

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 13.03.2023 10:45:42

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d088

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра общей и прикладной физики



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ, КОНЦЕНТРАЦИИ И ДИСПЕРСИИ РАСТВОРОВ САХАРА С ПОМОЩЬЮ РЕФРАКТОМЕТРА АББЕ

Методические указания к выполнению
лабораторной работы №64
по разделу «Оптика. Атомная и ядерная физика»
для студентов инженерно-технических специальностей

2

Курск 2015

УДК 535

Составители: Л.П. Петрова, П.А. Красных

Рецензент

Доктор физико-математических наук, профессор *Н.М. Игнатенко*

Определение показателя преломления, концентрации и дисперсии растворов сахара с помощью рефрактометра Аббе: методические указания по выполнению лабораторной работы № 64 по разделу: «Оптика. Атомная и ядерная физика» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Л.П. Петрова, П.А. Красных. - Курск, 2015. - 13 с.: ил. 7, табл. 1. - Библиогр.: с.13.

Излагаются методические указания по работе с рефрактометром Аббе. Содержат краткие сведения по теории элементарной дисперсии.

Методические указания соответствуют требованиям Федеральных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС), Федерального компонента цикла общих математических и естественнонаучных дисциплин, а также рабочим учебным планам и рабочим программам по курсам разделов общей физики всех технических специальностей (направлений) подготовки ЮЗГУ.

Предназначены для студентов инженерно-технических специальностей дневной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60×84 1/16.
Усл.печ.л. Уч.-изд.л. Тираж 100 экз. Заказ.
Бесплатно.

Юго-западный государственный университет.
305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Лабораторная работа № 64

Определение показателя преломления, концентрации и дисперсии растворов сахара с помощью рефрактометра Аббе

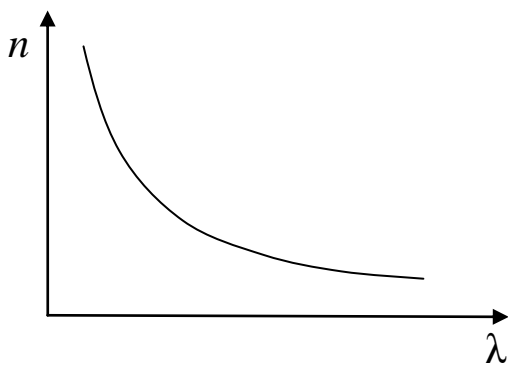
Цель работы: изучение зависимости показателя преломления и дисперсии растворов сахара от концентрации.

Оборудование: рефрактометр, дистиллированная вода, набор растворов сахара (глюкозы), пипетки, х/б салфетка.

Теоретическое введение

Явление зависимости показателя преломления вещества от длины волны называют дисперсией света $n = f(\lambda_0)$, где λ_0 – длина волны в вакууме.

Дисперсией вещества называют производную n по λ_0 $\left(\frac{dn}{d\lambda_0} \right)$.



Для всех прозрачных сред в области видимого света с увеличением длины волны λ_0 показатель преломления n уменьшается: $\frac{dn}{d\lambda_0} < 0$ $\left(\frac{dn}{d\omega} > 0 \right)$. Такой характер зависимости $n(\lambda_0)$ носит название *нормальной дисперсии*.

Если вещество поглощает часть спектра, то в области поглощения и вблизи нее ход дисперсии обнаруживает аномалию: на некотором участке более короткие волны преломляются меньше чем длинные, т.е. $\frac{dn}{d\lambda_0} > 0$. Такой ход зависимости n от λ_0 называется *аномальной дисперсией*. Среды, в которых скорость световой волны зависит от λ_0 , называются диспергирующими.

Элементарная теория дисперсии

Показателем преломления среды называется отношение скорости света в вакууме к фазовой скорости света в данной среде $n = c/v$.

