

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Задания № 1, 2

КУЙБЫШЕВ 1977

Раздел оптики, в котором распространение света рассматривается на основе представления о световых лучах как направленных движениях энергии, называется геометрической (лучевой) оптикой. Геометрическая оптика разбирает основные явления, связанные с прохождением света через линзы, оптические системы, а также с отражением зеркал.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

1. **Закон независимости световых пучков.** Действие световых пучков оказывается независимым, т. е. эффект, производимый отдельным пучком, не зависит от того, действуют ли одновременно другие пучки или они устранены. Действия пучков (например, освещенности) складываются.

2. **Закон прямолинейного распространения света:** луч света в однородной среде распространяется прямолинейно.

При малых отверстиях или экранах закон прямолинейного распространения нарушается (наблюдается захождение света в область геометрической тени — дифракция).

3. **Закон отражения света.** Луч падающий и луч отраженный лежат по разные стороны от нормали к отражающей поверхности и в одной плоскости с нормалью; угол падения i равен углу отражения i' (рис. 1).



Рис. 1

4. **Закон преломления света.** Луч падающий и луч преломленный лежат по разные стороны от нормали к отражающей поверхности и в одной плоскости с нормалью (рис. 2).

Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных двух сред:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n$$

(величина n — называется относительным показателем преломления и определяется свойствами обеих сред). Показатель преломления среды относительно вакуума называют абсолютным показателем преломления этой среды.

5. **Закон обратимости луча:** как при отражении, так и при преломлении свет может проходить один и тот же путь в обоих противоположных друг другу направлениях. Отсюда в частности, вытекает, что если показатель преломления при переходе из первой среды во вторую равен n , то при переходе из второй среды в первую — $1/n$.

Четыре последних закона могут быть заменены одним постулатом — принципом Ферма: между двумя точками луч идет по пути, на котором время распространения минимально.

Время распространения света может быть вычислено по формуле:

$$\tau = \int_1^2 \frac{dl}{v} = \int_1^2 \frac{dl}{c/n} = \frac{1}{c} \int_1^2 n dl, \quad (1)$$

где v — скорость света в данной среде; c — скорость света в вакууме; n — абсолютный показатель преломления среды.

Величина

$$l_o = \int_1^2 n dl$$

называется оптической длиной пути. Согласно (1) принцип Ферма можно сформулировать так: между двумя точками свет идет по пути, оптическая длина которого минимальна, т. е. можно показать, что законы 2—5 вытекают из принципа Ферма.



Рис. 2

Глаз ограничен в своих восприятиях света. Угловая разрешающая способность глаза определяется величиной порядка одной минуты. Это значит, что если расстояние между двумя точками видно глазу под углом, меньшим одной минуты, то глаз эти точки не разделяет, а видит их как одну. Ограничена и чувствительность глаза к свету малой интенсивности. Возможности зрения расширяются оптическими приборами. Их основная цель — увеличение угла зрения, под которым виден объект, или увеличение светового потока, проникающего в глаз. То и другое можно осуществить, изменяя направление лучей, распространяющихся от объекта. Для этого применяются различные оптические приборы: зеркала, линзы, призмы и т. п.

Рассмотрим пучок лучей, выходящих из одной точки S (такой пучок называется гомоцентрическим). Допустим, что все лучи этого пучка после прохождения через оптическую систему пересекаются в одной точке S' (пучок остался гомоцентрическим).

Точка S' является действительным изображением точки и обе они называются сопряженными точками (если в точке пересекаются продолжения лучей, а сами лучи расходятся, то изображение называется мнимым).

Изображение называется точечным (стигматическим), если каждая точка изображается точкой.

В соответствии с принципом Ферма время распространения света по различным путям между сопряженными точками одинаково (это свойство называется таутохронизмом). Очевидно, одинаковы и оптические длины этих лучей.

