

Цель работы: определение фокусных расстояний тонких сферических линз и зеркал, знакомление с методами построения простейших оптических систем и получения изображений в них.

Приборы и оборудование: оптическая скамья, осветитель, большой и малый экраны, собирающая и рассеивающая линзы, выпуклое и вогнутое зеркало, линейка.

Введение

Еще в античные времена (Евклид, 300г. до н.э., другие авторы) на основании повседневного опыта были сформулированы положения, считающиеся долгое время неоспоримыми:

- закон прямолинейного распространения света;
- закон независимости световых пучков;
- закон отражения света от зеркальной поверхности;
- закон преломления света на границе двух прозрачных сред.

В новое время ряд экспериментов, проведенных множеством исследователей для выяснения природы света, показал ограниченный характер применимости этих законов. Явления дифракции (Гримальди, 1665 г., Френель, Фраунгофер, 1810-1820 гг.), дисперсии (Ньютон, 1675 г.), интерференции (Юнг, Френель, 1800-1805 гг.) явно не вписывались в рамки классической науки того времени. Долгие споры сторонников волновой и корпускулярной теорий света окончились уже в наше время пониманием дуализма (двойственности) природы волны-частицы, проявляющейся в разных условиях преимущественно одни, либо другие свойства. Законы пришлось уточнить:

- свет распространяется прямолинейно в *однородной* среде;
- независимыми можно считать *некогерентные* световые пучки;
- скорость света в среде (и, следовательно, показатель преломления) *зависит от длины световой волны* и т. д.

В таком, дополненном, виде законы геометрической оптики оказались весьма удобным инструментом при создании простейших оптических систем. Возникающие вследствие волновых явлений нежелательные эффекты можно компенсировать, либо в ряде случаев ими вообще можно пренебречь.

Пример применения такого подхода – использование сферических тонких линз. Как известно, для таких линз органически присущи хроматическая и сферическая аберрации. Однако применяя сложные линзы-ахроматы и используя для работы только параксиальные световые пучки [1, 2, 3], эти виды аберрации можно скомпенсировать.

Порядок выполнения работы

В данной работе измерения выполняются на оптической скамье, вдоль которой могут перемещаться рейтеры (стойки) с линзами, экранами, зеркалами. Перед началом измерений центры всех линз нужно установить на одной высоте и проследить за тем, чтобы оптические оси линз были параллельны оптической скамье. При измерениях расстояния между элементами оптической системы отсчитываются по линейке, прислаиваемой вдоль оптической скамьи. Наводка изображений на резкость производится «на глаз». Чтобы уменьшить возникающие при этом погрешности, каждое измерение рекомендуется выполнять несколько (не менее трех) раз, а результаты усреднить.

Упражнение 1

Определение фокусного расстояния собирающей линзы.

Первый способ. Фокусное расстояние тонкой собирающей линзы можно определить исходя из известной формулы линзы:

$$1/F = 1/d + 1/f,$$

где F – фокусное расстояние линзы,

d – расстояние от предмета до плоскости линзы,

f – расстояние от плоскости линзы до изображения.

Схема опыта приведена на рис. 1. При измерениях на одном конце скамьи устанавливается осветитель, в окно которого вставлена прозрачная шкала, играющая роль предмета S . На некотором расстоянии перед ней (но не очень близко!) помещают собирающую линзу G . Перемещая вдоль скамьи расположенный за линзой экран, добиваются, чтобы на нем получилось четкое изображение P шкалы. При

фиксированных положениях предмета и линзы измерения выполняются несколько раз. Затем изменяют положение линзы и вновь повторяют измерения.

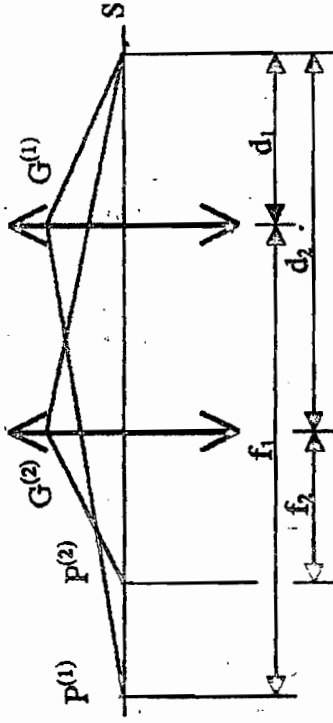


Рис. 1.

Рекомендуется часть упражнения выполнить при уменьшенном, а часть – при увеличенном изображениях. Результаты измерений записывайте в таблицу. Вычислите ошибку измерений.

Второй способ. Пусть расстояние L между предметом S и экраном превышает $4F$. Тогда найдутся (рис. 2) два таких положения линзы ($G^{(1)}, G^{(2)}$), при которых на экране получатся отчетливые изображения $P^{(1)}, P^{(2)}$ предмета (одно – уменьшенное, другое – увеличенное).