Из макроскопической электромагнитной теории Максвелла следует, что $n = \sqrt{\varepsilon\mu}$. Для большинства прозрачных сред $\mu = 1$, поэтому $n = \sqrt{\varepsilon}$. Отсюда выявляются некоторые противоречия: величина n , являясь переменной, остается в то же время равной определенной постоянной. Кроме того, значения n , получаемые из этого выражения, не согласуются с опытом. Трудности объяснения дисперсии света с точки зрения электромагнитной теории Максвелла устраняются электронной теорией Лоренца. В теории Лоренца дисперсия света рассматривается как результат взаимодействия электромагнитных волн с заряженными частицами, входящими в состав вещества и совершающими вынужденные колебания в переменном поле волны.

Под действием поля E световой волны электронные оболочки атомов деформируются. Они становятся диполями с моментами $p = -ex$, где e – заряд электрона, x – смещение электрона. Если в единице объема N атомов, то дипольный момент: $P = Np = -Nex$.

Зная P , можно вычислить ε среды:

$$\varepsilon = 1 + \chi = 1 + \frac{P}{\varepsilon_0 E}. \quad (3)$$

Найдем смещение электрона x под действием внешнего поля волны. В первом приближении можно считать, что вынужденные колебания совершают только оптические электроны, наиболее слабо связанные с ядром атома.

Уравнение вынужденных колебаний электрона запишем на основании 2-го закона Ньютона: $\sum \vec{F} = m\vec{a}$. Учтем, что на электрон будут действовать силы:

1. Квазиупругая сила, возвращающая (удерживающая) электрон в состоянии покоя $F = -kx$.
2. Сила трения излучения $F = -rV$
3. Внешняя периодическая сила $F = -eE$, где

$$E = E_0 \cos(\omega t + \alpha), \text{ тогда}$$

$$-kx - rV - eE = ma, \quad V = \dot{x}, \quad a = \ddot{x} \quad \text{или}$$

$$m\ddot{x} + r\dot{x} + kx = -eE_0 \cos(\omega t + \alpha). \quad (4)$$

Пренебрежем для простоты расчетов силой трения излучения:

$\ddot{x} + \omega_0^2 x = -\frac{eE_0}{m} \cos(\omega t + \alpha)$, где $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ – собственная частота колебаний электрона.

Из механики известно, что решением этого дифференциального уравнения является выражение:

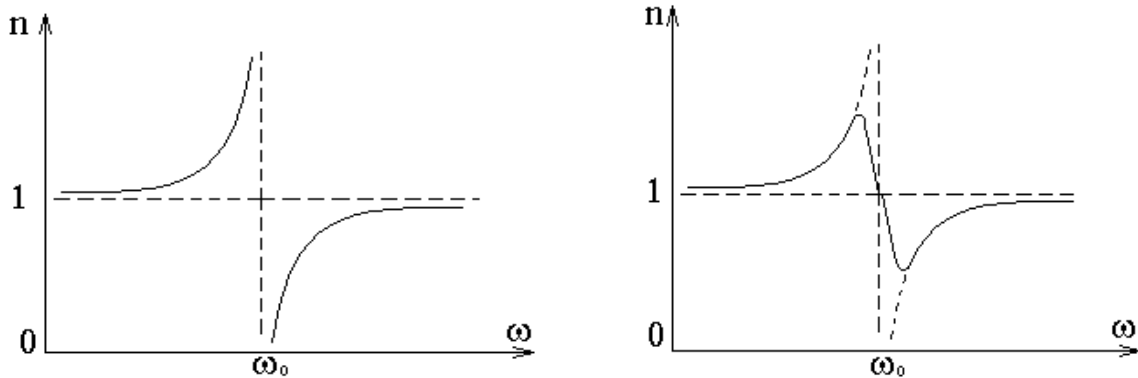
$$x = A \cos \omega t, \quad (5)$$

где $A = \frac{-\frac{e}{m} E_0}{(\omega_0^2 - \omega^2)}$ – амплитуда вынужденных колебаний электрона.

