

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М. В. Ломоносова

Физический факультет

кафедра общей физики и физики конденсированного состояния

Методическая разработка

по общему физическому практикуму

Лаб. работы №№74, 74а

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ
ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКИХ И
ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

Описание составили доц. Пустовалов Г.Е. и доц. Талалаева Е.В.

Москва - 2012

Подготовил методическое пособие к изданию доц. Авксентьев Ю.И.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКИХ И ТВЕРДЫХ ТЕЛ

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Напомним законы отражения и преломления света и рассмотрим ход лучей при явлении полного внутреннего отражения, которое используется для определения показателей преломления.

Законы отражения и преломления света. Показатель преломления

Из опыта известно, что в однородной прозрачной среде свет распространяется прямолинейно. Однако, если луч света падает на границу раздела двух прозрачных сред, то происходит изменение направления его распространения: свет частично отражается от границы раздела этих сред, частично же преломляется и проходит во вторую среду.

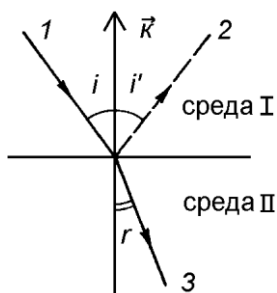


Рис. 1

Закон отражения света: угол падения i равен углу отражения i' . Луч падающий 1, луч отраженный 2 и нормаль к границе раздела сред, проведенная через точку падения, лежат в одной плоскости (рис. 1).

Закон преломления света: отношение синуса угла падения i к синусу угла преломления r для двух данных изотропных сред в случае монохроматического света есть величина постоянная (не зависящая от угла падения). Это отношение называется относительным показателем преломления второй среды по отношению к первой. Луч падающий 1, луч преломленный 3 и нормаль к границе раздела сред, проведенная через точку падения, лежат в одной плоскости (рис. 1). Относительный показатель преломления равен отношению скоростей распространения v_1 и v_2 монохроматического света в этих средах

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{const} = n_{12} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (1)$$

Если монохроматический свет падает на границу среды из вакуума, то показатель преломления среды по отношению к вакууму называют абсолютным показателем преломления (или просто показателем преломления). Очевидно, что абсолютный показатель преломления среды

$$n = c/v, \quad (2)$$

где c — скорость света в вакууме, а v — его скорость в данной среде. Для двух сред со скоростями распространения света v_1 и v_2 абсолютные показатели преломления соответственно $n_1 = c/v_1$ и $n_2 = c/v_2$. Отсюда следует, что относительный показатель преломления второй среды по отношению к первой

$$n_{21} = n_2 / n_1. \quad (3)$$

Среда, у которой абсолютный показатель преломления больше, считается оптически более плотной.

Полное внутреннее отражение

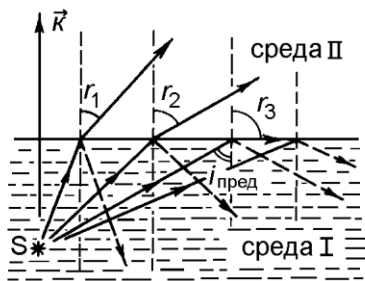


Рис. 2

При падении световой волны на границу раздела двух прозрачных сред происходит как отражение, так и преломление света. Энергия падающей волны распределяется между отраженной и преломленной волнами. При переходе света из оптически более плотной среды I в среду, оптически менее плотную II (рис. 2), луч света удаляется от нормали к границе раздела сред (угол преломления r больше угла падения i). По мере увеличения угла падения энергия отраженного луча растет, а энергия преломленного луча падает. При некотором угле падения $i_{\text{пред}}$, называемом предельным углом, преломленный луч будет скользить по границе раздела сред (для него угол преломления $r_3 = \pi/2$). При углах падения, превышающих $i_{\text{пред}}$, световая волна проникает в оптически менее плотную среду всего на расстояние порядка длины волны, а затем возвращается обратно, т.е. при углах падения $i \geq i_{\text{пред}}$ световая волна в оптически менее плотную среду практически не проникает, а полностью отражается на границе раздела сред. Это явление носит название полного внутреннего отражения.

