

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

ИЗМЕРЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Методические указания к лабораторным работам
для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика»

2013

Акрестина А.С., Кистенева М.Г., Симонова Г.В.

Измерение показателя преломления: Методические указания к лабораторным работам для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» / А.С. Акрестина, М.Г. Кистенева, Г.В. Симонова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2013. – 15 с.

Цель работы: знакомство с работой гониометра, изучение основных методик определения показателя преломления стекла.

В ходе выполнения работ у студентов формируются:

– готовность анализировать и оценивать проектные решения в области фотоники и оптоинформатики (ПК-24);

– способность оформлять нормативно-техническую документацию на проекты, их элементы и сборочные единицы, включая технические условия, описания, инструкции и другие документы (ПК-26);

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Фотоника и оптоинформатика» по курсу «Введение в фотонику и оптоинформатику».

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав.кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
«__» _____ 2013 г.

ИЗМЕРЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Методические указания к лабораторным работам
для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика»

Разработчик

_____ А.С. Акрестина
_____ М.Г. Кистенева
_____ Г.В. Симонова

«__» _____ 2013 г.

Содержание

1 Введение.....	5
2 Теоретическая часть.....	5
2.1 Распространение света в неоднородной среде.....	5
2.2 Контрольные вопросы	8
3 Экспериментальная часть.....	8
3.1 Метод наименьшего отклонения	9
3.2 Автоколлимационный метод	9
3.3 Метод луча, нормально входящего в призму или нормально выходящего из нее	10
3.4 Рефрактометрический метод.....	11
3.5 Интерференционный метод Обреимова	13
3.6 Задание	14
3.7 Содержание отчета.....	14
4 Рекомендуемая литература	14

1 Введение

Цель работы: знакомство с работой гониометра, изучение основных методик определения показателя преломления стекла.

В ходе выполнения работ у студентов формируются:

- готовность анализировать и оценивать проектные решения в области фотоники и оптоинформатики (ПК-24);
- способность оформлять нормативно-техническую документацию на проекты, их элементы и сборочные единицы, включая технические условия, описания, инструкции и другие документы (ПК-26);

2 Теоретическая часть

2.1 Распространение света в неоднородной среде

В однородной среде свет распространяется прямолинейно с постоянной скоростью. Если же среда неоднородна, то в разных областях скорость его распространения различна и прямолинейность световых лучей нарушается.

Простейшей неоднородностью является плоская граница раздела двух безграничных однородных сред, в которых свет распространяется со скоростями, равными соответственно v_1 и v_2 . На рис. 2.1. показано, что луч **I**, падающий из первой среды под углом i к перпендикуляру, на границе раздела раздваивается на отраженный луч **II**, идущий в первой среде с той же скоростью v_1 , и преломленный луч **III**, распространяющийся во второй среде под углом r к тому же перпендикуляру.

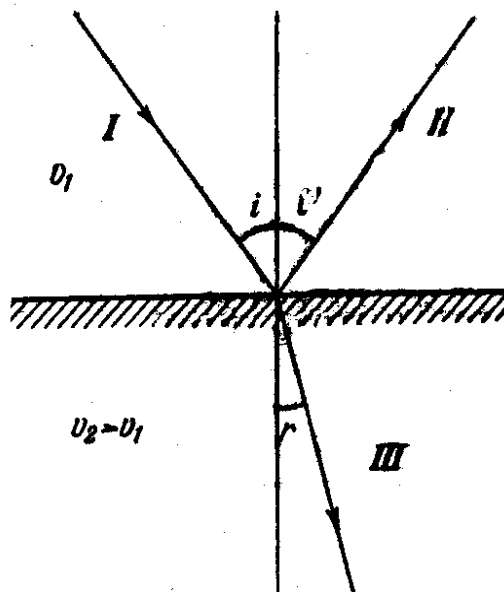


Рисунок 2.1

Взаимное геометрическое расположение этих лучей определяется тремя законами Снеллиуса-Декарта.

