

МОСКОВСКИЙ  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ  
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.1.2

---

Моделирование оптических приборов  
и определение их увеличения

---

Студент

Павел СЕВЕРИЛОВ

671 группа



17 мая 2018 г.

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

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

## 1. Теоретическая часть

Оптические приборы, которые моделируются в данной работе: астрономическая труба Кеплера, земная труба Галилея и микроскоп.

Опишем каждую в общих чертах.

### 1.1. Микроскоп

Микроскоп состоит из двух собирающих систем линз — объектива и окуляра, расположенных на расстоянии  $l_{12}$  друг от друга в трубе, называемой тубусом. Предмет помещается на малом расстоянии перед передним фокусом объектива.

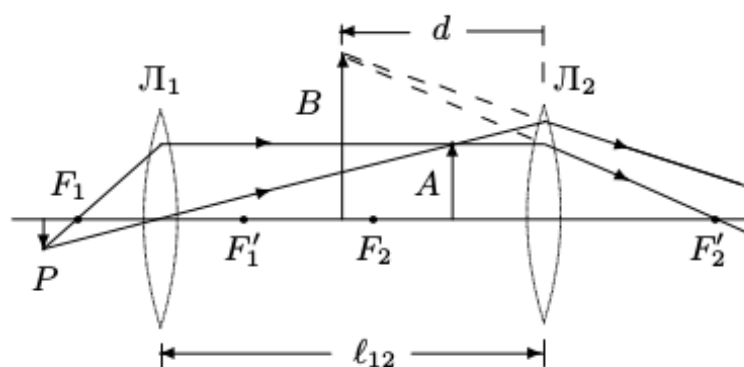


Рис. 1: Ход лучей в микроскопе

Объектив  $L_1$  даёт действительное перевёрнутое увеличенное изображение  $A$  предмета  $P$ , которое рассматривается через окуляр  $L_2$ , действующий как лупа. Мнимое изображение  $B$ , даваемое окуляром, располагается на некотором расстоянии  $d$  от окуляра. Наводя микроскоп, как и любой другой оптический прибор, на резкость, наблюдатель автоматически устанавливает такое расстояние  $d$ , которое удобно для аккомодации глаза.

В микроскопе фокусные расстояния  $f_1$  и  $f_2$ , а также оптический интервал  $\Delta$  — положительны. Фокусное расстояние  $f_M$  всей системы, а с ним и увеличение  $N_M$  — отрицательны, так что изображение, получаемое в микроскопе, — перевёрнутое (обратное).

## 1.2. Зрительные трубы

Зрительные трубы, основными элементами которых, как и в случае микроскопа, являются объектив и окуляр, предназначены для наблюдения удалённых предметов. Уменьшенное обратное изображение  $A$  удалённого предмета, даваемое объективом, находится практически в его фокальной плоскости. Мнимое изображение  $B$ , даваемое окуляром, располагается на расстоянии  $d$  от окуляра. В теории зрительных труб для определённости считается, что глаз аккомодирован на бесконечность. При этом мнимое изображение  $B$  должно располагаться в бесконечности, и, следовательно, промежуточное изображение  $A$  должно находиться в фокальной плоскости окуляра, а задний фокус объектива должен быть совмещён с передним фокусом окуляра.

Отношение фокусных расстояний может иметь разный знак. Объективом зрительной трубы всегда является собирающая система, для которой переднее фокусное расстояние  $f_1 > 0$ . Окуляром трубы Кеплера является собирающая система, переднее фокусное расстояние которой  $f_2 > 0$ , так что труба Кеплера даёт перевёрнутое изображение предмета. Окуляром трубы Галилея, напротив, является рассеивающая система, переднее фокусное расстояние которой  $f_2 < 0$ , так что труба Галилея даёт прямое изображение. Поэтому бытовые зрительные трубы, бинокли и т. д. делаются по схеме Галилея.

