

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКИХ СРЕД С ПОМОЩЬЮ РЕФРАКТОМЕТРА

Теоретическое введение

Основные понятия и законы геометрической оптики

Во многих областях, имеющих важное практическое значение, например в вопросах о формировании светового пучка (светотехника) и об образовании изображения (оптотехника), решение задачи о распространении света как в однородной среде, так и через любую оптическую систему, т.е. через совокупность различных сред, может быть получено с помощью представлений геометрической оптики. Геометрическая оптика (ГО) оперирует понятием отдельных световых лучей.

1. Основные понятия ГО

Световым лучом называют направление распространения световой волны или направление, в котором световой волной переносится энергия.

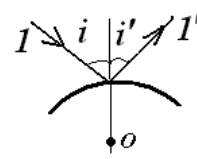
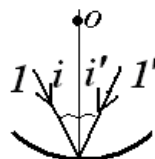
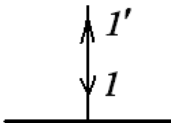
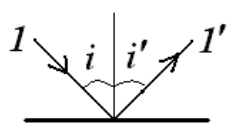
Световым пучком называют область пространства, ограниченную световыми лучами и заполненную световым излучением.

Различают гомоцентрические и параллельные пучки. Каждую светящуюся точку источника рассматривают как вершину расходящегося – *гомоцентрического* – пучка лучей, т.е. имеющего общий центр. Если источник удален в бесконечность, то говорят о *параллельном* световом пучке.

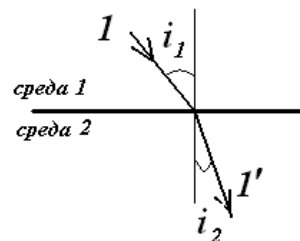
2. Основные законы ГО

Основные законы ГО установлены экспериментально.

- Закон прямолинейного распространения света: *в однородной среде свет распространяется по прямым линиям.*
- Закон независимости световых пучков: *действие световых пучков независимо*, т.е. эффект, производимый отдельным пучком, не зависит от того, действуют ли одновременно другие пучки или они устранены.
- Закон отражения: *луч падающий, луч отраженный и нормаль, восстановленная в точке падения луча к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости ; угол падения равен углу отражения ($i = -i'$).*



- Закон преломления: *луч падающий, луч преломленный и нормаль, восстановленная в точке падения луча к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости; отношение синуса угла падения i_1 к синусу угла преломления i_2 есть величина постоянная для данных двух сред (и называется относительным показателем преломления второй среды по отношению к первой)*



$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \text{const} = n_{21}. \quad (1)$$

3. Показатель преломления

Заметим, что световой пучок, падающий на границу раздела под некоторым углом i_1 , раздваивается – часть энергии отражается, часть энергии переходит во вторую среду. Но при этом (согласно закону сохранения энергии) сумма энергий отраженного и преломленного пучков равна энергии пучка, падающего на границу:

$$W_{\text{отр}} + W_{\text{прел}} = W_{\text{пад}} \quad (2)$$

В волновой теории относительный показатель преломления определен следующим образом $n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$, (3)

где v_1 и v_2 – скорости распространения света в соответствующих средах.

Относительный показатель преломления данной среды, измеренный по отношению к вакууму, называют *абсолютным показателем данной среды*.

Получим связь между относительным n_{21} и абсолютными показателями n_1 и n_2 преломления двух сред. Для этого сравним скорости каждой из двух рассматриваемых нами сред со скоростью света в вакууме c .

$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$	$n_{1\text{вак}} = \frac{c}{v_1} = n_1 \quad (4)$	$n_{2\text{вак}} = \frac{c}{v_2} = n_2 \quad (5)$
----------------------------	---	---

Выразив v_1 из (4) и v_2 из (5) и подставив их в (3), получим требуемое соотношение

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (6)$$

т.е. относительный показатель преломления второй среды по отношению к первой равен отношению абсолютных показателей этих сред.

Из выражений (3), (4) и (5) ясен физический смысл показателей преломления:

- *относительный показатель преломления* второй среды по отношению к первой показывает во сколько раз скорость света в первой среде больше (меньше) чем во второй;
- *абсолютный показатель преломления среды* показывает во сколько раз скорость света в вакууме больше, чем в данной среде. Заметим, что абсолютный показатель преломления данной среды всегда больше единицы $n > 1$.