1. Угол падения равен углу отражения:

$$i = i' \quad (2.1)$$

2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{const} \quad (2.2)$$

3. Луч падающий, луч отраженный и луч преломленный лежат в одной плоскости с перпендикуляром, восстановленным к границе раздела в точке падения.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{12}, \quad (2.3)$$

где n_{12} – постоянная величина, называется относительным показателем или коэффициентом преломления второй среды относительно первой.

Показатель преломления среды относительно вакуума называется абсолютным показателем преломления этой среды. Относительный показатель преломления n_{12} выражается через абсолютные показатели преломления n_1 и n_2 соотношением:

$$n_{12} = n_2 / n_1 \quad (2.4)$$

С учетом соотношения (2.4) закон преломления можно записать в симметричной форме:

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r \quad (2.5)$$

Из этой симметрии следует обратимость световых лучей. Если обратить направление луча **III** на рис. 2.1. и заставить его падать под тем же углом r на границу, раздела, то преломленный луч будет распространяться в первой среде под углом i т. е, пойдет обратно вдоль луча **I**.

Уравнение (2.5) может охватить и закон отражения. Поскольку отраженный луч **II** распространяется в той же самой первой среде, но по другую сторону перпендикуляра, то для него можно формально положить показатель преломления $n = -n_1$. Подставляя $-n_1$ в равенство (2.5), получаем: $\sin i = -\sin i'$, $i = -i'$.

Для прозрачных сред падающий на границу раздела лучистый поток при переходе света из среды с большим показателем преломления n_1 (оптически более плотной) в среду с меньшим показателем n_2 (оптически менее плотную), угол падения может достичь некоторого предельного значения $i_{пред}$, при котором преломленный луч направлен вдоль границы раздела сред, согласно (2.5):

$$n_1 \sin i_{пред} = n_2 \sin 90^\circ \rightarrow \sin i_{пред} = n_2 / n_1.$$

Следовательно, при $i > i_{\text{пред}}$ преломление прекращается и остается лишь отраженный луч (рис. 2.2) Это явление носит название полного внутреннего отражения.

Вся энергия света, падающего на границу раздела, при этом полностью отражается обратно в первую среду.

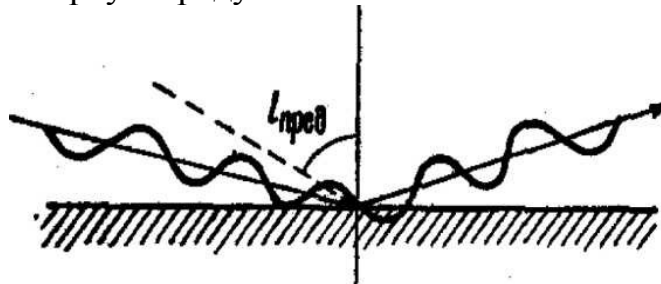


Рисунок 2.2

Явление полного внутреннего отражения используется в различных оптических приборах (бинокли, перископы и др.), а также для измерения показателей преломления (рефрактометры). Показатель преломления различных сортов стекла – около 1,5. Поэтому предельный угол для границы

стекло – воздух составляет $i_{\text{пред}} = \arcsin\left(\frac{1}{1,5}\right) = 42^\circ$ и при падении лучей на

эту границу под несколько большим углом равным 45° , будет всегда происходить полное внутреннее отражение.

На рис. 2.3. изображены призмы полного внутреннего отражения, в которых соблюдается это условие. В случае (а) изображение повернуто на 90° . В случае (б) изображение перевернуто за счет двукратного полного внутреннего отражения от боковых граней призмы. Обратной также является и призма Аббе (в), где полное внутреннее отражение происходит от нижней грани призмы.