ПРЕЛОМЛЕНИЕ НА СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Предположим, что две среды с показателями преломления n_1 и n_2 разделяются сферической поверхностью Σ (рис. 3). На линии, проходящей через центр нашей сферы O , поместим точечный источник света S .

Рассмотрим узкий гомоцентрический пучок лучей, падающий из S на поверхность раздела двух сред.

Предположим пучок настолько узким, т. е. угол φ настолько малым, что практически можно считать отрезок SC равным SA , $S'C$ равным $S'A$. Такой узкий пучок называется парааксиальным (приосевым).

Рассмотрим какой-либо луч из этого пучка, падающий на Σ под углом i , построим преломленный луч AS' (угол прелом-

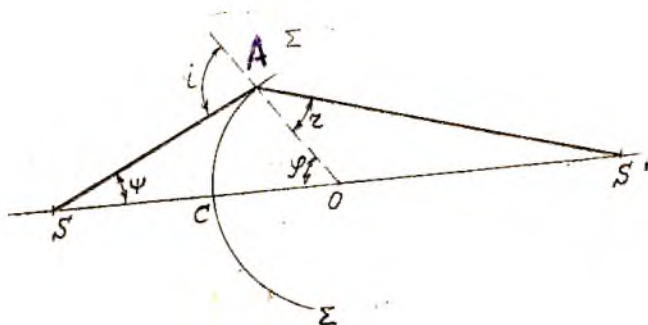


Рис. 3

ления r) и найдем положение точки, в которой преломленный луч пересечет ось системы.

По теореме синусов из $\triangle ASO$ следует:

$$\frac{SO}{SA} = \frac{\sin i}{\sin \varphi},$$

из $\triangle OAS'$:

$$\frac{AS'}{OS'} = \frac{\sin \varphi}{\sin r},$$

откуда

$$\frac{SO}{SA} \frac{AS'}{OS'} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (2)$$

В дальнейшем все отрезки вдоль оси будем отсчитывать от точки C , считая положительными отрезки, откладываемые от C вправо (в направлении распространения света), и отрицательными — влево. Таким образом, $AS \approx -a_1$, $AS' \approx CS' = a_2$, $AO = CO = R$ (радиус нашей сферы). В таком случае $SO = -a_1 + R$, $OS' = a_2 - R$.

Из формулы (2) получим

$$\frac{-a_1 + R}{-a_1} \frac{a_2}{a_2 - R} = \frac{n_2}{n_1}$$

или

$$-n_1 a_1 a_2 + n_1 R a_2 = -n_2 a_1 a_2 + n_2 a_1 R.$$

Разделив это уравнение на $a_1 a_2 R$, будем иметь

$$n_1 \left(\frac{1}{a_1} - \frac{1}{R} \right) = n_2 \left(\frac{1}{a_2} - \frac{1}{R} \right) = Q. \quad (3)$$

Формула (3) показывает, что величина $Q = n\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{R}\right)$ при преломлении остается постоянной. Ее называют нулевым инвариантом Аббе. Для многих целей формуле (3) удобно придать вид

$$\frac{n_1}{a_1} - \frac{n_2}{a_2} = \frac{n_1 - n_2}{R}$$

ТОНКАЯ ЛИНЗА

Линза называется тонкой, если толщина линзы d мала по сравнению с радиусами кривизны поверхностей линзы. Все расстояния (рис. 4) будем отсчитывать от точки S , которая практически совпадает с S_1 и S_2 .

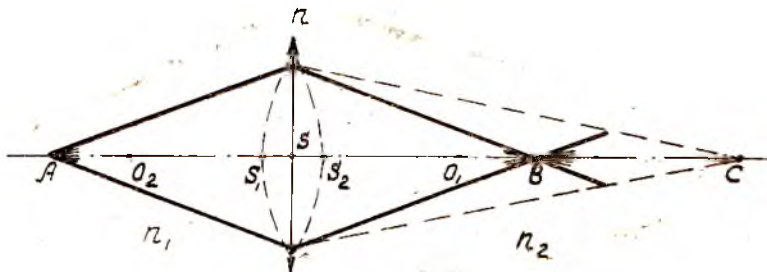


Рис. 4

Точка S носит название оптического центра линзы. Любой параксиальный луч, проходящий через точку S , практически не испытывает преломления. Прямая, проходящая через оптический центр, называется осью линзы. Та из осей, которая проходит через центры кривизны обеих поверхностей, называется главной, остальные — побочными.

