

РАЗДЕЛ 4. ОПТИКА

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4.1

Моделирование оптических систем

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и в учебниках: 1. Трофимова Т.И. Курс физики. § 166. 2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. § 32.7.

Запустите программу «Оптика», «Зрительная труба Кеплера» и «Микроскоп». Нажмите вверху внутренних окон указанных разделов кнопки с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения об этих оптических системах и запишите их в свой конспект.

Цель работы

- Ознакомление с оптическими схемами зрительной трубы Кеплера и микроскопа.
- Моделирование этих схем из простых линз.
- Проверка формул увеличения зрительной трубы Кеплера и микроскопа.

Краткая теория

Труба Кеплера представляет собой оптическую систему, предназначенную для наблюдения удаленных предметов. Если лучи от предмета приходят в трубу в виде параллельных пучков, то оптическая система трубы называется телескопической.

1. На рис. 1 представлена оптическая схема зрительной трубы Кеплера. Она состоит из длиннофокусного объектива 1 и окуляра 2 – линзы с меньшим фокусным расстоянием.

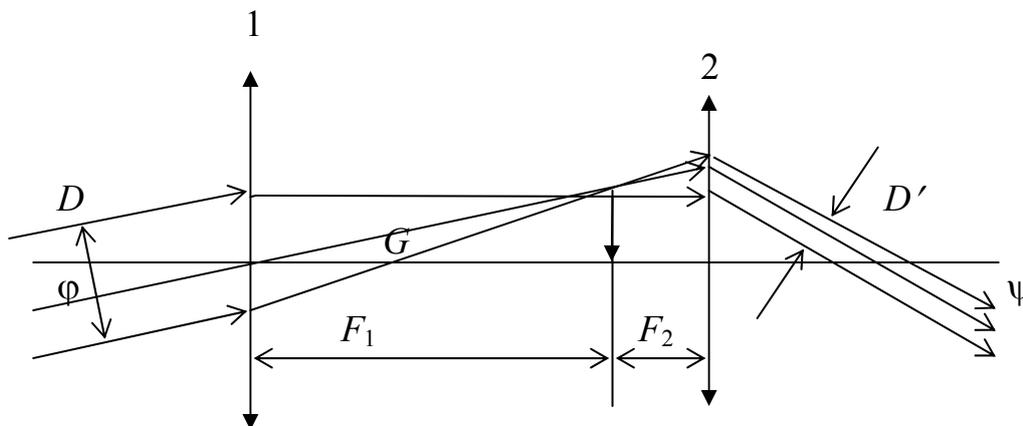


Рис. 1

Второй главный фокус F_1 объектива совпадает с первым главным фокусом F_2 окуляра, благодаря чему падающий в объектив параллельный пучок лучей выходит из окуляра также параллельным пучком. Как показано на рис. 1, объектив 1 зрительной трубы образует обратное действительное изображение G бесконечно удаленного предмета, которое рассматривается в окуляр 2.

Увеличение трубы Γ является *угловым увеличением* и равно отношению:

$$\Gamma = \frac{\operatorname{tg}'\lambda}{\operatorname{tg}\varphi}, \quad (1)$$

где ψ – угол, под которым предмет наблюдается в трубу (согласно правилу знаков, этот угол отрицательный); φ – угол, под которым предмет виден невооруженным глазом (если глаз поместить вместо объектива трубы на оптической оси).

Ширина параллельного пучка лучей D , входящих в объектив, обычно равна диаметру объектива. Ширина пучка D' , выходящего из окуляра, определяется диаметром выходного зрачка системы. Выходной зрачок является изображением входного зрачка, даваемого окуляром.

Из рис. 1 имеем для увеличения Γ :

$$\Gamma = -\frac{F_1}{F_2}, \quad (2)$$

$$\Gamma = -\frac{D}{D'}. \quad (3)$$

Соотношение (2) показывает, во сколько раз увеличиваются угловые размеры изображения в сравнении с угловыми размерами предмета при наблюдении через трубу.

Линейное увеличение β находится по формулам геометрической оптики:

$$\Gamma\beta = 1, \quad (4)$$

следовательно,

$$\beta = -\frac{F_2}{F_1} = -\frac{D'}{D}. \quad (5)$$

Так как $D' < D$, то зрительная труба дает уменьшение линейных размеров наблюдаемых объектов.

2. *Микроскоп* предназначен для наблюдения мелких предметов, не различимых глазом. На рис. 2 показана оптическая схема микроскопа.

