

4.1.2 (5.2). МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ УВЕЛИЧЕНИЯ

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ

20-11-2017 г.

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

Экспериментальная установка. Набор линз, осветитель, экран, зрительная труба, необходимые для моделирования оптических приборов, устанавливаются при помощи рейтеров на оптической скамье. Предметом служит миллиметровая шкала или сетка, нанесённая на матовое стекло осветителя.

Центрирование линз. При юстировке любых оптических приборов важно правильно центрировать входящие в систему линзы. Проходя через плохо отцентрированную систему линз, лучи света отклоняются в сторону и могут вообще не доходить до глаза наблюдателя. Центрировать линзы следует как по высоте, так и в поперечном направлении (для чего линзы крепятся на поперечных салазках). Подробно с правилами центровки Вы познакомитесь при выполнении задания.

Юстировка коллиматора. При составлении моделей телескопических систем необходимо иметь удалённый объект. В качестве такого объекта обычно используется бесконечно удалённое изображение предмета (шкалы осветителя), установленного в фокальной плоскости положительной линзы. Лучи, выходящие из одной точки предмета, пройдя через линзу, образуют параллельный пучок. Устройство такого рода называется *коллиматором*.

Для юстировки коллиматора удобно использовать вспомогательную зрительную трубу, предварительно настроенную на бесконечность. Передвигая линзу коллиматора вдоль скамьи, добиваются появления резкого изображения предмета в окуляре зрительной трубы.

Измерение фокусных расстояний линз. Для того, чтобы сознательно моделировать оптические инструменты, нужно знать фокусные расстояния линз, которые могут быть использованы в качестве объектива или окуляра модели. Фокусные расстояния тонких положительных линз проще всего найти с помощью вспомогательной зрительной трубы, установленной на бесконечность. Работа выполняется так же, как при юстировке коллиматора.

При определении фокусного расстояния отрицательной линзы предметом служит изображение шкалы, которое даёт вспомогательная положительная линза.

ЗАДАНИЕ

В работе предлагается определить фокусные расстояния линз, смоделировать телескоп Галилея, телескоп Кеплера, микроскоп и определить их увеличения.

**Не следует касаться поверхности линз пальцами,
потому что царапины, пылинки или жирные пятна
на стекле рассеивают световые лучи
и ухудшают чёткость изображения.**

I. Центрировка элементов оптической системы

1. Из имеющегося набора отберите собирающие линзы; для этого, держа линзу в одной руке, получите на ладони другой изображение любого удалённого объекта (окна, лампочки) и оцените на глаз фокусное расстояние. Линза, которая не даёт действительного изображения, — рассеивающая. Запишите номера линз и приближённые значения фокусных расстояний.
2. Соберите и отцентрируйте установку. Для этого на одном конце оптической скамьи установите осветитель с сеткой (предмет) и вплотную к нему — экран на рейтере. При юстировке системы необходимо соблюдать следующие простые правила: все винты рейтеров на скамье и винты поперечных салазок должны находиться с одной стороны оптической скамьи (со стороны экспериментатора). После всякого перемещения рейтеров вдоль скамьи они должны надёжно закрепляться винтами.

Отрегулируйте высоту экрана так, чтобы его центр совпадал с центром яркого круглого пятна от осветителя. Эта операция должна выполняться при плотно затянутом винте, закрепляющем рейтер на оптической скамье.

Для перемещения рейтера вдоль скамьи винт следует только слегка ослабить, чтобы не допустить перпендикулярного скамье смещения центра. Перемещая рейтер, прижимайте его к скамье со стороны, противоположной винту.

3. Отодвиньте экран от осветителя и разместите в промежутке рейтер с одной из собирающих линз.

Передвигая линзу и экран вдоль скамьи, добейтесь чёткого изображения края диафрагмы осветителя или миллиметровой шкалы на экране. Закрепите рейтеры. Перемещая линзу поперёк оптической оси, приведите центр изображения к центру экрана.

Оптические оси линз устанавливаются параллельно ребру оптической скамьи на глаз.

4. Отцентрируйте все положительные линзы, добавляя их последовательно к системе (не убирая уже отцентрированные).

Для центрировки рассеивающих линз воспользуйтесь уже отцентрированной положительной линзой, расположив её впереди отрицательной. Способ центрировки рассеивающих линз продумайте самостоятельно.

II. Определение фокусных расстояний тонких линз с помощью зрительной трубы

1. Для определения фокусных расстояний линз с помощью зрительной трубы необходимо настроить трубу на бесконечность. Эту настройку проще всего осуществить, наведя трубу на удалённый объект (например, на окно в конце длинного коридора). Предварительно вращением глазной линзы окуляра трубы настройтесь на резкое видение окулярной шкалы. Не следует настраивать трубу на предметы, расположенные за оконным стеклом, т.к. оконное стекло часто оказывается недостаточно плоским.

2. Установите собирающую линзу на расстоянии от предмета примерно равном фокусному (рис. 1). На небольшом расстоянии от линзы закрепите трубу, настроенную на бесконечность, и отцентрируйте её по высоте.