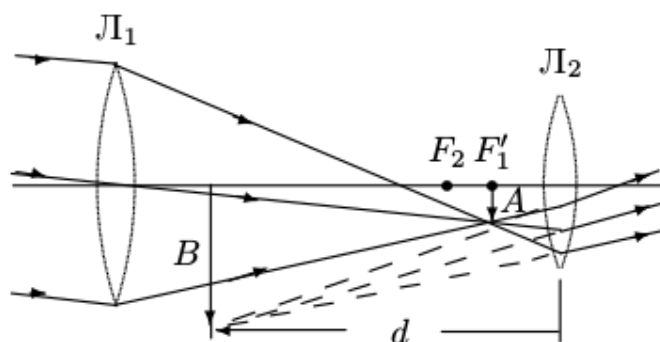


Рис. 2: Ход лучей в зрительной трубе Кеплера

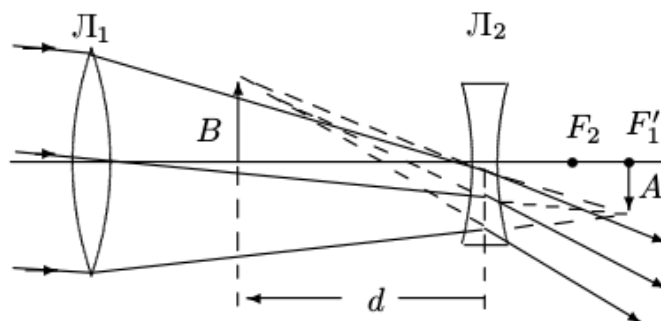


Рис. 3: Ход лучей в зрительной трубе Галилея

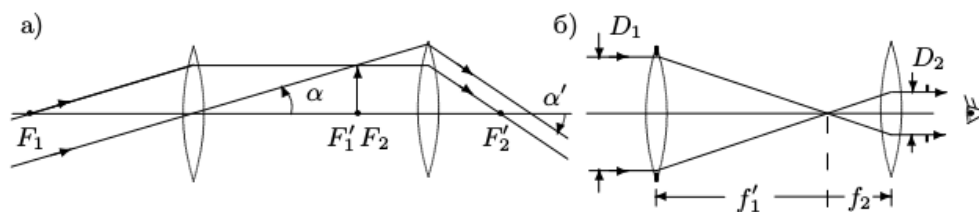


Рис. 4: Ход лучей в телескопе

## 2. Работа и обработка результатов

1. Отцентрируем элементы оптической системы и определим приближенные значения фокусных расстояний линз:

$$f_1 = 9 \text{ см}, \quad f_2 = 11 \text{ см}, \quad f_3 = 21 \text{ см}, \quad f_4 = 28.5 \text{ см}, \quad f_5 = -10 \text{ см}$$

2. Определим точные значения фокусных расстояний линз:

$$f_1 = 8.5 \text{ см}, \quad f_2 = 11 \text{ см}, \quad f_3 = 19.5 \text{ см}, \quad f_4 = 28 \text{ см}$$

Для рассеивающей линзы по формуле  $f = l - a_0$ , измерив  $l$ :

$$l = 15.6 \text{ см}, \quad a_0 = 25 \text{ см} \Rightarrow f_5 = -9.4 \text{ см}$$

3. Изучение телескопа Кеплера.

Определим размер изображения  $h_1$  одного миллиметра шкалы осветителя в делениях окулярной шкалы зрительной трубы без телескопа.  $h_1 = k \tan \alpha_1 \approx k \alpha_1$ , где  $k$  – некоторый коэффициент, характеризующий увеличение зрительной трубы,  $\alpha_1$  – угловой размер изображения миллиметрового деления шкалы осветителя, наблюдаемого через коллиматор.

$$h_1 = \frac{15}{20} \text{ дел}$$

Рассчитаем увеличение исследуемой модели телескопа по формуле:

$$N_T = -\frac{f_4}{f_2} = -\frac{28}{11} = -2.55 \pm 0.12$$

Определим размер изображения  $h_2$  одного миллиметра шкалы осветителя в делениях окулярной шкалы зрительной трубы при наблюдении через телескоп.  $h_2 = k \tan \alpha_2 \approx k \alpha_2$ , где  $\alpha_2$  – угловой размер изображения миллиметрового деления шкалы осветителя, наблюдаемого через коллиматор.

$$h_2 = \frac{2.0}{1} = 2 \text{ дел}$$

Рассчитаем увеличение исследуемой модели телескопа по формуле:

$$N_T = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = -\frac{h_2}{h_1} = -\frac{2 \cdot 20}{15} = -2.67 \pm 0.22$$

Измерим диаметр оправы объектива и диаметр изображения этой оправы в окуляре:

$$D_1 = 3.7 \text{ см}, \quad D_2 = 1.4 \text{ см}$$

Рассчитаем увеличение исследуемой модели телескопа по формуле:

$$N_T = -\frac{D_1}{D_2} = -2.64 \pm 0.20$$

#### 4. Изучили модель трубы Галилея.

Аналогично:

$$h_1 = \frac{15}{20} \text{ дел}$$

$$h_2 = \frac{2.3}{1} \text{ дел}$$

$$N_T = -\frac{f_4}{f_5} = -\frac{28}{9.4} = -2.98 \pm 0.17$$

$$N_T = -\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = -\frac{h_2}{h_1} = \frac{2.3 \cdot 20}{15} = -3.07 \pm 0.24$$

#### 5. Создадим модель микроскопа с увеличением $N_M = 5$ .

Рассчитали необходимый оптический интервал  $\Delta$  и длину тубуса  $l_{12}$  по формулам:

$$N_M = N_1 \cdot N_2 = -\frac{\Delta}{f_1} \cdot \frac{L}{f_2}$$

$$\Delta = l_{12} - f_1 - f_2 = 14.3 \text{ см}$$

$$l_{12} = 39.8 \text{ см}$$

Считаем  $L = 25 \text{ см}$ .

$$h_2 = \frac{3.2}{1}$$

– неточно, т.к. клетка полностью не влезала в видимое пространство

Измерили величину изображения  $h_2$  миллиметрового деления предметной шкалы в делениях окулярной шкалы зрительной трубы и рассчитали увеличение по формуле

$$N_M = -\frac{h_2 L}{h_1 f_3} = \frac{3.2 \cdot 20 \cdot 25}{15 \cdot 19.5} = 5.47 \pm 0.79$$

### 3. Вывод

Полученные значения увеличений систем достаточно неплохо согласуются между собой и различные методы дают очень близкие значения одних и тех же величин. Какие из методов оказались точнее видно из полученных ошибок в величинах.