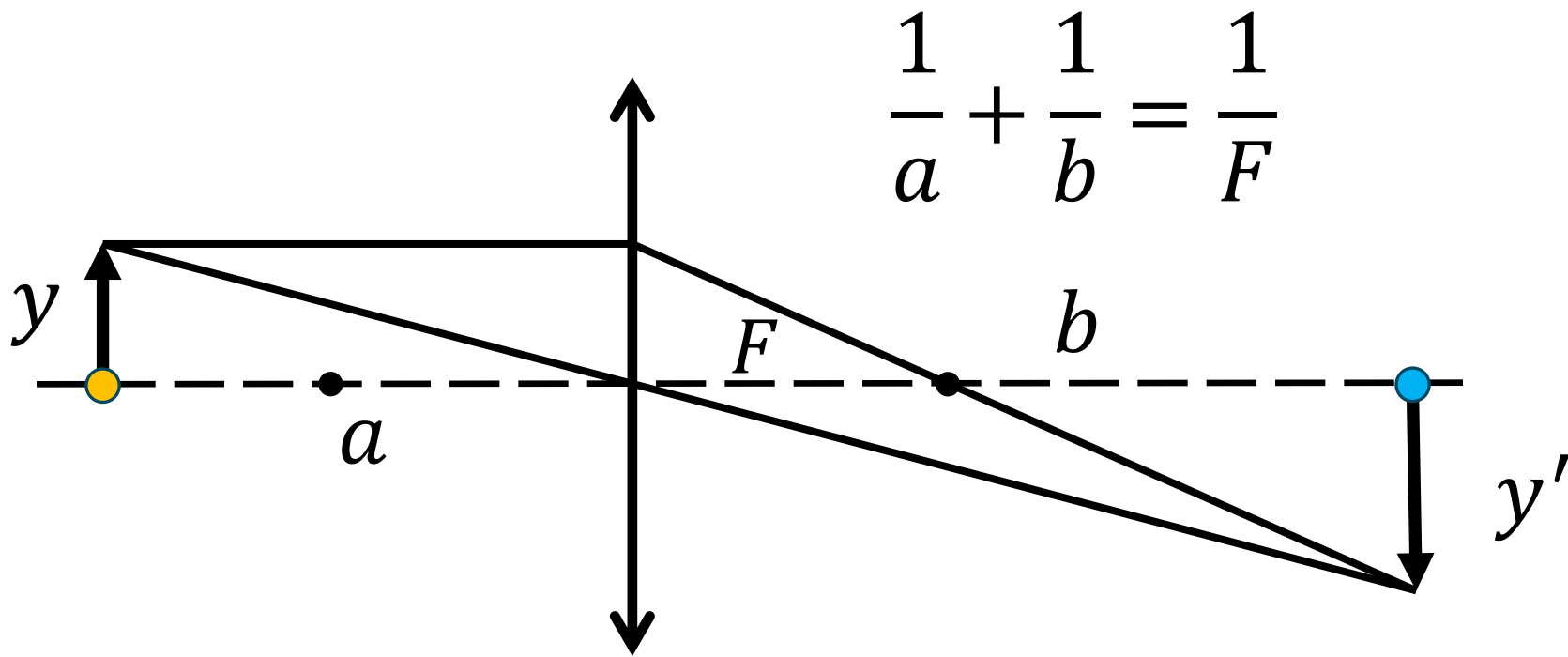




Оптические устройства. Элементы фотометрии.

ЛЕКЦИЯ 2

Увеличение тонкой линзы



$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$$

Увеличение:

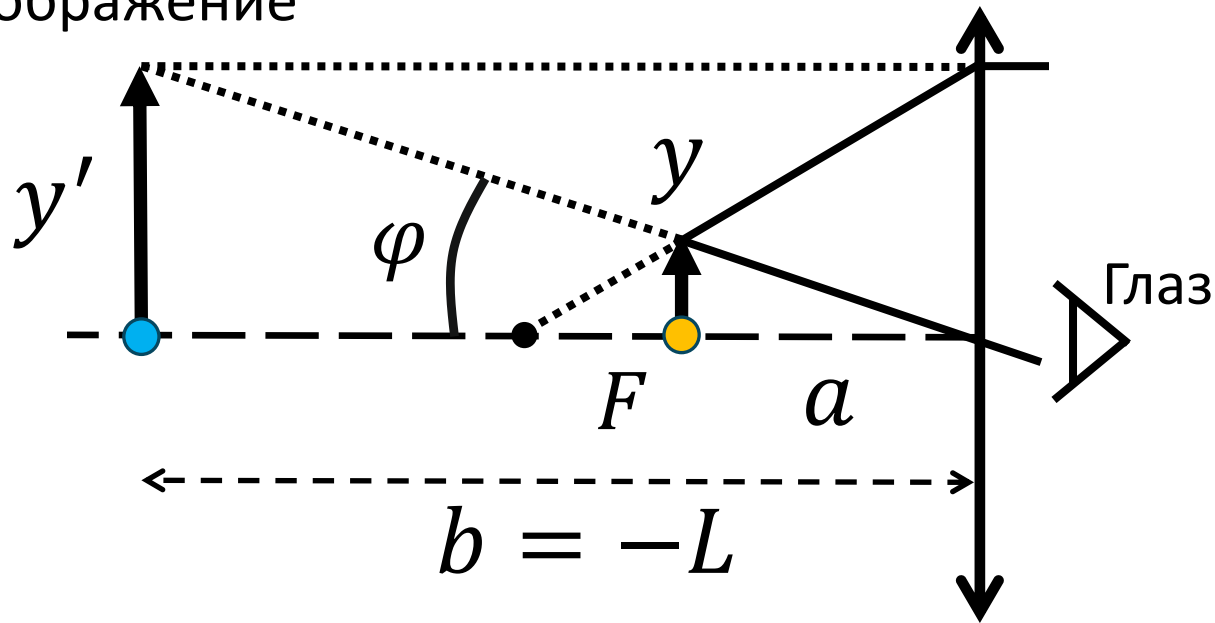
$$\frac{y'}{y} = \frac{b}{a}$$

$$\frac{y'}{y} = \frac{b - F}{F}$$

a – расстояние от линзы до предмета;
 b – расстояние от линзы до изображения.

Оптические устройства: лупа

Изображение



Изображение расположено на расстояние ясного зрения L от лупы

Линейное увеличение:

$$\gamma = -\frac{y'}{y} = \frac{L}{F} + 1$$

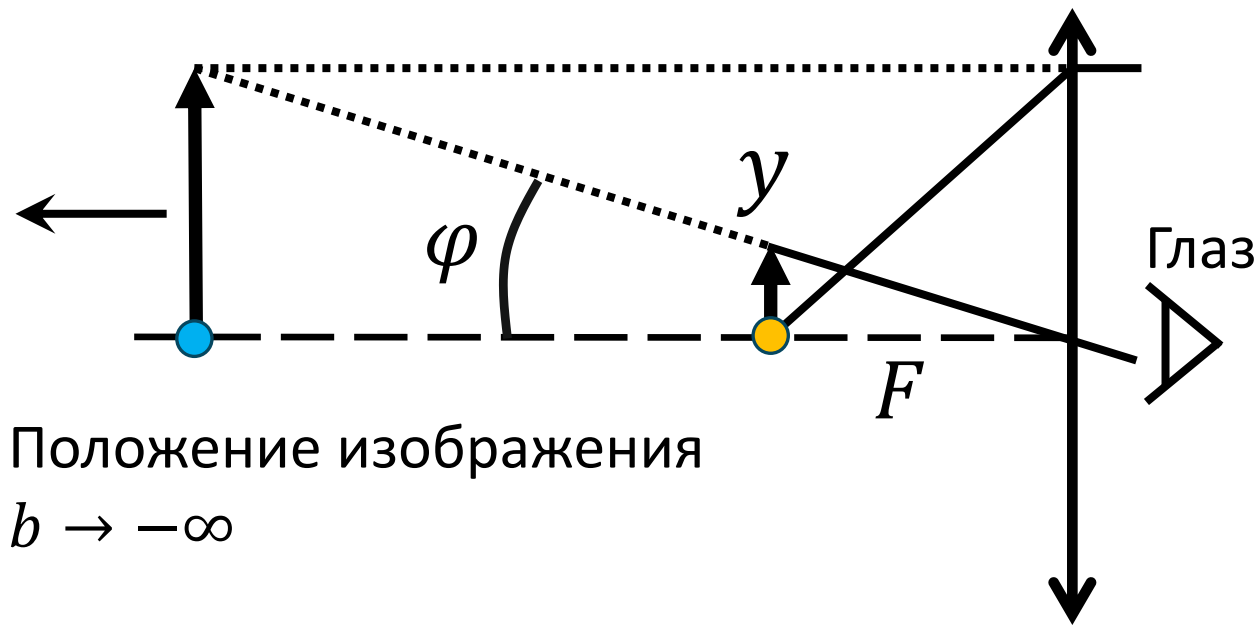
Угловое увеличение:

$$\Gamma = \frac{\varphi}{\varphi_0} = \gamma,$$

$$\varphi = y' / L,$$

$\varphi_0 = y / L$ - угловой размер предмета, видимый без лупы на расстоянии ясного зрения.