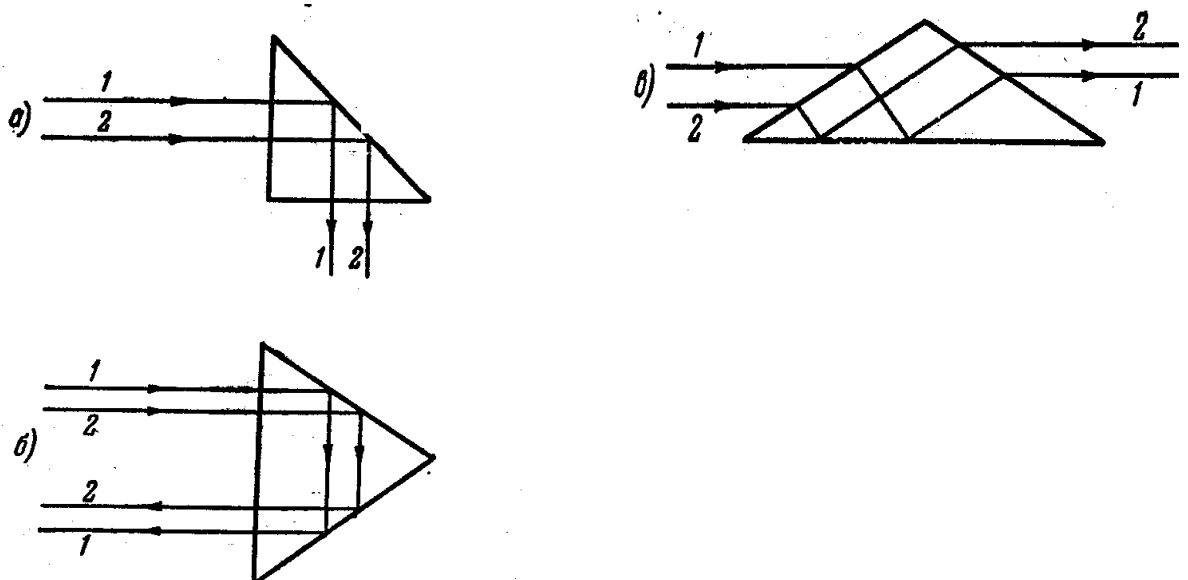


Рисунок 2.3 – Призмы полного внутреннего отражения

На рис. 2.4. показана схема хода лучей и получения изображения в перископе, предназначенном для наблюдений из-за укрытия. В принципе можно было бы добиться того же эффекта, заменив призмы в перископе двумя наклонными зеркалами. Однако при отражении от металлического зеркала часть лучистой энергии проникает в металл и поглощается в последнем. При полном же внутреннем отражении такие потери энергий не наблюдаются.

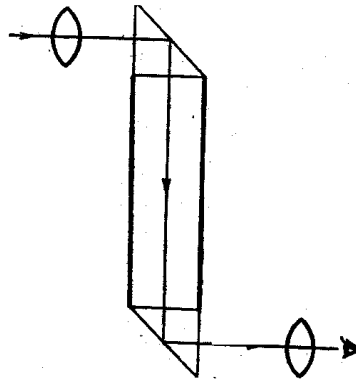


Рисунок 2.4 –Схема хода лучей и получения изображения в перископе

2.2 Контрольные вопросы

1. Сформулируйте законы Снеллиуса-Декарта.
2. Сформулируйте закон отражения.
3. Гониометрические методы измерения показателя преломления среды.

3 Экспериментальная часть

Под показателем преломления n вещества (стекла) понимают отношение синуса угла падения i к синусу угла преломления r , или отношение скорости света в воздухе v_B к скорости света в веществе

$$n = \sin i / \sin r = v_B / v_C$$

При постоянной температуре и барометрическом давлении воздуха показатель преломления стекла для выбранной длины волны света величина неизменная.

Для измерения показателя преломления и дисперсии стекла применяют следующие методы:

- 1) метод наименьшего отклонения и метод автоколлимации, осуществляемые на гониометре-спектрометре с точностью до $\pm 1,5 \times 10^{-5}$ показателя преломления;

2) метод измерения предельного угла выхода лучей из призмы на рефрактометре с точностью $\pm 1 \times 10^{-4}$ показателя преломления и $\pm 2 \times 10^{-5}$ дисперсии;

3) иммерсионный метод Обреимова с точностью определения показателя преломления $\pm 1 \times 10^{-4}$;

4) интерференционный метод позволяет измерять показатель преломления сравниваемых образцов стекла одной марки с точностью $\pm 1 \times 10^{-5}$.

