

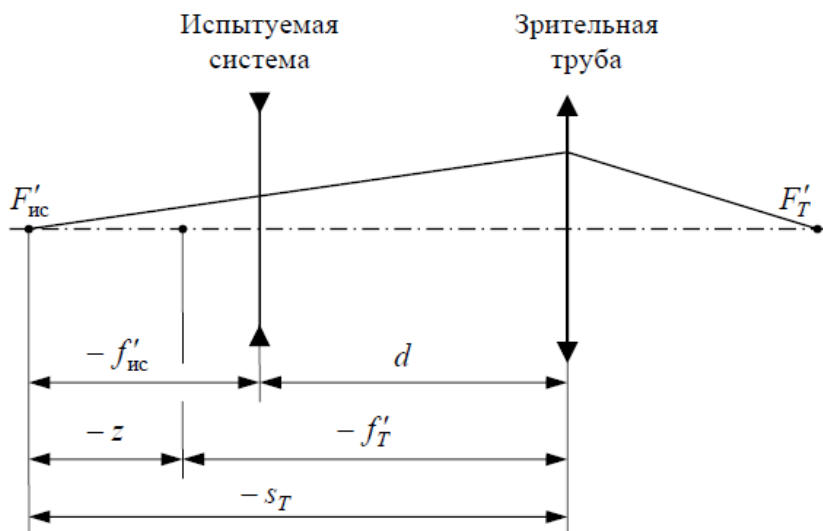
## Практическое занятие №9-10 Методы измерения фокусных расстояний

### 1. Метод коллиматора и зрительной трубы с перефокусировкой

Для измерения фокусного расстояния испытуемой системы используются установленный на бесконечность коллиматор и труба с выдвижным окулярным тубусом со шкалой. Сначала трубу устанавливают по коллиматору на бесконечность и берут отсчет по шкале трубы  $m_\infty$ . Затем между трубами помещают испытуемую систему и снова фокусируют трубу на резкое изображение сетки коллиматора, и берут отсчет  $m$ . Разность отсчетов дает величину  $z'$ . Для вывода формулы расчета фокусного расстояния испытуемой системы  $f'_{ис}$  воспользуемся формулой Ньютона  $z \cdot z' = -f'_T$ , тогда получим

$$f'_{ис} = -\frac{f'^2_T}{z'} - f'_T + d,$$

где  $d$  – расстояние между испытуемой линзой и объективом зрительной трубы;  $f'_T$  – фокусное расстояние объектива зрительной трубы.



К определению формулы расчета фокусного расстояния  
методом коллиматора и зрительной трубы

Когда  $f'_T - d$  – мало по сравнению с  $f'_{ис}$ , то приближенно можно считать, что

$$f'_{ис} \cong -\frac{f'^2_T}{z'} = -\frac{f'^2_T}{m - m_\infty}.$$

Порог чувствительности продольных наводок для зрительной трубы рассчитывается по формуле

$$\Delta z_t = \frac{2k\lambda}{A^2}, \quad \Delta z'_t = \frac{2k\lambda}{A'^2},$$

где  $k = 1/6$  – коэффициент, характеризующий меру чувствительности наводок;  $A, A'$  – передняя и задняя апертура объектива зрительной трубы;  $\lambda = 0,555 \text{ мкм}$  – длина волны.

### 2. Метод Аббе

Определение фокусных расстояний на фокометре Аббе основано на определении увеличения для нескольких (не менее двух) положений предмета, расположенного перпендикулярно к оптической оси испытуемой системы. Расстояние между положениями предмета должно быть известно. Пусть  $y_1$  и  $y_2$  – два предмета, расположенные на расстояниях  $x_1$  и  $x_2$  от переднего фокуса испытуемой системы, а  $y'_1$  и  $y'_2$  – их изображения.

Линейные увеличения в сопряженных плоскостях будут соответственно

$$\beta_1 = \frac{f'_{ис}}{x_1} \text{ и } \beta_2 = \frac{f'_{ис}}{x_2},$$

где  $f'_{ис}$  – фокусное расстояние испытуемой системы.

