

Изучение центрированных оптических систем

Гончаров Марк

16 февраля 2021 г.

Аннотация

В работе используются: оптическая скамья, набор линз, экран, осветитель со шкалой, зрительная трубка, диафрагма, линейка

1 Теория

1. Метод Аббе

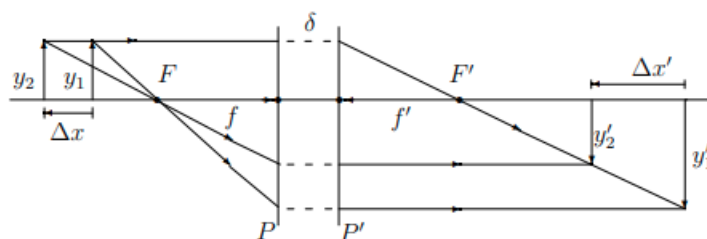


Рис. 1: Измерение фокусного расстояния по методу Аббе

Можно определить фокусное расстояние, перемещая предмет, по формуле

$$f = \frac{\Delta x}{\Delta(y/y')} = \frac{\Delta x'}{\Delta(y'/y)}.$$

Для повышения точности стоит выбирать большие смещения, чтобы увеличение заметно отличалось

2. Метод Бесселя

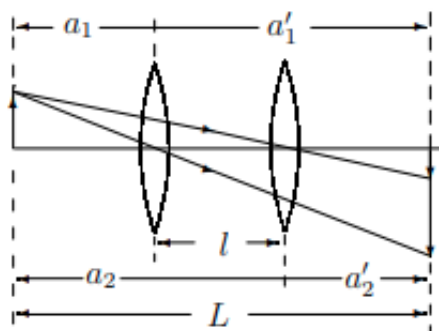


Рис. 2: Измерение фокусного расстояния по методу Бесселя

Итоговая используемая формула

$$f = \frac{L^2 - l^2}{4L}.$$

То есть достаточно измерить L , l , при которых на экране видны чёткие изображения.

3. Измерение фокусного расстояния тонкой собирающей линзы

$$f = \frac{ab}{b+a}$$

4. Сферическая абберация

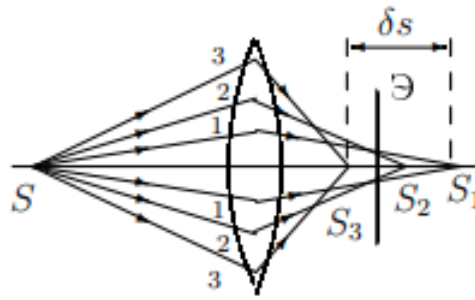


Рис. 3: Сферическая абберация

Продольную абберацию линзы считаем, как

$$\delta s(r) = s(r) - s(0).$$

По наклону прямой далее найдём показатель преломления стекла линзы n .

5. Хроматическая абберация

Она считается, как

$$\delta f_{\text{hr}} = f_F - f_C.$$

Число Аббе ν по формуле

$$\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

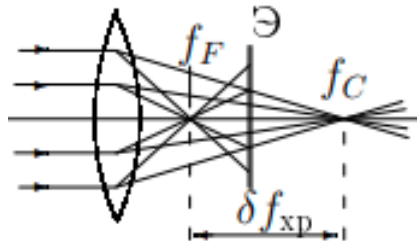


Рис. 4: Хроматическая абберация

2 Выполнение

1. Сначала определили с помощью комнатного света, какие линзы собирающие, какие рассеивающие.
2. Определяем с помощью настроенной на бесконечность зрительной трубы фокусное расстояние лизны. Так будет при чётком изображении сетки у осветиля
3. Для системы: собирающая + рассеивающая определяем фокусное расстояние рассеивающей
Это делаем с помощью формулы $f = l - a_0$.

В нашем случае без рас/линзы $a_0 = 31.4 \pm 0.2\text{см}$, а уже системой $l = 24 \pm 0.5\text{см}$, тогда $f = -7.4 \pm 0.7\text{см}$.

Погрешности взяты из соображений: 0.1см - погрешность линейки и измерений. Далее погрешность на-стройки изображения. При движении зрительной трубы на 5 или более сантиметров чуть сдвигалось фо-кусное расстояние. Поэтому из неидеальности трубы берём ещё 5% относительной погрешности минимум.