3.1 Метод наименьшего отклонения

Этот метод основан на определении угла минимального отклонения луча призмой. Сущность метода заключается в том, что призму устанавливают в особое положение по отношению к падающему на нее параллельному пучку лучей так, чтобы угол ε отклонения лучей призмой имел минимальное значение из всех возможных углов отклонения для данной призмы (рис. 3.1).

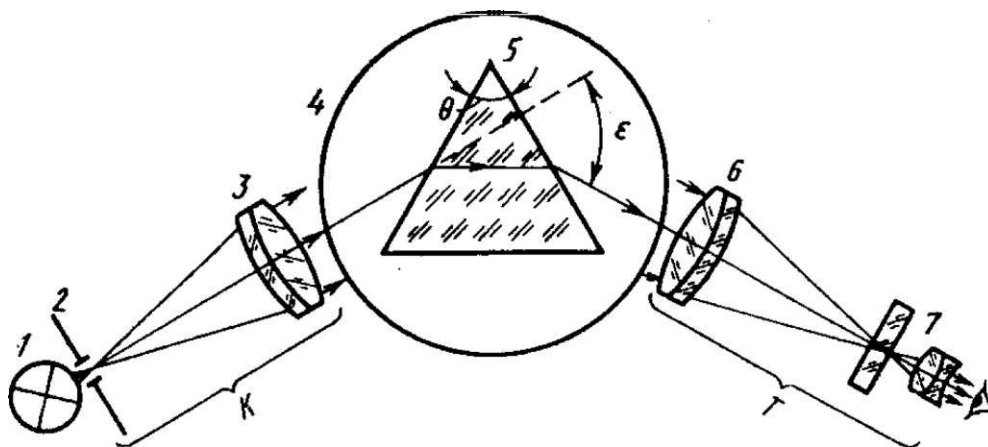


Рисунок 3.1 – К измерению показателя преломления и дисперсии стекла методом наименьшего отклонения на гониометре-спектрометре

В этом случае лучи внутри призмы идут перпендикулярно к биссектрисе преломляющего угла θ призмы, а показатель преломления n призмы связан с

$$\text{углами } \theta \text{ и } \varepsilon \text{ зависимостью: } n = \frac{\sin(\varepsilon + \theta)}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

3.2 Автоколлимационный метод

Метод основан на измерении преломляющего угла θ призмы, изготовленной из испытуемого стекла, а также угла ε , образованного

нормалью к одной из ее граней и лучами, отраженными от другой ее грани. Одна из рабочих граней призмы должна быть алюминирована или посеребрена.

Призму устанавливают на стол гониометра (рис. 3.2) и выполняют измерения только с помощью автоколлимационной зрительной трубы **Т**, устанавливая ее в два положения. В положении **I** ось трубы перпендикулярна к грани призмы, не имеющей зеркального покрытия, что фиксируется по совпадению автоколлимационного изображения перекрестия с самим перекрестием; снимают первый отсчет. Затем поворачивают зрительную трубу к основанию призмы (положение **II**) до получения автоколлимации от зеркальной грани; снимают второй отсчет. По разности двух отсчетов определяют угол i . Преломляющий угол θ призмы должен быть известен или измерен описанным выше способом. Показатель преломления вычисляют по формуле

