
Московский Физико-Технический Институт
(государственный университет)

Лабораторная работа по курсу общей физики № 4.1.2

Моделирование оптических приборов и определение их увеличения

Автор:
Лепарский Роман В01-003



Долгопрудный, 2022

1 Аннотация

Цель работы: изучить модели зрительных труб (астрономической трубы Кеплера и земной трубы Галилея) и микроскопа, определить их увеличения.

Приборы и материалы: оптическая скамья, набор линз, экран, осветитель со шкалой, зрительная труба, диафрагма, линейка.

2 Теоретические сведения

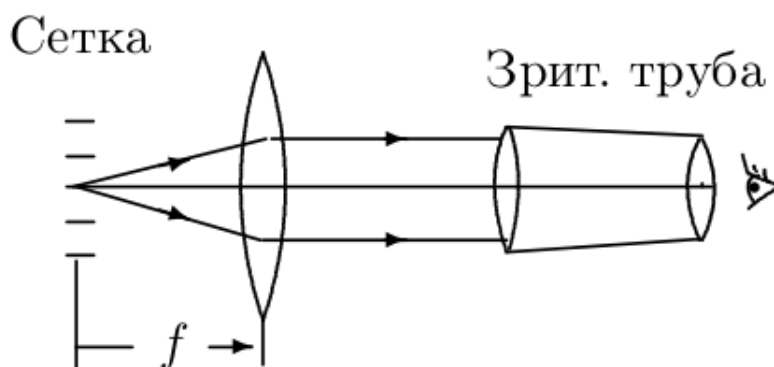
В работе предлагается измерить фокусные расстояния линз, смоделировать трубу Кеплера, трубу Галилея, микроскоп и определить их увеличения. Предметом служит миллиметровая сетка, нанесённая на матовое стекло осветителя.

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.

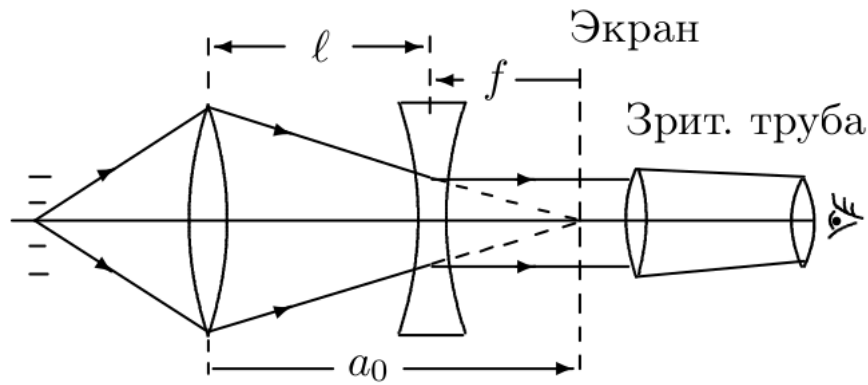
Для построения телескопических систем необходим удаленный объект. Эту роль выполняет коллиматор настроенный на бесконечность.

Фокусные расстояния положительных линз проще всего найти с помощью вспомогательной зрительной трубы, установленной на бесконечность.

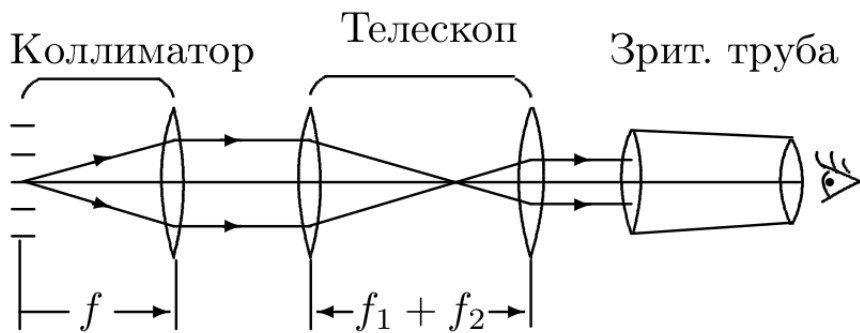
2.1 Определение фокусных расстояний тонких линз с помощью зрительной трубы



Определение фокусного расстояния линзы происходит с помощью зрительной трубы настроенной на бесконечность. Так как лучи от сетки, расположенной в фокусе после прохождения положительной линзы идут параллельно. А чтобы достичь того же эффекта от отрицательной линзы, нужно разместить перед ней собирающую.



