

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

Кафедра электронных приборов

ИЗМЕРЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Методические указания по лабораторной работе
для студентов направления
12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика»

2018

Шандаров, Станислав Михайлович

Акрестина, Анна Сергеевна

Миссаль, Веста Вячеславовна

Измерение показателя преломления: методические указания по лабораторной работе для студентов направления 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика» / С.М. Шандаров, А.С. Акрестина, В.В. Миссаль; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2018. – 15 с.

Целью преподавания дисциплины является обучение студентов применению законов оптики к научному анализу явлений в фотонике и оптоинформатике

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика» по курсу «Введение в фотонику и оптоинформатику».

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

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
«___» _____ 2018 г.

ИЗМЕРЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Методические указания по лабораторной работе
для студентов направления
12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика»

Разработчики

докт. физ.-мат. наук, зав.
каф. ЭП
_____ С.М. Шандаров
«___» _____ 2018 г.

канд. физ.-мат. наук,
ст. преподаватель каф. ЭП
_____ А.С. Акрестина
«___» _____ 2018 г.

канд. физ.-мат. наук,
_____ В.В. Миссаль
«___» _____ 2018 г.

Оглавление

1. Распространение света в неоднородной среде.....	2
2. Измерение показателя преломления и дисперсии оптического стекла.....	5
2.1. Метод наименьшего отклонения.....	5
2.2. Автоколлимационный метод.....	6
2.3. Метод луча, нормально входящего в призму или нормально выходящего из нее.....	7
2.4. Рефрактометрический метод.....	8
2.5. Интерференционный метод Обреимова.....	9
3. Задание.....	11
4. Контрольные вопросы.....	11
Рекомендуемая литература.....	11

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

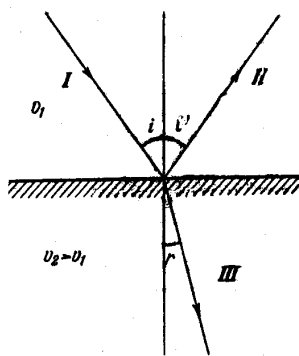


Рис.1

1. Угол падения равен углу отражения: $i = i'$ (1)

2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная: $\frac{\sin i}{\sin r} = const$ (2)

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

$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{12}$, (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:

$$n_{12} = n_2 / n_1 \quad (4)$$

С учетом соотношения (4) закон преломления можно записать в симметричной форме:

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r \quad (5)$$

Из этой симметрии следует обратимость световых лучей. Если обратить направление луча **III** на рис. 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 (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 (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 $i_{\text{пред}}$, при котором преломленный луч направлен вдоль границы раздела сред, согласно (5):

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

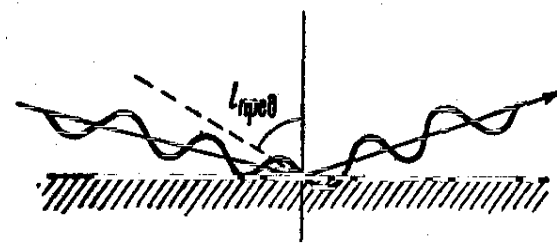


Рис.2

Следовательно, при $i > i_{\text{пред}}$ преломление прекращается и остается лишь отраженный луч (рис. 2) Это явление носит название полного внутреннего отражения.

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

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.

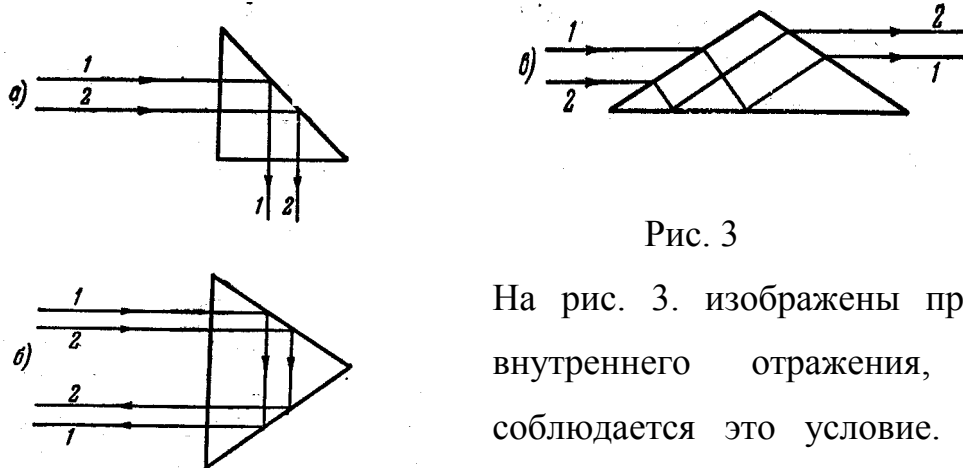


Рис. 3

На рис. 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.