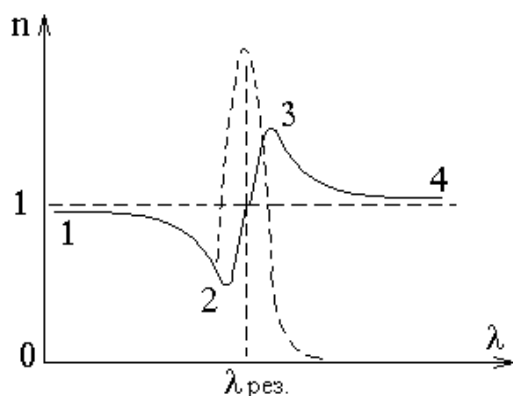
Подставляя (5) в (3), окончательно получим:

$$n^2 = 1 + \frac{Ne^2}{\epsilon_0 m} \frac{1}{(\omega_0^2 - \omega^2)}. \quad (6)$$

Из (6) следует, что при приближении частоты электромагнитной волны ω к собственной частоте электронов в молекуле справа и слева показатель преломления стремится к $-\infty$ или $+\infty$, соответственно. Это происходит потому, что мы пренебрегли трением излучения. Учет этой силы несколько меняет характер зависимости.



Таким образом, вблизи собственной частоты функция $n=f(\omega)$ терпит разрыв, в этой области наблюдается сильное поглощение электромагнитных волн.



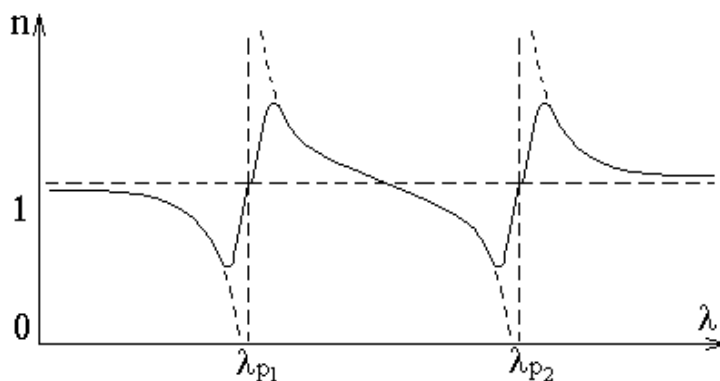
При переходе от $n=f(\omega)$ к $n=f(\lambda)$, получим зависимость несколько иного вида. Пунктирная кривая характеризует поглощение света в области данной длины волны $\lambda_{рез.}$. Участки 1-2 и 3-4 – нормальная дисперсия: n убывает с ростом λ и $\frac{dn}{d\lambda} < 0$. На участке 2-3 наблюдается

аномальная дисперсия $\frac{dn}{d\lambda} > 0$ и n растет с ростом λ .

Если учесть все заряды атомов, то из (6) получим:

$$n^2 = 1 + \frac{N}{\epsilon_0} \sum_i \frac{e_i^2}{m(\omega_{0i}^2 - \omega^2)}. \quad (5)$$

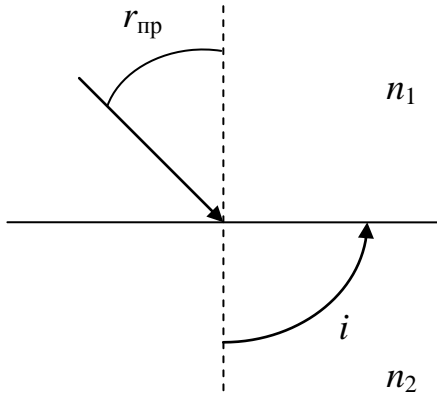
Здесь суммирование производится по всем видам зарядов. Таким образом, аномальная дисперсия объясняется резонансным поглощением световой волны.



Из сказанного следует, что показатель преломления вовсе не является константой, как это негласно предполагается в законе преломления. Поэтому измерения показателя преломления следуют проводить для монохроматического излучения. Чаще всего используется длина волны $\lambda_D = 589,3 \cdot 10^{-9}$ м. Для приближенных измерений можно применять не монохроматический свет, используя явление *полного внутреннего отражения*, как это делается в рефрактометре Аббе, предназначенном для технических измерений.

