

## Лабораторная работа №

### ИССЛЕДОВАНИЕ СФЕРИЧЕСКОЙ АБЕРРАЦИИ

Приборы и принадлежности: оптическая скамья с экраном и держателем для линзы, осветитель с электрической лампочкой, короткофокусная плосковыпуклая линза, четыре диафрагмы, масштабная линейка.

Цель работы – определить продольную и поперечную сферические aberrации, а также получить кривую сферической aberrации короткофокусной плосковыпуклой линзы для двух ее положений: 1) плоской стороной к падающему параллельным лучам; 2) выпуклой.

#### Введение

Аберрацией называют погрешности, создаваемые оптической системой изображения, вызывающие ухудшение резкости, нарушение подобия между изображением и объектом. Если используется немонохроматический свет, то вследствие дисперсии изображение может быть еще и окрашенным.

Для того, чтобы линза(или система линз) давала отчетливо неискаженное изображения предмета, необходимо соблюдение следующих основных условий:

1. Все лучи, исходящие из любой точки А предмета (рис. 1), должны сходиться после преломления в линзе в одной точки изображения (условие стигматичности).

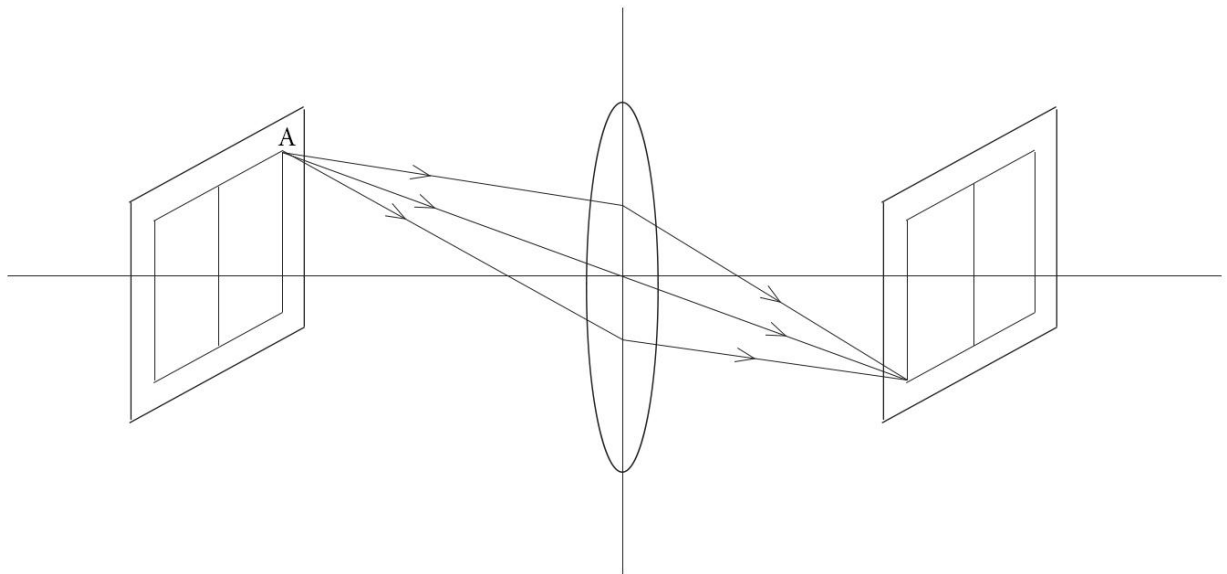


Рис. 1

2. Все точки изображения, полученного от плоского предмета, перпендикулярного к оптической оси линзы, должны лежать также в плоскости, перпендикулярной к оси линзы.

3. Масштаб изображения (увеличение) должен сохраняться постоянным в пределах всего поля изображения (условие постоянства масштаба).

4. Невыполнение этих условий для лучей всех длин волн приводит к aberrациям, ухудшающим качество изображения.

Например, в простых линзах для широких монохроматических пучков наблюдается нарушение условия стигматичности. Вследствие этого для точек, лежащих на оси линзы, имеет место сферическая aberrация, а для точек вне оси - aberrация кома.

### Описание приборов и методов измерений

Пусть на двояковыпуклую стеклянную линзу падает широкий пучок лучей, параллельных главной оптической оси (рис. 2). Только лучи  $OO$  узкого параксиального пучка после преломления пересекутся в точке  $F'_0$  - главном фокусе линзы. Лучи  $BB$ , падающие на линзу на расстоянии  $h$  от оптической оси, после преломления пересекутся в точке  $F'_0$ .

