

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Лабораторная работа 4.1.2

Моделирование оптических приборов и определение их
увеличения

Выполнили:

Гисич Арсений

Данилов Иван

Б03-102

Долгопрудный

2023

1 Аннотация

В данной работе были изучены модели зрительных труб (астрономической трубы Кеплера и земной трубы Галилея) и микроскопа, различными способами были определены их увеличения.

2 Методика измерений

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 центрировки 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.

3 Используемое оборудование

1. оптическая скамья;
2. набор линз;
3. экран;
4. осветитель со шкалой;
5. зрительная труба;
6. диафрагма;
7. линейка.

4 Результаты измерений и обработка данных

4.1 Центрировка элементов оптической системы

Из набора линз требуется выбрать собирающие и рассеивающие линзы. Для этого нужно получить с помощью собирающих линз чёткое изображение удалённого объекта. Так как изображение получится в фокальной плоскости, можно оценить фокусное расстояние линзы. Результаты оценки фокусного расстояния линз представлены в таб. 1. Если не удаётся получить чёткое изображение, значит линза рассеивающая.

| Номер линзы | Фокусное расстояние, см |
|-------------|-------------------------|
| 1 | 6 |
| 2 | 10 |
| 3 | 20,5 |
| 4 | 30 |
| 5 | рассеивающая |

Таблица 1: Оценка фокусных расстояний линз

Для центрировки оптической системы сначала на оптическую скамью ставится одна собирающая линза. С помощью регулировки винтов рейтера выставляется чёткое изображение осветителя по центру экрана. Затем ставится следующая линза и процедура повторяется.

4.2 Определение фокусных расстояний тонких линз с помощью зрительной трубы

Поставим собирающую линзу на расстоянии от предмета, примерно равным фокусному. На небольшом расстоянии от линзы закрепим трубу, настроенную на бесконечность. Передвигая линзу вдоль скамьи, получим в окуляре зрительной трубы изображение предмета — миллиметровой сетки. Также проведём такие же измерения повернув линзу другой стороной к источнику. Результаты измерений представлены в таб. 2.

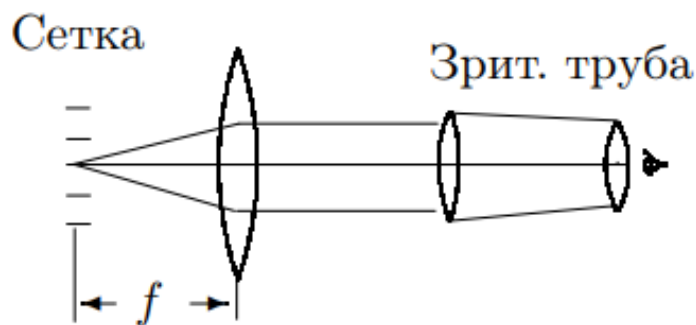


Рис. 1: Определение фокусного расстояния собирающей линзы

Для определения фокусного расстояния рассеивающей линзы сначала получим на экране увеличенное изображение сетки при помощи одной короткофокусной линзы. Измерим расстояние между экраном и линзой a_0 . Разместим сразу за экраном трубу, настроен-

ную на бесконечность. На место экрана поставим исследуемую рассеивающую линзу. Перемещая рассеивающую линзу, найдём в окуляре зрительной трубы резкое изображение сетки. Измерив расстояние между линзами l найдём фокусное расстояние рассеивающей линзы $f = l - a_0$. Повернём рассеивающую линзу другой стороной к источнику и повторим измерения. Результаты измерений представлены в таб. 2.

| Номер линзы | f_{np} , см | $f_{обр}$, см |
|-------------|-----------------|-----------------|
| 1 | $7,5 \pm 0,1$ | $7,5 \pm 0,1$ |
| 2 | $11 \pm 0,1$ | $10,5 \pm 0,1$ |
| 3 | $18,7 \pm 0,1$ | $19,2 \pm 0,1$ |
| 4 | $28,5 \pm 0,1$ | $28,2 \pm 0,1$ |
| 5 | $-13,0 \pm 0,1$ | $-11,0 \pm 0,1$ |