Преломление на первой сферической поверхности создало бы без второй сферической поверхности в сплошном стекле с показателем преломления n изображение C на расстоянии $SC = a$ от вершины, так что

$$\frac{n_1}{a_1} - \frac{n}{a} = \frac{n_1 - n}{R_1},$$

где $a_1 = SA$;

R_1 — радиус кривизны первой поверхности линзы.

Для второй поверхности C является мнимым источником света. Построение изображения этого источника на второй преломляющей поверхности линзы дает точку B на расстоянии $a_2 = SB$ от линзы. Здесь опять применима формула

$$\frac{n}{a} - \frac{n_2}{a_2} = \frac{n - n_2}{R_2},$$

где R_2 — радиус второй поверхности.

Так как $n_1 = n_2$ (с двух сторон линзы одинаковая среда), то имеем

$$\frac{n_1}{a_1} - \frac{n}{a} = \frac{n_1 - n}{R_1}; \quad \frac{n}{a} - \frac{n_2}{a_2} = \frac{n - n_1}{R_2}.$$

Складывая эти уравнения, получим

$$n_1 \left(\frac{1}{a_1} - \frac{1}{a_2} \right) = (n_1 - n) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

или, введя относительный показатель преломления $N = \frac{n}{n_1}$:

$$\frac{1}{a_2} - \frac{1}{a_1} = (N - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right).$$

Для определения фокусных расстояний имеем следующие соотношения: при $a_1 = \infty$

$$a_2 = f_1 = \frac{1}{(N - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)};$$

при $a_2 = \infty$

$$a_1 = f_2 = - \frac{1}{(N - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)};$$

$$f_1 = -f_2.$$

Фокусные расстояния линзы равны по величине и противоположны по знаку, т. е. фокусы лежат по разные стороны от линзы.

Вводя фокусное расстояние линзы, придадим формуле линзы следующий вид:

$$\frac{1}{a_2} - \frac{1}{a_1} = \frac{1}{f}.$$

Величина, обратная фокусному расстоянию линзы, называется оптической силой. Оптическая сила измеряется в диоптриях. Диоптрия — это оптическая сила линзы с фокусным расстоянием в 1 м.

Задание № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА ПРИ ПОМОЩИ РЕФРАКТОМЕТРА

Приборы и принадлежности: рефрактометр РЛ-2, весы, разновес, мензурка, дистиллированная вода, соль, исследуемый раствор соли, химические стаканы, стеклянная палочка.

ОПИСАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ

В данной работе предлагается определить концентрацию исследуемого раствора соли NaCl.

Концентрация — величина, выражающая содержание (количество) данного компонента в определенном количестве смеси.

В одном из методов определения концентрации используется зависимость показателя преломления раствора от его концентрации. Показатель преломления водных растворов ряда солей при 18°C и длине волны 5893 Å может быть выражен следующей формулой:

$$n = 1,332 + (AC - BC^2),$$

где C — концентрация раствора;

A и B — постоянные, характерные для каждой соли (для NaCl $A = 0,00176$, $B = 0,0000088$).

Методы физико-химического исследования веществ, основанные на измерении показателя преломления, называются рефрактометрией. Концентрацию раствора находят по калибровочной кривой. Метод обладает высокой чувствительностью и точностью (до 0,01—0,1%). Для анализа достаточно двух-трех капель раствора.