Теория приборов ИРФ-22 и ИРФ-23

Для измерения показателей преломления вещества служат приборы, называемые *рефрактометрами* («рефракция» переводится как преломление). Принцип действия рефрактометров, используемых в настоящих задачах, основан на определении угла преломления скользящего луча (угол падения 90°), идущего вдоль границы раздела исследуемой среды с неизвестным показателем

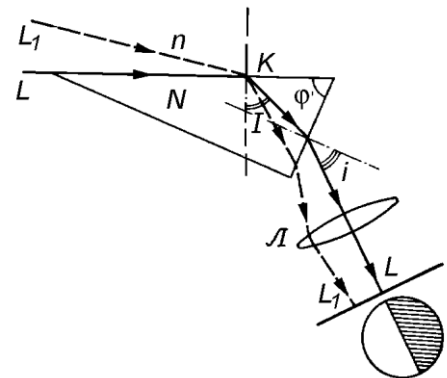


Рис. 3

преломления n и среды с известным показателем преломления N , при условии, что $N > n$. Главной частью рефрактометра является измерительная призма с преломляющим углом, изготовленная из стекла с показателем преломления N (рис. 3). Если вещество с неизвестным показателем преломления n заполняет пространство над верхней гранью призмы, то для скользящего луча LK согласно закону преломления

$$n \sin 90^\circ = N \sin I,$$

или

$$n = N \sin I, \quad (4)$$

где I — предельный угол преломления. Формула (4) лежит в основе вычисления n для всех типов рефрактометров.

В задаче №74 используется рефрактометр ИРФ-23, у которого измерительная призма является прямоугольной (рис. 4), т.е. ее преломляющий угол $\varphi = 90^\circ$. Для скользящего луча LK справедливо соотношение $N \sin (90^\circ - I) = \sin i$. Отсюда $\cos I = (\sin i)/N$, где i — угол между нормалью к вертикальной грани измерительной призмы и вышедшим из призмы лучом (показатель преломления воздуха здесь принят за единицу). Так как $\sin I = \sqrt{1 - \cos^2 I}$, то $\sin I = \frac{\sqrt{N^2 - \sin^2 i}}{N}$.

Подставляя это выражение в (4), получим формулу

$$n = \sqrt{N^2 - \sin^2 i}, \quad (5)$$

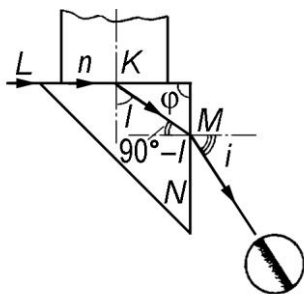


Рис. 4

по которой, зная показатель преломления N вещества измерительной призмы и измерив угол i , можно определить показатель преломления n неизвестного вещества. В приборе ИРФ-23 вещество освещается почти параллельным пучком лучей, падающих на верхнюю грань призмы под углом 90° , поэтому в поле зрения видна светлая полоска, резкий верхний край которой соответствует лучам, падающим под предельным углом (рис. 4).

В задаче №74а используется рефрактометр ИРФ-22, у которого измерительная призма имеет острый преломляющий угол φ (см. рис. 3). В этом случае формула для определения n усложняется и имеет вид

$$n = \sin \varphi \sqrt{N^2 - \sin^2 i} + \cos \varphi \sin i. \quad (6)$$

Здесь i — угол между направлением преломившегося под предельным углом луча после выхода его из призмы и нормалью к грани призмы. Из хода лучей (рис. 3) видно, что любой луч, падающий на призму под углом меньше 90° , по выходе из призмы будет составлять с нормалью к ее грани угол больше i . Поэтому при освещении от источника, дающего лучи с различными углами падения (что имеет место в интерферометре ИРФ-22) в фокальной плоскости

линзы L будет видна резкая граница раздела между светлым и темным полями (светлое поле соответствует лучам, падающим на верхнюю грань призмы под углом меньше 90°).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ЗАДАЧИ № 74

Описание прибора

В рефрактометре *ИРФ-23* используются прямоугольные измерительные призмы, закрепляемые на столике прибора. При определении показателя преломления твердых тел из исследуемого вещества изготавливают кубик с хорошо отполированными гранями. Для соблюдения оптического контакта между гранью измерительной призмы и исследуемым веществом помещают каплю жидкости, показатель преломления которой больше, чем показатель преломления исследуемого вещества, но меньше, чем показатель преломления измерительной призмы. Введение между испытуемым веществом и призмой параллельного слоя жидкости не оказывает влияния на ход лучей в системе. Поэтому окончательная формула (5) для определения показателя преломления исследуемого вещества остается той же. При определении показателя преломления жидкостей употребляют измерительную призму с приклеенным к ней цилиндрическим сосудом, в который наливают исследуемую жидкость. Не останавливаясь более детально на оптической схеме *ИРФ-23* (с ней можно ознакомиться по описанию, имеющемуся у лаборанта), опишем назначение ручек управления прибора. Внешний вид рефрактометра показан на рис. 5.