Явление полного внутреннего отражения наблюдается на границе раздела двух сред при переходе света из оптически более

плотной среды n_1 в оптически менее плотную n_2 , например, из стекла в воду. При увеличении угла падения угол преломления тоже будет увеличиваться. Когда угол падения достигнет некоторого предельного значения $r_{\text{пр}}$, преломленный луч исчезнет, и свет будет полностью отражаться. Учитывая, что угол преломления при наступлении явления полного внутреннего отражения равен 90° , из закона преломления следует:



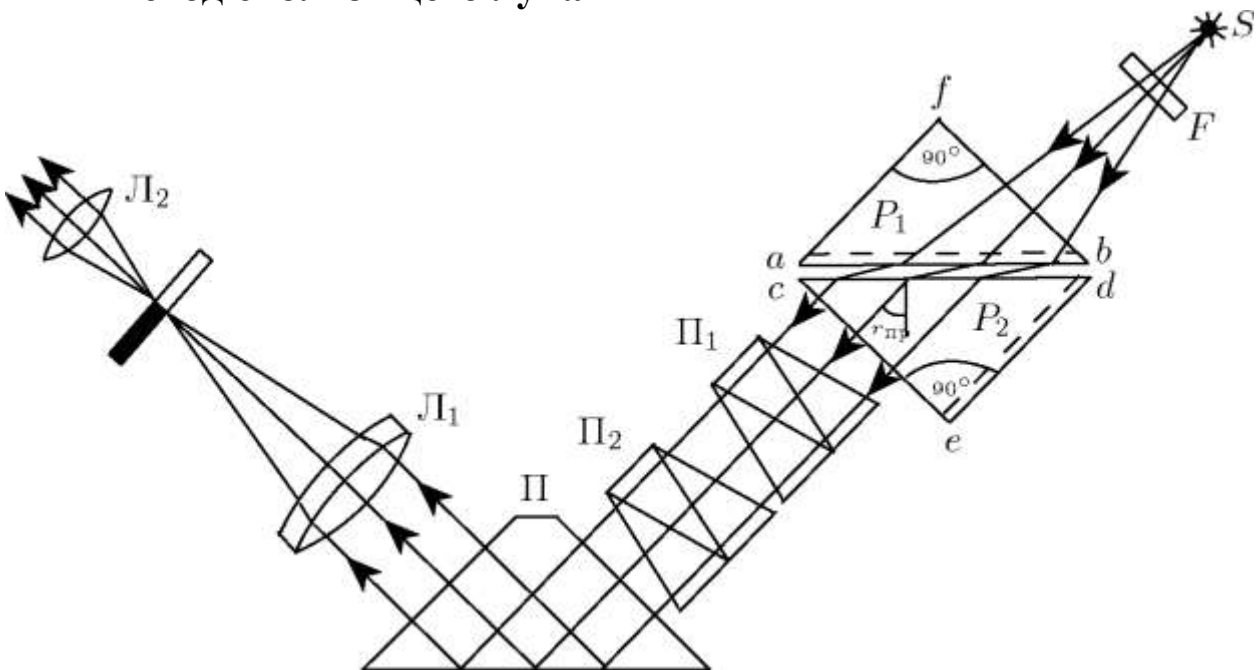
$\sin r_{\text{пр}} = n_2/n_1$, если свет выходит в воздух, то $n_2 = 1$ и $n_1 = 1/\sin r_{\text{пр}}$.

Таким образом, измерение показателя преломления сводится к измерению предельного угла полного внутреннего отражения, на чем и основана работа рефрактометра Аббе.

Рефрактометр Аббе.

При измерениях показателя преломления с помощью рефрактометра Аббе можно пользоваться как методом полного внутреннего отражения, так и методом скользящего луча.