$$n = \sin i / \sin \theta. \quad (2.6)$$

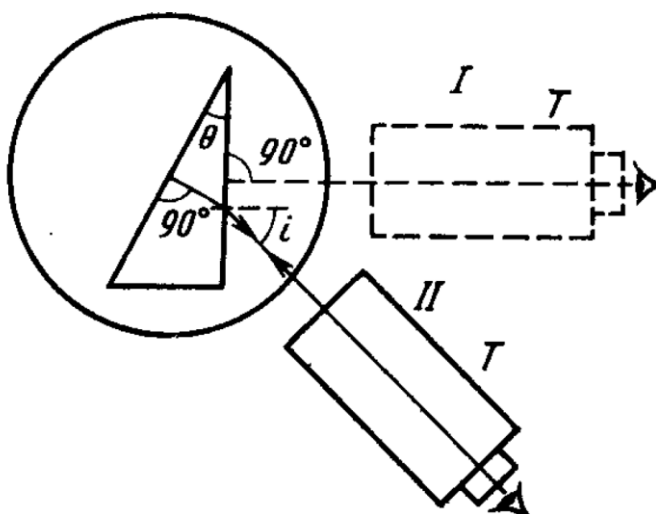


Рисунок 3.2 – Схема измерения показателя преломления на гониометре автоколлимационным методом

3.3 Метод луча, нормально входящего в призму или нормально выходящего из нее

Измерения выполняют на гониометре с помощью коллиматора и зрительной трубы (рис. 3.3). Призма имеет такую же форму, как и в предыдущем способе. Сначала совмещают изображение щели коллиматора **К** с центром перекрестия зрительной трубы **Т**. Затем на стол гониометра устанавливают призму в положение **I** так, чтобы одна из ее граней была перпендикулярна к оси зрительной трубы (проверка по автоколлимации); снимают первый отсчет. Затем поворачивают столик с призмой точно на

180° , что обеспечивает нормальное падение лучей, вышедших из коллиматора, на другую грань призмы.

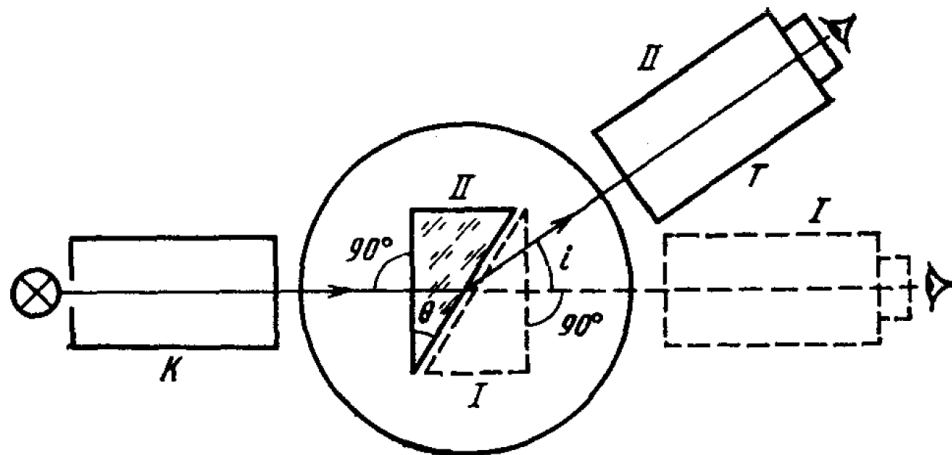


Рисунок 3.3 – Схема измерения показателя преломления на гониометре методом луча, нормально входящего в призму или нормально выходящего из нее

Далее поворачивают зрительную трубу к основанию призмы (положение II) до совмещения изображения щели с центром перекрестия; снимают второй отсчет. По разности двух отсчетов определяют угол i . Из закона преломления следует, что

$$n = \sin(\theta + i) / \sin \theta.$$

3.4 Рефрактометрический метод

Эти методы основаны на использовании явления полного внутреннего отражения, возникающего в тех случаях, когда лучи света идут из среды, оптически более плотной, в среду менее плотную, при этом углы падения лучей должны быть равными или большими угла полного внутреннего отражения ε , определяемого по формуле $\sin \varepsilon = n/n_0$, где n и n_0 – показатель преломления среды, причем $n_0 > n$.

В рефрактометрических методах (рис. 3.4) используется эталонная призма PST, показатель преломления n_0 которой и угол θ точно измерены заранее; на грань PS установлен исследуемый образец стекла с показателем преломления n . Пусть в некоторой точке А луч PA испытал полное внутреннее отражение.