Теперь закон преломления (закон Снеллиуса) можно записать в виде

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (7') \quad \text{или} \quad n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2. \quad (7'')$$

3. Поведение луча при переходе через границу раздела двух сред.

Полное внутреннее отражение

Среду, имеющую больший показатель преломления, будем называть *оптически более плотной*, а имеющую меньший – *оптически менее плотной*.

Рассмотрим переход светового луча из среды оптически менее плотной в более плотную $n_2 > n_1$ (рис. 1) и, наоборот – из более плотной в менее плотную $n_2 < n_1$ (рис. 2).

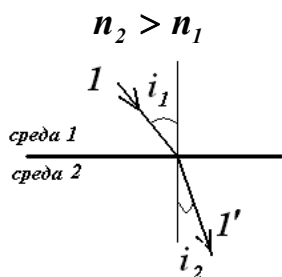


рис. 1

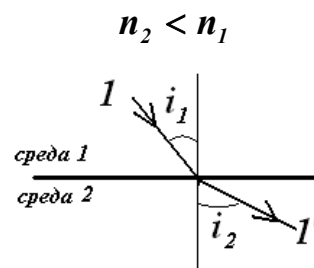


рис. 2

Из закона преломления (рис. 1) следует $i_2 < i_1$, т.е. преломленный луч при входе во вторую среду отклоняется к нормали к границе раздела сред.

Докажем это утверждение. Действительно, при $n_2 > n_1$ отношение $\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1} > 1$, а следовательно $\sin i_1 > \sin i_2$. Известно, что функция $y = \sin x$ для углов в первой четверти является возрастающей, тогда очевидно, что $i_2 < i_1$.

Аналогично, из закона преломления (рис. 2) следует $i_2 > i_1$, т.е. преломленный луч при входе во вторую среду отклоняется от нормали к границе раздела сред. Докажите это утверждение самостоятельно.

Заметим, что при переходе светового луча из оптически более плотной среды в менее плотную при увеличении угла падения i_1 (рис. 3) увеличивается и угол преломления i_2 (причем $i_2 \rightarrow \pi/2$), при этом и энергия отраженного пучка возрастает, а преломленного убывает. При некотором значении угла падения $i_1 = i_{1\text{пред}}$ угол преломления $i_2 = \pi/2$, при этом преломленный луч $2'$ скользит по границе раздела, не заходя во вторую среду (энергия преломленного пучка падает до нуля; из равенства (2) ясно, что энергия падающего и отраженного пучка равны). Это явление в оптике называют *полным внутренним отражением*, а угол $i_{1\text{пред}}$ – *предельным углом полного внутреннего отражения*.

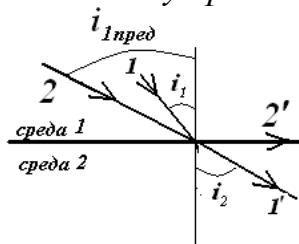


рис. 3

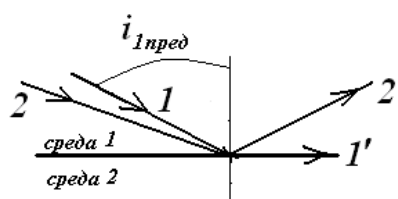


рис. 4

При дальнейшем увеличении угла падения $i_1 > i_{1\text{пред}}$ (рис. 4) световой луч 2 полностью отражается от границы раздела (луч $2'$).

Очевидно, что из закона преломления (1) следует, что $\sin i_{1\text{пред}} = n_{21}$. (8)

Ясно, что для каждого вещества существует собственный предельный угол полного отражения.

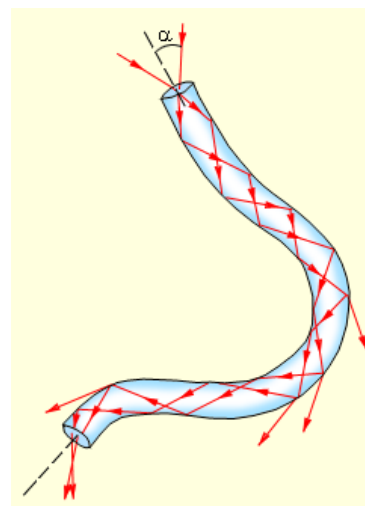
Явление полного внутреннего отражения находит применение во многих оптических медицинских устройствах.