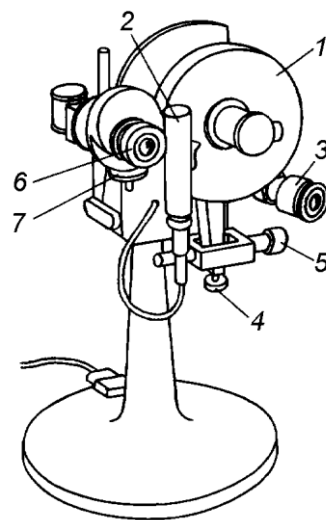


Рис. 5

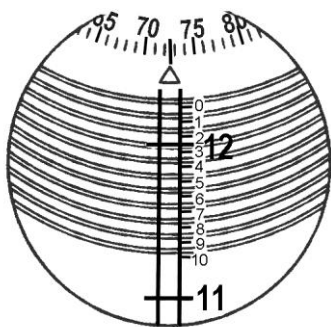


Рис. 6

Лимб помещается в кожухе 1. Для питания лампочки подсветки 2 рефрактометр подключается к сети переменного тока через понижающий трансформатор. Вращением оправы 3 окуляра зрительной трубы добиваются четкого изображения креста нитей в поле зрения трубы. Грубое вращение трубы производится вручную при освобожденном винте 4. Плавное вращение трубы осуществляется при затянутом винте 4 вращением головки 5. Вращая оправу 6 окуляра отсчетного микроскопа, можно получить четкое изображение шкалы лимба. При помощи маховичка 7

производится отсчет сотых и тысячных долей градуса по шкале лимба.

Отсчет положения зрительной трубы

В поле зрения отсчетного микроскопа (рис. 6) видны градусная шкала с ценой деления 1° ; вертикальная неподвижная шкала, десять делений которой равняются одному делению градусной шкалы; двойные спирали, шаг которых равен одному делению неподвижной шкалы (десятой доле градуса) и расположенная сверху круговая шкала. При перемещении двойной спирали на одно деление вертикальной неподвижной шкалы указатель на круговой шкале пробегает 100 делений. Следовательно, одно деление круговой шкалы равно $0,001$ градуса.

Определение положения зрительной трубы при помощи отсчетного микроскопа производится следующим образом. Число целых градусов определяется по штриху градусной шкалы, который находится в пределах неподвижной вертикальной шкалы (на рис. 6 отсчет дает 12°). Десятые доли градуса определяются числом целых делений неподвижной вертикальной шкалы, которые уже пройдены штрихом градусной шкалы. На рис. 6 штрих, помеченный 12° , находится ниже деления неподвижной шкалы, обозначенного цифрой 2, что означает $0,2$. Для определения части деления неподвижной шкалы служит спиральный микрометр (нониус). С помощью маховичка 7 (см. рис. 5) вращают двойные спирали в любом направлении до тех пор, пока градусный штрих не займет симметричного положения между линиями двойной спирали; тогда указатель круговой шкалы покажет на ней значение сотых, тысячных и десятитысячных долей градуса (десятитысячные доли отсчитываются на глаз). На рис. 6 положение круговой шкалы соответствует отсчету $0,0725^\circ$. Таким образом, приведенное на рис. 6 расположение всех шкал в поле зрения отсчетного микроскопа дает для положения зрительной трубы отсчет угла $12,2725^\circ$.

Измерения

Включают через понижающий трансформатор лампочку подсветки. Настраивают по глазам окуляры зрительной трубы и отсчетного микроскопа.

Нулевой отчет

Устанавливают оптическую ось объектива зрительной трубы перпендикулярно вертикальной грани измерительной призмы. Для этого, освободив винт 4 (см. рис. 5), вращают трубу вручную до появления в поле зрения отражения креста нитей и по возможности ближе совмещают отражение с самим крестом. Затянув винт 4, вращением головки 5 добиваются точного совмещения. Если такого совмещения сделать не удастся, то добиваются симметричного расположения изображения относительно креста (рис. 7, а). Производят отсчет нулевого положения трубы, пользуясь отсчетным микроскопом, и записывают отсчитанное значение i_0 .