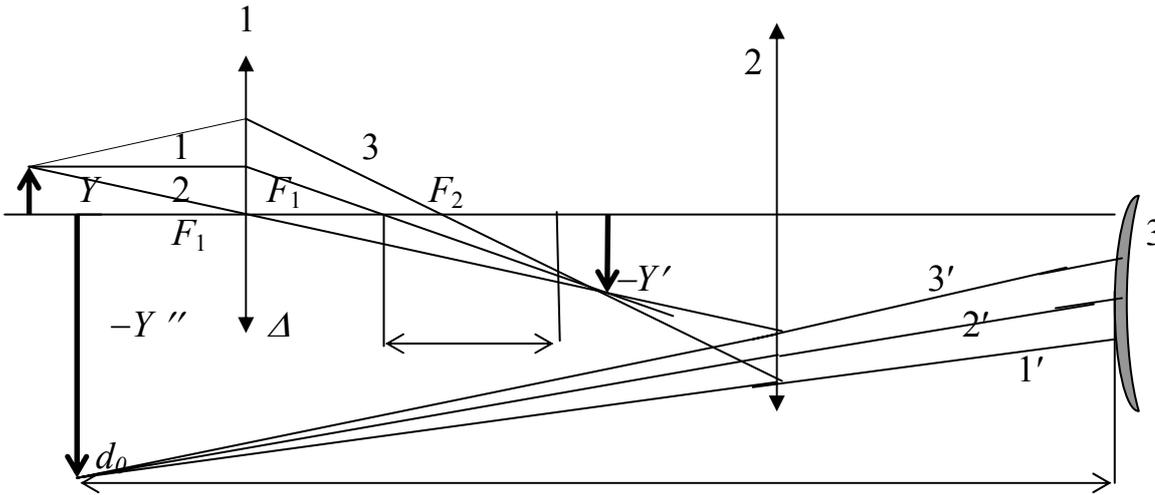


Рис. 2

Микроскоп состоит из двух линз: короткофокусного объектива 1 и окуляра 2, фокусное расстояние которого больше, чем у объектива. Предмет Y располагается вблизи первого фокуса F_1 объектива так, что действительное увеличенное и обратное изображение $-Y'$ получается вблизи первого фокуса F_2 окуляра 2 – между ним и окуляром. Окуляр действует как лупа, давая мнимое изображение $-Y''$ на расстоянии наилучшего зрения d_0 ($d_0 = 0,25$ м) от глаза 3, который находится непосредственно за окуляром 2. Лучи 1, 2, 3 позволяют получить изображение $-Y'$; лучи 1', 2', 3', попадая в систему глаза 3, сходятся на сетчатке глаза, где дают изображение, соответствующее мнимому изображению $-Y''$, даваемому окуляром как лупой. Без участия глаза изображения не видно, а из окуляра выходит расходящийся пучок лучей. Расстояние Δ между вторым фокусом объектива и первым фокусом окуляра называется *оптическим интервалом*.

Если предмет Y поместить на расстоянии d_1 от объектива микроскопа, его изображение Y' будет находиться от объектива на расстоянии f_1 , удовлетворяющем уравнению

$$\frac{1}{F_{об}} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1}.$$

Изображение предмета будет увеличено при этом в

$$k_{об} = \frac{f_1}{d_1} \text{ раз.} \quad (6)$$

Окуляр располагают относительно изображения Y' так, чтобы оно рассматривалось через него как через лупу. Окончательное изображение Y'' будет мнимым и будет отстоять от окуляра на расстоянии f_2 . Если расстояние d_2 от

окуляра до промежуточного изображения Y' подобрано так, что оно удовлетворяет уравнению

$$\frac{1}{F_{\text{ок}}} = \frac{1}{d_2} - \frac{1}{f_2},$$

то увеличение изображения Y' , даваемое окуляром, при этом окажется равным

$$k_{\text{ок}} = \frac{f_2}{d_2}. \quad (7)$$

Увеличение микроскопа Γ вычисляется как произведение увеличений объектива и окуляра