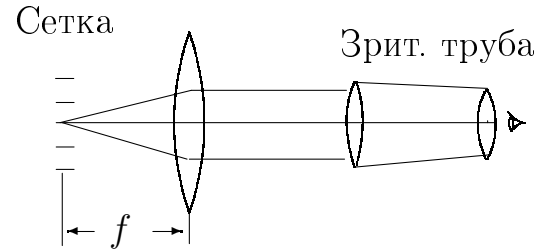


Рис. 1. Определение фокусного расстояния собирающей линзы

Диафрагма диаметром $d = 1$ см, надетая на ближнюю к осветителю линзу, сделает пучок *параксиальным* (близким к оси); при этом растёт чёткость изображения за счёт уменьшения сферической аберрации.

Передвигая линзу вдоль скамьи, получите в окуляре зрительной трубы изображение предмета — миллиметровой сетки. При этом расстояние между предметом и серединой тонкой линзы (между проточками на оправках) равно фокусному.

3. Поверните линзу другой стороной к источнику и повторите измерения фокусного расстояния. По результатам измерений сделайте вывод, можно ли считать линзу тонкой.
4. Измерьте фокусные расстояния остальных положительных линз при помощи зрительной трубы.

5. Для определения фокусного расстояния тонкой рассеивающей линзы сначала получите на экране увеличенное изображение сетки при помощи одной короткофокусной собирающей линзы. Измерьте расстояние a_0 между линзой и экраном. (Удобно взять $a_0 \simeq 30$ см.)

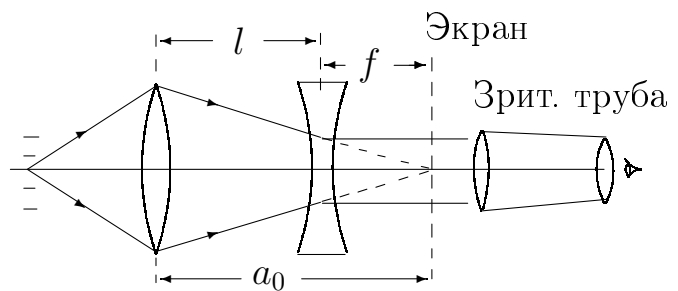


Рис. 2. Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы

6. Разместите сразу за экраном трубу, настроенную на бесконечность, и закрепите её. Уберите экран и поставьте на его место исследуемую рассеивающую

линзу (рис. 2). Отцентрируйте световой пучок с помощью листа бумаги. Перемещая рассеивающую линзу, найдите в окуляре зрительной трубы резкое изображение сетки.

Если изображение недостаточно чёткое — задиафрагмируйте ближнюю к осветителю линзу и заново проведите настройку с экраном. Подберите оптимальную яркость источника.

Измерив расстояние между линзами l , рассчитайте фокусное расстояние рассеивающей линзы: $f = l - a_0$.

7. Поверните рассеивающую линзу другой стороной к источнику и повторите измерения.

III. Телескоп Кеплера

1. Из имеющегося набора отберите две собирающих линзы для создания модели зрительной трубы Кеплера с увеличением 2–3 (рис. 3). В качестве коллиматора используйте линзу с фокусным расстоянием $f \simeq 15\text{--}20$ см (при этих условиях размер изображения предмета не будет превышать размера поля зрения вспомогательной зрительной трубы).
2. Настройте коллиматор при помощи вспомогательной зрительной трубы так же, как вы делали это при измерении фокусных расстояний. Чёткость изображения повысится, если надеть на коллиматор диафрагму диаметром 1 см и уменьшить яркость осветителя.

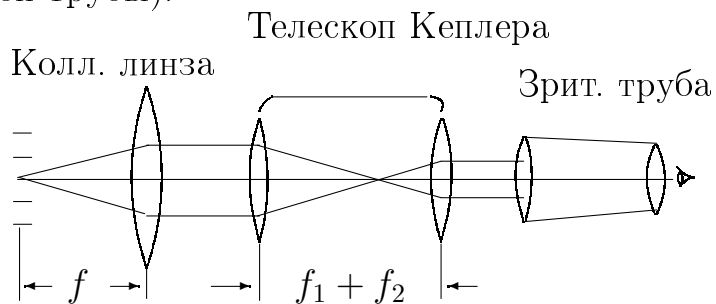


Рис. 3. Модель телескопа

Для последующих расчётов увеличения определите размер изображения h_1 одного миллиметра шкалы осветителя в делениях окулярной шкалы зрительной трубы. Очевидно, $h_1 = k\alpha_1$, где k — некоторый коэффициент, характеризующий увеличение зрительной трубы, α_1 — угловой размер изображения миллиметрового деления шкалы осветителя, наблюдаемого через коллиматор.

