

Это уравнение может быть удовлетворено лишь при условии, что $n_2 < n_1$, откуда следует, что полное внутреннее отражение возможно лишь при прохождении света из вещества оптически более плотного в вещество оптически менее плотное.

Явление полного внутреннего отражения широко используется в сложных оптических системах для получения отражения вместо зеркал, имеющих потери 10-15% на каждой отражающей поверхности в результате поглощения света отражающим слоем, в светодиодах, в волоконной оптике.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

4.1. Определение показателя преломления стекла с помощью микроскопа

Согласно закону преломления света, луч, проходя через оптически более плотное вещество, чем окружающая среда, отклоняется, поэтому предмет, рассматриваемый через плоскопараллельную пластинку, кажется расположенным ближе. Пусть на нижней поверхности плоскопараллельной пластинки (рис. 4.1) проведена царапина S .

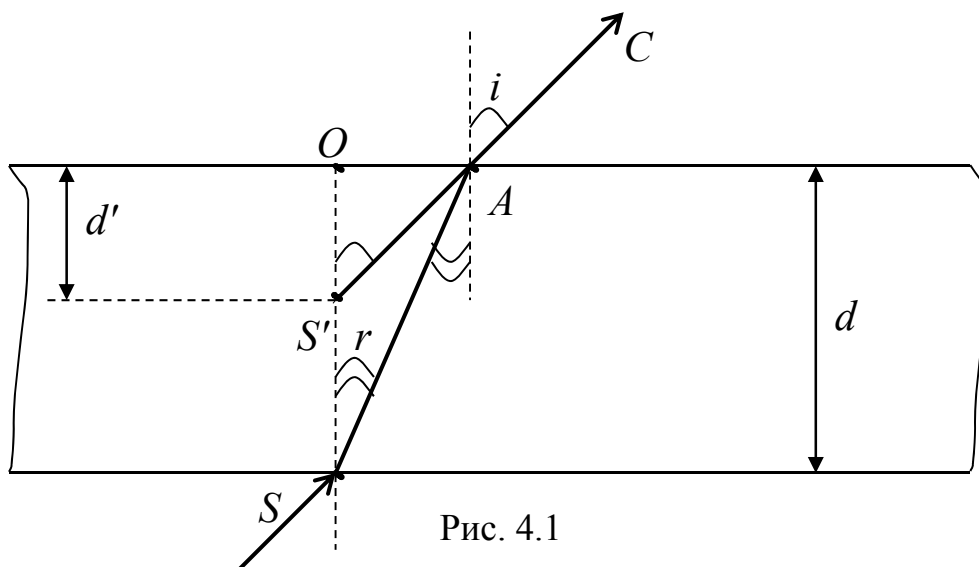


Рис. 4.1

Благодаря преломлению света, наблюдателю кажется, что точка S находится на продолжении луча AC в точке S' , то есть приподнятой над ее истинным положением на величину SS' . Измерив отрезок OS' и толщину пластинки OS , можно определить абсолютный показатель преломления стеклянной пластинки.

Действительно из треугольника $S'OА$ имеем

$$OA = OS' \cdot \operatorname{tg} i,$$

а из треугольника SOA

$$OA = OS \cdot \operatorname{tg} r.$$

Поэтому

$$\frac{OS}{OS'} = \frac{\operatorname{tg} i}{\operatorname{tg} r} \approx \frac{\sin i}{\sin r}, \text{ (углы } i \text{ и } r \text{ малы).}$$

С другой стороны, последнее соотношение определяет показатель преломления вещества, следовательно

$$n_{21} = \frac{OS}{OS'} = \frac{d}{d'}. \quad (4.1)$$

Измерив толщину пластинки d микрометром, а кажущуюся толщину микроскопом, можно определить n .

4.2. Определение показателя преломления жидкостей с помощью рефрактометра

В рефрактометрах для измерения показателей преломления жидкостей используется явление полного внутреннего отражения света. Исследуемая жидкость помещается в зазор между гранями двух призм (рис. 4.2). Верхняя призма вспомогательная, ее грань BC матовая и служит для освещения жидкости рассеянным светом. Нижняя призма – измерительная, с преломляющим углом A и показателем преломления N .

Показатель преломления измерительной призмы должен быть больше показателя преломления исследуемой жидкости. Поверхность вспомогательной призмы освещается через боковую грань K . Матовая поверхность этой призмы служит источником рассеянного света. Этот свет падает на исследуемую поверхность и содержит лучи с углами падения от 0° до 90° . Луч, угол падения которого на поверхность измерительной призмы $i \approx 90^\circ$, называется скольльзящим. Скользящий луч пройдет в измерительной призме через точку O под углом r , значение которого можно определить по закону преломления из соотношения

$$\frac{\sin 90^\circ}{\sin r} = \frac{N}{n}, \quad (4.2)$$

где n – показатель преломления жидкости.