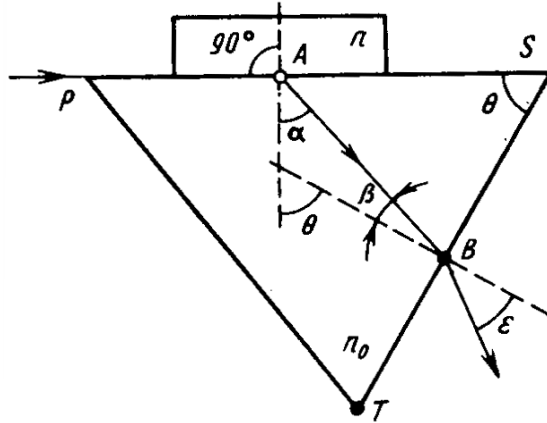


Рисунок 3.4 – Ход луча при рефрактометрических методах измерения показателей преломления

Согласно закону преломления, для точек **A** и **B** получим

$$\begin{aligned} n &= n_0 \sin \alpha ; \\ \sin \beta &= (\sin \varepsilon) / n_0 \end{aligned} \quad (2.7)$$

Очевидно, что $\alpha = \theta - \beta$.

Подставляя последовательно значения α и $\sin \beta$ в формулу (2.6), получим общую зависимость, на которой основана теория рефрактометрических методов:

$$n = \sin \theta \sqrt{n_0^2 - \sin^2 \varepsilon} \pm \cos \theta \sin \varepsilon, \quad (2.8)$$

где знак плюс используется при $\theta > 90^\circ$, минус – при $\theta < 90^\circ$.

В частном случае, когда $\theta = 90^\circ$ (рефрактометры Пульфриха), имеем

$$n = \sqrt{n_0^2 - \sin^2 \varepsilon}. \quad (2.9)$$

При $\theta = 60^\circ$ (рефрактометры Аббе):

$$n = 0.5 \left[\sqrt{3(n_0^2 - \sin^2 \varepsilon)} \pm \sin \varepsilon \right] \quad (2.10)$$

Как видно из формулы (2.9), для определения показателя преломления n необходимо и достаточно измерить лишь один параметр – угол ε , так как показатель преломления n_0 эталонной призмы и ее угол θ являются константами прибора и известны с высокой точностью.

Измеряемый образец имеет более простую форму по сравнению с образцом при гониометрических методах, так как необходимо обеспечить отражение лучей только на плоской границе контакта образца с эталонной призмой. Поэтому рефрактометрические методы по сравнению с гониометрическими обеспечивают возможность более быстрого определения показателя преломления, что является их важным преимуществом.

3.5 Интерференционный метод Обреимова

Метод Обреимова относится к числу иммерсионных, основанных на использовании явления исчезновения видимости контуров стекла, погруженного в жидкость. Это явление наблюдается при той длине волны монохроматического света, для которой показатели преломления жидкости и стекла одинаковы. Основное отличие метода Обреимова от других иммерсионных методов заключается в том, что момент наступления равенства показателей преломления стекла и жидкости устанавливается с очень высокой точностью по интерференционным явлениям, возникающим у контуров стекла, помещенного в жидкость. Метод Обреимова не требует специально изготовленных образцов и позволяет измерить показатели преломления небольших осколков стекла, линз с неизвестными радиусами, призм и т. п.

Метод Обреимова реализуют с помощью устройства (рис. 3.5), основными элементами которого являются монохроматор с выходной щелью 1, кювета 2 с жидкостью и лупа 5.