Таблица 2: Измерения фокусных расстояний линз

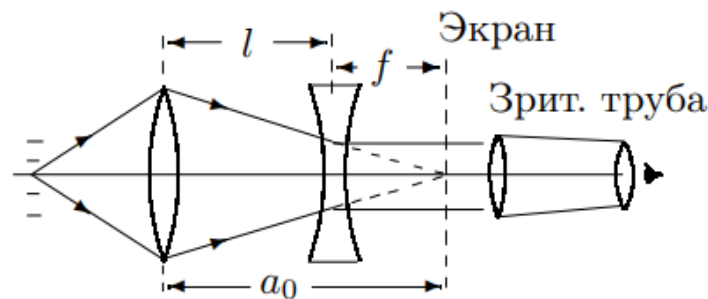


Рис. 2: Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы

4.3 Телескоп Кеплера

Из имеющегося набора возьмём линзу 3 в качестве коллиматора, линзы 2 и 1 в качестве объектива и окуляра. Настроим коллиматор так же, как в предыдущем пункте. Для последующих расчётов увеличения телескопа измерим размер изображения h_1 одного миллиметра шкалы осветителя в делениях шкалы зрительной трубы. $h_1 = k \tan \alpha_1 \approx k \alpha_1$, где k — некоторый коэффициент, характеризующий увеличение зрительной трубы, α_1 — угловой размер изображения миллиметрового деления шкалы осветителя, наблюдаемого через коллиматор. Соберём установку, как показано на рис. 3.

Рассчитаем увеличение исследуемой модели телескопа через отношения передних фокусных расстояний линз f_1, f_2 согласно формуле

$$N_T = -\frac{f_1}{f_2} = -1,46 \pm 0,03.$$

Определим увеличение телескопа через отношение углов, под которыми объект виден через телескоп и без него. Для этого найдём размер h_2 изображения миллиметрового деления шкалы осветителя в делениях окулярной шкалы зрительной трубы по схеме рис. 3. Аналогично, $h_2 = k \tan \alpha_2 \approx k \alpha_2$, где α_2 — угловой размер изображения миллиметрового деления шкалы при наблюдении через телескоп. Полученные значения:

$$h_1 = 10,0 \pm 0,5 \text{ дел}, \quad h_2 = 13,0 \pm 0,5 \text{ дел}.$$

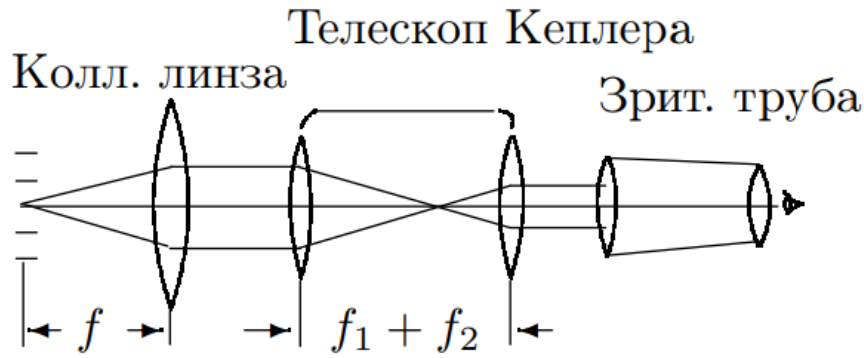


Рис. 3: Определение увеличения телескопа Кеплера

Определим увеличение по формуле

$$N_T = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = -\frac{h_2}{h_1} = -1,3 \pm 0,1.$$

Определим увеличение телескопа, сравнив диаметр оправы его объектива и диаметр изображения этой оправы в окуляре. Полученные значения

$$D_1 = 4,0 \pm 0,1 \text{ см}, \quad D_2 = 3,0 \pm 0,1 \text{ см}.$$

$$N_T = -\frac{D_1}{D_2} = -1,33 \pm 0,06.$$

4.4 Труба Галилея

Для сборки модели трубы Галилея, в модели телескопа Кеплера вместо собирающей окулярной линзы поставим рассеивающую на расстоянии от объектива, равном разности модулей фокусных расстояний объектива и окуляра. Проведём аналогичные измерения увеличения. В качестве объектива возьмём линзу 4.