Угловое увеличение лупы



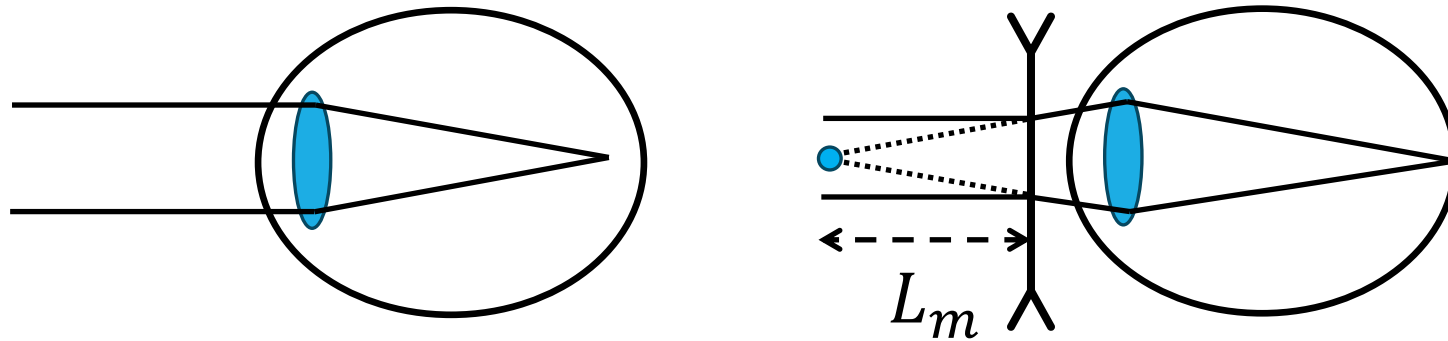
Угловое увеличение:

$$\Gamma = \frac{\varphi}{\varphi_0} = \frac{L}{F}$$

$\varphi = y' / L$,
 $\varphi_0 = y / L$ - угловой размер предмета, видимый без лупы на расстоянии ясного зрения.

Оптические устройства: очки

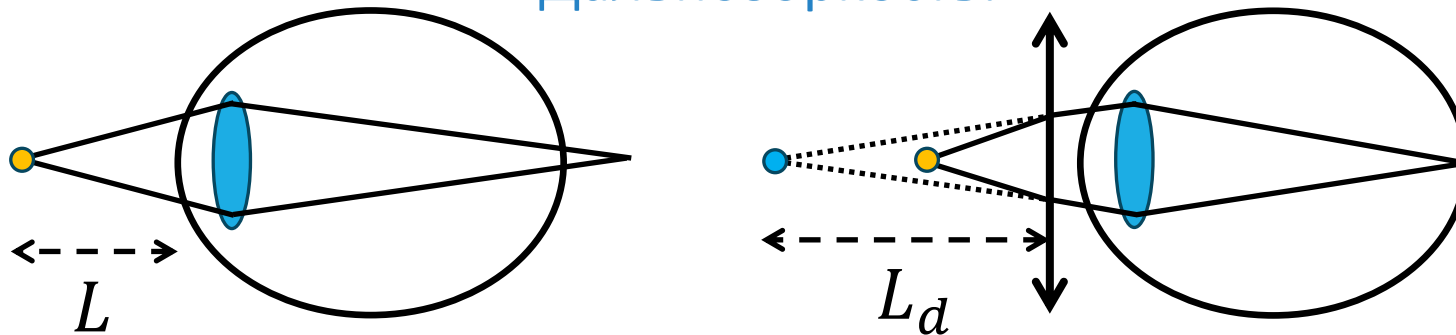
Близорукость:



Оптическая сила очков:

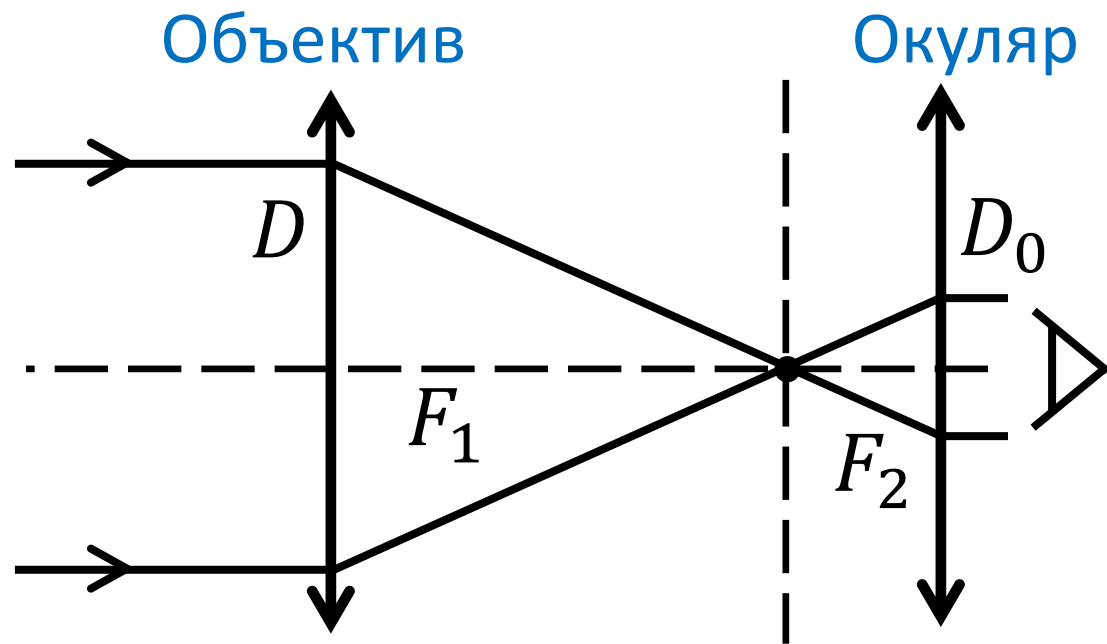
$$D = \frac{1}{F} = -\frac{1}{L_m}$$

Дальнозоркость:



$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{L} - \frac{1}{L_d}$$

Оптические устройства: телескоп

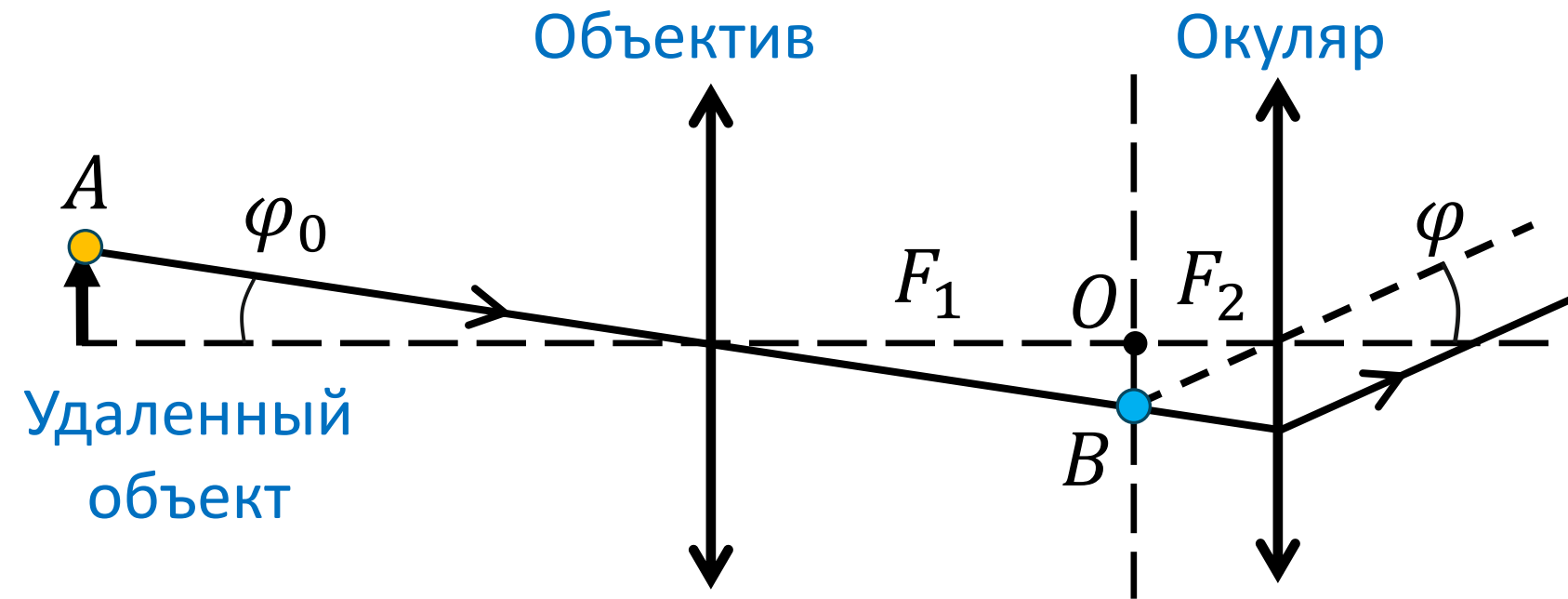


Объектив и окуляр имеют общую фокальную плоскость.

Отношение диаметров входного и выходного пучка:

$$\frac{D}{D_0} = \frac{F_1}{F_2}$$

Увеличение телескопа

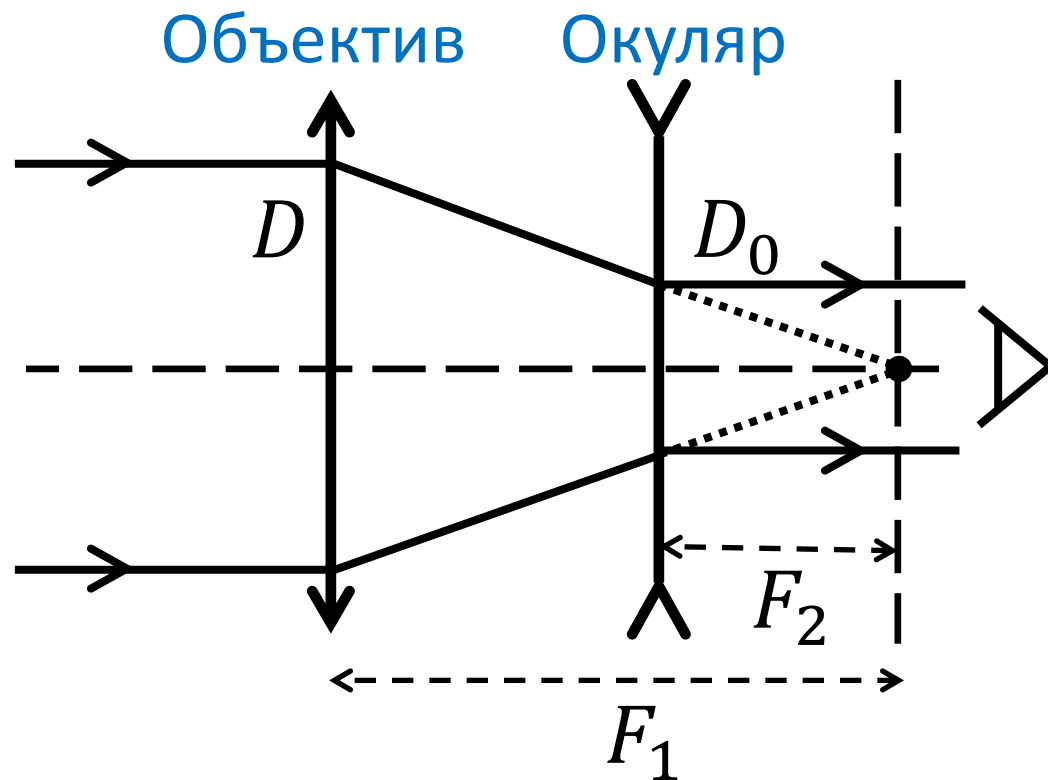


Угловое увеличение:

$$\Gamma = \frac{\varphi}{\varphi_0} = \frac{F_1}{F_2}$$

$$|BO| = F_1 \varphi_0 = F_2 \varphi$$

Оптические устройства: подзорная труба



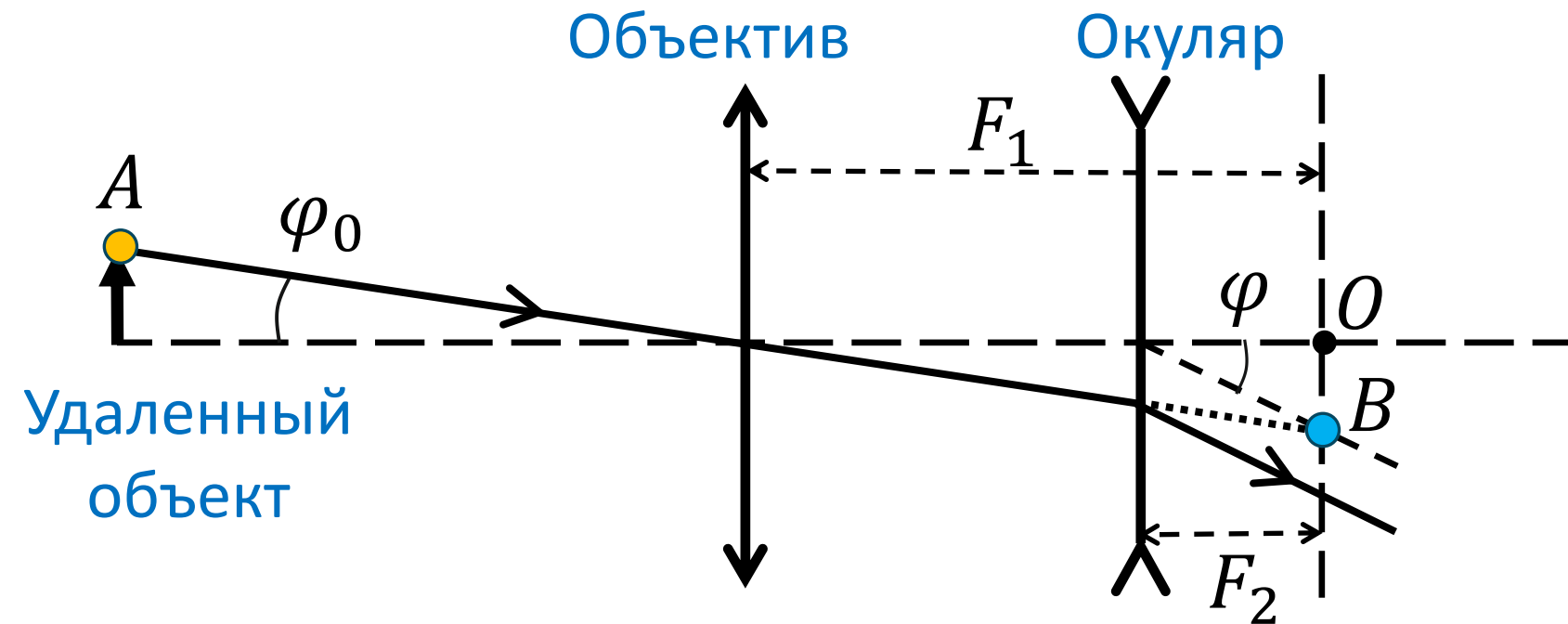
Объектив и окуляр имеют общую заднюю фокальную плоскость.

Отношение диаметров $\frac{D}{D_0} = \frac{F_1}{F_2}$.