Метод скользящего луча



Основной частью рефрактометра являются две прямоугольные призмы P_1 и P_2 изготовленные из стекла с большим показателем преломления. В разрезе призмы имеют вид прямоугольных треугольников, обращенных друг к другу гипотенузами; зазор между призмами имеет ширину около 0,1 мм и служит для помещения исследуемой жидкости. Свет проникает в призму P_1 через грань bf и попадает в жидкость через матовую грань ab . Свет, рассеянный матовой поверхностью, проходит слой жидкости и под всевозможными углами падает на грань cd призмы P_2 .

Скользющему лучу в жидкости ($i = 90^\circ$) соответствует предельный угол преломления $r_{\text{пр}}$. Преломленные лучи с углами больше $r_{\text{пр}}$ не возникают. В связи с этим угол выхода лучей из грани ce может изменяться лишь в некотором интервале.

Если свет, выходящий из грани ce пропустить через собирающую линзу L_1 , то в ее фокальной плоскости наблюдается резкая граница света и темноты. Граница рассматривается с помощью линзы L_2 . Линзы L_1 и L_2 образуют зрительную трубу, установленную на бесконечность. В их общей фокальной плоскости находится изображение шкалы величин показателя преломления и указатели: нить и перекрестие. Вращая призму и, следовательно, изменяя наклон предельного пучка лучей относительно оси зрительной трубы, можно добиться, чтобы граница света и тени оказалась в поле зрения окуляра L_2 и совпала с положением указателя. При вращении призмы поворачивается и шкала показателя преломления, установленная на пластине жестко связанной с призмой. Значение показателя преломления жидкости отсчитывается по шкале на уровне резкой границы света и тени.

Если источник света S не является монохроматическим, то наблюдаемая в окуляре трубы граница света и темноты часто оказывается размытой и окрашенной из-за дисперсии показателя преломления исследуемого вещества. Для того чтобы получить и в этом случае резкое изображение границы, на пути лучей, выходящих из призмы P_2 , помещают компенсатор с переменной дисперсией. Компенсатор содержит две одинаковые дисперсионные призмы Амичи (призмы Π_1 и Π_2) каждая из которых состоит из трех склеенных призм, обладающих различными дисперсиями и показате-

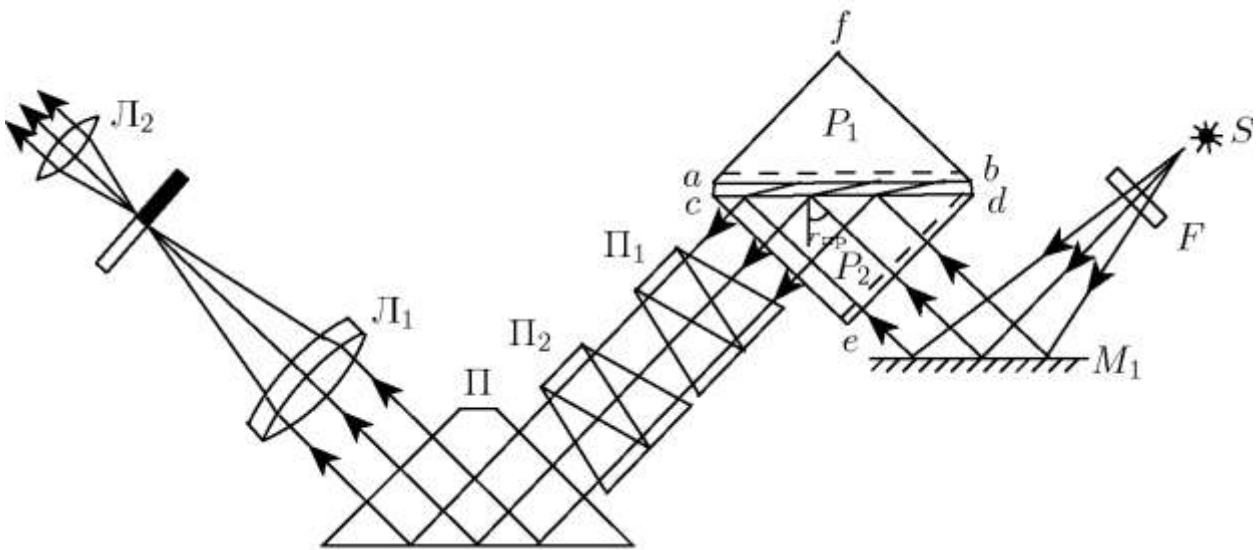
лями преломления. Призмы рассчитывают так, чтобы монохроматический луч с $\lambda_D = 589,3$ нм (среднее значение длины волны желтого дуплета натрия) не испытывал отклонения. Лучи с другими длинами волн отклоняются. В зависимости от взаимной ориентации призм дисперсия компенсатора изменяется в пределах от нуля до удвоенного значения дисперсии одной призмы.