Наиболее интересным и практически важным применением является создание *волоконных световодов* – тонких (от нескольких микрон до миллиметров) произвольно изогнутых нитей из оптически прозрачного материала (стекло, кварц и др.).

Свет, попадающий на торец световода, может распространяться по нему на большие расстояния за счет полного внутреннего отражения от боковых поверхностей.

Разработкой и применением оптических световодов занимается волоконная оптика.

Волоконная оптика – раздел оптики, в котором рассматривается передача света и изображения по световодам и пучкам гибких волокон. Оптические волокна широко используются в медицинских инструментах. Так, например, введенные в тело пациента, они передают изображение органа или пораженного участка на внешнюю телекамеру, что исключает необходимость исследования с помощью хирургических методов.



Цель работы: Измерение показателя преломления растворов различной концентрации. Построение графика зависимости показателя n от концентрации раствора C . Нахождение неизвестной концентрации раствора по графику $n(C)$.

Принадлежности: Рефрактометр, растворы различной концентрации.

Оптические приборы, предназначенные для измерения показателя преломления, называются **рефрактометрами**.

Для ознакомительного чтения

Принцип действия рефрактометра.

В настоящей работе применяется рефрактометр, принцип действия которого основан на явлениях, происходящих при прохождении света через границу раздела двух сред с разными показателями преломления (рефрактометр Аббе). В рефрактометрах этого типа исследуемая среда (обычно жидкость) помещается в зазоре (около $0,1 \text{ мм}$) между гранями двух стеклянных прямоугольных призм (см. рис.5 и 6). При измерениях используется два метода: метод скользящего луча и метод полного отражения.

1. Метод скользящего луча.

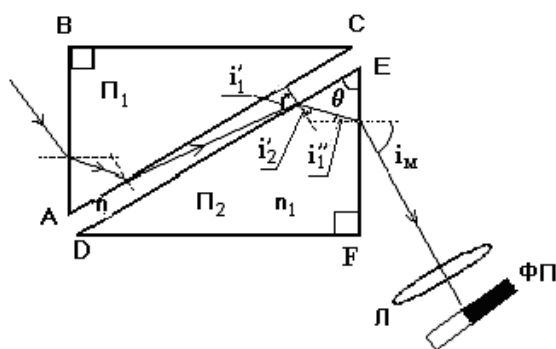


рис. 5

Для скользящего луча $i_1' = 90^\circ$ (он изображён на рис.5) закон преломления на грани **ED** имеет вид

$$n = n_1 \sin i_2', \quad (9)$$

Свет от лампы направляется на грань **AB** осветительной призмы Π_1 , проходит через матовую грань **AC** и, рассеиваясь ею, проходит плоскопараллельный слой исследуемой жидкости (с показателем преломления n) и падает на диагональную грань **ED** измерительной призмы Π_2 под различными углами в пределах от 0° до 90° .

Луч, угол падения которого 90° , называют скользящим лучом.

где угол i_2' равен предельному углу для границы «стекло – исследуемая жидкость»,

n_1 – показатель преломления призмы Π_2 (причём $n_1 > n$).

$$\text{Для грани EF закон преломления имеет вид } n_1 \sin i_1'' = n_0 \sin i_M, \quad (10)$$

где $n_0 = 1$; а i_M – угол выхода лучей из призмы Π_2 , причём для скользящих лучей он имеет наименьшее значение (убедитесь в этом самостоятельно).

Лучи, проходящие через грань EF, будут выходить из призмы Π_2 под углами от 90° до i_M , и если на пути этих лучей поставить собирающую линзу Л, то в её фокальной плоскости ФП получается изображение, на котором будет видна резкая граница между светом и тенью.

Получим связь между искомым показателем преломления жидкости n и предельным углом выхода i_M . Из геометрических соображений можно показать, что в призме Π_2 преломляющий угол $\theta = i_2' + i_1''$.