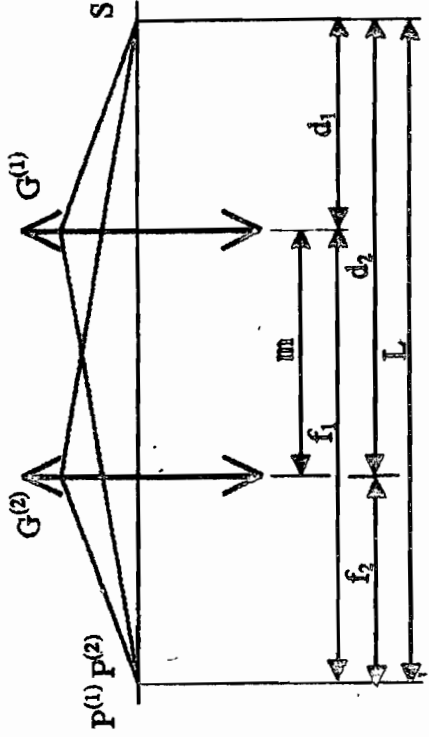


Рис. 2.

Из обратности хода световых лучей, проходящих через тонкую линзу, следует, что расстояния $f_2 = d_1$, $d_2 = f_1$; тогда $F = (L^2 \cdot m^2) / (4L)$, (выведите соотношение самостоятельно). В этом случае результаты получатся более точным, так как при измерениях f и d приходится отсчитывать расстояния от плоскости линз, положение которой определится весьма приблизительно, а при измерениях m фиксируется смещение вдоль скамьи любой выбранной на основании стойки точки (для чего, например, достаточно отметить мелом на скамье первоначальное положение стойки).

Опыт проведите при нескольких расстояниях L и при каждом повторите несколько раз. Результаты измерений запишите в таблицу. Вычислите ошибку измерений, сравните с ошибкой измерения первым способом.

Упражнение 2

Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы.

Опыты проводятся с использованием собирающей линзы с известным (по результатам первого задания) фокусным расстоянием. Схема опыта приведена на рис. 3.

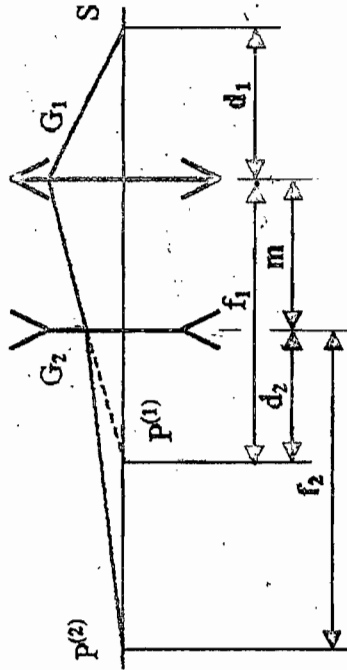


Рис. 3.

Расстояние f_1 определяется по формуле линзы; $d_2 = f_1 - m$. Фокусное расстояние линзы G_2 находится по найденной величине d_2 и измеренному расстоянию f_2 . Измерения проводите несколько раз, меняя расстояния d_1 и m . Результаты измерений и расчетов оформите в виде

таблицы. Оцените ошибку измерения фокусного расстояния рассеивающей линзы.

Упражнение 3

Определение фокусного расстояния вогнутого зеркала.

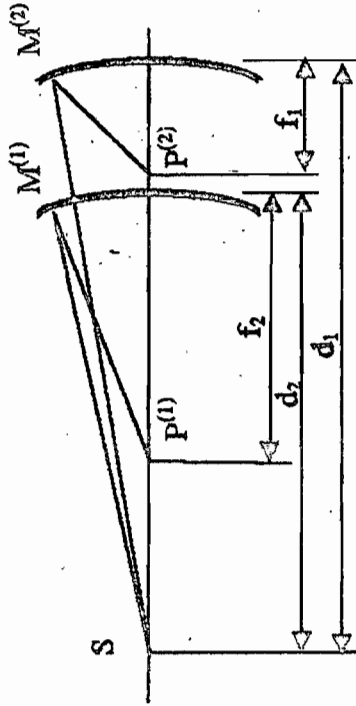


Рис. 4.

Измерения и расчеты проводятся аналогично первому способу первого упражнения. Схема опыта приведена на рис. 4. Результаты оформите в виде таблицы. Найдите ошибку измерения фокусного расстояния вогнутого зеркала.

Упражнение 4

Определение фокусного расстояния выпуклого зеркала.

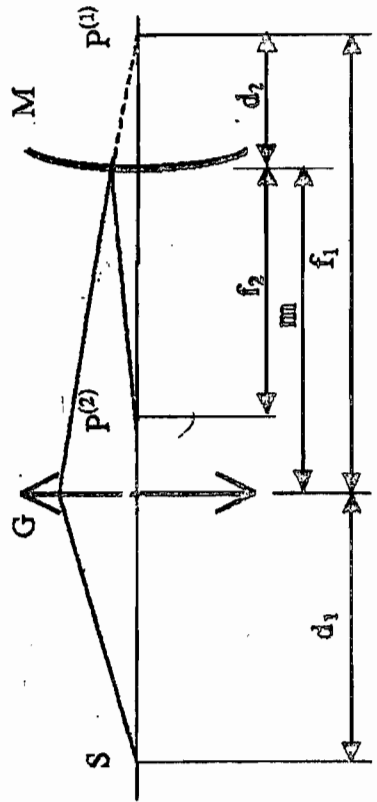


Рис. 5.