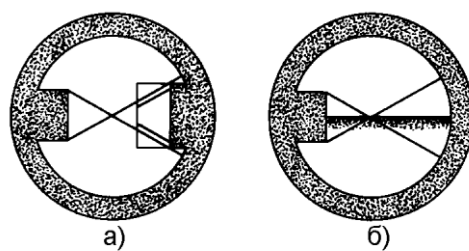


Рис. 7

Определение показателя преломления жидкости

Закрепляют в рефрактометре измерительную призму со стеклянным цилиндром на верхней грани. Устанавливают источник света (газоразрядную натриевую лампу) и при помощи вспомогательной отражательной призмы направляют пучок света вдоль границы раздела между исследуемым веществом и измерительной призмой. Отпустив винт 4 (см. рис. 5), вращают зрительную трубу и добиваются, чтобы в нее попали преломленные в измерительной призме лучи. При этом в поле зрения трубы видна желтая полоса монохроматического света, соответствующего линии натрия D . Наводят центр креста нитей на верхнюю резкую границу полосы (рис. 7,б), пользуясь для точной наводки головкой 5 при затянутом винте 4. С помощью отсчетного микроскопа отсчитывают положение зрительной трубы. Отсчет производят пять раз, сбивая каждый раз наводку и проводя ее заново. Находят среднее значение угла i_1 , определяющего положение трубы. Разность значений углов i_1 и i_0 дает величину угла i , входящего в формулу (5). Зная угол i , по таблице для измерительной призмы с данным показателем преломления N , прилагаемой к прибору, определяют показатель преломления исследуемой жидкости [таблицы составлены на основании формулы (5)].

Определение показателя преломления стекла

В этом случае в качестве образцов используются кубики, изготовленные из исследуемых сортов стекла. Стеклопалочкой на рабочую грань кубика наносят каплю альфа-монобромнафталина, показатель преломления которого $n_D = 1,6588$ при 20°C , и устанавливают кубик на горизонтальную поверхность измерительной призмы. Кубик и измерительная призма должны быть хорошо притерты друг к другу. В остальном порядок измерения тот же, что и при определении показателя преломления жидкости.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ЗАДАЧИ № 74а

Описание прибора

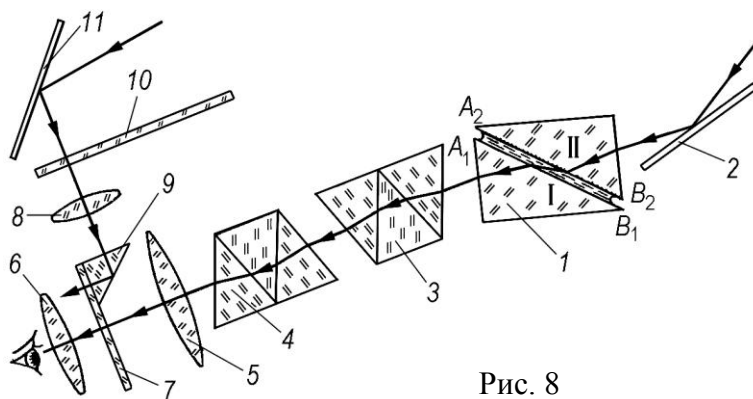


Рис. 8

Рефрактометр ИРФ-22 типа Аббе предназначен для быстрого измерения показателей преломления жидкостей, но может употребляться и для измерения показателей преломления твердых тел, а также для определения средней дисперсии веществ.

Упрощенная оптическая схема рефрактометра показана на рис. 8. Основной деталью рефрактометра является стеклянный параллелепипед 1, состоящий из двух призм I и II, изготовленных из одного сорта стекла. Призма I имеет хорошо отполированную грань A_1B_1 и является измерительной, а призма II имеет матовую грань A_2B_2 и является осветительной. Для измерения показателя преломления жидкости несколько ее капель помещается в щель между призмами. Пучок света от какого-либо источника с помощью зеркала 2 направляется на осветительную призму. Вследствие рассеяния света ее матовой поверхностью в исследуемую жидкость лучи входят по различным направлениям. Среди этих лучей имеются лучи, скользящие вдоль грани A_1B_1 призмы I, которые, проходя в эту призму, преломляются под предельным углом. Углы же преломления остальных лучей больше предельного. Выйдя из измерительной призмы, свет проходит через две дисперсионные призмы Амичи