Преимущества:

- 1) Прямое (неперевернутое) изображение
- 2) Более компактные размеры

Увеличение подзорной трубы

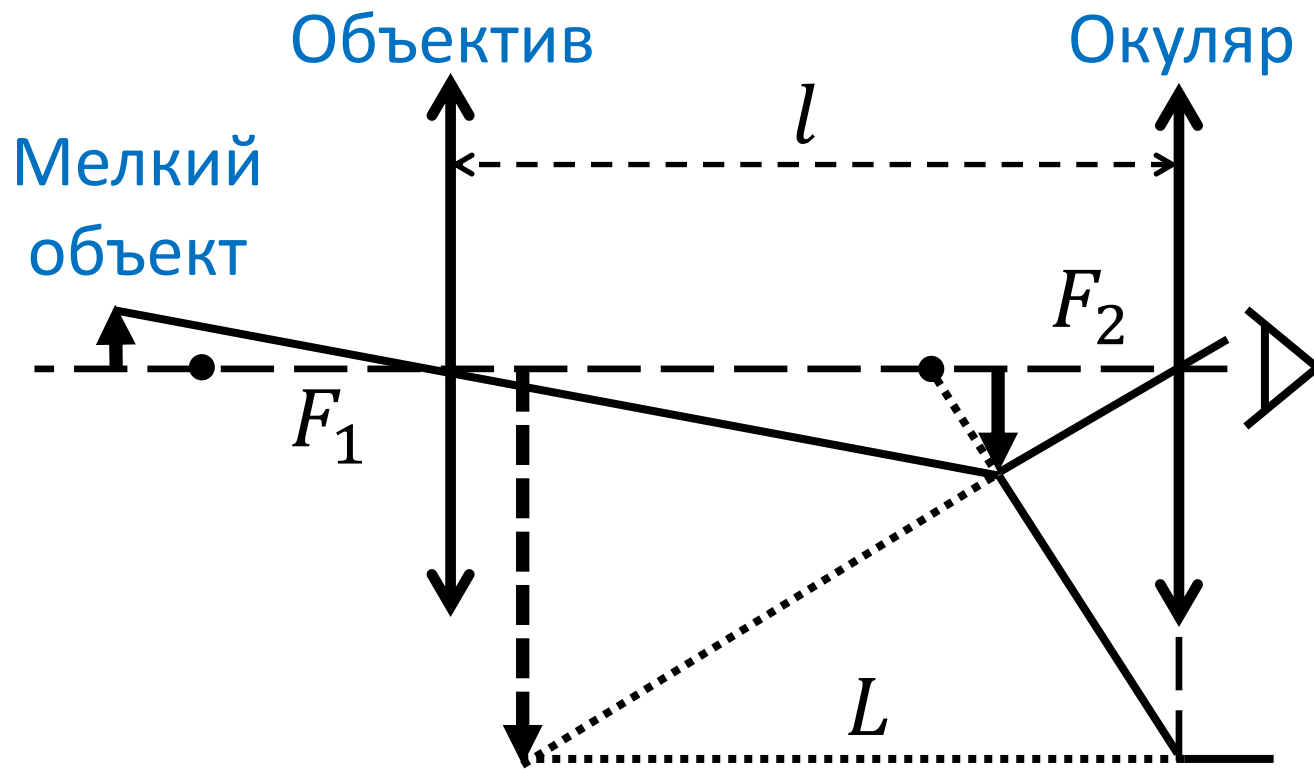


Угловое увеличение:

$$\Gamma = \frac{\varphi}{\varphi_0} = \frac{F_1}{F_2}$$

$$|BO| = F_1 \varphi_0 = F_2 \varphi$$

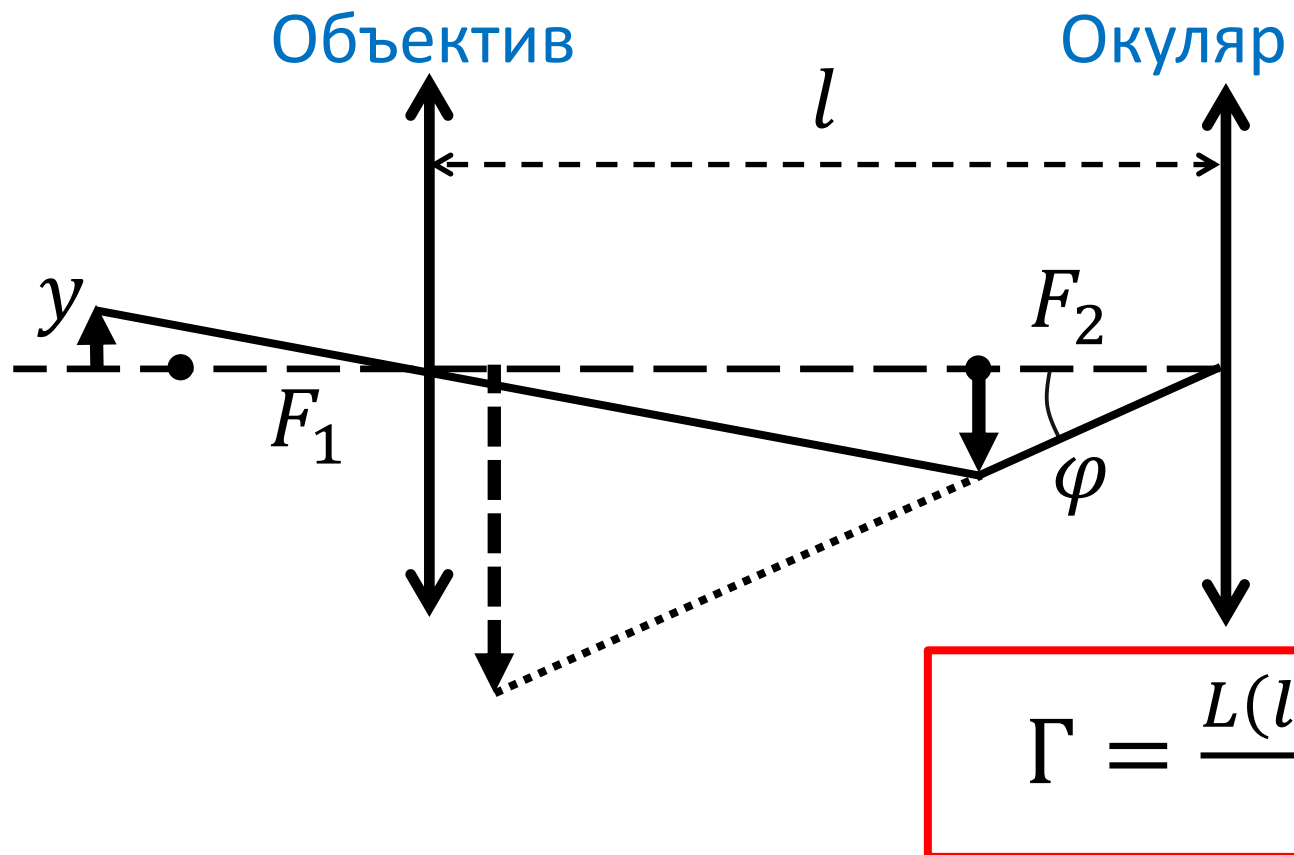
Оптические устройства: микроскоп



Две настройки микроскопа:

- 1) Изображение в окуляре располагается на расстоянии ясного зрения L .
- 2) Изображение после объектива попадает в передний фокус окуляра, тогда изображение в окуляре стремится к $-\infty$, а его угловой размер остается постоянным.