ОПИСАНИЕ ПРИБОРА

На рис. 5 показана оптическая схема рефрактометра РЛ-2, где 1 — осветительное зеркало; 2 — вспомогательная откидная призма; 3 — основная призма с высоким показателем преломления; 4 — матированная грань откидной призмы; 5 — исследуемая жидкость; 6 — призма компенсатора; 7 — объектив зрительной трубы; 8 — поворотная призма; 9 — шкала; 10 — окуляр зрительной трубы.

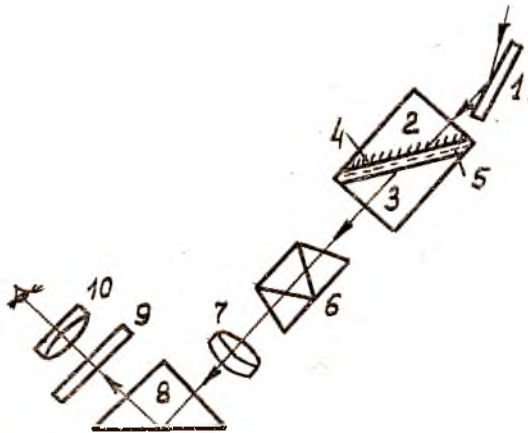


Рис. 5

Исследуемая жидкость, показатель преломления которой меньше показателя преломления основной призмы, помещается в зазор (около 0,1 мм) между полированной гипотенузной гранью основной призмы и матированной гранью вспомогательной призмы.

Специальный компенсатор (призма прямого зрения 6) позволяет компенсировать дисперсию призм 2—3 и работать с источником белого света.

Шкала для отсчета показателей преломления видна непосредственно в поле зрения окуляра вместе с границей раздела света и тени.

Рассмотрим кратко действие прибора. Пусть свет проходит через грань $A'D'$ вспомогательной призмы $A'B'D'$ и попадает на поверхность $A'B'$ (рис. 6).

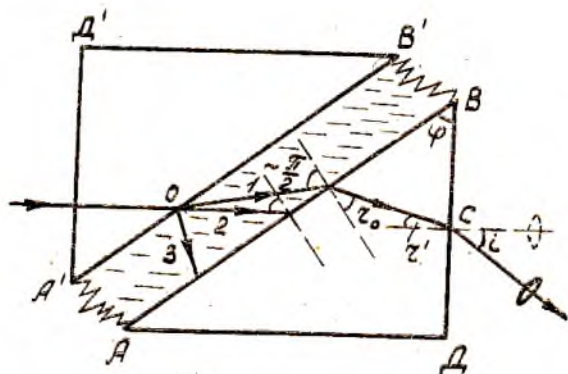


Рис. 6

Так как грань $A'B'$ матовая, то она становится источником световых лучей всевозможных направлений (1, 2, 3...).

В нашем приборе толщина слоя жидкости значительно меньше геометрических размеров самих призм. Поэтому в любой точке на границе AB , падающие из жидкости лучи будут иметь углы падения от 0° до $\frac{\pi}{2}$. На границе раздела жидкость-стекло свет будет частично отражаться. Отраженные лучи пойдут обратно в жидкость, а преломленные — в стекло нижней призмы. Углы преломления лучей в стекле будут всевозможными, но в пределах от 0° до r_0 . Самый большой угол преломления r_0 будет для тех лучей, которые падают на границу раздела под углами, близкими к $\frac{\pi}{2}$. Угол r_0 называется предельным углом преломления.

Для предельного угла преломления на границе раздела жидкость—стекло справедливо соотношение:

$$\frac{\sin \frac{\pi}{2}}{\sin r_0} = \frac{N}{n} \quad \text{или } n = N \sin r_0, \quad (4)$$

где N и n — показатели преломления стекла нижней призмы и жидкости.