Так как $N > n$, то на границе жидкость – измерительная призма наблюдается явление, обратное полному внутреннему отражению.

Предельный угол выхода луча из измерительной призмы в воздух можно определить из соотношения (см. рис. 4.2)

$$\frac{\sin i'}{\sin r'} = N. \quad (4.3)$$

Преломляющий угол призмы

$$A = r + r'. \quad (4.4)$$

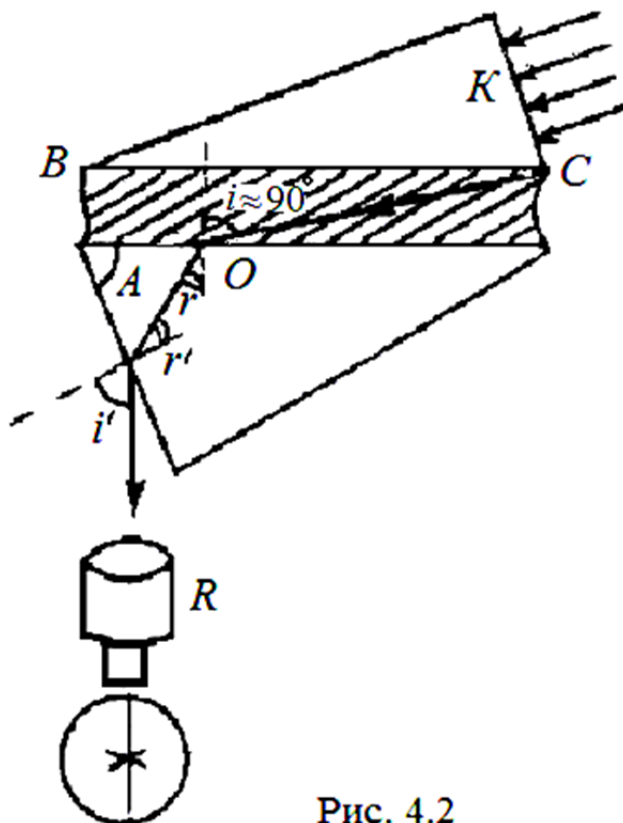


Рис. 4.2

Из (4.2), (4.3) и (4.4) следует, что показатель преломления жидкости

$$n = \sin A \sqrt{N^2 - \sin^2 i'} - \cos A \sin i'. \quad (4.5)$$

Для расчета показателя преломления жидкости по формуле (4.5) надо измерить угол i' выхода граничного луча из измерительной призмы рефрактометра. Шкала рефрактометра градуируется в значениях показателя преломления n жидкостей. Градуировку шкалы проводят при 20°C для желтой линии натрия ($\lambda = 589 \text{ нм}$).

5. ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Прежде чем приступить к работе, внимательно ознакомьтесь с заданием и лабораторным оборудованием.

2. Микроскоп и рефрактометр являются точными измерительными приборами, поэтому обращаться с ними нужно осторожно.

3. Во избежание загрязнения и разюстировки прибора необходимо протирать чистой салфеткой рабочие поверхности рефрактометра после проведения эксперимента с исследуемой жидкостью.

4. По окончании работы приведите в порядок свое рабочее место.

6. ЗАДАНИЯ

1. Определение показателя преломления стеклянной пластинки с помощью микроскопа.

2. Определение показателя преломления жидкости с помощью рефрактометра.

7. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

7.1. Установка для измерения показателя преломления стеклянной пластинки

На рис. 7.1 показан общий вид микроскопа. Его оптическая схема состоит из наблюдательной и осветительной систем. В наблюдательную систему входят объектив 1, окуляр 2, вмонтированный в тубус микроскопа 3. Осветительная система состоит из зеркала 4, конденсора 5 с диафрагмой 6.

На металлическом основании микроскопа 7 укреплена коробка с микромеханизмом. С одной стороны коробки укреплена конструкция 8 для перемещения конденсора, а с другой – тубусодержатель, имеющий форму дуги.

Грубая фокусировка производится рукояткой 8, микроскопическая – вращением рукоятки 9, причем поворот против часовой стрелки поднимает тубус, а по часовой – опускает тубус относительно предметного столика 10.