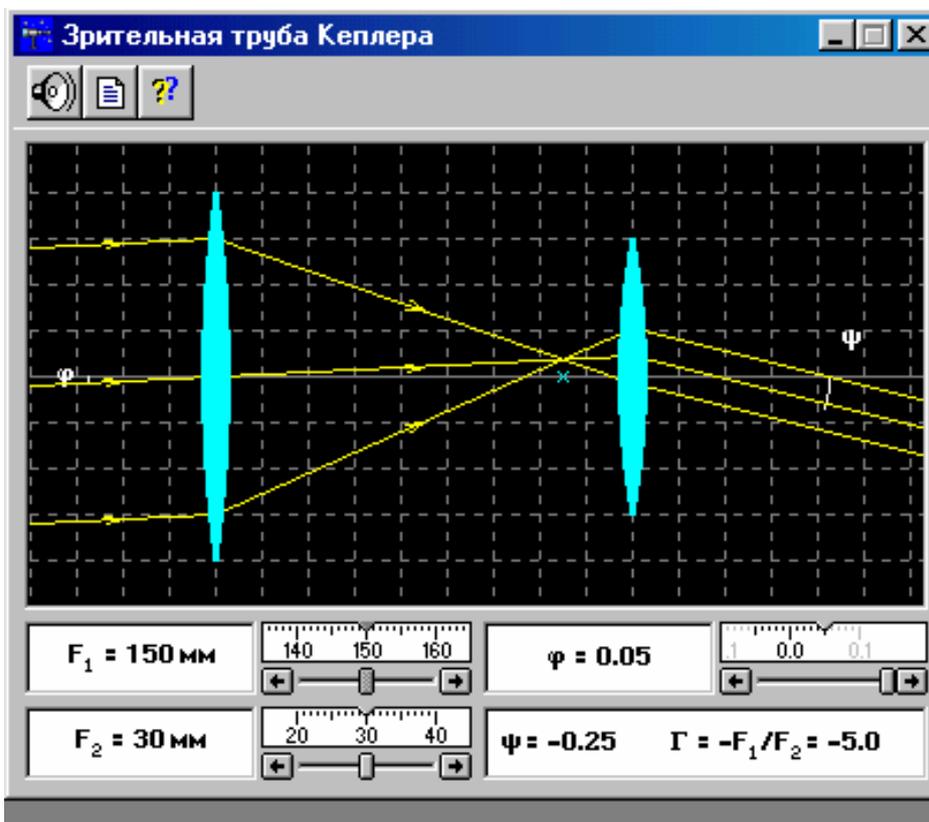
$$\Gamma = k_{\text{об}} k_{\text{ок}}. \quad (8)$$

В случае, когда F_1 и F_2 много меньше оптического интервала Δ , увеличение микроскопа выражается простой формулой

$$\Gamma = \frac{d_0 \Delta}{F_1 F_2}. \quad (9)$$

ИЗМЕРЕНИЯ

ЭКСПЕРИМЕНТ 1. Зрительная труба Кеплера



1. Подведите маркер мыши к движку регулятора F_1 , нажмите левую кнопку мыши и, удерживая ее в нажатом состоянии, двигайте движок до установки значения F_1 , взятого из табл. 1 для вашей бригады.

2. Установите аналогичным образом F_2 и φ .

3. Запишите в табл. 2 значение $\Gamma_T = -\frac{F_1}{F_2}$, взятое из нижнего правого окна

схемы зрительной трубы Кеплера.

4. С помощью миллиметровой линейки измерьте на экране монитора D и D' и запишите эти значения в табл. 2.

5. Рассчитайте значение $\Gamma_3 = -\frac{D}{D'}$ и запишите это значение в таблицу по форме 1.

6. Сравните полученное значение Γ_3 со значением Γ_T .

7. Устанавливая вторые значения F_1 и F_2 , взятые из табл. 1 для вашей бригады, повторите измерения п. 2-6, записывая результаты измерений в таблицу по форме 1.

8. Оцените абсолютную погрешность измерений.

