

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 12

Законы геометрической оптики: отражение, преломление,  
полное внутреннее отражение,  
пределный угол преломления.

Рефрактометр.

Волоконная оптика.

Тонкие линзы: построение изображений, получаемых  
с помощью собирающей и рассеивающей линз.

Лупа, микроскоп: ход лучей.

Аберрации линз.

# Геометрическая оптика

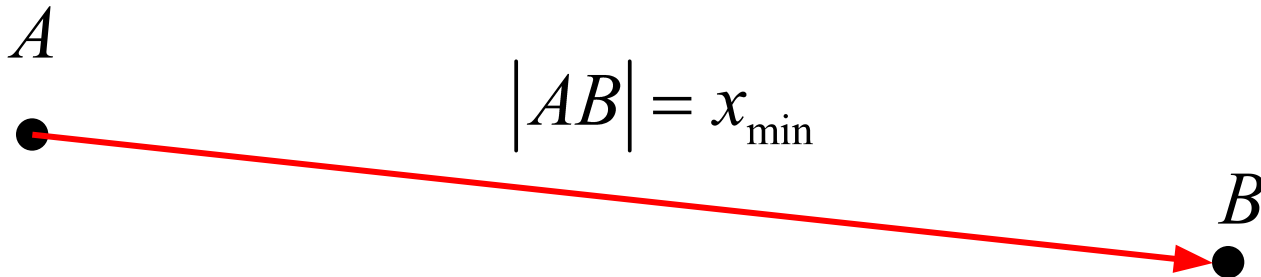
Не учитываются волновые свойства света

