

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Лабораторная работа № 4.1.2

"МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
ИЗ УВЕЛИЧЕНИЯ"

Выполнила студентка Б01-903

Юлия Прохорова

Долгопрудный, 2021 г.

## 1. Цель работы:

Определить фокусные расстояния собирающих и рассеивающих линз, смоделировать ход лучей в трубе Галилея, трубе Кеплера и микроскопе, определить их увеличение.

## 2. Оборудование:

Оптическая скамья, набор линз, экран, осветитель со шкалой, зрительная труба, диаграмма, линейка.

## 3. Теоретическая часть

В работе изучаются модели зрительных труб и микроскопа, которые состоят из объектива - линзы, обращенной к объекту, и окуляра - линзы, обращенной к наблюдателю.

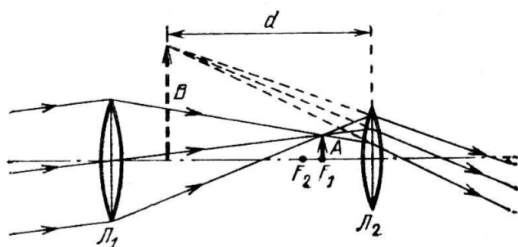


Рис. 1: Ход лучей в трубе Кеплера

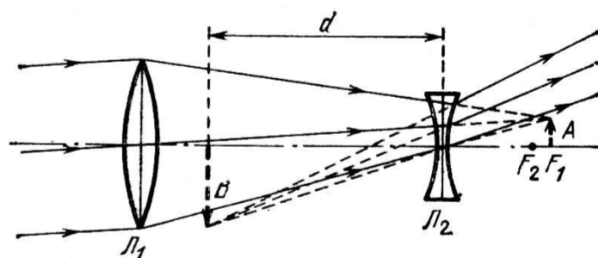


Рис. 2: Ход лучей в трубе Галилея

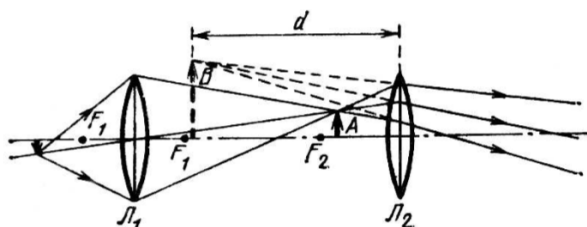


Рис. 3: Ход лучей в микроскопе

В случае зрительных труб, предназначенных для наблюдения за удаленными (расстояние значительно превышает фокусное расстояние) объектами, изображение А предмета находится практически в фокальной плоскости. В случае же микроскопа - промежуточное изображение А находится далеко за фокальной плоскостью объектива.

Мнимое же изображение В, даваемое окуляром, располагается на расстоянии  $d$  от окуляра.

*Отношение углового размера изображения объекта, рассматриваемого невооруженным глазом, называется угловым увеличением оптического прибора.*

**Увеличение астрономической зрительной трубы (трубы Кеплера).** Задний фокус объектива совпадает с передним фокусом окуляра. В этом случае труба - *афокальная система*: параллельный пучок лучей, входящих в объектив, остается параллельным по выходе из окуляра. Такой ход лучей - *телескопический*.

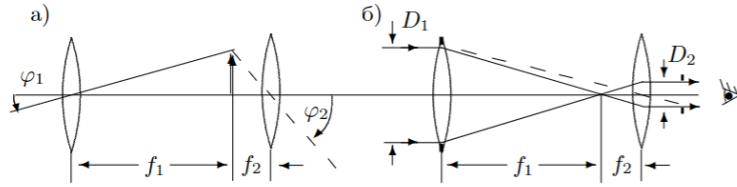


Рис. 4: К расчету увеличения зрительной трубы Кеплера

Пусть пучок света, попадающий в объектив, составляет с оптической осью угол  $\varphi_1$ , а пучок, выходящий из окуляра, -  $\varphi_2$ , тогда увеличение  $\gamma$  зрительной трубы:

$$\gamma = \frac{tg\varphi_2}{tg\varphi_1} = \frac{f_1}{f_2}, \quad (1)$$

$\varphi_1$  - угловой размер объекта, а при наблюдении бесконечно удаленного объекта и для объектива, и для глаза он одинаков.