Угловые увеличения в сопряженных плоскостях

$$\gamma_1 = \frac{x_1}{f'_{ис}} \text{ и } \gamma_2 = \frac{x_2}{f'_{ис}}.$$

Вычитая первое из второго и обозначая  $b$  разность  $x_1 - x_2$ , получаем

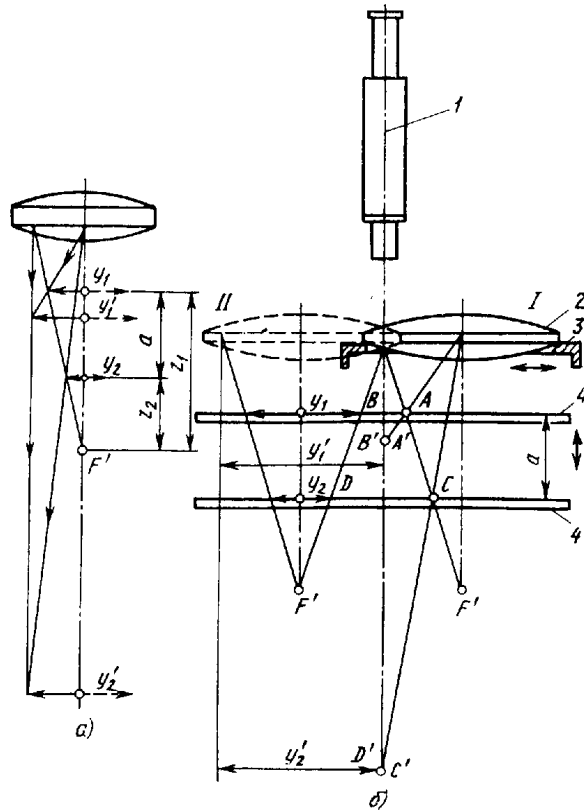
$$f'_{ис} = \frac{x_1 - x_2}{\gamma_1 - \gamma_2} = \frac{b}{\gamma_1 - \gamma_2},$$

а так как

$$\gamma = \frac{1}{\beta} = \frac{y}{y'},$$

то фокусное расстояние испытуемой системы, измеренное на фокометре Аббе, определяется по формуле

$$f'_{ис} = \frac{b}{\frac{y_1}{y'_1} - \frac{y_2}{y'_2}}.$$



### 3. Метод угловых измерений

Измерения выполняют на гониометре. Метод пригоден для измерения фокусных расстояний только положительных систем. Измерив угол  $\alpha$ , под которым виден отрезок  $y$  шкалы 1 и главной точки объектива или линзы, вычисляют фокусное расстояние

$$f' = y \operatorname{ctg} \alpha.$$

Для определения погрешности метода находят относительную погрешность, логарифмируя и дифференцируя формулу

$$\frac{\Delta f'}{f'} = \frac{\Delta y}{y} + \frac{\Delta \alpha}{\operatorname{tg} \alpha \cos^2 \alpha} = \frac{\Delta y}{y} + \frac{2 \Delta \alpha}{\sin 2\alpha}.$$

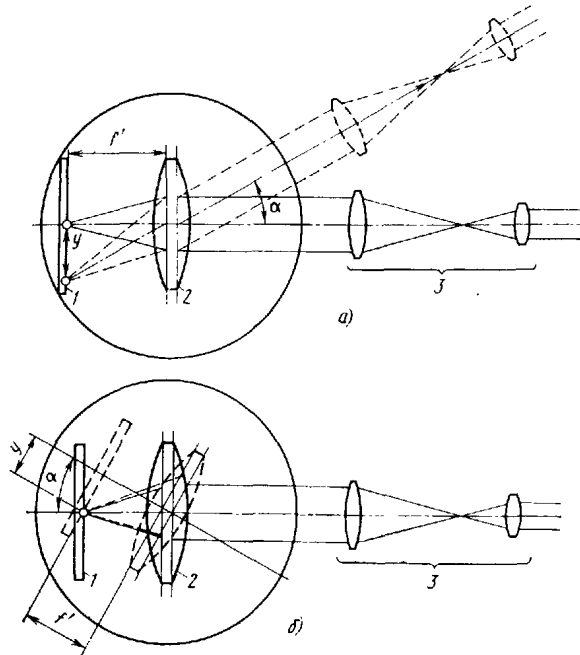
На точность измерения, кроме погрешности измерения  $\Delta y$  и  $\Delta \alpha$ , влияет погрешность установки шкалы в фокальной плоскости объектива (в мм),

$$\Delta f'_y = \Delta z \left( \frac{f'}{F_T} \right)^2 = \frac{0,2f'}{250D^2},$$

где  $\Delta z = 0,2/\sigma_A^2$  – погрешность наведения зрительной трубы, мкм,  $\sigma_A = D/2f'_T$  – апертурный угол ЗТ,  $D$  – диаметр входного зрачка контролируемого объектива ЗТ.

Тогда общая погрешность:

$$\Delta f'/f' = \Delta y/y + 2\Delta\alpha/(\sin 2\alpha) + 0,2f'/(250D^2).$$



#### 4. Метод увеличения

Измерение фокусного расстояния основано на определении линейного размера изображения предмета, сформированного испытуемой системой. В фокальной плоскости коллиматорного объектива расположена сетка с несколькими вертикальными штрихами. Ее изображение получается в фокальной плоскости испытуемого объектива. Это изображение рассматривают посредством микроскопа и измеряют с помощью окуляр-микromетра.