На грань $ВД$ нижней призмы со стороны стекла будут падать лучи под всевозможными углами, но не меньше угла r' . Угол падений r' образуется теми лучами, которые на границе жидкость—стекло преломляются под углом r_0 . На границе раздела $ВД$ лучи также отражаются и преломляются. При

этом лучи, падающие на грань ВД под углом r' , будут выходить в воздух, образуя с нормалью к ВД минимальный угол i . Все другие лучи будут выходить в воздух под углами в пределах от i до $\frac{\pi}{2}$.

На границе стекло—воздух имеем:

$$\frac{\sin r'}{\sin i} = \frac{1}{N}. \quad (5)$$

Из рис. 6 следует, что $r_0 + r' = \varphi$ или $r_0 = \varphi - r'$. (6)

Подставив значение r_0 из (6) в уравнение (4), будем иметь:

$$n = N (\sin \varphi \cos r' - \cos \varphi \sin r'). \quad (7)$$

Из (5) получим $\sin r' = \frac{\sin i}{N}$, а $\cos r' = \frac{1}{N} \sqrt{N^2 - \sin^2 i}$.

Подставив значения $\sin r'$ и $\cos r'$ в (7), получим

$$n = \sin \varphi \sqrt{N^2 - \sin^2 i} - \cos \varphi \sin i. \quad (8)$$

Для данного прибора N и угол основной призмы φ являются постоянными. Измеряя величину угла i , легко подсчитать показатель преломления исследуемой жидкости по формуле (8).

Каждому значению угла i соответствует строго определенное значение показателя преломления жидкости. Поэтому шкала прибора градуируется таким образом, что по ней можно непосредственно отсчитывать показатели преломления различных жидкостей.

Рассматривая грань ВД через зрительную трубу, мы увидим различные картины в зависимости от ориентации оптической оси трубы относительно нормали к ВД. Если оптическая ось трубы совпадает с направлением нормали к ВД, то ни один луч, прошедший через жидкость, не попадет в объектив зрительной трубы и грань ВД будет темной.

Если оптическая ось трубы будет составлять с нормалью к грани ВД тот же угол i , что и выходящие в воздух лучи, которые на границе жидкость—стекло преломляются под предельным углом r_0 , то поле зрения окуляра окажется разделенным на два сектора — светлый и темный.

Изображение тех участков грани ВД, которые расположены выше точки С (см. рис. 6), будет светлым, так как на этих участках углы преломления выходящих из призмы лучей больше i . От участков, расположенных ниже точки С, в зрительную трубу должны были бы попадать только лучи, выходящие

под углами, меньшими i , а так как такие лучи из призмы не выходят, то изображение этих участков получается темным.

Если угол между оптической осью трубы и нормалью к ВД увеличивать, то величина темного сектора будет уменьшаться.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Отмерить мензуркой 100 см³ дистиллированной воды.
2. Взвесить на весах 5 порций соли NaCl по 5 г.
3. Направить свет с помощью зеркала на вспомогательную призму.
4. Откинуть в сторону верхнюю призму, протереть грани призм и конец стеклянной палочки. Палочкой нанести каплю дистиллированной воды на грань измерительной призмы. Закрыть верхнюю призму.
5. Вращая маховичок компенсатора, добиться уничтожения окраски граничной линии света и тени.
6. Перемещая трубу, установить середину поля зрения трубы, отмеченную тремя штрихами, на границу раздела света и тени, и произвести отсчет показателя преломления по шкале с точностью до 3-го знака после запятой.
7. Опустить в воду одну порцию соли, тщательно растворив ее, определить n . Увеличивая концентрацию раствора путем добавления и растворения последующих порций соли, определить соответствующие показатели преломления n_1, n_2, n_3, \dots . Перед каждым новым измерением n очищать грани призм от растворов предыдущих измерений. Полученные результаты записать в таблицу.

Таблица

Концентрация раствора, %	0%	5%	10%	15%	20%	25%
n						

8. По полученным результатам измерений построить график зависимости n от концентрации раствора.