Тогда выражение (9) запишется в виде $n = n_1 \sin(\theta - i_1'')$.

Используя формулу синуса разности двух углов и учтя (10), получим соотношение

$$n = \sin \theta \cdot \sqrt{n_1^2 - \sin^2 i_M} - \cos \theta \cdot \sin i_M \quad (11)$$

Т.о., из формулы (11) видно, что положение границы света и тени зависит от величины показателя преломления n (при данных призмах).

Граница света и тени рассматривается через вторую линзу, которая совместно с линзой Л образует зрительную трубу, установленную на бесконечность. С помощью такой трубы определяется угол i_M и по известным значениям θ и n_1 рассчитывается показатель преломления n (т.е. градуируется шкала прибора).

Шкала показателя преломления, видимая в поле зрения одновременно с границей раздела света и тени, проградуирована в рефрактометре для натриевого света ($\lambda = 5893 \text{ \AA}$) при $t = 20^\circ \text{C}$.

2. Метод полного отражения.

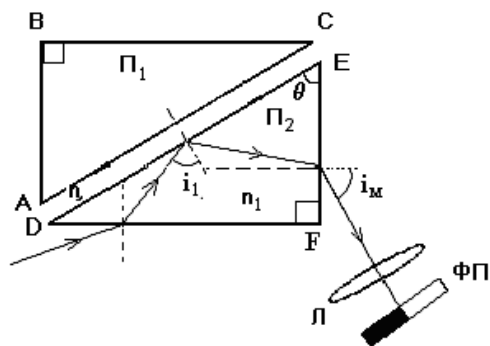


рис. 6

В поле зрения зрительной трубы в этом случае наблюдается резкая граница раздела между полутенью и светом. Положение границы раздела между полутенью и светом определяется углом i_M , удовлетворяющим (как и в случае скользящего луча) условию (11).

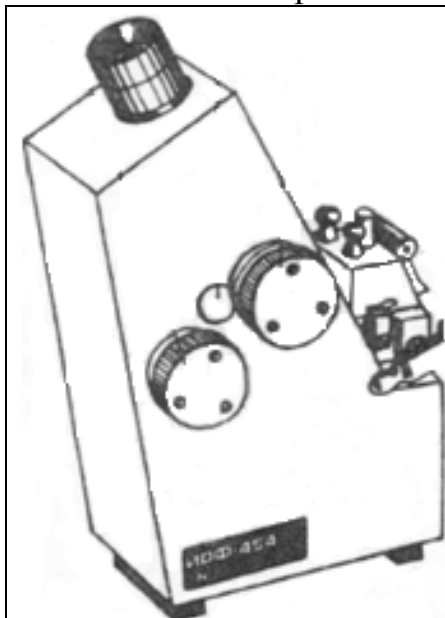
Отметим, что методом полного отражения можно измерять показатель преломления и непрозрачных тел.

В заключение подчеркнем еще раз: если лучи света непосредственно или от зеркала, установленного на корпусе прибора, попадают на входное окно осветительной призмы, то измерение показателя преломления n реализуется по «методу скользящего луча». Если же лучи попадают на входное окно измерительной призмы, то реализуется «метод полного отражения».

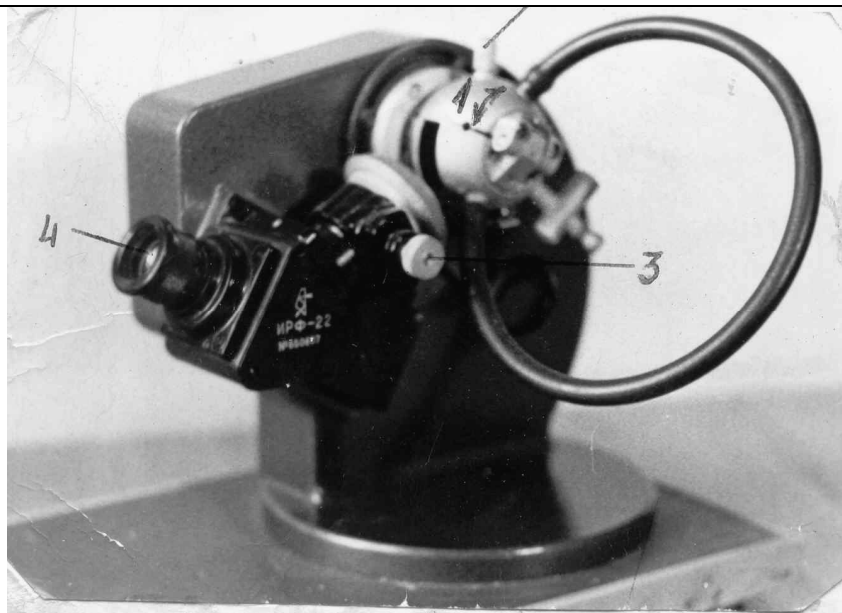
В настоящей работе используется два вида рефрактометра ИРФ-454 и ИРФ-22