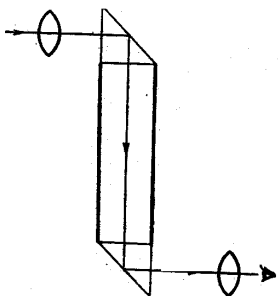


Рис. 2.4.

На рис. 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.

2. Измерение показателя преломления и дисперсии оптического стекла

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 $\pm 1 \times 10^{-5}$.

2.1. 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. 6).

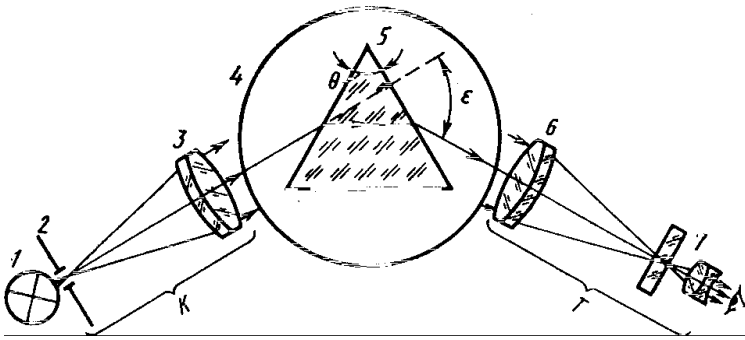


Рис. 6. К измерению показателя преломления и дисперсии стекла методом наименьшего отклонения на гониометре-спектрометре.

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

$$n = \frac{\sin(\varepsilon + \theta)}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

2.2. 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.

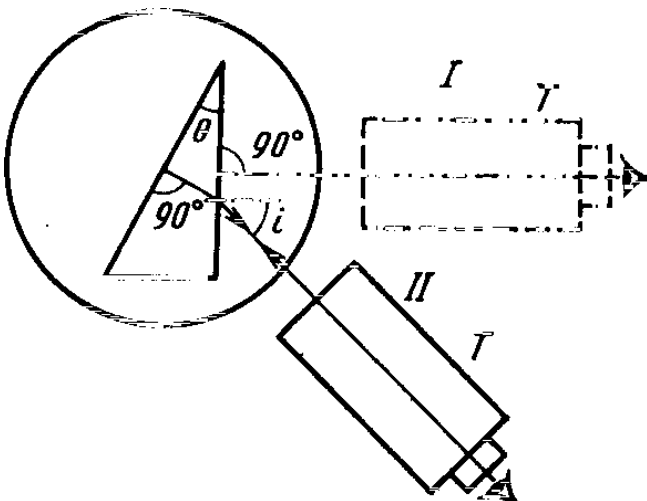


Рис. 7. Схема измерения показателя преломления на гониометре автоколлимационным методом

Призму устанавливают на стол гониометра (рис. 7) 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

$$n = \sin i / \sin \theta. \quad (6)$$

2.3. Метод луча, нормально входящего в призму или нормально выходящего из нее

Измерения выполняют на гониометре с помощью коллиматора и зрительной трубы (рис. 8). Призма имеет такую же форму, как и в предыдущем способе. Сначала совмещают изображение щели коллиматора **К** с центром перекрестия зрительной трубы **Г**. 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.

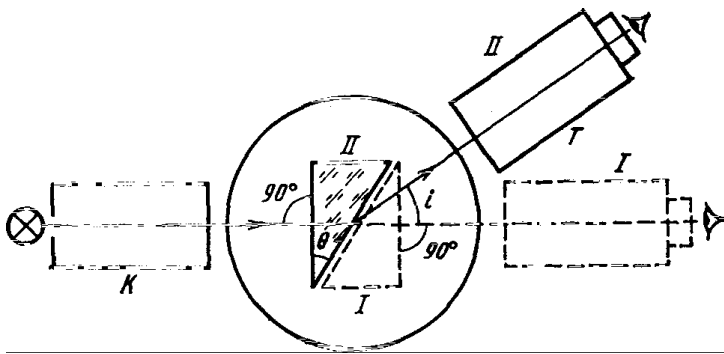


Рис. 8. Схема измерения показателя преломления на гониометре методом луча, нормально входящего в призму или нормально выходящего из нее.