9. Измерить показатель преломления исследуемого раствора той же соли и по графику определить его концентрацию.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте основные законы геометрической оптики.
2. Что называется абсолютным и относительным показателем преломления?
3. Как связаны показатель преломления среды и скорость распространения света в ней?
4. В чем заключается явление полного внутреннего отражения?
5. Дать определение термина «концентрация раствора».
6. Объясните принцип действия рефрактометра РЛ-2.
7. Каково назначение компенсатора в рефрактометре РЛ-2?
8. Как связаны между собой показатель преломления исследуемой жидкости и предельный угол выхода i ?
9. От каких величин зависит положение границы между светом и тенью, наблюдаемой в поле зрения рефрактометра?

ЛИТЕРАТУРА

- Зисман Г. А., Годес О. М. Курс общей физики, т. 3, М., «Наука», 1965, § 5.
Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 3, М., «Наука», 1968, § 1.

Задание № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СТЕКЛА ЛИНЗЫ

Приборы и принадлежности: оптическая скамья, источник света с крестообразной щелью, две юветы, собирающая линза, экран.

ОПИСАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ

В данной работе необходимо определить показатель преломления стекла собирающей линзы. Для этого измеряют фокусное расстояние линзы в воздухе ($n_1 = 1$), а затем помещают ее в другую среду, например, в воду ($n_1 = 1,33$) и еще раз измеряют фокусное расстояние. Подставляя полученные данные в формулу тонкой линзы

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (9)$$

и решая совместно полученные таким образом уравнения, вычисляют показатель преломления материала линзы n . Для оп-

ределения фокусного расстояния в работе используют метод Бесселя.

Если расстояние D между экраном и предметом больше четырех фокусных расстояний ($D > 4f$), то можно найти два положения линзы, при которых на экране получают отчетливые изображения предмета: в одном случае — уменьшенное, в другом — увеличенное.

Обозначим расстояние между этими двумя положениями линзы буквой l (рис. 7).

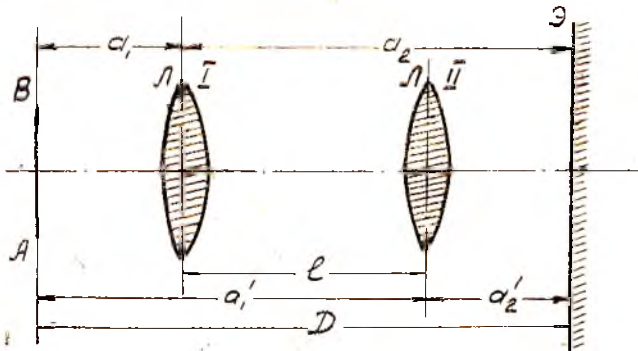


Рис. 7

Пусть в положении I линзы получили резкое увеличенное изображение предмета АВ.

Обозначим расстояние от линзы до предмета a_1 и от линзы до изображения на экране a_2 . Если передвинуть линзу в положение II при неизменном положении источника и экрана, то получим резкое уменьшенное изображение предмета. Теперь расстояние от линзы до предмета будет a_1' и от линзы до изображения a_2' . Из принципа обратимости светового луча следует:

$$a_1 = a_2';$$

$$a_2 = a_1'.$$

Тогда из рис. 7 видно, что

$$a_1 = \frac{D}{2} - \frac{l}{2};$$

$$a_2 = \frac{D}{2} + \frac{l}{2}.$$

(10)

Формулу (9) тонкой собирающей линзы можно переписать в следующем виде:

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{f}. \quad (11)$$

Решая систему уравнений (10) и (11), получим формулу для определения фокусного расстояния линзы

$$f = \frac{D^2 - l^2}{4D}. \quad (12)$$

ОПИСАНИЕ ПРИБОРА

Схема лабораторной установки приведена на рис. 8.