В однородной среде свет распространяется  
прямолинейно по лучам

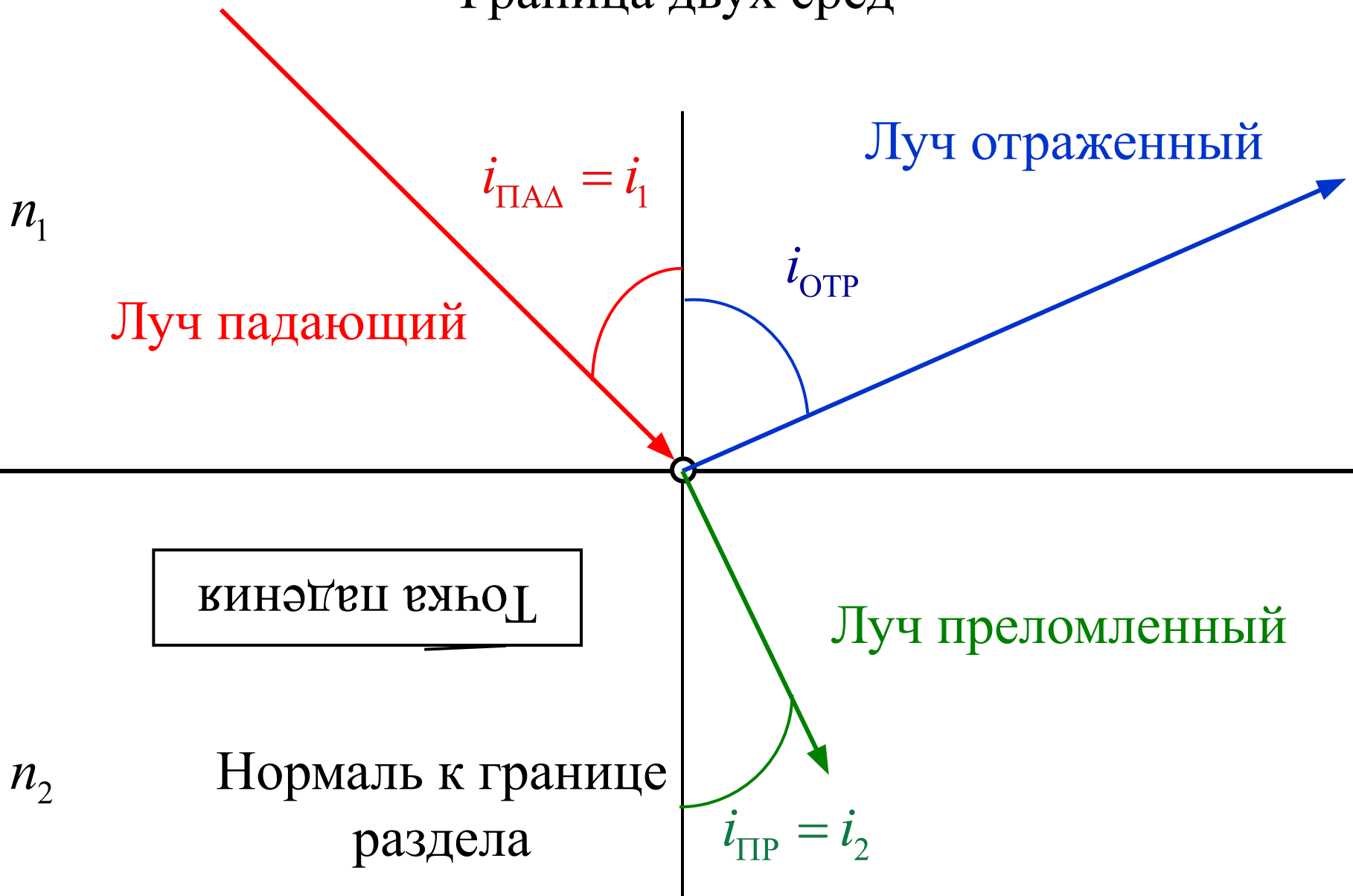
Основа: принцип наименьшего времени

Однородная изотропная среда

$v = \frac{c}{n}$  – одинакова во всех направлениях

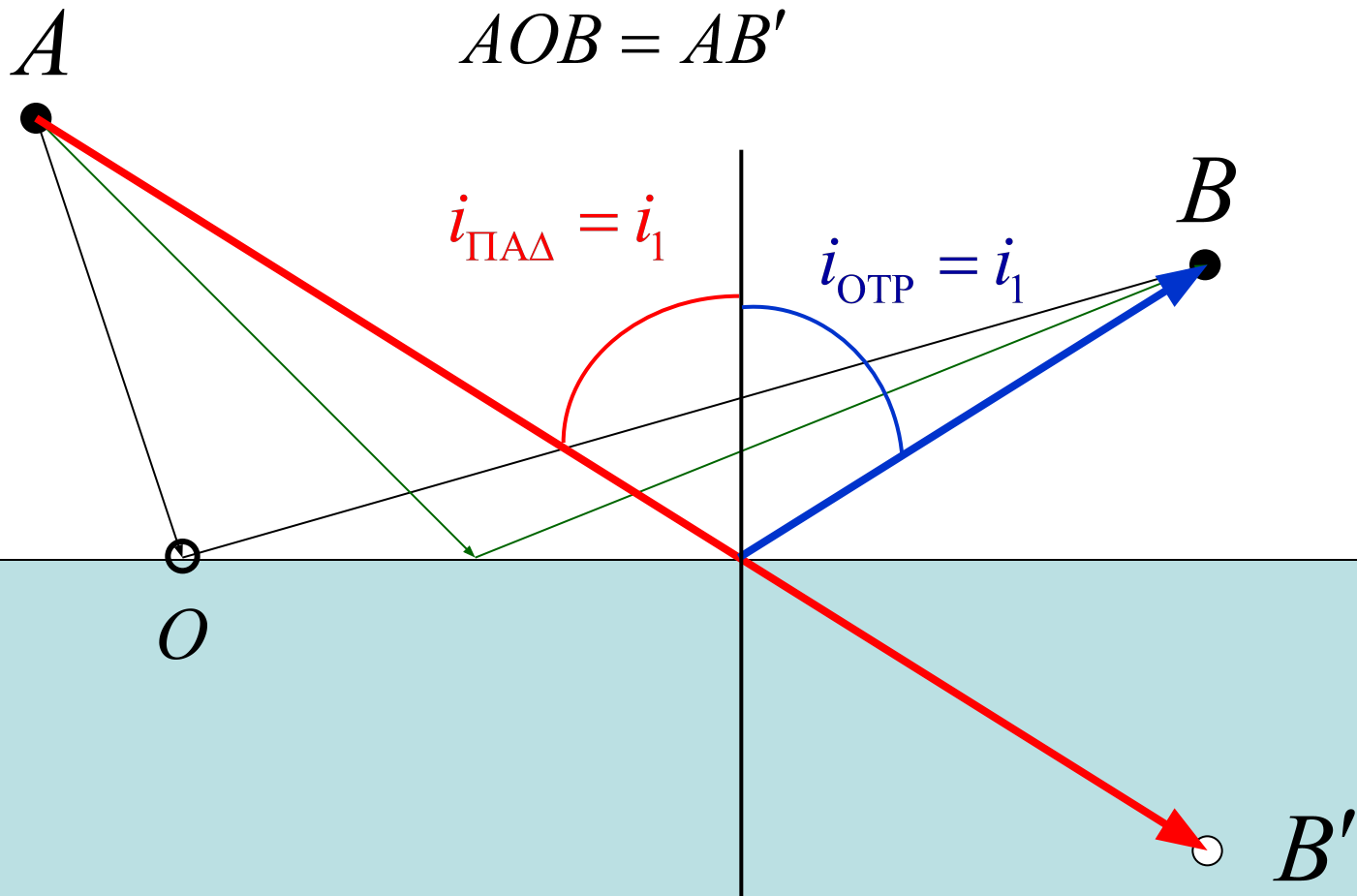


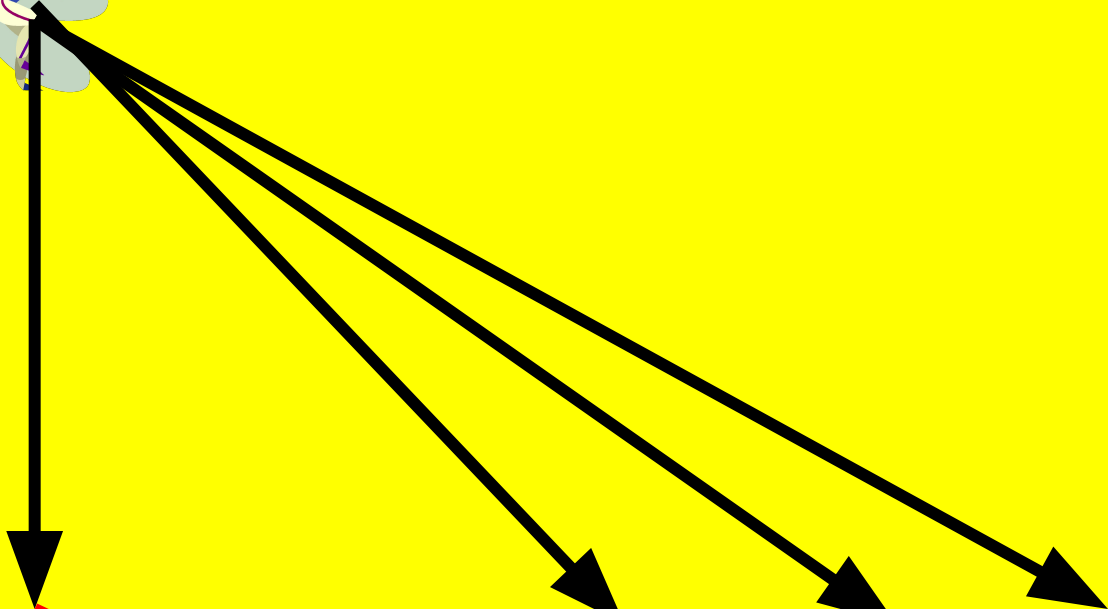
# Граница двух сред



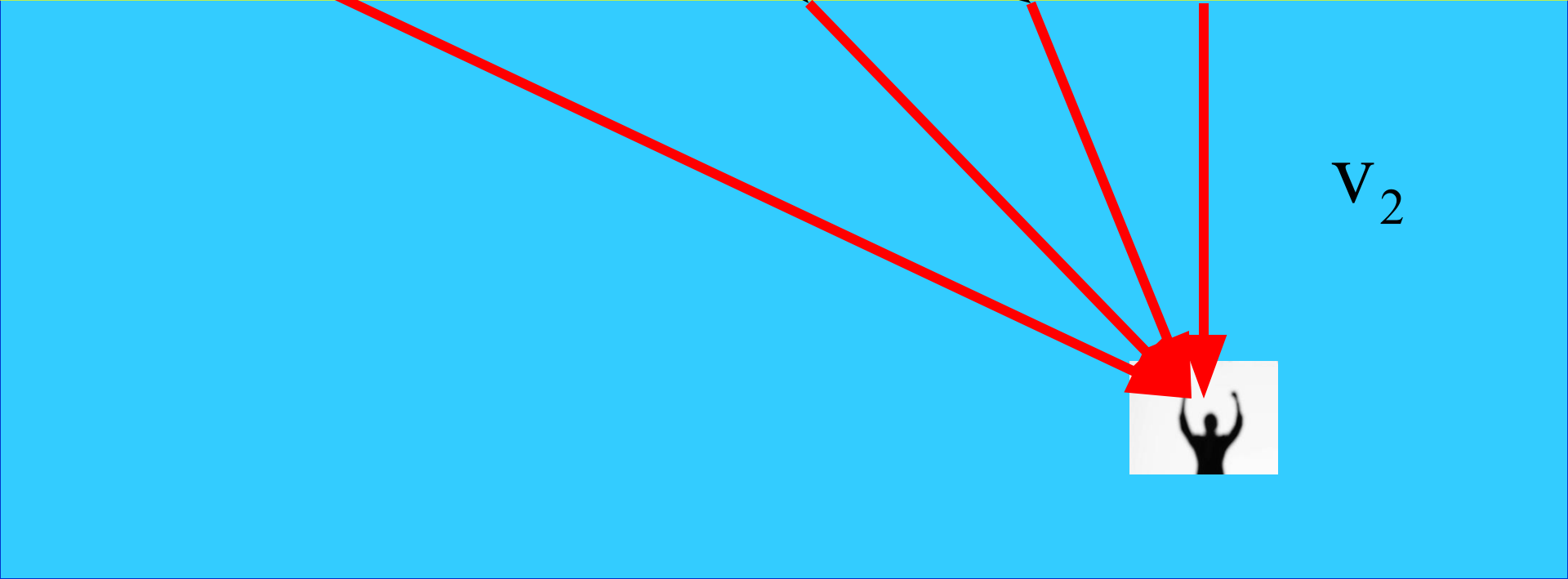
$$AOB = AO + OB \quad t = \frac{AOB}{v} \quad AOB_{\min} \Rightarrow t_{\min}$$