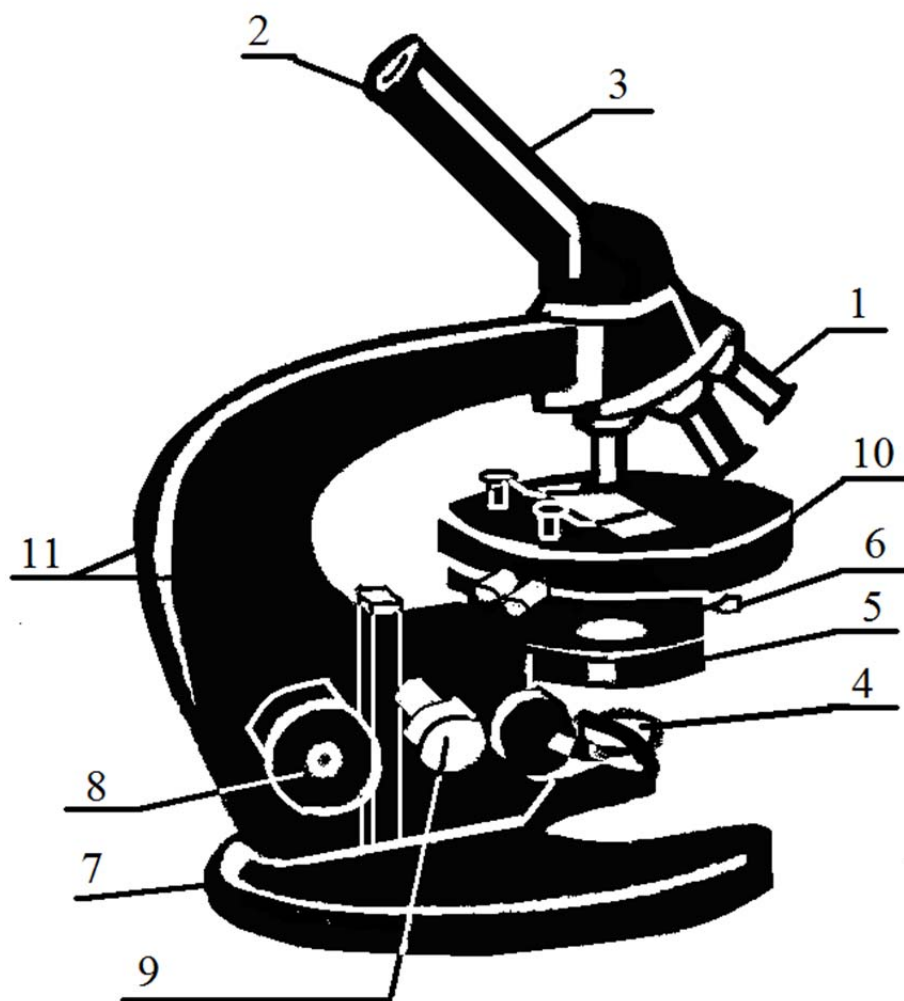


Рис. 7.1

На оси правой рукоятки механизма микрометрической фокусировки имеется барабан со шкалой, разделенной на 50 частей. Каждое пятое деление обозначено цифрами от «0» до «9». Цена одного деления – 0,002 мм. По шкале можно определить величину подъема или опускания тубуса. Цифра «1» означает, что тубус барабана передвинулся на 0,01 мм. «2» – на 0,02 мм, и т.д. Один оборот барабана соответствует перемещению тубуса на 0,1 мм. Общая величина перемещения тубуса – 2,2 мм.

1. Измерьте толщину пластинки d в трех различных точках. Вычислите среднее арифметическое значение толщины пластинки.

2. С помощью микроскопа определите кажущуюся толщину d' следующим образом:

2.1. Вращая зеркало 4 осветительной системы (рис. 7.1), получите хорошо освещенное поле зрения в микроскопе.

2.2. На предметный столик 10 положите пластинку.

2.3. Вращением рукояток 8 и 9 сфокусируйте микроскоп на нижний штрих.

2.4. По шкале 11 произведите отчет N_1 .

2.5. Поднимая тубус с помощью микрометрического винта 9, сфокусируйте микроскоп на верхний штрих, нанесенный на пластинку и снова произведите отчет N_2 по шкале 11.

2.6. Кажущаяся толщина пластинки равна разности отсчетов для верхнего и нижнего штрихов

$$d' = |N_2 - N_1|,$$

по трем значениям найдите среднее арифметическое. Все данные опыта занесите в таблицу. Показатель преломления рассчитайте по формуле

$$n = \frac{d}{d'}.$$

3. Рассчитайте абсолютную и относительную погрешности измерения показателя преломления. Результат опыта представьте в виде

$$n_{\text{ист}} = n \pm \Delta n.$$

Таблица

№	Истинная толщина пластинки	Отсчеты по шкале микроскопа		Кажущаяся толщина пластинки	Показатель преломления n	Погрешность Δn
		верхний штрих	нижний штрих			
1						
2						
3						

7.2. Установка для определения показателя преломления жидкостей

Показатель преломления жидкостей измеряют с помощью рефрактометра RL-1. На рис. 7.2 показан общий вид рефрактометра.

1. Осветите внешним источником света грань осветительной призмы 2, для чего поднимают крышку 6.