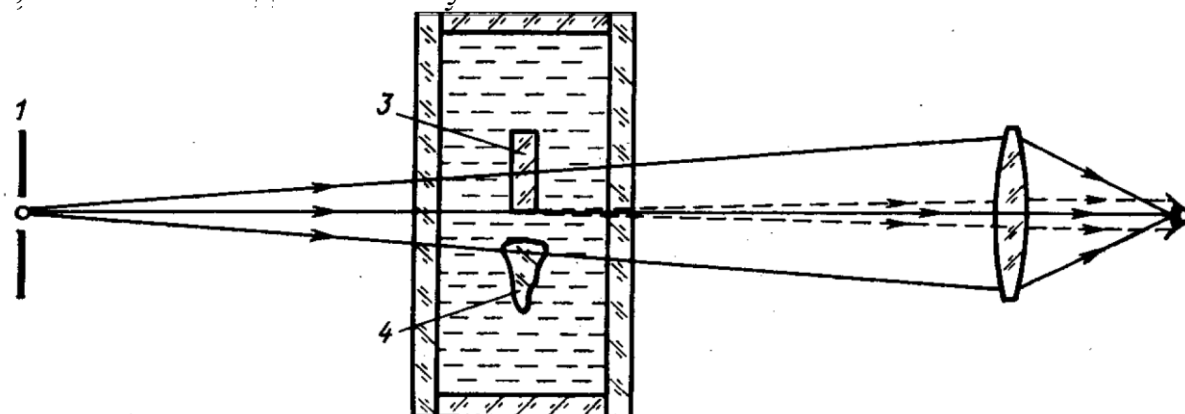


Рисунок 3.5 – Схема устройства для измерения показателя преломления методом Обреимова

В кювету наливают жидкость приблизительно с таким же показателем преломления, как и у контролируемого стекла.

Метод основан на явлении исчезновения видимости границ пробы стекла, погруженного в иммерсионную жидкость, при длине волны монохроматического света, для которой показатели преломления жидкости и пробы стекла равны, и сводится к измерению разности показателей преломления измеряемой пробы стекла и образца сравнения, погруженных в иммерсионную жидкость.

Если для какой-либо длины волны λ_0 показатели преломления жидкости и образца сравнения одинаковы, то для лучей этой длины волны жидкость и образец представляют собой оптически однородную среду. Никаких дифракционных явлений на краях образца не возникает.

Если показатели преломления жидкости и пробы или жидкости и образца неодинаковы, возникает дифракция лучей. Эти лучи, показанные на

рис.3.5 штриховыми линиями, интерферируют между собой с разностью хода:

$$\delta = (n_{жс} - n_o)d = m\lambda ,$$

где $n_{жс}$ и n_o – соответственно показатели преломления жидкости и образца; d – толщина образца; λ – длина волны света.

Всякий раз, когда m – целое число, вдоль рабочего ребра образца располагается светлая интерференционная полоса и образец почти исчезает на общем светлом фоне. Если $2m$ – целое нечетное число, то ребро образца становится темным.

Метод Обреимова применяется на стекловаренных заводах для аттестации оптических стекол по показателю преломления. В этих случаях измерения должны выполняться в соответствии с ГОСТ 5421-73.

3.6 Задание

1. Ознакомиться с методикой выполнения лабораторной работы.
2. Экспериментально подтвердить равенство углов падения и отражения света.
3. Используя методику определения показателя преломления, изложенную в пункте 3.3, определить показатель преломления призмы.
4. Результаты измерений занести в отчет.

3.7 Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Введение (ПК-24).
3. Описание оптической схемы и методики измерений (ПК-24, ПК-26)..
4. Результаты измерений, выводы (ПК-24, ПК-26).
5. Список используемой литературы.

4 Рекомендуемая литература

- 1 Оптические измерения: Учебное пособие / А.Н. Андреев, Е.В. Гаврилов, Г.Г. Ишанин и др. – М.: Университетская книга; Логос. – 2007, – 416 с.
- 2 Оптические измерения: Учебное пособие к лабораторному практикуму / В.К. Кирилловский, Т.В. Точилина. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 117 с.

Учебное пособие

Акрестина А.С., Кистенева М.Г., Симонова Г.В.

Измерение показателя преломления

Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине «Введение в фотонику и оптоинформатику»

Усл. печ. л. Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40