Отношение фокусных расстояний равно отношению диаметров пучка, отсюда:

$$\gamma = \frac{D_1}{D_2}, \quad (2)$$

Когда  $D_2$  равен диаметру  $d_0$  зрачка наблюдателя, увеличение - *нормальное*.

**Увеличение галлеевой зрительной трубы.** При телескопическом ходе лучей расстояние между объективом и окуляром равно разности их фокусных расстояний.

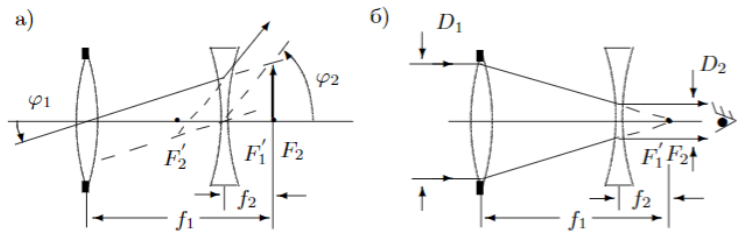


Рис. 5: К расчету увеличения галлеевой зрительной трубы

Формулы 1 и 2 справедливы и для земной. Достоинство такой труб - прямое изображение.

**Увеличение микроскопа.**

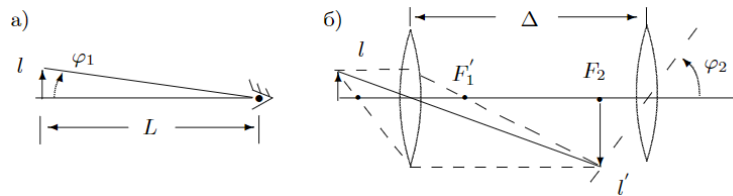


Рис. 6: К расчету увеличения микроскопа

Тангенс угла  $\varphi_2$ , под которым видно изображение, определяется соотношением:

$$tg\varphi_2 = \frac{l'}{f_2} = \frac{l(\Delta - f_1 - f_2)}{f_1 f_2} \quad (3)$$

где  $l'$  - размер промежуточного изображения,  $l$  - размер предмета,  $\Delta$  - длина тубуса (расстояние между линзами).

Угловой размер предмета  $l$ :

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{l}{L} \quad (4)$$

Увеличение микроскопа:

$$\gamma = \frac{\operatorname{tg} \varphi_2}{\operatorname{tg} \varphi_1} = \frac{L(\Delta - f_1 - f_2)}{f_1 f_2} \quad (5)$$

Можно показать, что при аккомодации глаза на  $L$  угловое увеличение равно линейному  $\Gamma$ :

$$\gamma = \frac{\operatorname{tg} \varphi_2}{\operatorname{tg} \varphi_1} = \frac{L(l''/L)}{l/L} = \frac{l''}{l} = \Gamma \quad (6)$$

где  $l''$  - размер окончательного изображения.

$$\gamma = \Gamma = \frac{l''}{l} = \frac{l'}{l} \frac{l''}{l'} = \Gamma_{\text{об}} \cdot \Gamma_{\text{ок}} \quad (7)$$

где  $\Gamma_{\text{об}}$  - увеличение объектива,  $\Gamma_{\text{ок}}$  - увеличение окуляра. С учетом короткофокусности (предмет и промежуточное изображение лежат практически в фокальных плоскостях  $\Delta - f_2 \approx \Delta$ ), при аккомодации глаза на расстояние наилучшего зрения:

$$\gamma = \Gamma = \Gamma_{\text{об}} \cdot \Gamma_{\text{ок}} \approx \frac{\Delta - f_2}{f_1} \frac{L}{f_2} = \frac{\Delta}{f_1} \frac{L}{f_2} \quad (8)$$

## 4. Ход работы

### 4.1. Центрируем элементы оптической системы.

- 1) Отбираем собирающие линзы.
- 2) Собираем и центрируем установку.
- 3) Центрируем линзы.