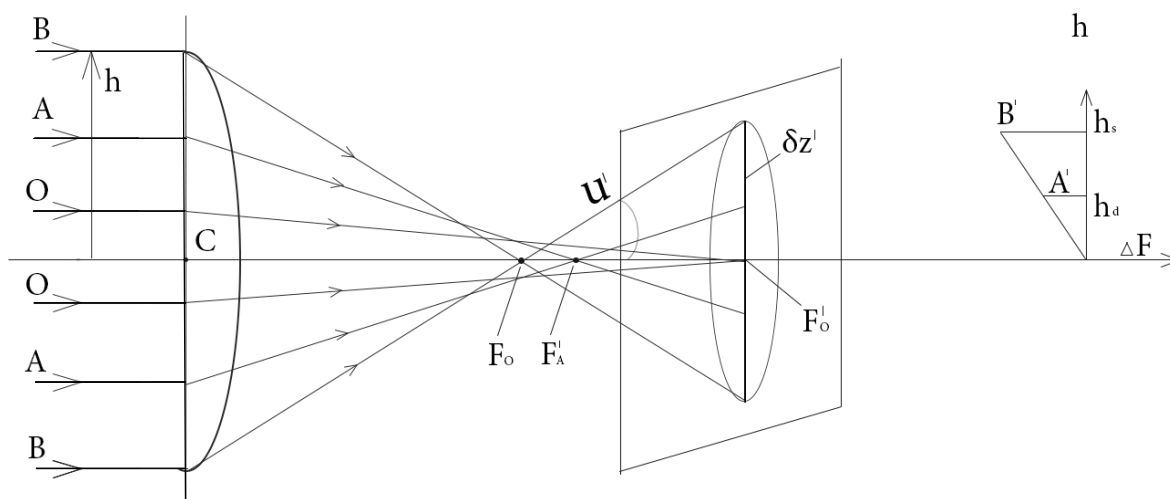


Рис. 2

Таким образом, на экране, помещенном за линзой, изображение светящейся точки получится в виде размытого кружка, а изображение предмета - нерезким, расплывчатым. Этот недостаток линзы носит название сферической aberrации. Различают продольную и поперечную сферические aberrации.

За меру продольной aberrации принимается расстояние

$$\Delta F' =$$

по оси системы от изображения, даваемого параксиальными лучами, до изображения, даваемого лучами кольцевой зоны радиуса  $h$ .

Поперечная сферическая aberrация для той же зоны измеряется радиусом кружка рассеяния  $\delta z'$ , в плоскости, перпендикулярной оси и проходящей через точку  $F'_0$ <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Нарушается гомоцентричность пучка.

Из рис. 2:

$$\delta z' = \Delta F' \operatorname{tg} u' \quad (1)$$

где  $u'$  – угол, образуемый лучами, проходящими через рассматриваемую зону, с осью системы

$$\operatorname{tg} u' = \frac{h}{f'} \quad (2)$$

$f'$  – заднее фокусное расстояние линзы.

Сферическая aberrация быстро уменьшается с уменьшением радиуса зоны. Приближенность считают

$$\begin{aligned} \Delta F &= ah^2 + bh^4 + \dots \\ \delta z &= a_1 h^2 + b_1 h^4 + \dots \quad (3) \end{aligned}$$

Коэффициенты  $a$ ,  $b$ ,  $a_1$ ,  $b_1$  и т. д. зависят от формы и материала линзы, от положения предмета и от длины волны  $\lambda$ .

При наличии сферической aberrации реальная волновая поверхность отступает от сферической поверхности. Величина этого отступления называется волновой сферической aberrацией. Согласно критерию Релея при волновой сферической aberrацией, не превышающей  $1/4\lambda$ , качество даваемого оптической системой изображения практически не отличается от идеального.

Для исправления оптических систем в отношении сферической aberrации применяются специально рассчитанные комбинации двух или более линз с положительной и отрицательной (продольной) сферическими aberrациями.

Полную характеристику сферической aberrации даёт график продольной сферической aberrации, на котором по оси ординат откладывается величина  $h$  различных лучей, а по оси абсцисс – соответствующие этим величинам  $h$  значения  $\Delta F'$ . На рис. 2 ось абсцисс совпадает с главной осью линзы. Начало координат взято в точке схождения узкого параксиального прерасевого пучка лучей  $F'_0$ . Величина сферическая aberrация лучей  $ВВ$ , падающих на линзу на расстоянии  $h$  от оси, на графике изображается точкой  $В'$ . Для луча  $А$ , падающего на ином расстоянии, такой точки является  $А'$ . Построение всей кривой aberrации отрицательна.