Первый способ:

$$N_T = -\frac{f_1}{f_2} = -2,59 \pm 0,03.$$

Второй способ:

$$h_1 = 10,0 \pm 0,5 \text{ дел}, \quad h_2 = 30,0 \pm 0,5 \text{ дел}.$$

$$N_T = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = -\frac{h_2}{h_1} = -3,0 \pm 0,1.$$

4.5 Модель микроскопа

Для создания модели микроскопа с увеличением $N_M = 5$ возьмём 2 самые короткофокусные линзы из набора. Рассчитаем необходимый оптический интервал Δ и длину тубуса l_{12} по формулам

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

где N_1, N_2 — увеличения объектива и окуляра, f_1, f_2 — положительные передние фокусные расстояния линз, $L = 25 \text{ см}$ — расстояние наилучшего зрения. Получаем расчётные значения $\Delta = 16,5 \pm 0,5 \text{ см}$, $l_{12} = 35,0 \pm 0,2 \text{ см}$.

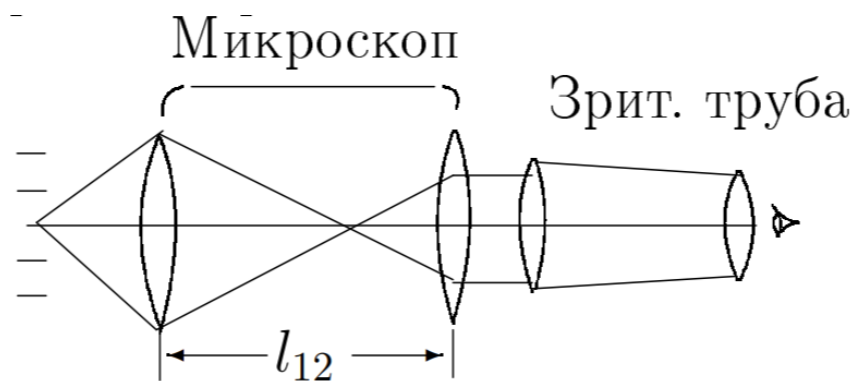


Рис. 4: Модель микроскопа

Соберём установку как показано на рис. 4.

Для экспериментального определения увеличения микроскопа измерим величины h_1 и h_2 так же, как в предыдущих пунктах. Полученные значения:

$$h_1 = 18,0 \pm 0,5 \text{ дел}, \quad h_2 = 39,0 \pm 0,5 \text{ дел}.$$

Рассчитаем увеличение микроскопа по формуле:

$$N_M = -\frac{h_2}{h_1} \frac{L}{f} = -4,9 \pm 0,2.$$



Рис. 5: Шкала осветителя в окуляре микроскопа

5 Обсуждение результатов и выводы

В данной работе были исследованы модели зрительных труб и микроскопа. Различными способами были определены их увеличения. Результаты представлены в таб. 3.

Результаты всех измерений хорошо согласуются между собой. Наименьшая систематическая погрешность достигается при расчёте увеличения по отношению фокусных расстояний окуляра и объектива. Это связано с небольшой погрешностью определения фокусных расстояний линз. Основной вклад в погрешность других методов вносит погрешность

| Формула | Телескоп Кеплера | Труба Галилея | Микроскоп |
|---------------------------------|------------------|------------------|----------------|
| $N = -\frac{f_1}{f_2}$ | $-1,46 \pm 0,03$ | $-2,59 \pm 0,03$ | $N_M = 5$ |
| $N = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}$ | $-1,3 \pm 0,1$ | $-3,0 \pm 0,1$ | $-4,9 \pm 0,2$ |
| $N_T = -\frac{D_1}{D_2}$ | $-1,33 \pm 0,06$ | — | — |

Таблица 3: Результаты измерений увеличения оптических приборов

определения размера изображений. Уменьшения погрешности можно достичь более точной юстировкой и центрированием оптической системы.