### 4.2. Определение фокусных расстояний тонких линз с помощью зрительной трубы

- 1) Настраиваем зрительную трубу на бесконечность.
- 2) Установим положительную линзу на расстоянии примерно равном фокусному.
- 3) Двигая линзу вдоль оптической скамьи, добиваемся четного изображения миллиметровой сетки на экране. Расстояние между экраном и линзой - нужная величина.
- 4) Повторяем измерение фокусного расстояния, повернув линзу. Повторяем измерения для всех линз.

№	$F_1$ , см	$F_2$ , см
1	7.5	7.6
2	10.7	10.7
3	18.8	18.6
4	28.1	28.3

Таблица 1: Значение фокусов собирающих линз

Сравнив, получившиеся значения фокусов с обеих сторон, данные линзы можно считать тонкими.

- 5) Измерим фокусное расстояние рассеивающей линзы. Получаем увеличенное изображение на экране с помощью рассеивающей и короткофокусной собирающей линз.
- 6) Ставим зрительную трубу сразу за экраном, а затем на место экрана ставим рассеивающую линзу.

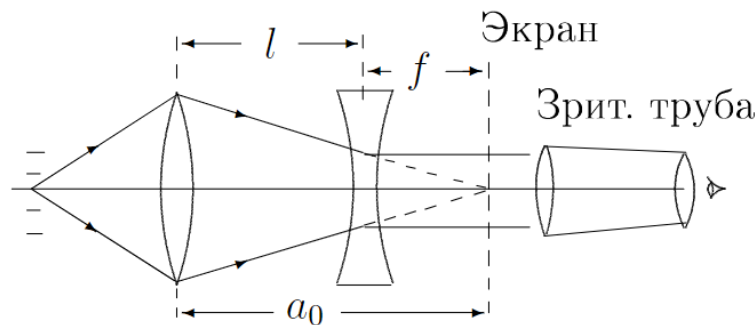


Рис. 7: Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы

- 7) Перемещая рассеивающую линзу, найдем в окуляре резкое изображение сетки.
- 8) Расстояние между собирающей линзой и экраном получилось  $a_0 = 39.2$  см
- 9) Расстояние между линзами  $l = 30.4$  см

$$f = l - a_0 = 8.8 \text{ см} \quad (9)$$

- 10) Перевернув линзу, повторим измерения  $f = 8.0$  см.

### 4.3. Телескоп Кеплера

- 1) Отбираем две собирающие линзы. В качестве коллиматора используем используем 3 -ю линзу.
- 2) Определяем размер изображения  $h_1 = 12$  дел/мм ( $h_1 = k\alpha_1$ , где  $k$  - коэффициент характеризующий увеличение зрительной трубы,  $\alpha_1$  - угловой размер изображения )
- 3) Соберем модель телескопа: за объектив берем линзу с максимальным фокусным расстоянием, окуляр - расстоянии примерно равном сумме фокусных расстояний обеих линз телескопа.

- 4) Слегка перемещая окуляр модели вдоль оптической скамьи, получаем изображение сетки. Расстояние между объективом и окуляром оказалось равным 38.8 см, что совпадает с суммой фокусных расстояний окуляра и объектива .

- 5) Рассчитаем увеличение:

$$N_T = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f_1}{f_2} = \frac{D_1}{D_2} \quad (10)$$

$$N_T = 1,7$$

- 6) Определим угловое увеличение телескопа  $h_2 = k\alpha_2$ , здесь  $\alpha_2$ —угловой размер изображения деления

$$h_2 = 19 \frac{\text{дел}}{\text{мм}},$$

$$N_T = 1,6$$

- 7) Определим увеличение телескопа через отношение диаметров  $D_1$  и  $D_2$  - оправы объектива и изображения соответственно.

$$N_T = \frac{D_1}{D_2} = \frac{4,4}{3,1} = 1,4$$

$$N_T = \frac{\alpha'}{\alpha} = 1,4$$

#### 4.4. Труба Галилея

- 1) Не трояя коллиматор и объектив, заменяем окулярную линзу рассеивающей на расстоянии равном разности фокусов объектива и окуляра.
- 2) Рассчитаем увеличения

	$f_1 \backslash f_2$	$h_2 \backslash h_1$	$D_1 \backslash D_2$
$N_T$	2,1	1,9	1,7

Таблица 2: Увеличение трубы Галилея

#### 4.5. Модель микроскопа

- 1) Берем самые короткофокусные линзы, для создания увеличения  $N_M = 5$ .