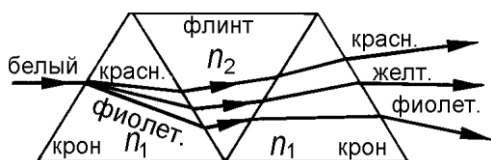


Рис. 9

прямого зрения 3 и 4 (о назначении этих призм будет сказано ниже) и попадает в зрительную трубу, состоящую из объектива 5, окуляра 6 и отсчетного приспособления 7, расположенного в фокальной плоскости объектива. В этой плоскости свет образует светлое и темное поля (см. рис. 3 на стр. 3).

Отсчетное приспособление представляет собой стеклянную пластинку. На одной части этой пластинки нанесен крест, совмещаемый при измерениях с границей раздела темного и светлого полей. На другую часть пластинки при помощи линзы 8 и призмы 9 проектируется изображение прозрачной шкалы 10, которая освещается от какого-либо источника пучком света, направляемым зеркалом 11. Таким образом, в поле зрения окуляра видны одновременно картина, образованная светом, прошедшим через измерительную призму, и изображение шкалы. Параллелепипед 1 связан с пластинкой, на которой нанесена шкала, механической передачей. При его повороте происходит перемещение шкалы и, следовательно, перемещение ее изображения в поле зрения окуляра.

Конструкция прибора предусматривает, что при совмещении креста с границей раздела светлого и темного полей указатель шкалы показывает сразу значение показателя преломления исследуемого вещества для монохроматического света, с длиной волны, соответствующей желтой линии натрия D .

При использовании источника белого света в измерительной призме происходит дисперсия света. В результате, граница раздела светлого и темного

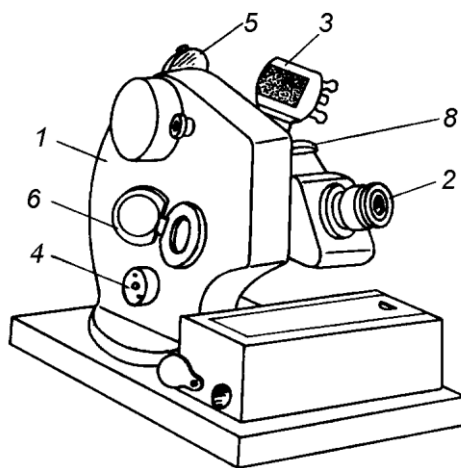


Рис. 10

полей, видная в окуляр, оказывается, вообще говоря, окрашенной и размытой. Для устранения окраски границы раздела полей служат дисперсионные призмы прямого зрения. Каждая из этих призм (рис. 9) составлена из трех призм: двух крайних, изготовленных из оптического стекла с малой дисперсией (крона), и средней — из стекла с большой дисперсией (флинта). Выходящий из такой системы свет оказывается разложенным в спектр. Преломляющие углы призм подобраны так, что луч, соответствующий некоторой длине волны (обычно длине волны желтой линии натрия D), проходит систему без отклонения.

При прохождении света последовательно через две дисперсионные призмы 3 и 4 окончательная дисперсия зависит от ориентации призм по отношению друг к другу. Вращая одну из призм вокруг оси, идущей вдоль неотклоненного луча, можно получить любую дисперсию от нулевой до двойной по сравнению с дисперсией одиночной призмы. Таким образом, поворотом одной из дисперсионной призм можно компенсировать дисперсию света, возникшую в измерительной призме, и, следовательно, устранить окраску и размытие границы светлого и темного полей, наблюдаемых в окуляр.

Внешний вид прибора представлен на рис. 10 и 11. Он состоит из корпуса 1, зрительной трубы 2, и измерительной головки 3. Измерительная головка состоит из двух литых полушарий. Верхнее полушарие закреплено

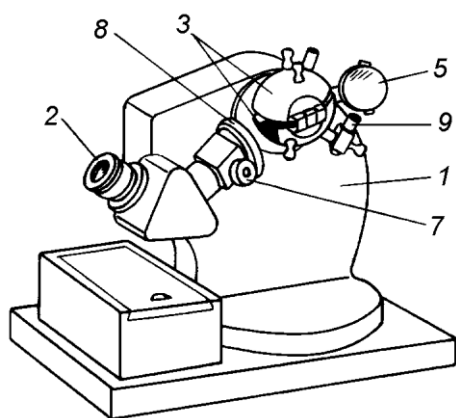


Рис. 11

на шарнире и может откидываться. В нем находится осветительная призма. В нижнем полушарии находится измерительная призма. Поворот головки, происходящий совместно с перемещением шкалы, производится вращением маховичка 4. На осветительную призму свет направляется при помощи зеркала 5, а на шкалу — при помощи зеркала 6. Поворот призмы компенсатора дисперсии измерительной призмы производится вращением маховичка 7. По показаниям шкалы компенсатора 8 вычисляется величина дисперсии

исследуемого вещества.