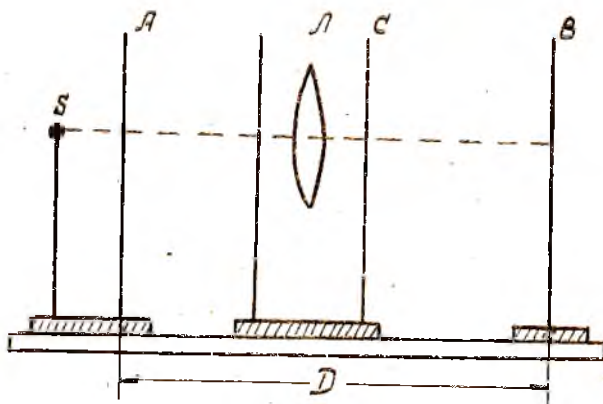


Рис. 8

Источник света S освещает пластинку A с крестообразной щелью. Линза L , помещенная в стеклянную кювету с плоскопараллельными стенками, дает изображение этого креста на экране B .

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Определить фокусное расстояние линзы в воздухе: перемещая линзу L (см. рис. 8) и экран B , найти такое положение последнего, при котором можно получить на нем как увеличенное, так и уменьшенное изображение креста;

отрегулировать по высоте пластинку А, линзу Л и экран В так, чтобы изображение креста получить посередине экрана В; измерить расстояние D_1 и l_1 , используя способ Бесселя; вычислить по формуле (12) фокусное расстояние линзы f_1 ; опыт повторить два раза, каждый раз меняя D_1 , и полученные результаты записать в таблицу; найти среднее значение фокусного расстояния f_1 .

Таблица

Измеряемые величины	Измерения			Среднее значение
	1	2	3	
D_1 l_1				нет —
f_1				
Δf_1^i $(\Delta f_1^i)^2$ D_1' l_1' D_2 l_2				нет — — — — —
f_2				
Δf_2^i $(\Delta f_2^i)^2$ n				нет — —

2. Определить фокусное расстояние линзы в воде: поместить линзу в кювету с водой; найти снова такое положение экрана В, чтобы перемещая линзу Л, на нем можно было получить два изображения креста;

определить способом Бесселя расстояния D' и l' ;
 вычислить D_2 и l_2 с учетом поправок, ввиду того, что путь проходимый световыми лучами, частично лежит не в воде, а в воздухе.

Применение же формулы (9) для определения показателя преломления линзы, предполагает, что все пространство между источником и экраном заполнено однородной средой.

Пусть на рис. 9 точки A и B — положения источника и изображения. Чтобы в этом случае осуществить такой же ход лучей в кювете, какой мы получаем в опыте, нужно источник было бы поместить в точку A' , при этом изображение получилось бы в точке B' .

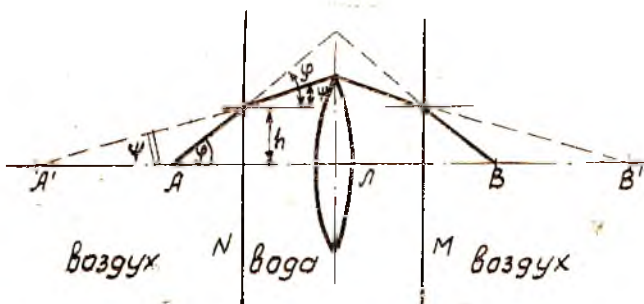


Рис. 9

Таким образом, вместо расстояний NA и MB при расчете необходимо взять расстояния NA' и MB' . Из рис. 9 видно, что

$$\frac{h}{NA} = \operatorname{tg} \varphi;$$

$$\frac{h}{NA'} = \operatorname{tg} \psi.$$

По закону преломления света

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \psi} = n_1,$$

где n_1 — показатель преломления воды ($n_1 = 1,33$).

Ввиду малости углов φ и ψ , тангенсы этих углов можно заменить синусами. Таким образом,

$$\frac{NA'}{NA} = \frac{\sin \varphi}{\sin \psi} = n_1;$$

$$NA' = n_1 NA.$$

Аналогично находим $MB' = n_1 MB$.