2.2 Телескоп Кеплера



Увеличение этой модели телескопа рассчитывается по формуле

$$\Gamma_K = -\frac{f_1}{f_2}$$

Или для телесных углов

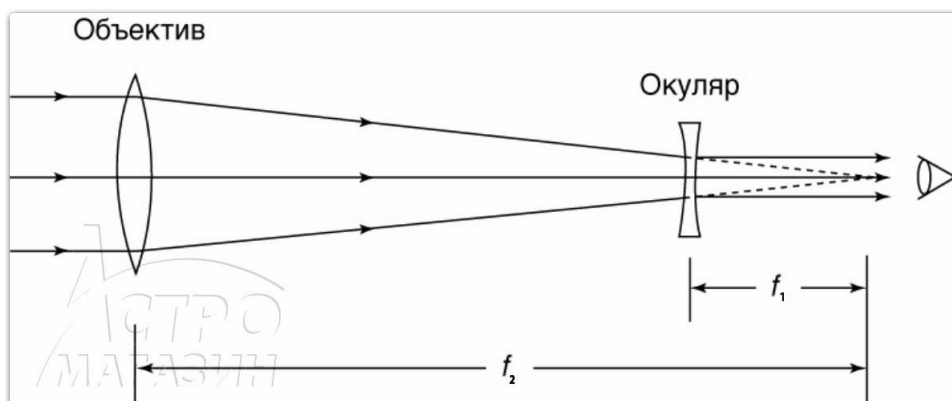
$$\Gamma_K = -\frac{h_2}{h_1}$$

Или для диаметра диафрагмы

$$\Gamma_K = -\frac{D_1}{D_2}$$

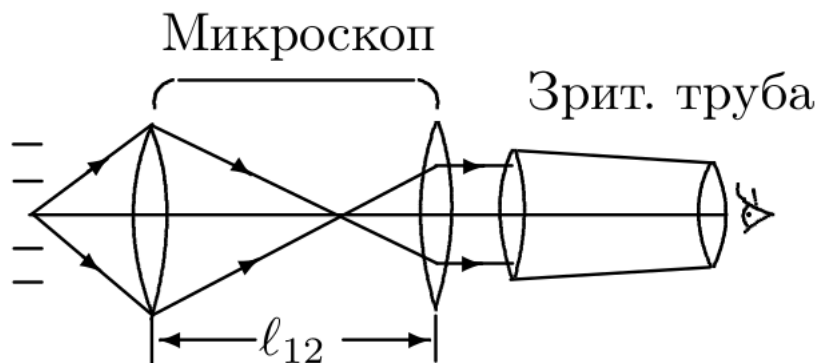
2.3 Труба Галилея

Данная оптическая система отличается от трубы Кеплера только тем, что в качестве окуляра берется рассеивающая линза.



2.4 Модель микроскопа

Оптическая схема микроскопа выглядит следующим образом



Его увеличение можно найти так

$$\Gamma_M = \frac{h_2 L}{h_1 f}$$

где f - фокусное расстояние коллиматорной линзы, используемой для измерения h_1 , А $L = 25$ см - расстояние наилучшего зрения.

3 Обработка результатов

После центрировки оптической системы найдем фокусные расстояния собирающих линз.