Измерение показателя преломления жидкости

Устанавливают источник света (настольную лампу) так, чтобы свет падал на зеркала 5 и 6 (могут быть использованы и две лампы). Глядя в окуляр зрительной трубы, вращением оправ зеркала добиваются яркой и равномерной освещенности поля зрения. Вращая оправу окуляра, фокусируют его на крест и изображение шкалы. Откидывают верхнее полушарие измерительной головки и наносят с помощью стеклянной палочки на поверхность измерительной призмы

несколько капель исследуемой жидкости. Осторожно закрывают головку. Исследуемая жидкость должна полностью заполнить зазор между измерительной и осветительной призмами. Смотря в окуляр, вращают маховичок 4 и находят границу раздела светлого и темного полей. Вращением маховичка 7 устраняют ее окраску. С помощью маховичка 4 устанавливают крест возможно точнее на границе раздела полей и снимают по шкале значение показателя преломления (индексом для отсчета служит неподвижный горизонтальный штрих). Целые, десятые, сотые и тысячные доли отсчитывают по делениям шкалы, а десятитысячные оценивают на глаз. Шкала показателя преломления рассчитана на 20°C .

Измерение показателя преломления твердого тела

Перед работой верхнее полушарие измерительной головки откидывают и при дальнейшей работе измерительную головку не закрывают. Соприкасающиеся поверхности образца и измерительной призмы протирают спиртом и чистой салфеткой. Для соблюдения оптического контакта между гранью измерительной призмы и исследуемым веществом помещают каплю жидкости, показатель преломления которой больше, чем показатель преломления измерительной призмы. Введение между образцом и призмой параллельного слоя жидкости не оказывает влияния на ход лучей в системе. Обычно для этой цели служит монобромнафталин. Каплю жидкости помещают на полированную поверхность образца при помощи стеклянной палочки с закругленным концом. Накладывают образец полированной гранью на измерительную призму так, чтобы его матовая грань, образующая с полированной гранью острое ребро, была обращена к источнику света. При установке образца плоскость его соприкосновения с измерительной призмой должна принимать равномерную окраску. Измерение показателя преломления далее производится так же, как и в случае жидкости.

Измерение средней дисперсии

Мерой дисперсии может служить *средняя дисперсия* $n_F - n_C$, характеризующая изменение показателя преломления вещества в пределах видимой части спектра (n_F и n_C — значения показателя преломления для длин волн $\lambda_F = 6563 \text{ \AA}$ и $\lambda_C = 4861 \text{ \AA}$, соответствующих красной и синей линиям водородного спектра). Для измерения средней дисперсии жидких и твердых веществ исследуемый объект устанавливают так же, как и при измерении показателя преломления. Находят показатель преломления, который здесь будет обозначаться n_D , так как рефрактометр дает значение показателя преломления для длины волны, соответствующей желтой линии натрия D .

Дисперсия определяется отсчетом положения призмы компенсатора по шкале 8 при полном устранении окраски границы раздела полей с помощью

маховичка 7 (рис. 11) и характеризуется числом Z делений шкалы компенсатора. Если после устранения окраски вращать маховичок 7 в ту же сторону до противоположного, но равного (или почти равного) значения Z , то граница раздела вторично получится бесцветной. При измерениях следует производить не менее пяти отсчетов с двух сторон шкалы компенсатора и находить среднее арифметическое всех этих отсчетов. Для измеренного значения показателя преломления n_D находят по табл.1 величины A и B . Если такого показателя в таблице не окажется, то величины A и B получают интерполированием, пользуясь таблицей пропорциональных частей. Для полученного значения Z находят по табл.2 величину σ . Для дробных значений Z величину σ определяют также интерполированием при помощи той же таблицы пропорциональных частей. Необходимо учитывать, что для Z больше 30 величина σ принимает отрицательные значения. По найденным величинам A , B и σ вычисляют значение средней дисперсии: $n_F - n_C = A + B\sigma$. Пример записи результатов измерения и нахождения средней дисперсии приведен ниже.