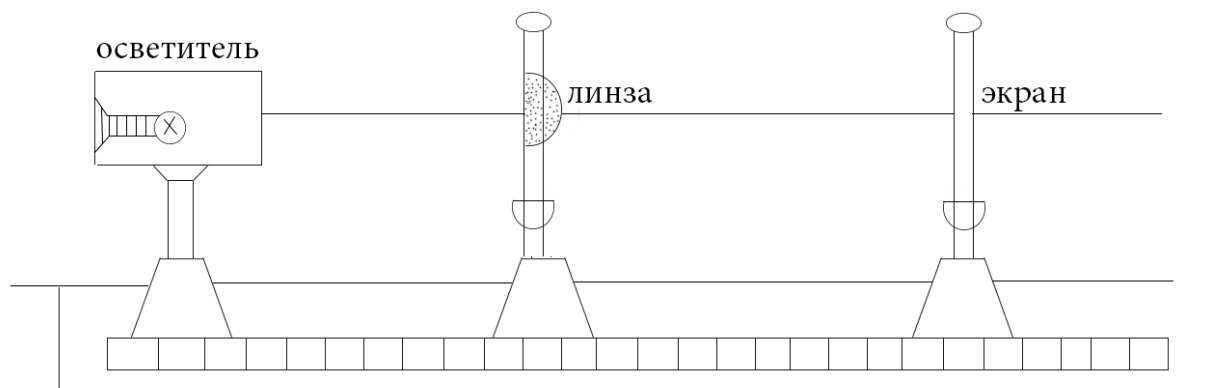


Рис. 3

Установка представляет собой оптическую скамью, для которой укреплены линза (рис. 3) и экран, перемещающийся вдоль скамьи. Положение экрана может быть отсчитано по шкале. Светящимся предметом является нить лампочки накаливания. Осветитель с лампочкой следует поместить на расстоянии 3-4 м от линзы. Тогда для короткофокусной линзы падающие лучи можно считать практически параллельными. Нить лампочки должна лежать на главной оптической оси линзы.

Закрыв линзу диафрагмой с небольшим круглым отверстием у главной оси линзы, получим на экране резкое изображение светящегося предмета. Это положение экрана -  $F'_0$ . Обозначим соответствующий отчет по шкале прибора буквой  $K_0$ . Закрыв линзу диафрагмой с двумя отверстиями так, чтобы ось линзы проходила посередине между отверстиями, снова перемещением экрана получим резкое изображение. Отсчет положения экрана  $K$  определяет точку схождения на главной оси лучей, падающих на линзу на расстоянии  $h$  от оси. Здесь  $h$  равно половине расстояния между отверстиями на диафрагме. Разность отсчетов  $K - K_0 = \Delta F'$  и значение  $h$  определяют одну точку на графике сферической аберрации. Повторив измерения с диафрагмами с другим значением  $h$ , получим несколько точек, по которым строится кривая.

Фокусировка изображения при диафрагме с двумя отверстиями облегчается тем, что два пучка лучей образуют на экране два изображения, сходящихся в одно только при искомом положении экрана.

### Порядок выполнения работы

1. Поставить осветитель на расстоянии 1-2 м от скамьи, расположив нить лампочки на главной оптической оси линзы.
2. Повернуть линзу плоской стороной к источнику..
3. Перемещая экран, получить четкое изображение нити лампочки. Отсчитать по шкале положение экрана  $K_0$ . Сбив фокусировку, повторить установку экрана пять раз, и из пяти отсчетов взять для  $K_0$  среднее.
4. Отсчитать положение экрана  $K$ .

5. Повторять этот опыт с другими расстоянием между отверстиями.

6. Измерить масштабной линейкой расстояние между центрами отверстий на диафрагмах, равные  $2h$ . Все результаты записать в отчетную таблицу.

Плосковыпуклая линза  $f' = +$  \_\_\_\_\_

1. Плоская поверхность линзы обращена к источнику.

Расстояние между отверстиями диафрагмы $2h$ (мм)		0			
Отсчеты положения экрана $K$ (мм)	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
Среднее					
$\Delta F' = K - K_0$ (мм)		0			
Координаты луча $h$ (мм)		0			
$\delta Z'$ (мм)					

### Обработка результатов измерений

Результаты всех измерений должны быть записаны в отчетную таблицу. Вычислив среднее значение отсчетов  $K$ , найти разности  $\Delta F' = K - K_0$ , где  $K_0$  положение крапа для нулевого луча.

По найденным значениям  $h$  и  $\Delta$  построить графики сферической аберрации для двух положений линзы и приложить к отчету. Обе кривые начертить в одной системе координат.

При построении графика необходимо:

- на оси координат нанести масштаб;
- выбрать масштаб по осям так, чтобы график помещался, приблизительно, в квадрате;
- указать, какие величины и в каких единицах откладываются по осям.

По формуле (2) для известных значений  $h$  и  $f'$  вычислить величины поперечной сферической аберрации  $\delta Z'$ .

### Вопросы

- Когда возникает сферическая аберрация?
- Какие факторы определяют величину сферической аберрации?
- Что такое продольная сферическая аберрация?
- Как вычисляется поперечная сферическая аберрация?
- Каким способом можно уменьшить сферическую аберрацию?
- Какие линзы имеют положительную сферическую аберрацию?

7. Совпадает ли обе полученные вами кривые?
8. Какие другие aberrации линз вам известны?
9. Чем отличается кома от сферической aberrации?
10. Какие объективы называют апланатами?