Увеличение микроскопа



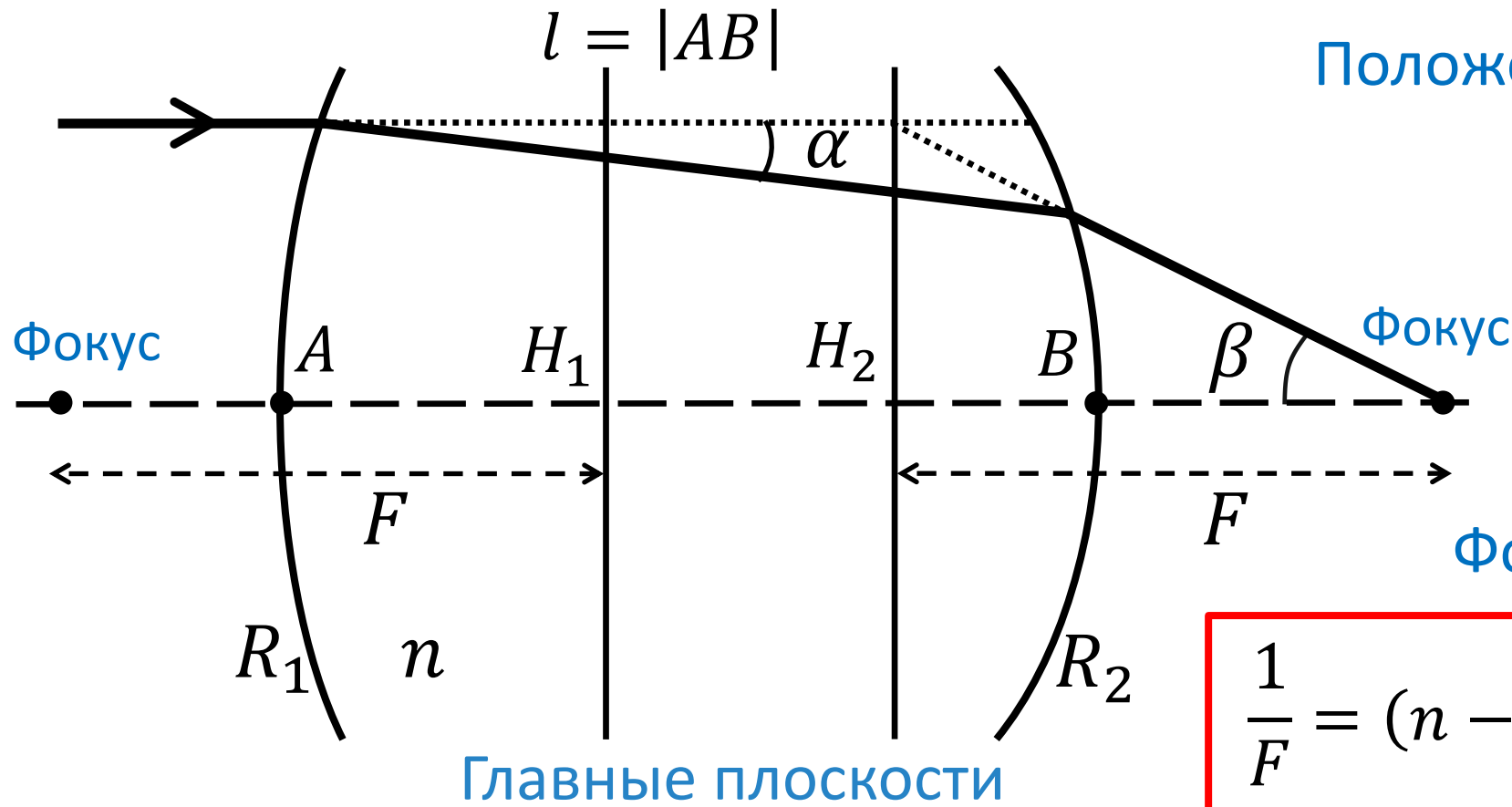
Угловое увеличение
(настройка 2):

$$\Gamma = \frac{\varphi}{\varphi_0}$$

$$\varphi = \frac{\gamma_1 y}{F_2}, \quad \varphi_0 = \frac{y}{L'}$$

$$\gamma_1 = \frac{b - F_1}{F_1}, \quad b = l - F_2$$

Сложные оптические системы: толстая линза (без вывода)



Положение главных плоскостей:

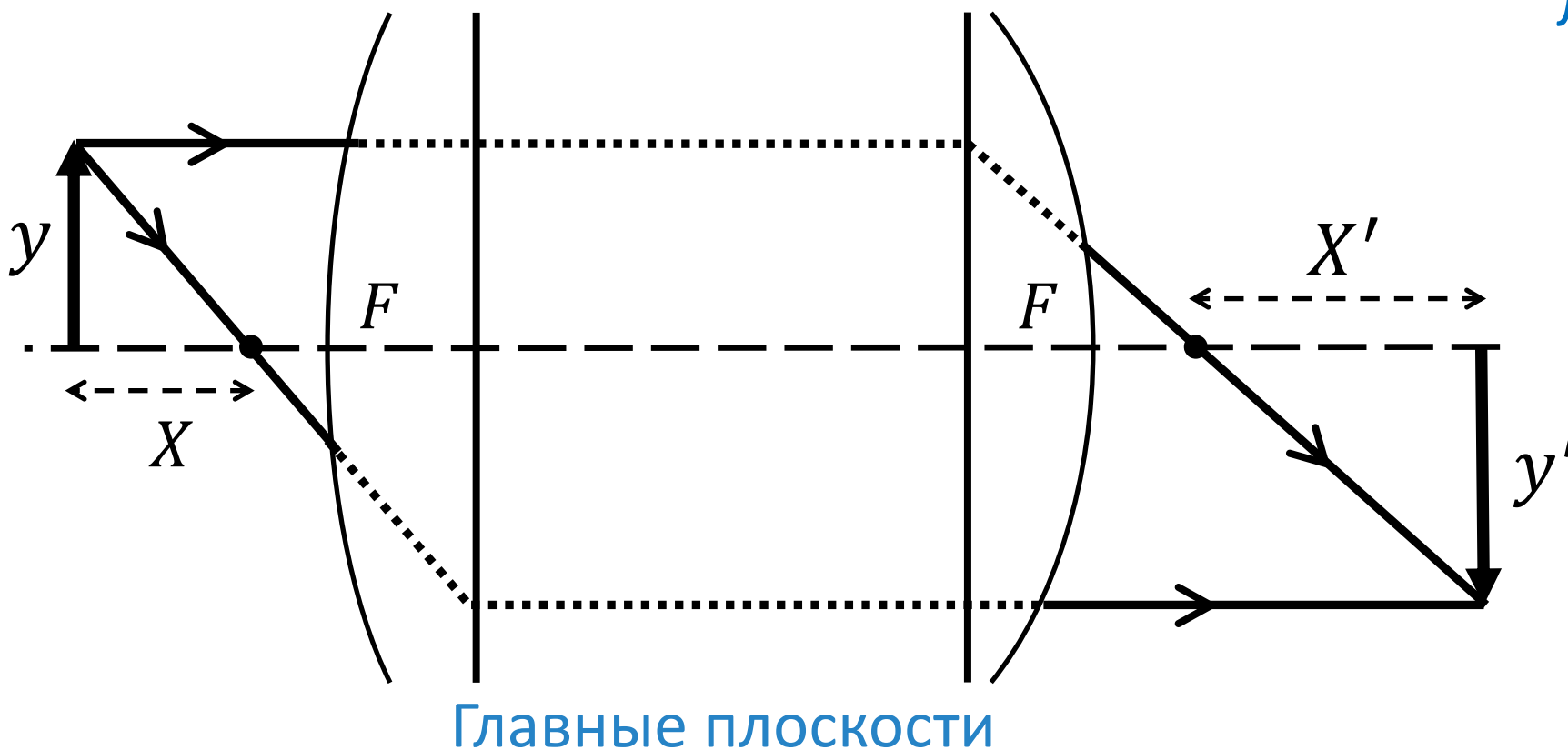
$$|H_2B| = \frac{(n-1)Fl}{nR_1}$$

$$|AH_1| = \frac{(n-1)Fl}{nR_2}$$

Фокусное расстояние:

$$\frac{1}{F} = (n-1) \left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{(n-1)l}{nR_1R_2} \right]$$