Таблицы для определения средней дисперсии

Таблица 1

n_D	A	Δ	B	Δ
1.300	0.02437	-6	0.03168	-13
1.310	0.02431	-6	0.03155	-14
1.320	0.02425	-5	0.03141	-16
1.330	0.02420	-5	0.03125	-17
1.340	0.02415 0	-5	0.03108	-19
1.350	0.02410	-5	0.03089	-20
1.360	0.02405	-4	0.03069	-22
1.370	0.02401	-5	0.03047	-24
1.380	0.02396	-4	0.03023	-25
1.390	0.02392	-4	0.02998	-27
1.400	0.02388	-4	0.02971	-29
1.410	0.02384	-4	0.02942	-30
1.420	0.02380	-4	0.02912	-32
1.430	0.02376	-3	0.02880	-34
1.440	0.02373	-3	0.02846	-36
1.450	0.02370	-3	0.02810	-37
1.460	0.02367	-3	0.02773	-39
1.470	0.02364	-2	0.02734	-41
1.480	0.02362	-3	0.02693	-43
1.490	0.02359	-2	0.02650	-45
1.500	0.02357	-1	0.02605	-47

Таблица 2

Z	σ	Δ	Z
0	1.000	-1	60
1	0.999	-4	59
2	0.995	-7	58
3	0.988	-	57
4	0.978	-	56
5	0.966	-	55
6	0.951	-	54
7	0.934	-	53
8	0.914	-	52
9	0.891	-	51
10	0.866	-	50
11	0.839	-	49
12	0.809	-	48
13	0.777	-	47
14	0.743	-	46
15	0.707	-	45
16	0.669	-	44
17	0.629	-	43
18	0.588	-	42
19	0.545	-	41
20	0.500	-	40

							46	
1.510	0.02356	-2	0.02558	-49	21	0.454	-	39
1.520	0.02354	-1	0.02509	-52	22	0.407	-	38
1.530	0.02353	-1	0.02457	-54	23	0.358	-	37
1.540	0.02352	0	0.02403	-57	24	0.309	-	36
1.550	0.02352	0	0.02346	-59	25	0.259	-	35
1.560	0.02352	0	0.02287	-62	26	0.208	-	34
1.570	0.02352	1	0.02225	-65	27	0.156	-	33
1.580	0.02353	1	0.02160	-68	28	0.104	-	32
1.590	0.02354	2	0.02092	-71	29	0.052	-	31
1.600	0.02356	2	0.02021	-74	30	0.000	-	30
1.610	0.02358	3	0.01947	-78				
1.620	0.02361	4	0.01869	-83				
1.630	0.02365	5	0.01786	-88				
1.640	0.02370	6	0.01698	-93				
1.650	0.02376	7	0.01605	-99				
1.660	0.02383	8	0.01506	-				
1.670	0.02391	9	0.01400	-				
1.680	0.02400	11	0.01286	-				
1.690	0.02411	14	0.01162	-				
1.700	0.02425		0.01025	137				