3.1 Определение фокусных расстояний тонких линз

Отберем из набора собирающие линзы и с помощью схемы 2.1 определим их фокусное расстояние. Погрешность обусловлена невозможностью определить точное положение линзы внутри оправы.

| N | f_1^+ , см | f_2^+ , см | f^+ , см | σ_f , см |
|-----|----------------|----------------|------------|-----------------|
| 1 | $7,6 \pm 0,2$ | $7,5 \pm 0,2$ | 7,55 | 0,14 |
| 2 | $10,5 \pm 0,2$ | $10,6 \pm 0,2$ | 10,55 | 0,14 |
| 3 | $19,2 \pm 0,3$ | $18,9 \pm 0,3$ | 19,1 | 0,2 |
| 4 | $28,2 \pm 0,3$ | $28,0 \pm 0,3$ | 28,1 | 0,2 |

Погрешность определим по формуле косвенных измерений

$$\sigma_f = \sqrt{\left(\frac{\sigma_+}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_-}{2}\right)^2}$$

Чтобы определить фокусное расстояние рассеивающей линзы поместим собирающую после источника и найдем расстояние до изображения $a_0 = 34,4 \pm 0,2$ см. Тогда фокусное расстояние собирающей линзы:

| N | l_1^- , см | l_2^- , см | l^- , см | f^- , см |
|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 5 | $27,9 \pm 0,3$ | $27,7 \pm 0,3$ | $27,8 \pm 0,2$ | $-6,6 \pm 0,1$ |

3.2 Телескоп Кеплера

В качестве коллиматора возьмем линзу №3 ($f = 19,1$ см), сам телескоп соберем из линз 4 и 2 ($f_1 = 28,1$ см, $f_2 = 10,55$ см).

Запишем данные для определения увеличения:

| h_1 , дел | h_2 , дел | D_1 , мм | D_2 , мм |
|----------------|-------------|------------|--------------|
| $10,0 \pm 0,5$ | 28 ± 1 | 36 ± 1 | $13 \pm 0,5$ |

и определим увеличение разными способами

$$\Gamma_K = -\frac{f_1}{f_2} = -2,66 \pm 0,04$$

$$\Gamma_K = -\frac{h_2}{h_1} = -2,8 \pm 0,17$$

$$\Gamma_K = -\frac{D_1}{D_2} = -2,7 \pm 0,13$$

Погрешность формул вида x/y рассчитывается по формуле

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{y}\right)^2 + \left(\frac{x\sigma_y}{y^2}\right)^2}$$

Видно, что результаты сходятся в пределах погрешности.

3.3 Труба Галилея

В качестве объектива и коллиматора оставим те же линзы, что и в предыдущем опыте. А в качестве окуляра возьмем рассеивающую линзу ($f = -6,6$ см).

Запишем результаты измерений.

| h_1 , дел | h_2 , дел |
|----------------|-------------|
| $10,0 \pm 0,5$ | 42 ± 2 |

$$\Gamma_G = -\frac{f_1}{f_2} = 4,25 \pm 0,07$$

$$\Gamma_G = \frac{h_2}{h_1} = 4,2 \pm 0,2$$

Результаты сходятся в пределах погрешности.

3.4 Модель микроскопа

Для этой модели отберем из набора линзы ($f_1 = 7,55$ см) и ($f_2 = 10,55$ см). Желаемое увеличение $\Gamma_M = 5$. Согласно формуле $\Gamma_M = \frac{\Delta L}{f_1 f_2}$ и $\Delta = l_{12} - f_1 - f_2$. Найдем длину тубуса $l_{12} = 34$ см.

Измерим величину изображения миллиметрового деления предметной шкалы. $h_2 = 37 \pm 1$ дел. И найдем увеличение микроскопа по формуле

$$\Gamma_M = -\frac{h_2 L}{h_1 f} = 4,8 \pm 2$$

$$\sigma_M = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{h_2} L}{h_1 f}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{h_1} h_2 L}{h_1^2 f}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_f h_2 L}{h_1 f^2}\right)^2}$$

Хотя, формально желаемый результат попадает в погрешность, отличие все же значительное. Это может быть связано со сложностью установления длины тубуса согласно рассчитанному значению.

4 Вывод

В этой работе мы исследовали модели зрительных труб и микроскопа, а так же определили их увеличения различными способами.