3. Соберите модель телескопа: линзу с максимальным фокусным расстоянием — объектив модели — расположите почти вплотную к линзе коллиматора, окуляр — на расстоянии, примерно равном сумме фокусных расстояний обеих линз телескопа.
4. Закрепите вспомогательную зрительную трубу за окуляром модели и отцентрируйте световое пятно при помощи листа бумаги.

Слегка перемещая окуляр модели вдоль оптической скамьи, получите изображение миллиметровой сетки в окуляре вспомогательной трубы.

Измерьте расстояние между объективом и окуляром телескопа и сравните его с суммой фокусных расстояний.

5. Рассчитайте увеличение исследуемой модели телескопа по формуле (1.48) через отношение фокусных расстояний:

$$N_T = \frac{\alpha'}{\alpha} = -\frac{f_1}{f_2} = -\frac{D_1}{D_2}$$

6. Для определения увеличения телескопа через отношение углов, под которыми объект виден через телескоп и без него, определите размер h_2 изображения миллиметрового деления шкалы осветителя в делениях окулярной шкалы вспомогательной трубы: $h_2 = k\alpha_2$. Здесь α_2 — угловой размер изображения миллиметрового деления шкалы при наблюдении через исследуемый телескоп.

Сравнив h_2 с величиной h_1 , полученной в п. III-2 без телескопа, определите увеличение телескопа, используя формулу

$$N_T = -\frac{h_2}{h_1}.$$

7. Определите увеличение телескопа, измерив диаметр D_1 оправы его объектива и диаметр D_2 изображения этой оправы в окуляре. Для этого отодвиньте вспомогательную трубу и расположите экран за окуляром телескопа. Снимите диафрагму с коллиматора и убедитесь, что световое пятно полностью освещает объектив телескопа и проходит через окуляр. Отодвигая экран от окуляра, получите на нём чёткое изображение оправы объектива. Поднеся к объективу какой-нибудь предмет (например, край линейки), убедитесь, что наблюдается именно изображение оправы объектива. Измерьте диаметр объектива и диаметр его изображения. Рассчитайте увеличение трубы через диаметры

Можно дополнительно определить увеличение, измерив расстояния от окуляра до объектива a и до экрана a' .

8. Сравните результаты измерения увеличения телескопа Кеплера, полученные тремя методами и объясните причины возможных расхождений.

IV. Труба Галилея

1. Переход от трубы Кеплера к трубе Галилея легко осуществить, если, не трогая коллиматора и объектива, вместо собирающей окулярной линзы телескопа поставить рассеивающую на расстоянии от объектива, равном разности фокусов объектива и окуляра. Дальнейшие измерения выполняются в том же порядке, что и в случае астрономической трубы (см. п.п. III-5 и -6, но не III-7!).

- Сравните результаты измерения увеличения телескопа Галилея, полученные разными методами.

V. Модель микроскопа

- Для создания модели микроскопа (рис. 4) с увеличением $N_M = 5$ отберите самые короткофокусные линзы из набора. Рассчитайте необходимый интервал Δ и длину тубуса l_{12} по формулам:

$$N_M = N_1 \cdot N_2 = -\frac{\Delta}{f_1} \cdot \frac{L}{f_2}, \quad \Delta = l_{12} - f_1 - f_2, \quad (3)$$

где $L = 25$ см — расстояние наилучшего зрения нормального глаза.

Расположите объектив и окуляр на соответствующем расстоянии l_{12} друг от друга (см. рис. 4) и закрепите рейтеры. Сфокусируйте модель микроскопа на сетку осветителя. Для этого, глядя невооружённым глазом в окуляр микроскопа, перемещайте осветитель вдоль оптической скамьи до тех пор, пока в окуляре не появится отчётливое увеличенное изображение сетки.

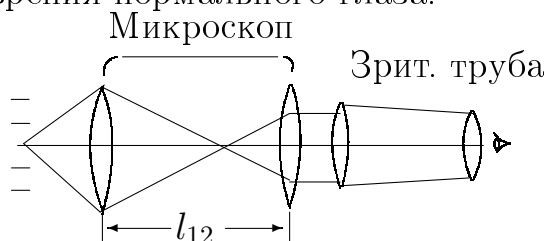


Рис. 4. Модель микроскопа

- Расположите за окуляром модели микроскопа зрительную трубу, настроенную на бесконечность. Слегка перемещая осветитель, получите в поле зрения трубы изображение миллиметровой сетки. Чёткость изображения повысится, если сделать пучок параксиальным и уменьшить яркость осветителя.
- Для экспериментального определения увеличения микроскопа измерьте величину изображения h_2 миллиметрового деления предметной шкалы в делениях окулярной шкалы зрительной трубы. Используя результат аналогичных измерений с коллиматорной линзой (h_1 в п. III-2), фокус f которой известен, рассчитайте увеличение микроскопа по формуле

$$N_M = -\frac{h_2 L}{h_1 f}.$$

Сравните результат с теоретическим расчётом по формуле (3).

- Оцените погрешности в определении увеличения всех моделей оптических приборов.

20-II-2017 г.