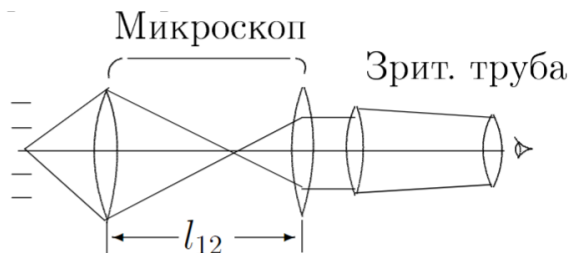


Рис. 8: Модель микроскопа

- 2) Рассчитаем необходимый интервал  $\Delta$  и длину тубуса  $l_{12}$

$$N_M = N_1 N_2 = -\frac{\Delta L}{f_1 f_2}; \Delta = l_{12} - f_1 - f_2, \text{ где } L = 25 \text{ см} \quad (11)$$

$$\Delta = 16,05 \text{ см}$$

$$l_{12} = 34,3 \text{ см}$$

- 3) Фокусируем модель микроскопа на сетку осветителя, перемещая осветитель вдоль оптической скамьи до техпор, пока в окуляре не появится отчетливое изображение.
- 4) Измерим величину изображения  $h_2 = 26,5$ .
- 5) Рассчитаем увеличение по формуле:

$$N_M = -\frac{h_2}{h_1} \frac{L}{f} = 5,2 \quad (12)$$

Полученное значение близко к ожидаемому.

#### 4.6. Оценка погрешностей

Так как погрешность в данной работе связана не только с ценой деления инструмента (линейки), но и с определением наиболее четкого изображения, поэтому будем считать погрешность прямых измерений равной  $\sigma = 0.5$  см.

Погрешность для измерения фокусного расстояния рассеивающей линзы:

$$\sigma_f = \frac{2 \cdot 0.5}{30.4 + 39.2} \cdot 8.8 = 0.1 \text{ см} \quad (13)$$

#### Погрешность для расчета увеличения трубы Кеплера

- 1) через фокусные расстояния/диаметр оправы объектива  $\sigma_N = \sqrt{\sigma_{f_1/D_1}^2 + \sigma_{f_2/D_2}^2} = 0.7$
- 2) Погрешность измерения углового увеличения составляет полделения.  $\sigma_N = \sqrt{\sigma_{h_1}^2 + \sigma_{h_2}^2} = 0.4$

#### Погрешности для трубы Галилея.

- 1) через фокусные расстояния/диаметр оправы объектива  $\sigma_N = \sqrt{\sigma_{f_1/D_1}^2 + \sigma_{f_2/D_2}^2} = 0.5$
- 2) Погрешность измерения углового увеличения составляет полделения.  $\sigma_N = \sqrt{\sigma_{h_1}^2 + \sigma_{h_2}^2} = 0.4$

#### Погрешности для измерений микроскопа:

- 1)  $\sigma_\Delta = \frac{0.5 \cdot 3}{34.3 + 7.5 + 10.7} \cdot 16.05 = 0.3$  см
- 2)  $\sigma_N = \sqrt{\sigma_{f_1}^2 + \sigma_{f_2}^2 + \sigma_\Delta^2} = 0.8$
- 3)  $\sigma_N = \sqrt{\sigma_{h_1}^2 + \sigma_{h_2}^2 + \sigma_f^2} = 0.5$

Значения измерений хорошо сходятся в пределах погрешностей.

#### 4.7. Вывод

В ходе работы были определены фокусные расстояния собирающих и рассеивающей линзы. Из этих линз сконструировали оптические приборы: труба Кеплера, труба Галилея и микроскоп. Определили их увеличения различными способами.