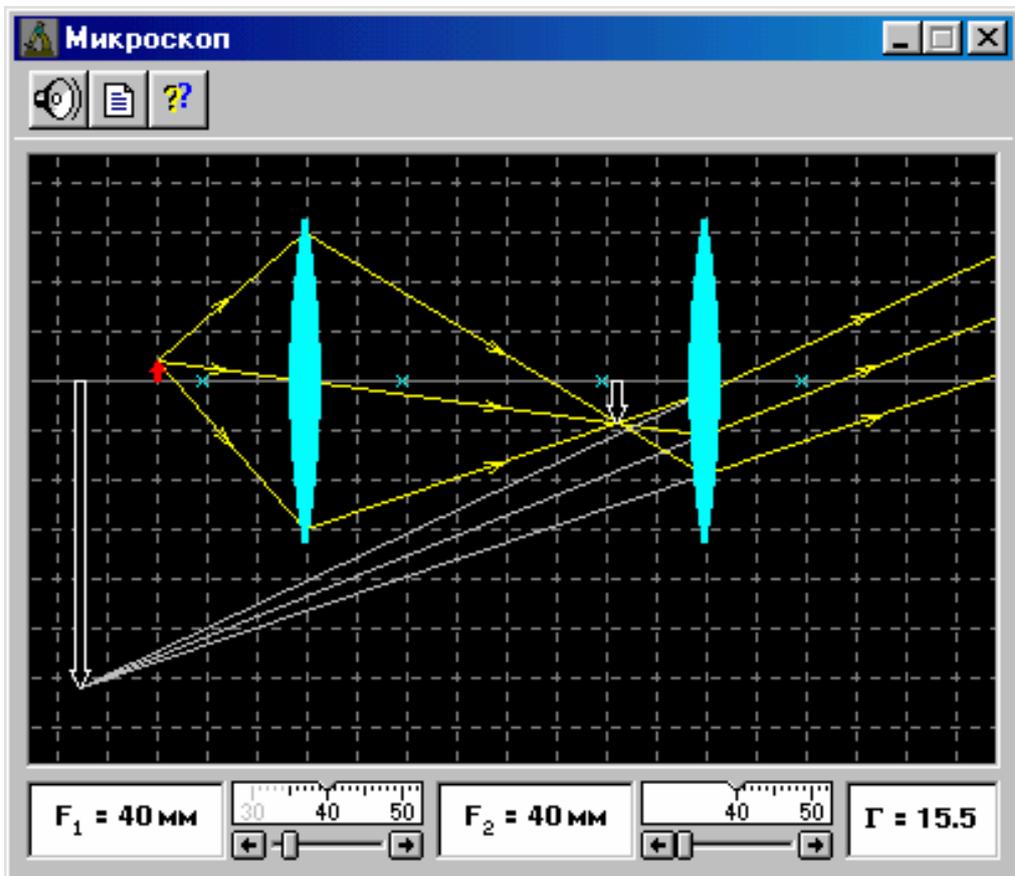
Таблица 1

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
F_1	100	110	120	130	140	150	160	170
мм	105	115	125	135	145	155	165	175
F_2	20	22	24	26	28	30	34	36
мм	21	23	25	27	29	32	35	38
φ	0,00	0,01	0,02	0,03	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04

Форма 1.

Γ_m	D , мм	D' , мм	Γ_3	$\Delta\Gamma_3$

ЭКСПЕРИМЕНТ 2. Микроскоп



1. Подведите маркер мыши к движку регулятора фокусного расстояния объектива микроскопа, нажмите левую кнопку мыши и, удерживая ее в нажатом состоянии, перемещайте движок до установки F_1 , взятого из табл. 1 для вашей бригады.

2. Установите аналогичным образом фокусное расстояние окуляра F_2 и запишите эти значения в таблицу по форме 2.

3. С помощью миллиметровой линейки измерьте расстояния d_1 , d_2 , f_1 , f_2 и запишите их в таблицу по форме 2.

4. По формулам (6) ... (8) рассчитайте $k_{об}$, $k_{ок}$ и Γ и запишите эти значения в таблицу по форме 2. Рассчитайте по формуле (9) теоретическое значение оптического интервала Δ_T по параметрам, указанным в нижней части окна.

5. Определите масштаб шкалы окна оптической схемы микроскопа. Для этого измерьте с помощью миллиметровой линейки на экране монитора фокусное расстояние F_1 и сопоставьте его со значением, указанным в левом нижнем прямоугольнике окна оптической схемы.

6. Измерьте с помощью миллиметровой линейки на экране монитора оптический интервал микроскопа, приведите его в соответствие с масштабом шкалы окна и запишите полученное значение интервала в таблицу по форме 2 (графа Δ_3).

7. Сопоставьте полученные экспериментальные значения оптического интервала и увеличения микроскопа с указанными в окошке опыта значениями и сделайте анализ опыта.

8. Сделайте оценку погрешности измерений.

Таблица 2

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
F_1 , мм	35	39	43	47	51	55	59	63
	37	41	45	49	53	57	61	65
F_2 , мм	40	42	44	46	48	50	52	54
	41	43	45	47	49	51	53	55

Форма 2

F_1 , мм	F_2 , мм	d_1 , мм	d_2 , мм	f_1 , мм	f_2 , мм	$k_{об}$	$k_{ок}$	Γ	$\Delta_э$, мм

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что называется линзой?
2. Какая линза называется тонкой?
3. Что такое главная и побочная оптические оси?
4. Что называется фокусом линзы?
5. Как можно построить изображение произвольной точки в любой линзе?
6. Можно ли с помощью рассеивающей линзы получить увеличенное изображение?
7. Можно ли с помощью собирающей линзы получить уменьшенное изображение предмета?
8. Сформулируйте принцип Ферма.
9. Что называется оптической силой линзы, в каких единицах эта сила измеряется?
10. Запишите формулу тонкой линзы.
11. Назовите aberrации оптических систем.
12. Постройте ход лучей в микроскопе, зрительной трубе Кеплера и фотоаппарате.
13. Какая оптическая система называется телескопической?