$$AOB = AB'$$

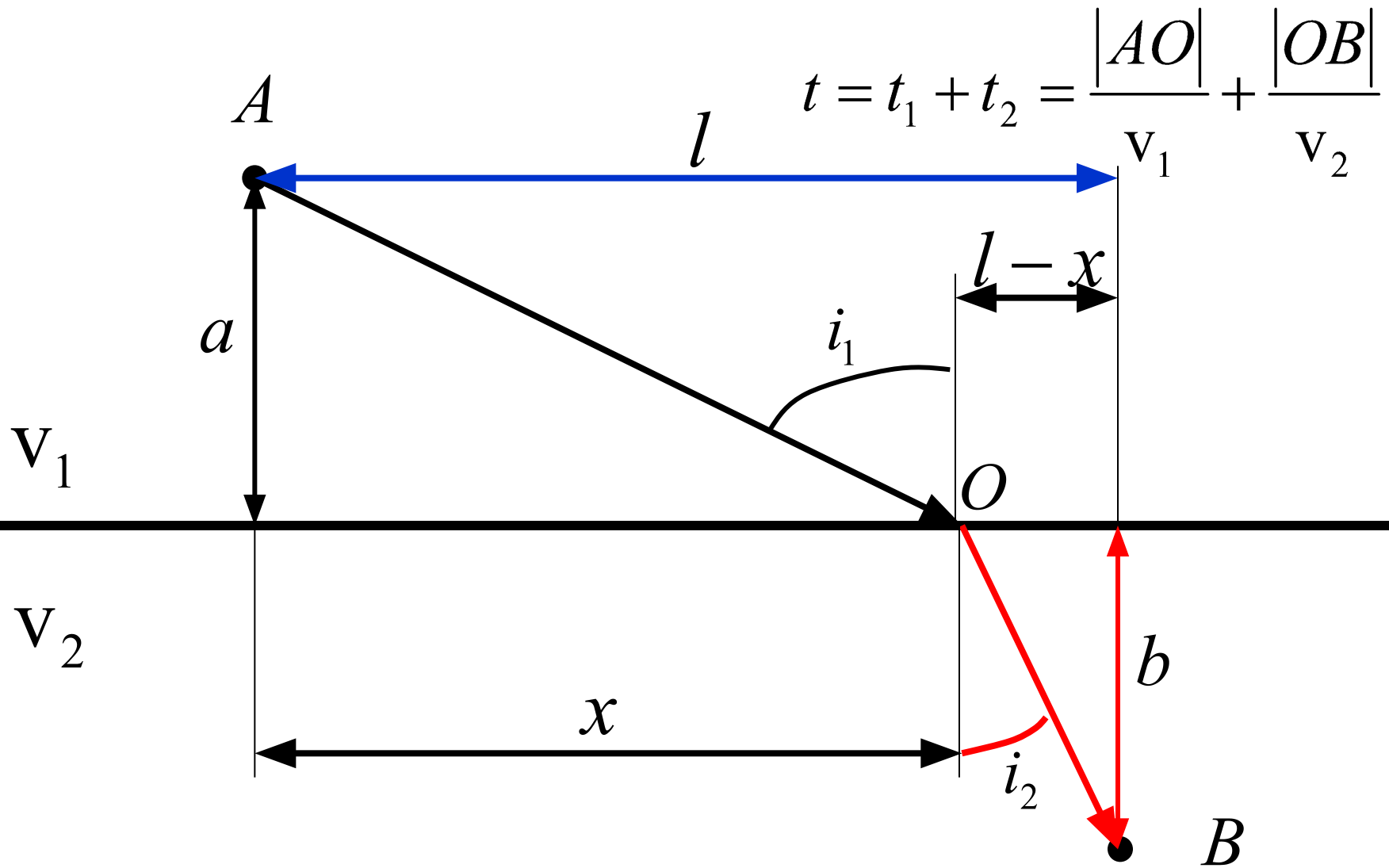




$V_1$



$V_2$



$$t = t_1 + t_2 = \frac{|AO|}{v_1} + \frac{|OB|}{v_2} \quad t = \frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{b^2 + (l-x)^2}}{v_2}$$

$$t = t_{\min} \Rightarrow \frac{dt}{dx} = 0$$

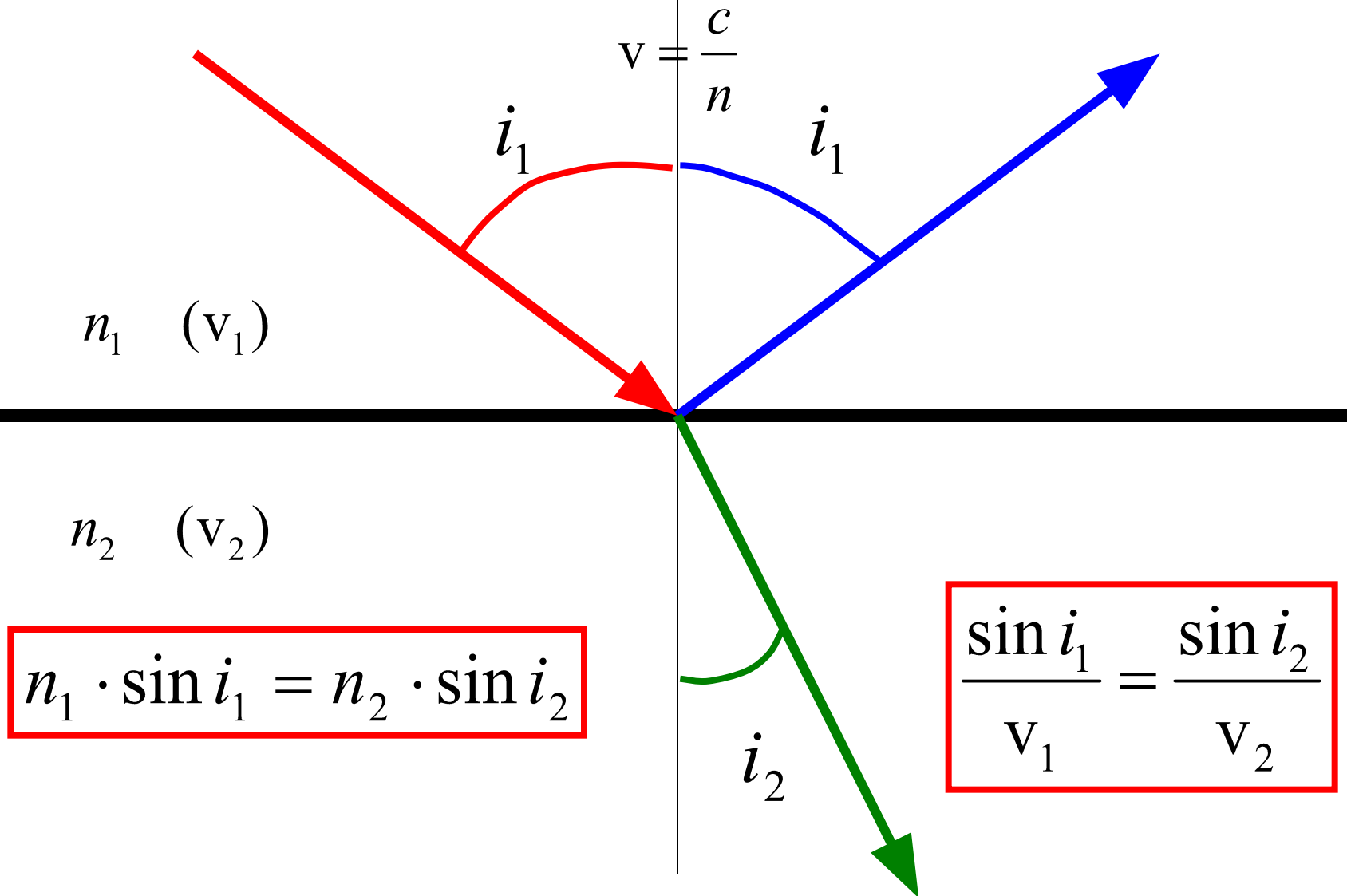
$$\frac{dt}{dx} = \frac{2x}{v_1 \sqrt{a^2 + x^2}} + \frac{-2(l-x)}{v_2 \sqrt{b^2 + (l-x)^2}} = 0$$