2. Осветите зеркалом подсветки 7 шкалу показателей преломления. При правильной освещенности в окуляре 5 должно быть видно яркое поле зрения с отчетливой шкалой.

3. В измерительной головке откройте верхнюю часть с осветительной призмой 2. На полированную грань призмы 1

наносят пипеткой 1-2 капли дистиллированной воды, после чего верхнюю осветительную призму закрывают.

4. Вращая ручку перемещения шкалы 8, расположенную с левой стороны прибора, добейтесь появления в поле зрения границы светлого и темного полей.

5. Окраску границы раздела устраните вращением ручки компенсатора дисперсии 3.

6. Совместите границу раздела с перекрестием штрихов в окуляре (рис. 7.3) и снимите отсчет по всей шкале показателей преломления с точностью до четвертого знака. Если рефрактометр исправен и настроен правильно, то для дистиллированной воды должно получиться значение $n = 1,3333$ (при 20°C).

7. После проверки рефрактометра по воде, откройте камеру и вытрите рабочие поверхности призм мягкой тряпочкой или фильтровальной бумагой.

8. Определите показатели преломления других жидкостей (спирт, глицерин) таким же образом (пп. 3-6).

9. После проведения измерений камеру откройте, протрите и просушите.

10. В результаты измерения внесите температурную поправку, рассчитываемую по формуле

$$\Delta n_t = 0,073(t - 20) \cdot 10^{-4}.$$

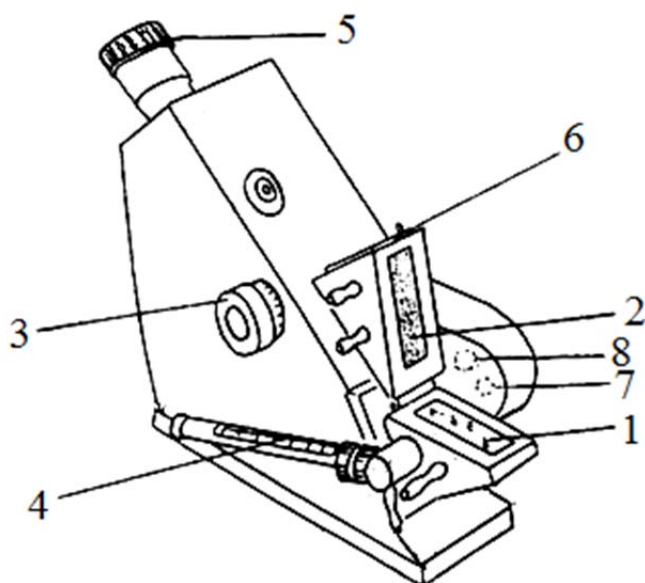


Рис. 7.2



Рис. 7.3

Контрольные вопросы

1. Что называется абсолютным и относительным показателями преломления?
2. От чего зависит показатель преломления вещества?
3. В чем заключается явление полного внутреннего отражения? При каких условиях отражение на границе прозрачных сред будет полным?
4. Нарисуйте ход лучей в микроскопе.
5. Как влияет толщина пластинки на точность определения показателя преломления?
6. Как образуется граница темного и светлого полей зрения рефрактометра?
7. Нарисуйте ход лучей в рефрактометре.
8. Сформулируйте законы отражения и преломления света.
9. Почему при рассмотрении предмета через плоскую стеклянную пластинку он кажется расположенным ближе?
10. Как зависит показатель преломления среды от угла падения, длины волны падающего света, температуры?

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Название лабораторной работы;
2. Цель работы;
3. Краткую теорию и рабочие формулы;
4. Расчет результатов измерений и погрешностей;
5. Запись конечного результата с указанием погрешности;
6. Выводы.

Критерии результативности выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа считается выполненной, если студент:

- овладел понятиями преломления, отражения и полного внутреннего отражения света на границе раздела двух сред, умеет записать и объяснить уравнения законов преломления и отражения света;
- правильно выполнил экспериментальную и расчетную части работы;
- правильно оценил погрешности измерений показателей преломления твердого и жидкого образцов;

- составил отчет, соответствующий требованиям;
- сформулировал выводы о проделанной работе;
- грамотно ответил на все контрольные вопросы.

Список литературы

1. *Бутиков Е.П.* Оптика. – Спб.: Невский Диалект, 2003.
2. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики. – М.: Академия, 2012.
3. *Трофимова Т.И.* Курс физики. – М.: Академия, 2012.

Составитель САГИТОВА Эмма Вагизовна

ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА
В ЖИДКИХ И ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

Методические указания к лабораторной работе № 62
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2016. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman.
Усл. печ. л. 1,1. Уч-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ №
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный
технический университет»
Редакционно-издательский комплекс УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12