Для поворота призм друг относительно друга служит специальная рукоятка, с помощью которой призмы одновременно поворачиваются в противоположных направлениях. Вращая ручку компенсатора, следует добиваться того, чтобы граница света и тени в поле зрения стала достаточно резкой. Положение границы при этом соответствует длине волны λ_D для которой, обычно и приводятся значения показателя преломления.

В некоторых случаях, когда дисперсия исследуемого вещества особенно велика, диапазона компенсатора оказывается недостаточным и четкой границы получить не удастся. В этом случае рекомендуется устанавливать перед осветителем желтый светофильтр.

Применяемая в рефрактометре Аббе поворотная призма Π (призма Дове) позволяет сделать прибор более компактным.

Метод полного внутреннего отражения



В этом случае свет от источника S после отражения от зеркала M_1 падает на матовую грань ed призмы P_2 (в методе скользящего

луча эта поверхность закрывается металлической шторкой). После рассеяния на грани ed свет падает на границу раздела стекло-жидкость под всевозможными углами. При $r > r_{\text{пр}}$ наступает полное внутреннее отражение, при $r < r_{\text{пр}}$ свет отражается частично. В поле зрения трубы наблюдается граница света и полутени.

Так как условия, определяющие величину предельного угла в методе скользящего луча и в методе полного внутреннего отражения, совпадают, положение линии раздела в обоих случаях также оказывается одинаковым.

Заметим, что, в отличие от метода скользящего луча, метод полного внутреннего отражения позволяет измерять показатели преломления непрозрачных веществ.

Рефрактометрия

Показатели преломления жидких и твердых тел могут измеряться с большой точностью. При данной температуре и для данной длины волны они являются важнейшей характеристикой вещества. Измерения показателей преломления может быть использовано для исследования веществ. Соответствующий раздел науки носит название рефрактометрии. Обычно эти измерения проводятся для D – линии натрия. Однако, нередко преломляющее вещество характеризуют величиной относительной дисперсии, под которой понимают отношение:

$$n_F - n_C / n_D - 1, \quad (7)$$

где n_F – показатель преломления синей линии водорода для $\lambda_F = 486,1$ нм; n_C – показатель преломления красной линии водорода для $\lambda = 656,4$ нм.

В каталогах же обычно фигурирует величина, обратная относительной дисперсии – число Аббе:

$$v = n_D - 1 / n_F - n_C. \quad (8)$$

Это важная характеристика стекла, так как она свидетельствует о наличии хроматических аберраций, вызывающих, например, снижение остроты зрения у людей, носящих очки. Как правило, чем больше показатель преломления, тем меньше число Аббе и сильнее выражена хроматическая дисперсия. Число Аббе для очковых линз варьируется от 30 до 58. С увеличением числа Аббе повышается «комфортность» линзы.

Обычно, но не всегда, дисперсия растет вместе со средним значением показателя преломления. С помощью рефрактометра по формуле (8) можно определить число Аббе. Для этого вращая головку с накаткой необходимо устранить окрашенность границы раздела света и тени. Затем по шкале головки определить число Z и по нему из таблицы 1 выписать σ . Далее, используя внутреннюю шкалу прибора, находят n_D и C (концентрацию раствора в процентах), а зная n_D по таблице 2 определяют значения A и B . Обе таблицы находятся у лаборанта. Поскольку

$$A+B \sigma = n_F - n_C \quad (9)$$

по формуле (8) можно рассчитать число Аббе.