Фокусное расстояние испытуемой системы, определяется по формуле

$$f'_{ис} = \frac{y'}{y} f'_k,$$

где  $y$  – расстояние между штрихами на сетке коллиматора;  $y'$  – величина изображения в фокальной плоскости испытуемого объектива;  $f'_k$  – фокусное расстояние объектива коллиматора.

Для определения погрешности метода находят относительную погрешность, логарифмируя и дифференцируя формулу

$$\Delta f'/f' = \Delta f'_k/f'_k + \Delta y/y + \Delta y'/y'.$$

Испытуемая система центрируется относительно оптической оси прибора. Окулярный микрометр фокусируется на резкое изображение сетки коллиматора, и с помощью микрометренного винта определяется линейный размер изображения  $l'$ . Фокусное расстояние испытуемой системы, измеренное методом фококоллиматора, определяется по формуле

$$f'_{ис} = \frac{l'}{\operatorname{tg}\beta},$$

где  $\beta$  – угол, под которым виден отрезок из главной точки объектива.

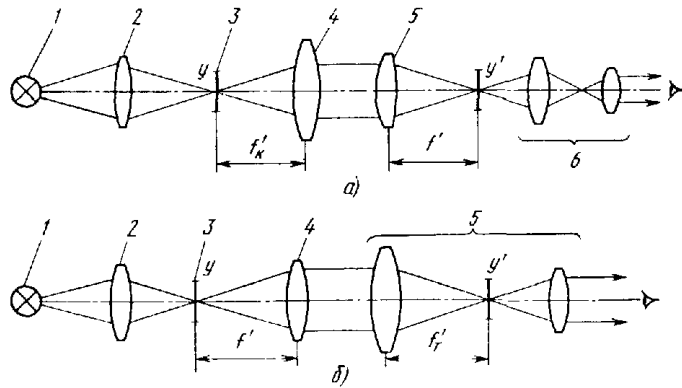


Рис. 94. Схемы устройства для измерения  $f'$  методом увеличения в ходе лучей:  
 а — прямом; б — обратном

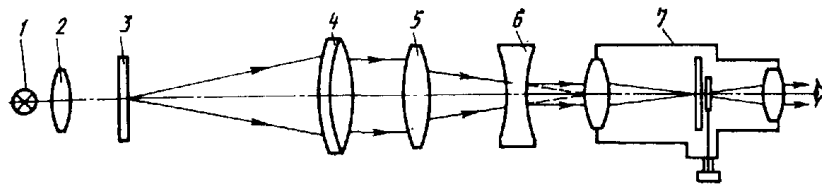


Рис. 95. Схема измерения фокусного расстояния отрицательных линз

## 5. Метод Фабри-Юдина

Метод основан на получении следов узких пучков лучей, прошедших через испытуемую систему и зрительную трубу. Если на расстоянии  $l$  от фокуса испытуемой системы поставить матовый экран, то на нем будут видны следы двух лучей, прошедших через отверстия диафрагмы, расстояние между которыми  $a$ , изображения следов в виде светлых кружков, расстояние между которыми  $d$  можно измерить.

Формула расчета фокусного расстояния испытуемой системы:

$$f'_{ис} = \frac{al}{d}$$

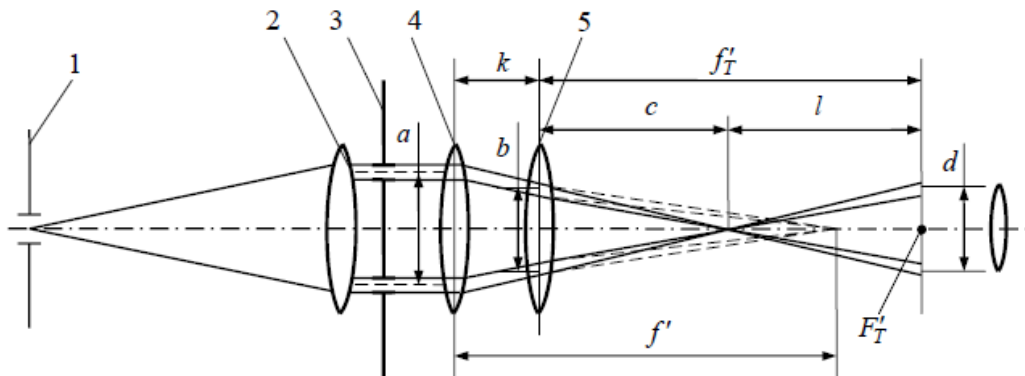


Схема измерения фокусного расстояния по методу Фабри-Юдина

Однако измерить расстояние  $l$  сложно, тогда в фокальной плоскости объектива коллиматора помещают освещенную щель  $l$ , а перед коллиматором находятся две симметричные оси щели  $3$ , параллельные щели  $1$ . Вследствие дифракции от двух щелей, в плоскости сетки микрометра будут видны две системы полос, расстояние между которыми  $d$ . Формула расчета фокусного расстояния испытуемой системы, измеренного методом Фабри-Юдина, получена из подобия треугольников:

$$f'_{ис} = \frac{af'_T}{d}$$

где  $a$  – расстояние между щелями;  $f'_T$  – фокусное расстояние зрительной трубы;  $d$  – расстояние между следами изображения выбранной пары щелей измеренное окуляр-микрометром.