Измерения и расчеты проводятся аналогично второму заданию. Схема опыта приведена на рис. 5. Результаты измерений и расчетов оформите в виде таблицы. Найдите ошибку измерения фокусного расстояния выпуклого зеркала.

Вопросы к допг:ку

1. Дайте определения главной и побочной оптической оси линзы, фокуса, фокальной плоскости.
2. Охарактеризуйте изображения, получаемые с использованием различных линз и зеркал.

Вопросы к защите

1. Дайте определение тонкой линзы. Чем отличается от нее толстая линза?
2. Выведите формулу тонкой линзы.
3. Рассчитайте угловое увеличение телескопа. Чем отличается от него подзорная труба?
4. Обоснуйте, в каких из проделанных вами опытах и почему может оказаться затруднительным определение расстояния до резкого изображения.
5. Какие виды аберрации Вы знаете? Чем они обусловлены? Как их можно компенсировать?

Литература

1. Физика, 11 класс, под ред. Пинского А.А., М., "Просвещение", 1995, §§ 39, 40, 42-44, 46, 47.
2. Элементарный учебник физики, под ред. Ландсберга Г.С., М., "Наука", 1995, т. 3 гл. 10, 11.
3. Ландсберг Г.С. Оптика, М., "Наука", 1976, гл. 12 §§ 68, 69, 71-73, 76, 79, гл. 13 §§ 82, 86, гл. 14 §§ 90-93, 95.

ТЕПЛОТА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Удельная теплоемкость c при 20°C в $\text{кал}/(\text{г} \cdot \text{град})$ и удельная теплоты плавления q в $\text{кал}/\text{г}$ (указано: вещество-с-г)

Алюминий-0,21-76,8/ Железо-0,119-23...33/ Латунь-0,0917- / Лед-0,50-79,7/ Вода-1,0- / Мель-0,094-42/ Сталь-0,11-49.

Удельная теплота парообразования λ в $\text{кал}/\text{г}$ при температуре кипения t в $^\circ\text{C}$ и нормальном давлении (указано: вещество-т- λ)

Азот -195,81 -47,6/ Вода-100,0-539,7/ Водород- -252,78 -108/ Керосин-150...300-50...60/ Кислород- -182,97 -50,9/ Ртуть- 356,58-68/ Эфир этиловый- 34,6-83,8.

Коэффициент α линейного расширения в $1/\text{град}$ для температуры около 20°C (указано: вещество- $\alpha \cdot 10^6$)

Алюминий-22,9/ Бронза-17,5/ Дуралюмин-22,6/ Сталь малоуглеродистая -11,9/ Стекло обычное-8,3/ Чугун-10,4.

Поверхностное натяжение σ воды в $\text{дин}/\text{см}$ при различных температурах t $^\circ\text{C}$ (указано : t- σ)

0° - 75/ 30° - 71,18/ 60° - 66,18/ 90° - 60,75/ 120° - 54,9

Постоянные Ван-дер-Ваальса веществ a в $\text{Н} \cdot \text{м}^2/\text{моль}^2$ и b в $\text{см}^3/\text{моль}$ (указано: вещество-а- b)

Водород-0,02484-26,635/ Гелий-0,00344-23,599/ Азот-0,1368-38,607/ Кислород-0,1375-31,662/ Углекислый газ-0,3652-42,792/ Воздух-1,3247-114,09

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Напряженность E электрического поля в атмосфере Земли в $\text{В}/\text{м}$ в зависимости от высоты h в км (указано: h - E)

0 -130/ $0,5$ -50/ $1,5$ -30/ 3 -20/ 6 -10/ 12 -2,5

Искровые промежутки b в мм для воздуха при давлении 760 мм рт. ст. (указано: напряжение в кВ - b)

Электроды- два острия

20 -15,5/ 40 -45,5/ 100 -220/ 200 -410/ 300 -600.

Электроды- два шара диаметром 5 см

20 -5,8/ 40 -13/ 100 -45/ 200 -262/ 300 -530.

Диэлектрическая проницаемость ϵ некоторых веществ (указано: вещество- ϵ)

Гелий-1,000072/ Водород-1,00027/ Кислород-1,00055/ Азот-1,00060/ Воздух-1,00058/ Парафин-1,9...2,2/ Полистирол-2,4...2,6/ Плавленый кварц-4,5/ Алмаз-5,6...5,8/ Сегнетова соль-500...600.

Митягтная проницаемость μ некоторых веществ (указано: вещество- μ)
Парамагнитные вещества

Азот-1,000013/ Алюминий-1,000023/ Воздух-1,000038/ Вольфрам-1000175/ Кислород-1,000017/ Платина-1,000253/ Эбонит-1,000014