$$\frac{x}{v_1 \sqrt{a^2 + x^2}} = \frac{(l-x)}{v_2 \sqrt{b^2 + (l-x)^2}}$$

$$\frac{x}{v_1 |AO|} = \frac{(l-x)}{v_2 |OB|}$$

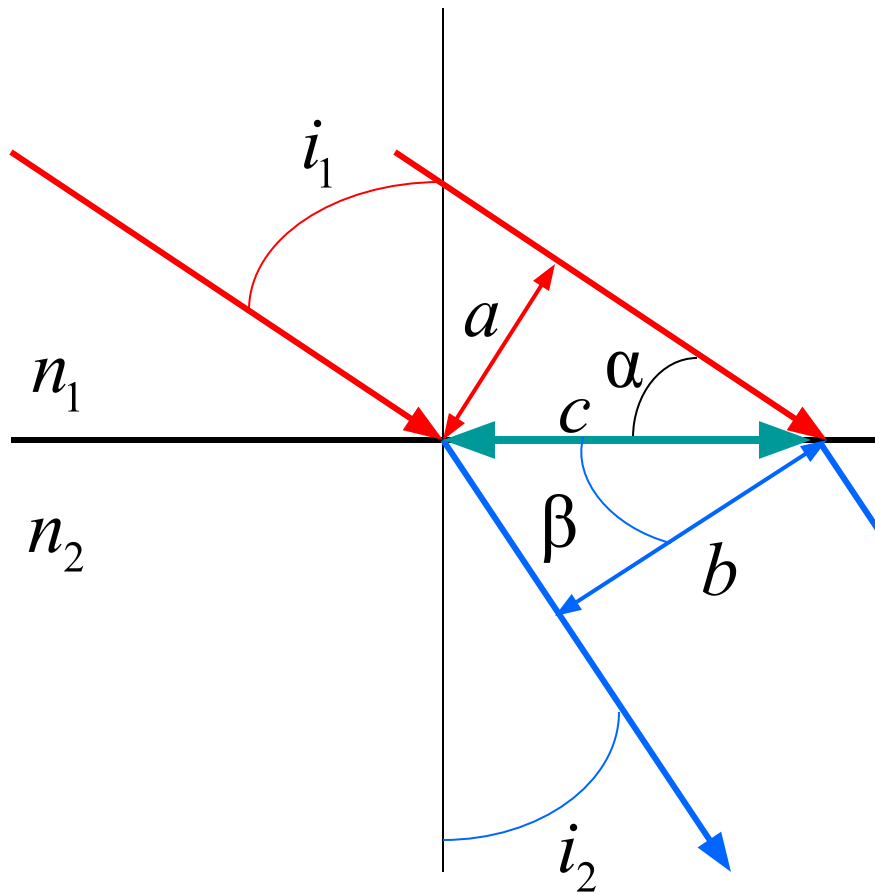
$$\frac{\sin i_1}{v_1} = \frac{\sin i_2}{v_2}$$

# Законы геометрической оптики.





Пучок параллельных лучей падает на толстую стеклянную пластину под углом  $i_1=60^\circ$ , и преломляясь, переходит в стекло ( $n_2 = 1,30$ ). Ширина  $a$  пучка в воздухе равна 10 см. Определить ширину  $b$  пучка в стекле.