Сложные оптические системы: построение изображения



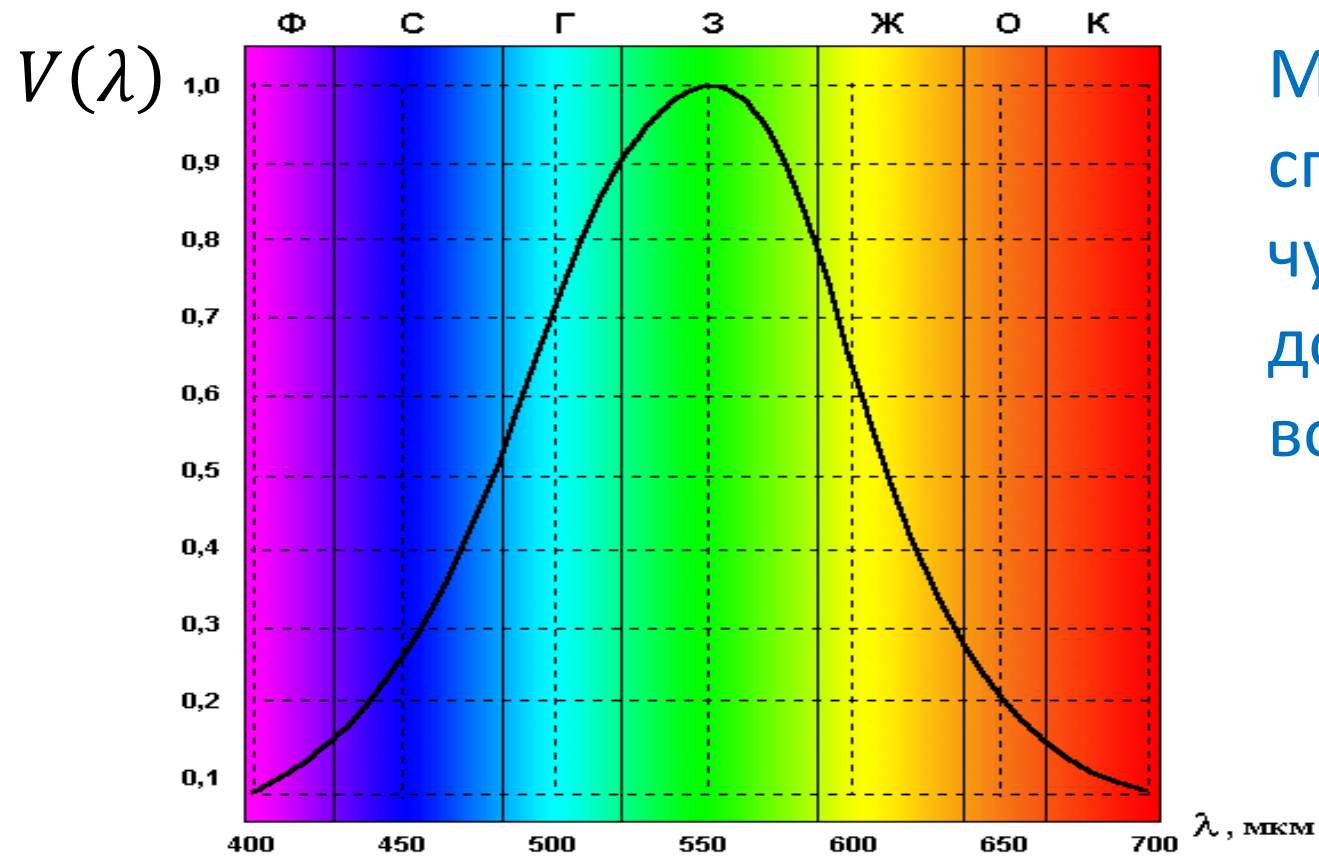
Линейное увеличение:

$$\frac{y'}{y} = \frac{F}{X} = \frac{X'}{F}$$

Положение
изображения:

$$XX' = F^2$$

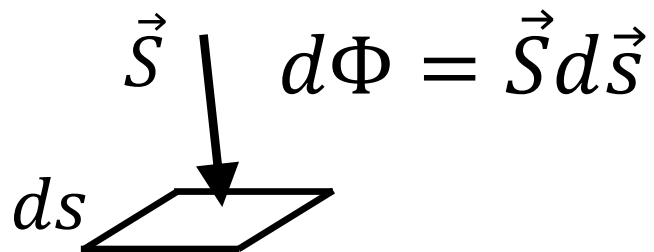
Фотометрия: Спектральная чувствительность глаза для дневного света



Максимум спектральной чувствительности глаза достигается на длине волны $\lambda = 555$ Нм.

Фотометрия: Световой поток. Освещенность

Световой поток Φ :



Принцип суперпозиции:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \dots$$

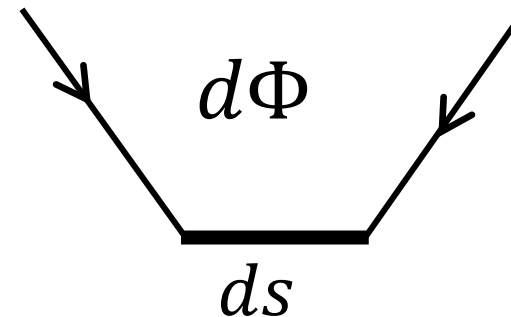
$$\Phi = \int_0^{\infty} V(\lambda) \varphi_{\lambda}(\lambda) d\lambda$$

$V(\lambda)$ - спектральная чувствительность глаза,

$\varphi_{\lambda}(\lambda)$ - спектральная плотность энергии

$[\Phi] = 1$ люмен (лм); $1 \text{ лм} = 0.0016 \text{ Вт}$ для $\lambda = 555 \text{ нм}$

Освещенность E :

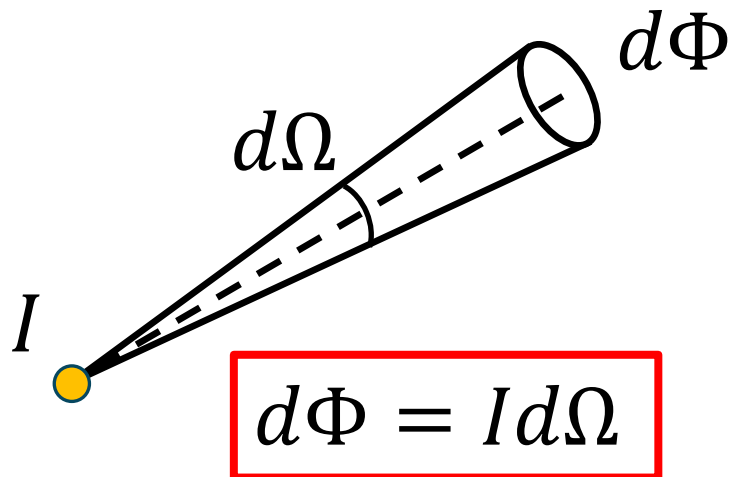


$$E = \frac{d\Phi}{ds}$$

$[E] = 1$ люкс (лм); $1 \text{ лм} = \frac{1 \text{ лм}}{\text{м}^2}$

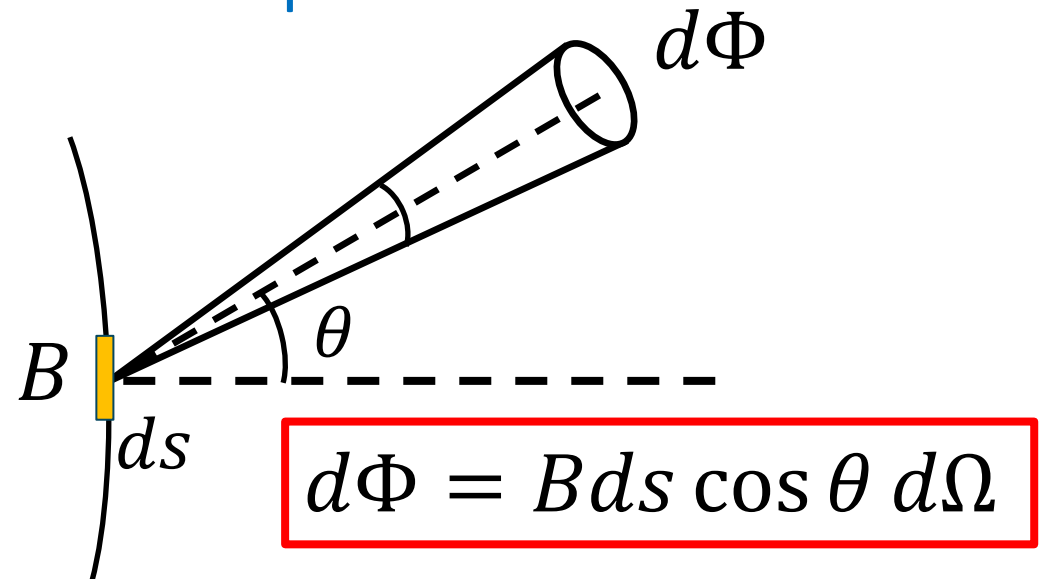
Фотометрия: Сила света. Яркость.