Пропорциональные части

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
2	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
3	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6
4	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	4.0	4.4	4.8
5	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
6	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2
7	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5	4.2	4.9	5.6	6.3	7.0	7.7	8.4
8	0.8	1.6	2.4	3.2	4.0	4.8	5.6	6.4	7.2	8.0	8.8	9.6
9	0.9	1.8	2.7	3.6	4.5	5.4	6.3	7.2	8.1	9.0	9.9	10.8
	13	14	15	16	17	19	20	22	23	24	25	27
1	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.5	2.7
2	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.8	4.0	4.4	4.6	4.8	5.0	5.4
3	3.9	4.2	4.5	4.8	5.1	5.7	6.0	6.6	6.9	7.2	7.5	8.1
4	5.2	5.6	6.0	6.4	6.8	7.6	8.0	8.8	9.2	9.6	10.0	10.8
5	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.5	10.0	11.0	11.5	12.0	12.5	13.5
6	7.8	8.4	9.0	9.6	10.2	11.4	12.0	13.2	13.8	14.4	15.0	16.2
7	9.1	9.8	10.5	11.2	11.9	13.3	14.0	15.4	16.1	16.8	17.5	18.9
8	10.4	11.2	12.0	12.8	13.6	15.2	16.0	17.6	18.4	19.2	20.0	21.6
9	11.7	12.6	13.5	14.4	15.3	17.1	18.0	19.8	20.7	21.6	22.5	24.3
	29	30	32	34	36	37	38	39	40	41	43	45
1	2.9	3.0	3.2	3.4	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.3	4.5
2	5.8	6.0	6.4	6.8	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	8.2	8.6	9.0
3	8.7	9.0	9.6	10.2	10.8	11.1	11.4	11.7	12.0	12.3	12.9	13.5
4	11.6	12.0	12.8	13.6	14.4	14.8	15.2	15.6	16.0	16.4	17.2	18.0
5	14.5	15.0	16.0	17.0	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.5	22.5
6	17.4	18.0	19.2	20.4	21.6	22.2	22.8	23.4	24.0	24.6	25.8	27.0
7	20.3	21.0	22.4	23.8	25.2	25.9	26.6	27.3	28.0	28.7	30.1	31.5
8	23.2	24.0	25.6	27.2	28.8	29.6	30.4	31.2	32.0	32.8	34.4	36.0
9	26.1	27.0	28.8	30.6	32.4	33.3	34.2	35.1	36.0	36.9	38.7	40.5
	46	47	49	50	51	52	54	57	59	62	65	68
1	4.6	4.7	4.9	5.0	5.1	5.2	5.4	5.7	5.9	6.2	6.5	6.8
2	9.2	9.4	9.8	10.0	10.2	10.4	10.8	11.4	11.8	12.4	13.0	13.6
3	13.8	14.1	14.7	15.0	15.3	15.6	16.2	17.1	17.7	18.6	19.5	20.4
4	18.4	18.8	19.6	20.0	20.4	20.8	21.6	22.8	23.6	24.8	26.0	27.2
5	23.0	23.5	24.5	25.0	25.5	26.0	27.0	28.5	29.5	31.0	32.5	34.0
6	27.6	28.2	29.4	30.0	30.6	31.2	32.4	34.2	35.4	37.2	39.0	40.8
7	32.2	32.9	34.3	35.0	35.7	36.4	37.8	39.9	41.3	43.4	45.5	47.6
8	36.8	37.6	39.2	40.0	40.8	41.6	43.2	45.6	47.2	49.6	52.0	54.4
9	41.4	42.3	44.1	45.0	45.9	46.8	48.6	51.3	53.1	55.8	58.5	61.2
	71	74	78	83	88	93	99	106	114	124	137	

1	7.1	7.4	7.8	8.3	8.8	9.3	9.9	10.6	11.4	12.4	13.7	
2	14.2	14.8	15.6	16.6	17.6	18.6	19.8	21.2	22.8	24.8	27.4	
3	21.3	22.2	23.4	24.9	26.4	27.9	29.7	31.8	34.2	37.2	41.1	
4	28.4	29.6	31.2	33.2	35.2	37.2	39.6	42.4	45.6	49.6	54.8	
5	35.5	37.0	39.0	41.5	44.0	46.5	49.5	53.0	57.0	62.0	68.5	
6	42.6	44.4	46.8	49.8	52.8	55.8	59.4	63.6	68.4	74.4	82.2	
7	49.7	51.8	54.6	58.1	61.6	65.1	69.3	74.2	79.8	86.8	95.9	
8	56.8	59.2	62.4	66.4	70.4	74.4	79.2	84.8	91.2	99.2	109.6	
9	63.9	66.6	70.2	74.7	79.2	83.7	89.1	95.4	102.6	111.6	123.3	

Пример

Определение средней дисперсии

Отсчеты по шкале компенсатора

По одной	По другой стороне
41,7	42,1
41,7	42,2
41,6	42,0
42,0	41,9
41,8	41,9
Ср. 41,8	Ср. 42,0
Общее среднее: $Z = 41,9$	

Вода при 20°C , $n_D = 1,3330$. При помощи таблиц получается:

$$A = 0,02418, B = 0,03120, \sigma = -0,584 n_F - n_C = A + B\sigma = 0,02418 - 0,01822 = 0,00596.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов Д.В. Электромагнетизм и волновая оптика.- МГУ, 1994: §§ 44, 45 или
2. Белов Д.В., Пустовалов Г.Е. Оптика (ч. IY Краткого курса общей физики).- МГУ, 1982: §§ 29, 30.