$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$$

$$\sin i_2 = \frac{\sin i_1}{n_2} = \quad i_2 =$$

$$\alpha =$$

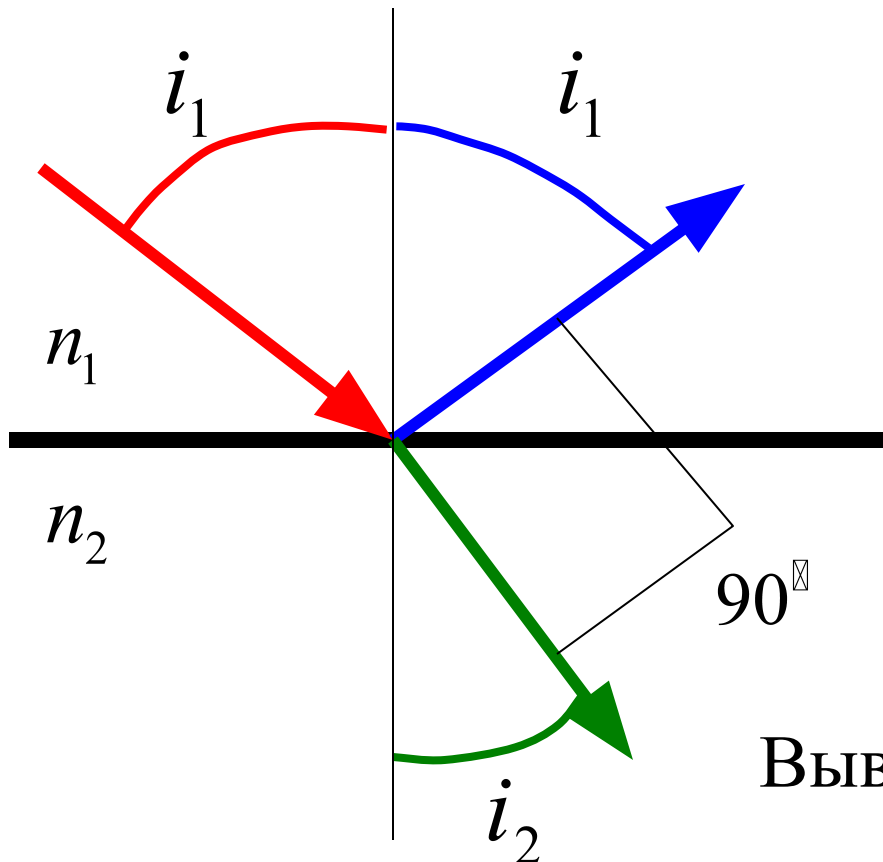
$$c = \frac{a}{\sin \alpha} =$$

$$\beta =$$

$$b = c \cdot \sin \beta =$$

Луч света переходит из среды с показателем преломления  $n_1$  в среду с показателем преломления  $n_2$ . Показать, что если угол между отраженным и преломленным лучами равен  $90^\circ$ , то выполняется условие

$\operatorname{tgi}_1 = n_2/n_1$  ( $i_1$  — угол падения).



$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin i_1}{\sin i_2}$$

$$i_2 = 180 - 90 - i_1 =$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin i_1}{\sin(90 - i_1)} =$$

Вывод:

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2 \left\{ \begin{array}{l} n_1 \boxtimes n_2 \rightarrow i_1 \boxtimes i_2 \\ n_1 \boxtimes n_2 \rightarrow i_1 \boxtimes i_2 \end{array} \right.$$

## Рефрактометрия

$$n = ?$$

$$n = n(c)$$

Закон преломления света на границе двух сред:

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

Два случая:

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

1.  $n_1 > n_2 \Rightarrow i_1 > i_2$

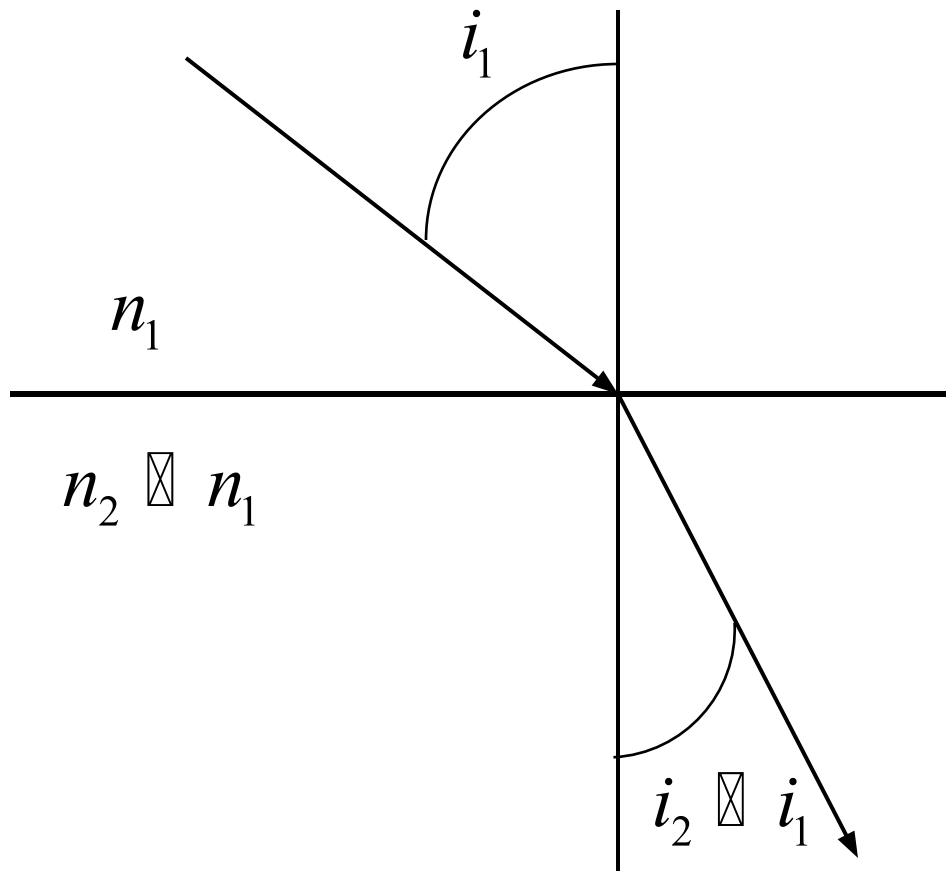
$$i_1 = i_{\max} = 90^\circ$$

$$i_2 = i_{2\text{ПР}}$$

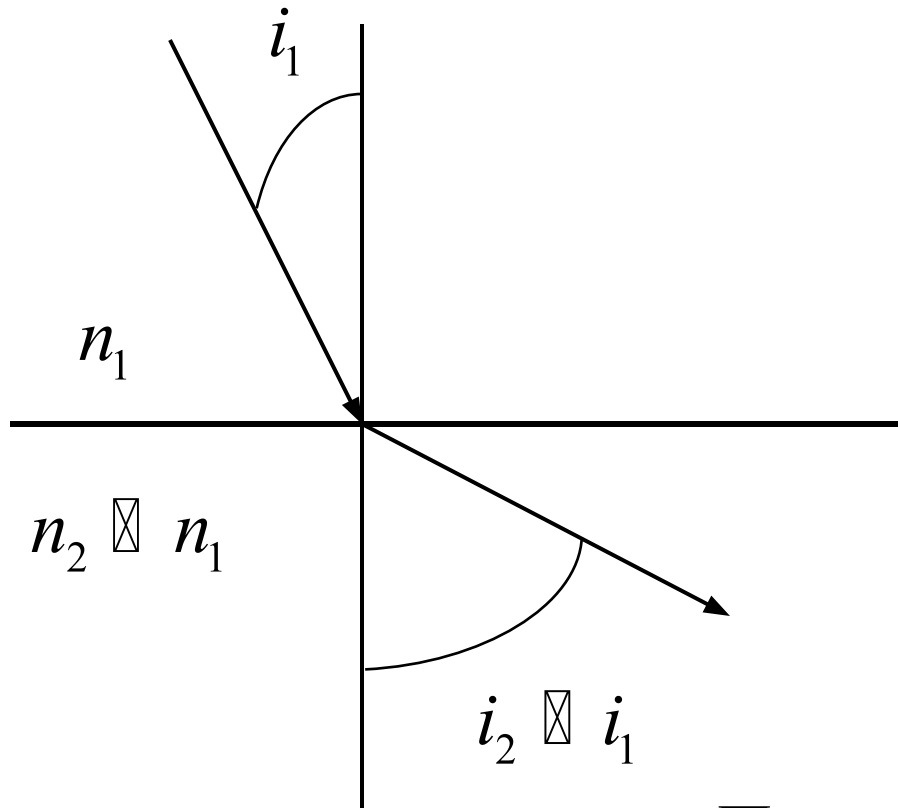
$$n_1 \sin i_{1\max} = n_2 \sin i_{2\text{ПР}}$$

$$\parallel$$