Пример: Вода при 20°C . Показатель преломления, определенный по прибору из 5 измерений $n_D = 1,3330$. Отсчет по шкале 2 компенсатора окраски $Z = 41,9; 41,8; 41,9; 41,8; 41,9$. Тогда средняя величина $B = 0,03220$; $\sigma = -0,584$; $A = 0,02471$;

$$B \cdot \sigma = 0,03220 \cdot (-0,584) = -0,01880$$

$$A + B \cdot \sigma = 0,00591 = n_F - n_C;$$

$$v = n_D - 1 / n_F - n_C = 0,3330 / 0,00591 = 56,3$$

Порядок работы на приборе:

1. Для определения показателя преломления n_D и концентрации сахарного раствора в процентах поднимают прикрывающую призму, наносят на горизонтальную поверхность измерительной призмы несколько капель раствора и осторожно опускают призму.

2. Направив источник света на призму, добиваются максимальной освещенности в поле зрения с перекрестием.

3. Зеркало необходимо отвести от корпуса, обеспечив достаточную освещенность шкалы отсчета в нижней части поля зрения (метод полного внутреннего отражения).

4. Вращая за накатку окуляр, получить резкое изображение перекрестия нитей.

5. Далее необходимо устранить окраску и подвести границу раздела света и тени к перекрестию нитей.

6. По верхней шкале снять отсчет n_D до тысячных долей, десятитысячную оценить на глаз. Концентрацию C в процентах с

точностью до десятых долей определить по нижней шкале.

Порядок выполнения работы:

1. Пользуясь указаниями по работе с прибором определить три раза n_D , Z и C для каждого из растворов и для дистиллированной воды, начиная измерения с параметров воды. Результаты измерений занести в таблицу.

2. По средним значениям n_D найти σ , A и B . Вычислить число Аббе v для каждого раствора и дистиллированной воды.

	n_D	Z	$C \%$	$\langle A \rangle$	$\langle B \rangle$	$\langle \sigma \rangle$	$\langle v \rangle$
Дистилли- рованная вода	1.	1.	1.				
	2.	2.	2.				
	3.	3.	3.				
	$\langle n_D \rangle$	$\langle Z \rangle$	$\langle C \rangle$				
1 раствор	1.	1.	1.				
	2.	2.	2.				
	3.	3.	3.				
	$\langle n_D \rangle$	$\langle Z \rangle$	$\langle C \rangle$				
2 раствор	1.	1.	1.				
	2.	2.	2.				
	3.	3.	3.				
	$\langle n_D \rangle$	$\langle Z \rangle$	$\langle C \rangle$				
3 раствор	1.	1.	1.				
	2.	2.	2.				
	3.	3.	3.				
	$\langle n_D \rangle$	$\langle Z \rangle$	$\langle C \rangle$				

3. Построить графики зависимости $n_D = f(C)$ и $v = f(n_D)$.
4. После выполнения каждого измерения необходимо тща-

тельно удалять остатки предыдущего раствора с измерительных поверхностей призм, пользуясь х/б салфеткой.

5. Не допускать проливания растворов на прибор. По окончании работы прибор накрыть чехлом, растворы сдать лаборанту.

Контрольные вопросы:

1. Основные законы геометрической оптики: законы отражения и преломления света с точки зрения волновой теории.

2. Абсолютный и относительный показатели преломления света, их физический смысл.

3. Явление полного внутреннего отражения и его применение в данной работе.

4. Дисперсия света, нормальная и аномальная дисперсия, теория дисперсии света.

5. Устройство, принцип действия и назначение рефрактометра.

Библиографический список:

1. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие. -М.: Академия, 2015. - 560 с.

2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. В 5 т. Т.4. Оптика: учебное пособие для физических специальностей вузов / Д.В. Сивухин. – 3-е изд., стер. – М. : Физматлит, 2013. – 792 с.