### Задачи (делаем вариант а)

104. Фокусное расстояние линзы диаметром  $D$  измеряется методом трубы и коллиматора. Зрительная труба имеет увеличение  $\Gamma$ , фокусное расстояние объектива  $f'_T$  и точность измерения 6 мм, диаметр объектива  $D_T$ :

а)  $D=50$  мм,  $\Gamma=20^\times$ ,  $f'_T=150$  мм,  $D_T = 35$  мм;

б)  $D=50$  мм,  $\Gamma=10^\times$ ,  $f'_T=200$  мм,  $D_T = 20$  мм;

в)  $D=100$  мм,  $\Gamma=15^\times$ ,  $f'_T=400$  мм,  $D_T = 40$  мм.

Коллиматор имеет фокусное расстояние 1000 мм, диаметр 100 мм. Величина перефокусировки окуляра зрительной трубы 3 мм, цена деления продольной шкалы 0,1 мм, апертура объектива микроскопа 0,1. Вычислить фокусное расстояние линзы и погрешность измерения. Привести значение фокусного расстояния с учетом вычисленной погрешности измерения.

115. При измерении фокусного расстояния на фокометре Аббе объект величиной  $(15 \pm 0,001)$  мм ставится сначала в одном положении вблизи объектива, а затем смещается на величину  $(10 \pm 0,002)$  мм. Испытуемый объектив дает изображения величиной  $y'_1$  и  $y'_2$  для первого и второго положения соответственно:

а)  $y'_1=10$  мм,  $y'_2=12$  мм; б)  $y'_1=13$  мм,  $y'_2=14$  мм;

в)  $y'_1=16$  мм,  $y'_2=15,5$  мм.

Измерение производится с помощью микроскопа с апертурой объектива 0,2. Вычислить фокусное расстояние объектива и погрешность измерения. Привести значение фокусного расстояния объектива с учетом вычисленной погрешности измерения.

124. С какой погрешностью можно измерить фокусное расстояние объектива методом Фабри-Юдина, если расстояние между щелями измерено с погрешностью 0,3%, фокусное расстояние объектива зрительной трубы измерено с погрешностью 0,05%? Испытуемый объектив имеет фокусное расстояние  $f'_{ис}$ , относительное отверстие 1:К. Зрительная труба имеет увеличение  $\Gamma$ , диаметр объектива  $D$ , фокусное расстояние объектива  $f'$ :

а)  $f'_{ис}=60$  мм,  $K=2$ ,  $\Gamma=10^\times$ ,  $D=30$  мм,  $f'=200$  мм;

б)  $f'_{ис}=100$  мм,  $K=5$ ,  $\Gamma=10^\times$ ,  $D=30$  мм,  $f'=200$  мм;

в)  $f'_{ис}=250$  мм,  $K=5$ ,  $\Gamma=10^\times$ ,  $D=40$  мм,  $f'=400$  мм.

Расстояние между щелями равно 3 мм, предел погрешности окулярного микрометра 0,5%. Привести значение фокусного расстояния объектива с учетом вычисленной погрешности измерения.

134. Фокусное расстояние объектива измеряется на фококоллиматоре. Величина изображения в фокальной плоскости испытуемого объектива составила  $2y'$ , соответствующее расстояние между штрихами на сетке коллиматора  $2y$ , фокусное расстояние объектива коллиматора  $f'_k$ :

а)  $2y'=15$  мм,  $2y=35$  мм,  $f'_k=150$  мм;

б)  $2y'=10$  мм,  $2y=20$  мм,  $f'_k=400$  мм;

в)  $2y'=2$  мм,  $2y=10$  мм,  $f'_k=600$  мм.

Вычислить фокусное расстояние объектива и погрешность его измерения, если погрешность окулярного микрометра  $0,005$  мм. Привести значение фокусного расстояния объектива с учетом вычисленной погрешности измерения.

### Задача 5

Какова погрешность измерения фокусного расстояния для метода угловых измерений на гониометре, если линейный размер отрезка шкалы  $y=8$  мм $\pm 0,005$ , измеренный угол  $\alpha=0,3$  рад $\pm 0,0005$ , диаметр входного зрачка  $25$  мм.