$$1$$

$$n_2 = \frac{n_1}{\sin i_{2\text{ПР}}}$$



$$2. \quad n_1 \gg n_2 \Rightarrow i_1 \gg i_2$$



$$i_2 = i_{2\max} = 90^\circ$$

$$i_1 = i_{1\text{ГПР}}$$

$$n_1 \sin i_{1\text{ГПР}} = n_2 \sin i_{2\max}$$

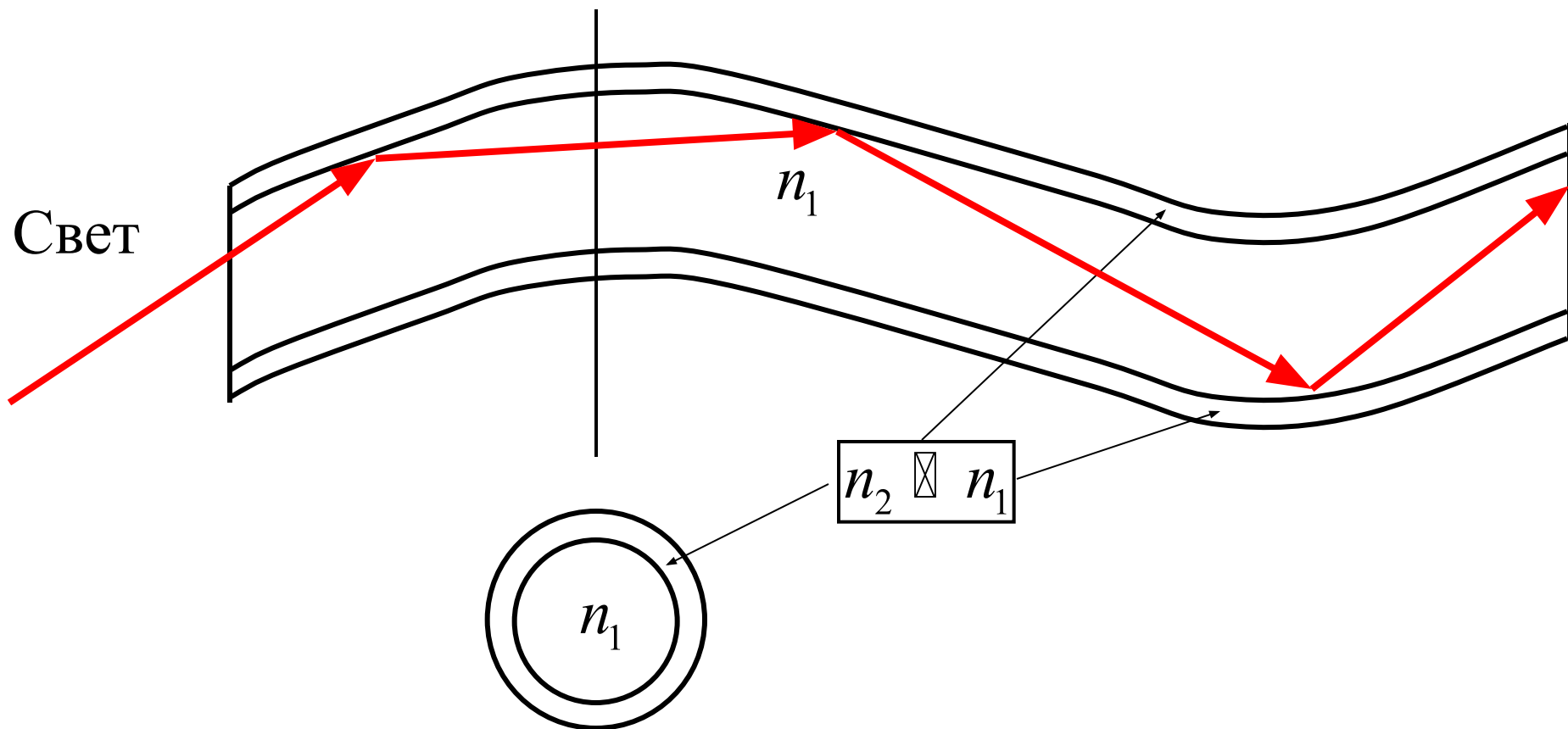
$$\begin{array}{c} || \\ 1 \end{array}$$