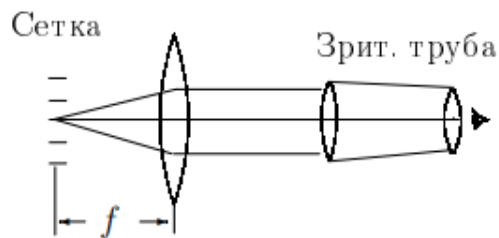


Рис. 5: Собирающая линза

Таблица 1: Собирающие линзы

N	Фокусное расстояние, см
1	7.2 ± 0.3
2	9.1 ± 0.5
3	16 ± 1
4	22 ± 1

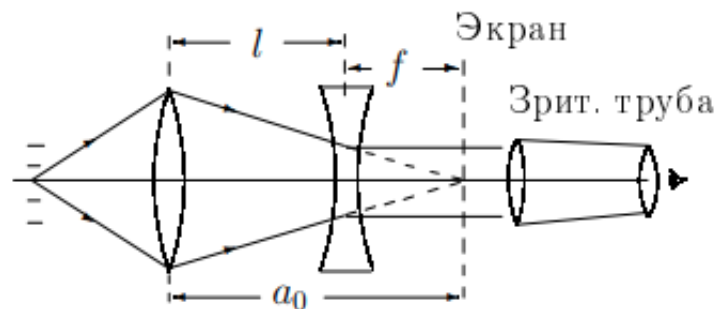


Рис. 6: Рассеивающая линза

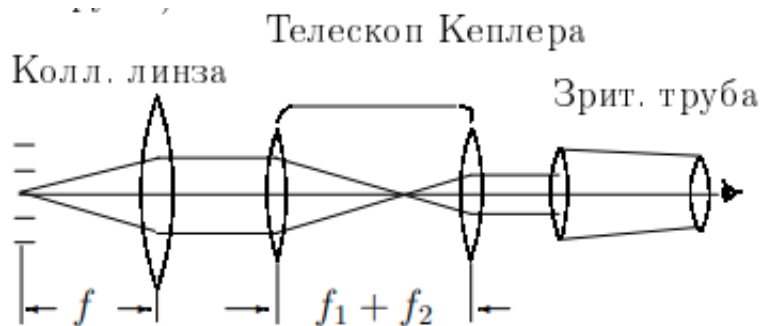


Рис. 7: Телескоп Кеплера

4. Первый вид телескопов, которые мы рассмотрели - телескоп Кеплера.

Эксперимент удался с линзами небольшими фокусными расстояниями: (1) и (2), для других пар он был менее удачным. Коллиматором являлась линза (3) Увеличение, которое мы планируем получать теоретически $G_1 = \frac{f_1}{f_2} = 1.3 \pm 0.1$.

Наблюдали с помощью зрительной трубы $G_2 \approx \frac{14}{12} \Rightarrow G_2 = 1.17 \pm 0.08$ (погрешность - деление шкалы в зрительной трубе). Такие необычные расчёты связаны с тем, что шкала в зрительной трубе для моей установки имела 12 делений в миллиметре вместо 10. Наблюдались 12 делений в одной клетке.

С помощью диаметра изображения на экране $G_3 \approx Diam = 1.60 \pm 0.05$.

5. Эксперимент с трубой Галилея, увы, не удался.

6. В последние минуты выполнения лабораторной мы скооперировались и на установки Лёши смогли поставить эксперимент с микроскопом.

Таблица 2: Телескоп Кеплера

Способ	Увеличение
Теор	1.3 ± 0.1
Зр/труба	1.17 ± 0.8
Диам	1.60 ± 0.05

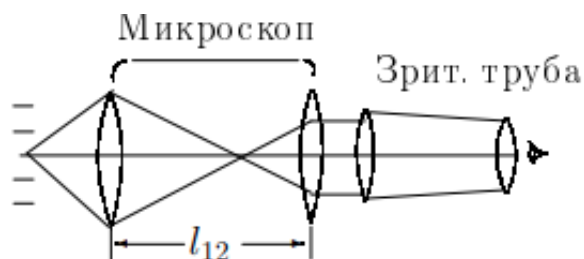


Рис. 8: Модель микроскопа

Для этого мы, сначала, отобрали у него линзы с фокусными расстояниями 10.2см и 8.2см. Далее, чтобы соорудить установку с увеличением $N = 5$ рассчитали

$$l_{12} = f_1 + f_2 - \frac{N \cdot f_1 f_2}{L} \approx 35.1 \text{ см},$$

где $L = 25 \text{ см}$ - расстояние наилучшего зрения нормального глаза.

Далее мы пытались найти расстояние, при котором наблюдалось чёткое изображение сетки. Опять считали h_2 - размер клетки в зрительной трубе. Итоговое увеличение считали, как

$$N_M = \frac{L}{f} \cdot \frac{h_2}{h_1} \approx 4.4.$$

Погрешность этого увеличения не была оценена, так как всё было слишком приблизительно, опыт не был поставлен полноценно.

3 Вывод

Мы познакомились с практическими способами определения фокусных расстояний линз.

Самая интересная проблема для рассмотрения есть разница в показаниях увеличения изображения телескопом Кеплера. При теоретическом расчёте и с помощью зрительной трубы имеем примерно одинаковые показания. Тогда как оценкой диаметра - совсем другое: 1.6 вместо 1.2. Это связано с тем, что неидеально поставил систему. При движении экрана (ближе-дальше) имелось более-менее чёткое изображение всегда, диаметр изменялся как 1.5-1.7 на расстоянии метра.

В это время зрительная труба тоже не располагает к доверию. Более того, теоретический расчёт через фокусы тоже проводился при помощи именно зрительной трубы. Так как фокусы в первом опыте считали, используя её.

Итог: я бы доверял чуть больше нашим глазам, чётким изображениям на экране, нежели на старой, грязной зрительной трубе.