Точечный источник света:
Сила света I



$[I] = 1$ кандела (кд)
(1 свеча = 1.005 кд)

Протяженный источник света:
Яркость B

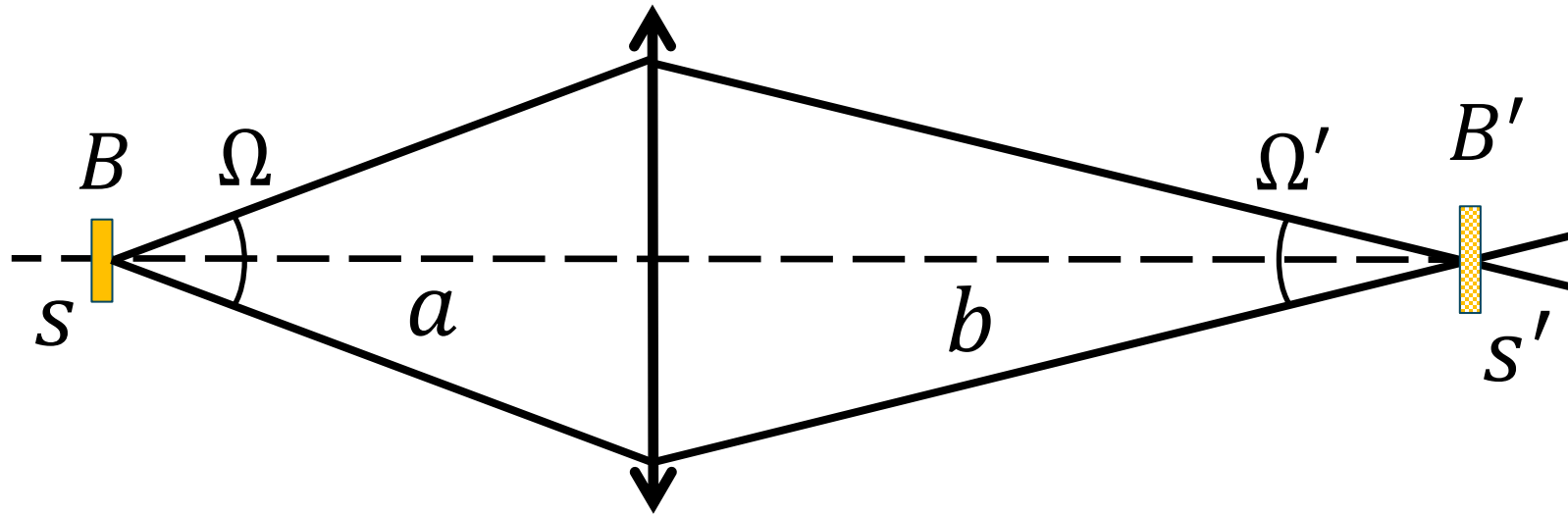


Ламбертов источник:
Яркость B не зависит от угла θ

$$[B] = \frac{1 \text{ кд}}{\text{м}^2}$$

Яркость изображения

Световой поток: $\Phi = B s \Omega = B' s' \Omega'$



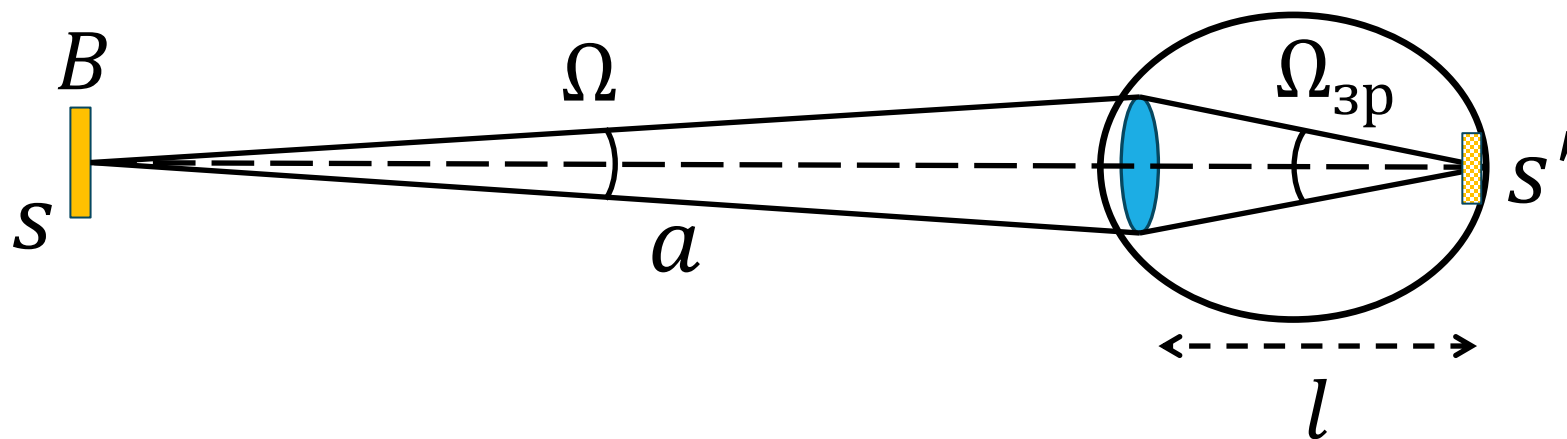
$$\begin{cases} \frac{s'}{s} = \frac{b^2}{a^2} \\ \frac{\Omega'}{\Omega} = \frac{a^2}{b^2} \end{cases} \Rightarrow s \Omega = s' \Omega'$$

Яркость изображения = яркость предмета: $B' = B$

Зрительное ощущение яркости

Световой поток: $\Phi = Bs\Omega$

Освещенность изображения: $E = \Phi/s' = Bs\Omega/s'$



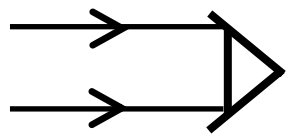
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{s'}{s} = \frac{l^2}{a^2} \\ \frac{\Omega'}{\Omega} = \frac{a^2}{l^2} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow s\Omega = s'\Omega_{zp}$$

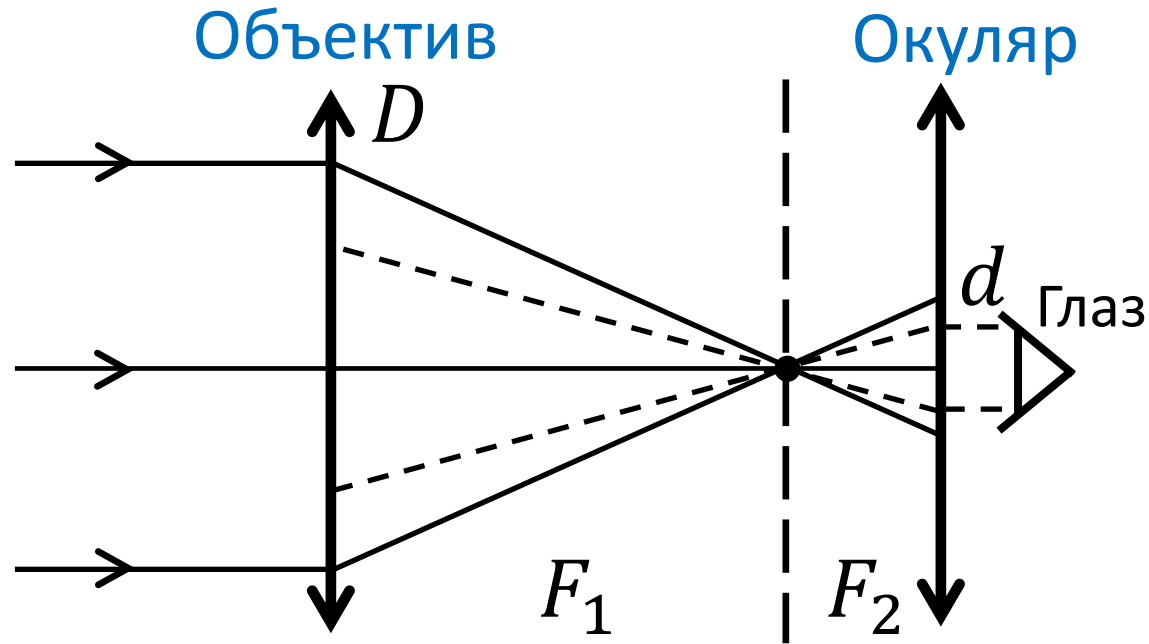
Освещенность изображения на сетчатке глаза:

$$E = B\Omega_{zp}$$

“Яркость” изображения в телескопе



Без телескопа: световой поток Φ_0 , площадь изображения s_0 , его освещенность $E_0 = \Phi_0/s_0$.



С телескопом:

световой поток: $\Phi = \Phi_0 \Gamma^2$,
площадь изображения: $s = s_0 \Gamma^2$,
 $\Gamma = F_1/F_2$ - увеличение телескопа.