КОНСТРУКЦИЯ ПРИБОРОВ

Основные узлы рефрактометра смонтированы в металлическом корпусе. На корпус выведены маховики **1** и **3**, рефрактометрический блок, состоящий из двух частей: верхней и нижней. Нижняя неподвижная часть является *измерительной*; верхняя (может откидываться для нанесения исследуемой жидкости) – *осветительная призма*.



Прибор 1



Прибор 2

Оптическая система рефрактометра состоит из визирной и отсчетной систем и устроена так, что шкала показателя преломления видна в поле зрения одновременно с границей раздела света и тени.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подготовьте прибор для измерений. Для этого:
 - а) найдите положение осветителя, чтобы хорошо были освещены поля зрения в отсчетной (шкала ***n***) и визирной (область света и тени) системах. Освещенность шкалы регулируется зеркальцем.
 - б) вращением окулярных винтов добейтесь четкой видимости перекрестья в визирной системе и делений шкалы ***n*** в отсчетной системе.
2. Определите цену деления шкалы и запишите ее $c = \left(\frac{1}{\text{дел}} \right)$.
3. Проведите измерения показателей преломления ***n*** для дистиллированной воды и предложенных растворов по методу скользящего луча (свет при этом падает во входное окно *осветительной - откидывающейся - призмы*). Измерения проведите не менее **3**-х раз для каждого из растворов. Результаты измерений заносите в таблицу (см. ниже).

Внимание. Перед каждым повторным измерением осторожно снимайте салфеткой нанесенную на измерительную призму жидкость и только потом наносите ее вновь.

Измерения проводятся по следующей схеме:

- а) откиньте осветительную призму и на чистую полированную поверхность осветительной призмы стеклянной палочкой или пипеткой осторожно, не касаясь

призмы, нанесите 2-3 капли исследуемой жидкости. Прижмите осветительную призму к измерительной.

б) вращая маховик **3**, добейтесь исчезновения окраски границы светотени.

в) наблюдая в окуляр, маховиком **1** наведите границу светотени точно на перекрестие и по шкале показателей преломления снимите отсчет. Индексом для отсчета служит неподвижный вертикальный штрих. (Целые, десятые, сотые и тысячные доли значения показателя преломления отсчитываются по шкале, десятитысячные на глаз.)

4. Определите средние значения n для каждой из концентраций.

№ опыта	Дистиллированная вода	Концентрация исследуемой жидкости				
		7,5%	15%	30%	60%	X%
1						
2						
3						
Среднее знач. n						

5. Постройте график зависимости показателя преломления жидкости от концентрации $n = f(C)$.

6. Постройте этот же график $n = f(C)$, воспользовавшись приложением MS EXCEL, предполагая при этом зависимость показателя преломления от концентрации линейной.

7. По графику $n(C)$ определите неизвестную концентрацию раствора.

Контрольные вопросы:

1. Дать определение абсолютного показателя преломления. Сформулировать законы отражения и преломления света.
2. Явление полного внутреннего отражения.
3. Предельный угол преломления, их связь с показателем преломления сред.
4. Рефрактометр, его устройство и назначение.
5. Волоконная оптика и ее применение в медицинской аппаратуре.

ЛИТЕРАТУРА: Ливенцев, Курс физики,

Эссаулова, Блохина, Руководство к лаб. работам по мед. и биол. физике