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

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

2.4. 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 $n_0 > n$.

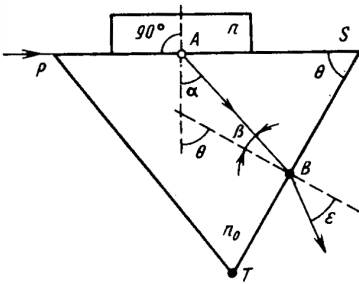


Рис. 9. Ход луча при рефрактометрических методах измерения показателей преломления

В рефрактометрических методах (рис. 9) 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 **A** луч **PA** испытал полное внутреннее отражение.

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

$$n = n_0 \sin \alpha ;$$

$$\sin \beta = (\sin \varepsilon) / n_0 \quad (7)$$

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

Подставляя последовательно значения α и $\sin \beta$ в формулу (6), получим общую зависимость, на которой основана теория рефрактометрических методов:

$$n = \sin \theta \sqrt{n_0^2 - \sin^2 \varepsilon} \pm \cos \theta \sin \varepsilon , \quad (8)$$

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.

2.5. 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.

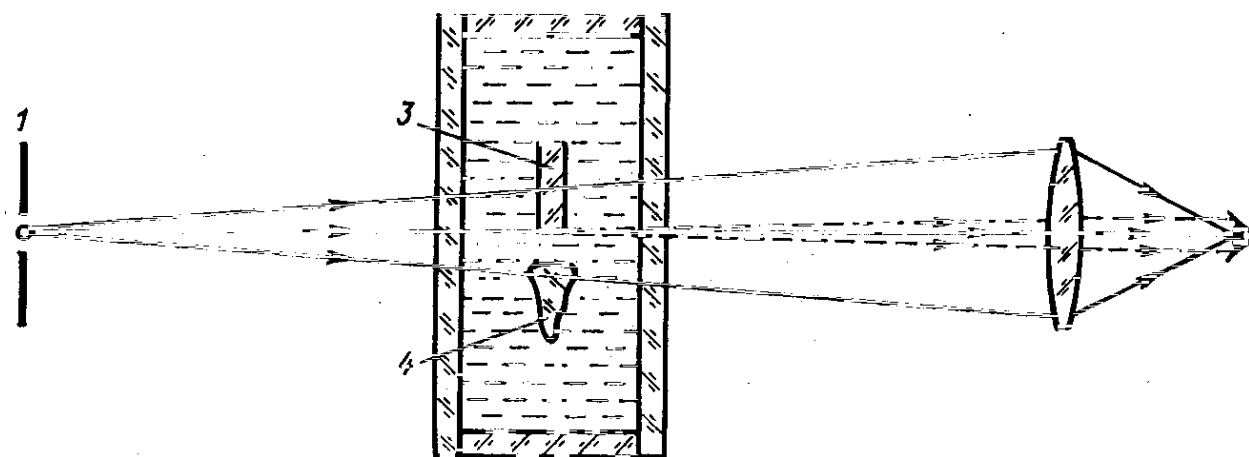


Рис. 10. Схема устройства для измерения показателя преломления методом Обреимова

Метод Обреимова реализуют с помощью устройства (рис. 10), основными элементами которого являются монохроматор с выходной щелью **1**, кювета **2** с жидкостью и лупа **5**. 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.10 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.

3. 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 2.3, определить показатель преломления призмы.
5. Результаты измерений занести в отчет.

4. Контрольные вопросы

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

Рекомендуемая литература

1. Оптические измерения: Учебник для вузов по специальностям «Оптико-электронные приборы» и «Технология оптического приборостроения»/Под общ. ред. Д.Т. Пуряева. – М.: Машиностроение, 1987. -264 с.: ил.
2. Оптические измерения: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Высшая школа, 1981. – 229 с., ил.

Учебно-методическое пособие

Шандаров С.М.

Акрестина А.С.

Миссаль В.В.

Измерение показателя преломления

Методические указания по лабораторной работе

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