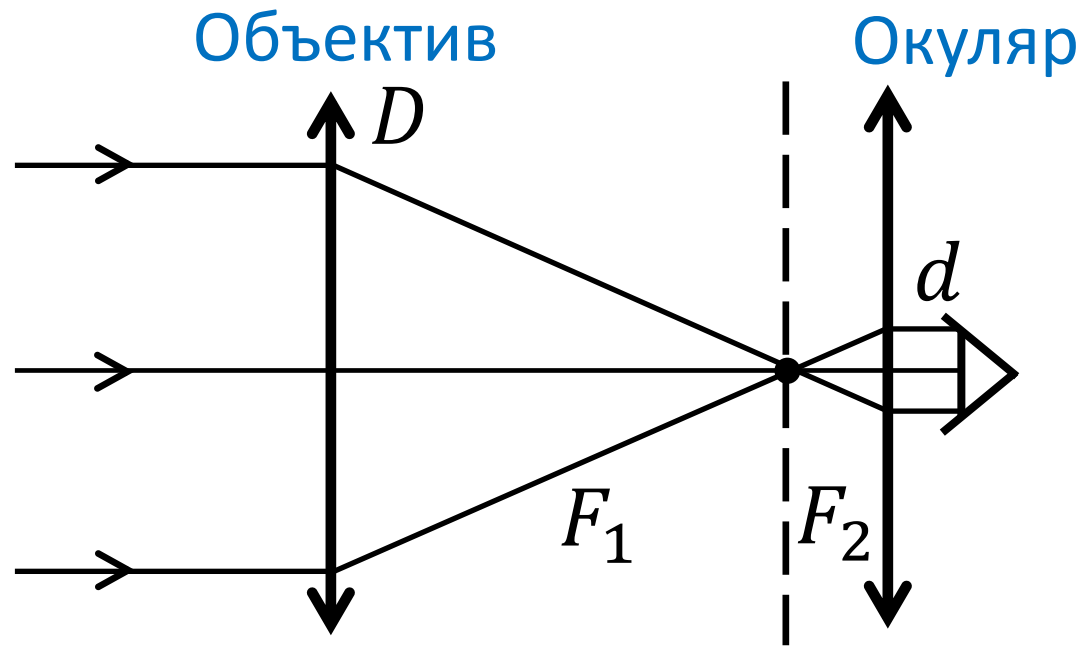
Освещенность изображения:

$$E = \Phi/s = \Phi_0/s_0 \Rightarrow \boxed{E = E_0}$$

Условие: $\Gamma d \leq D$ (или $\Gamma \leq D/d$),
где D - диаметр объектива, d - диаметр зрачка.

Нормальное увеличение телескопа

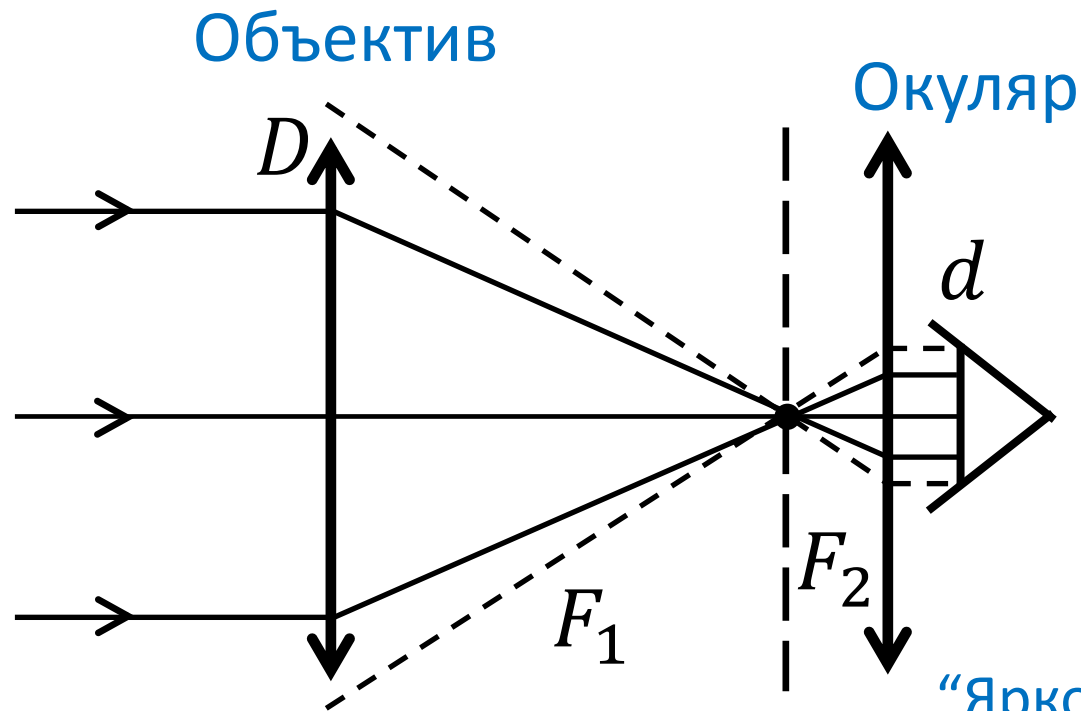
Нормальное увеличение: $\Gamma_N = D/d$



Нормальное увеличение – это максимальное увеличение $\Gamma = \Gamma_N$, при котором освещенность изображения на сетчатке (зрительная яркость) не уменьшается и равна $E = E_0$

Увеличение телескопа больше нормального

Увеличение телескопа: $\Gamma > \Gamma_N = D/d$



При $\Gamma > \Gamma_N$:

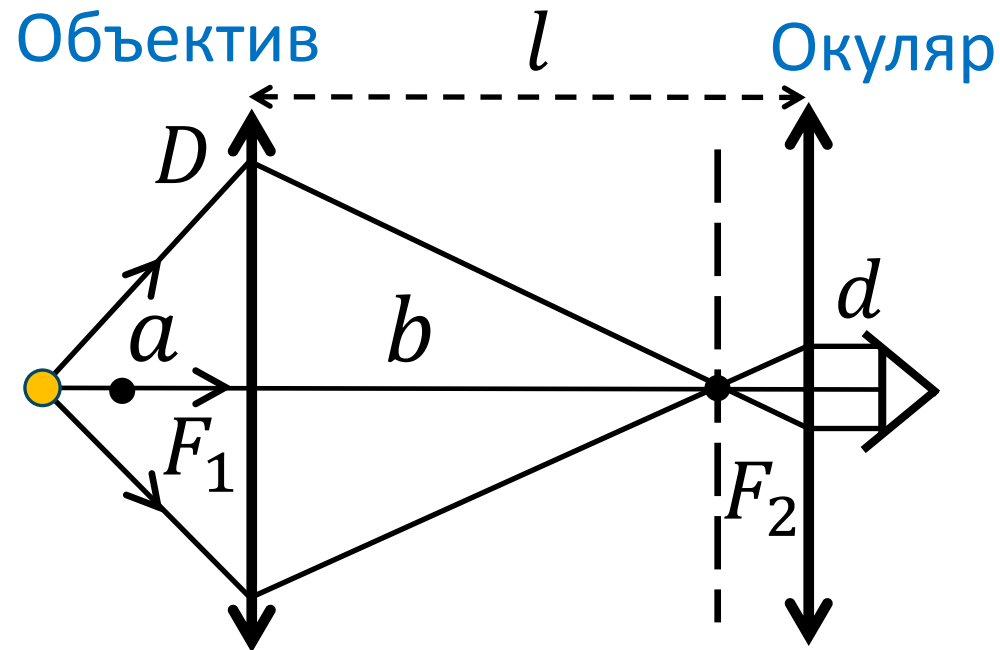
световой поток: $\Phi = \Phi_0 \frac{D^2}{d^2} = \Phi_0 \Gamma_N^2$,
площадь изображения: $s = s_0 \Gamma^2$.

Освещенность изображения:

$$E = \frac{\Phi}{s} = \frac{\Phi_0}{s_0} \frac{\Gamma_N^2}{\Gamma^2} \Rightarrow E = E_0 \left(\frac{\Gamma_N}{\Gamma} \right)^2$$

“Яркость” изображения падает с ростом увеличения

“Яркость” изображения в микроскопе



При нормальном увеличении ($\Gamma = \Gamma_N$) диаметр выходного пучка равен диаметру зрачка d , т.е. $\frac{D}{d} = \frac{b}{F_2}$.

Увеличение микроскопа $\Gamma = \frac{b}{a} \frac{L}{F_2}$. Тогда:

$$\Gamma_N = \frac{LD}{ad} \approx \frac{LD}{F_1 d}$$

Освещенность изображения на сетчатке глаза:

$$E = \begin{cases} E_0 & \text{при } \Gamma \leq \Gamma_N \\ E_0 (\Gamma_N / \Gamma)^2 & \text{при } \Gamma > \Gamma_N \end{cases}$$