Смещение линзы l' , измеренное в воде, также следует умножить на n_1 . Итак, расстояния D_2 и l_2 для линзы, находящейся в воде, равны

$$D_2 = n_1 (NA + MB) + NM$$

или

$$D_2 = n_1 (D' - b) + b;$$

$$l_2 = n_1 l',$$

где b — толщина кюветы;

вычислить по формуле (12) фокусное расстояние линзы в воде f_2 ;

опыт повторить еще два раза, меняя D' , и полученные результаты занести в таблицу;

найти среднее значение фокусного расстояния \bar{f}_2 ;

подставляя в формулу (9) данные первого и второго опытов и решая совместно полученные таким образом уравнения, вычислить значение показателя преломления \bar{n} стекла:

$$\bar{n} = \frac{n_1 (\bar{f}_2 - f_1)}{\bar{f}_2 - f_1 n_1}.$$

3. Оценка погрешности измерений:

вычислить среднеквадратичные погрешности результатов средних арифметических \bar{f}_1 и \bar{f}_2 :

$$S_f = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta f_i)^2}{n(n-1)}}$$

где n — число измерений;

найти абсолютные погрешности $\Delta \bar{f}_1$ и $\Delta \bar{f}_2$ результатов серии измерений

$$\Delta \bar{f} = t_{\alpha, n} S_f,$$

где $t_{\alpha, n} = 4,3$ — коэффициент Стьюдента для надежности $\alpha = 0,95$ и $n = 3$;

оценить границы доверительного интервала для n , как результата косвенных измерений:

$$\Delta n = \sqrt{\left(\frac{\partial n}{\partial \bar{f}_1}\right)^2 (\Delta \bar{f}_1)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial \bar{f}_2}\right)^2 (\Delta \bar{f}_2)^2} =$$

$$= \frac{n_1 (n_1 - 1)}{(\bar{f}_2 - \bar{f}_1 n_1)^2} \sqrt{\bar{f}_2^2 (\Delta \bar{f}_1)^2 + \bar{f}_1^2 (\Delta \bar{f}_2)^2};$$

окончательный результат записать в виде

$$n = \bar{n} \pm \Delta n;$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta n}{\bar{n}} \cdot 100\%.$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте основные законы геометрической оптики.
2. Сформулируйте принцип Ферма.
3. Дать определение фокусного расстояния линзы, оптической силы линзы.
4. Какие линзы называют тонкими?
5. Выведите формулу тонкой линзы.
6. В чем заключается способ Бесселя для определения фокусного расстояния линзы?
7. Объяснить введение поправок при определении фокусного расстояния линзы в воде.
8. Почему при определении фокусного расстояния линзы по способу Бесселя необходимо задавать расстояние между источником света и экраном $D > 4f$?
9. Как надо расположить предмет относительно линзы, чтобы получить увеличенное прямое изображение предмета; уменьшенное перевернутое изображение?
10. Вывести формулу для определения абсолютной погрешности.

ЛИТЕРАТУРА

- Ландсберг Г. С. Оптика, М., Гостехиздат, 1954, § 1, 59, 60, 66, 67.
Путилов К. А., Фабрикант В. А. Курс физики, т. 3, М. Физматгиз, 1963, § 8, 9, 14.
Савельев И. В. Курс общей физики, т. 3, М., «Наука», 1971, § 11, 12.

Составители:

*Зинаида Ахатовна Куликова,
Альбина Николаевна Пещенко*

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

Задания № 1, 2

Редактор И. М. Чулкова
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор О. В. Удачина

Сдано в набор 17.6.77 г. Подписано к печати 9.1.78 г.
Формат 60×84¹/₁₆. Бумага оберточная белая. Физ. п. л. 1,25.
Усл. п. л. 1,16. Тираж 2000 экз. Бесплатно. Заказ № 925.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт им. академика С. П. Королева,
Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Типография УЭЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.