$$n_2 = n_1 \sin i_{1\text{ГПР}}$$

Полное внутреннее отражение

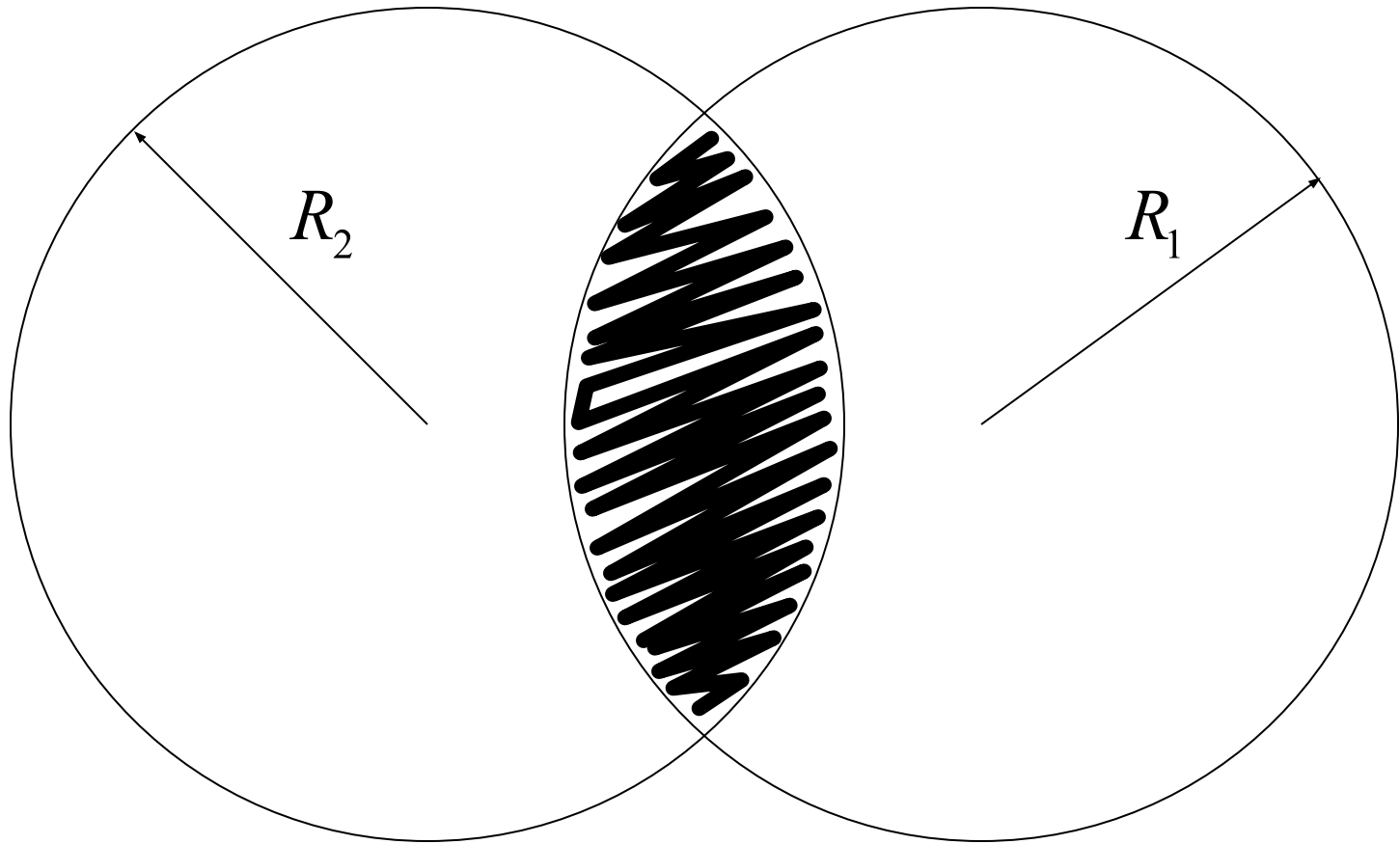
# Волоконная оптика

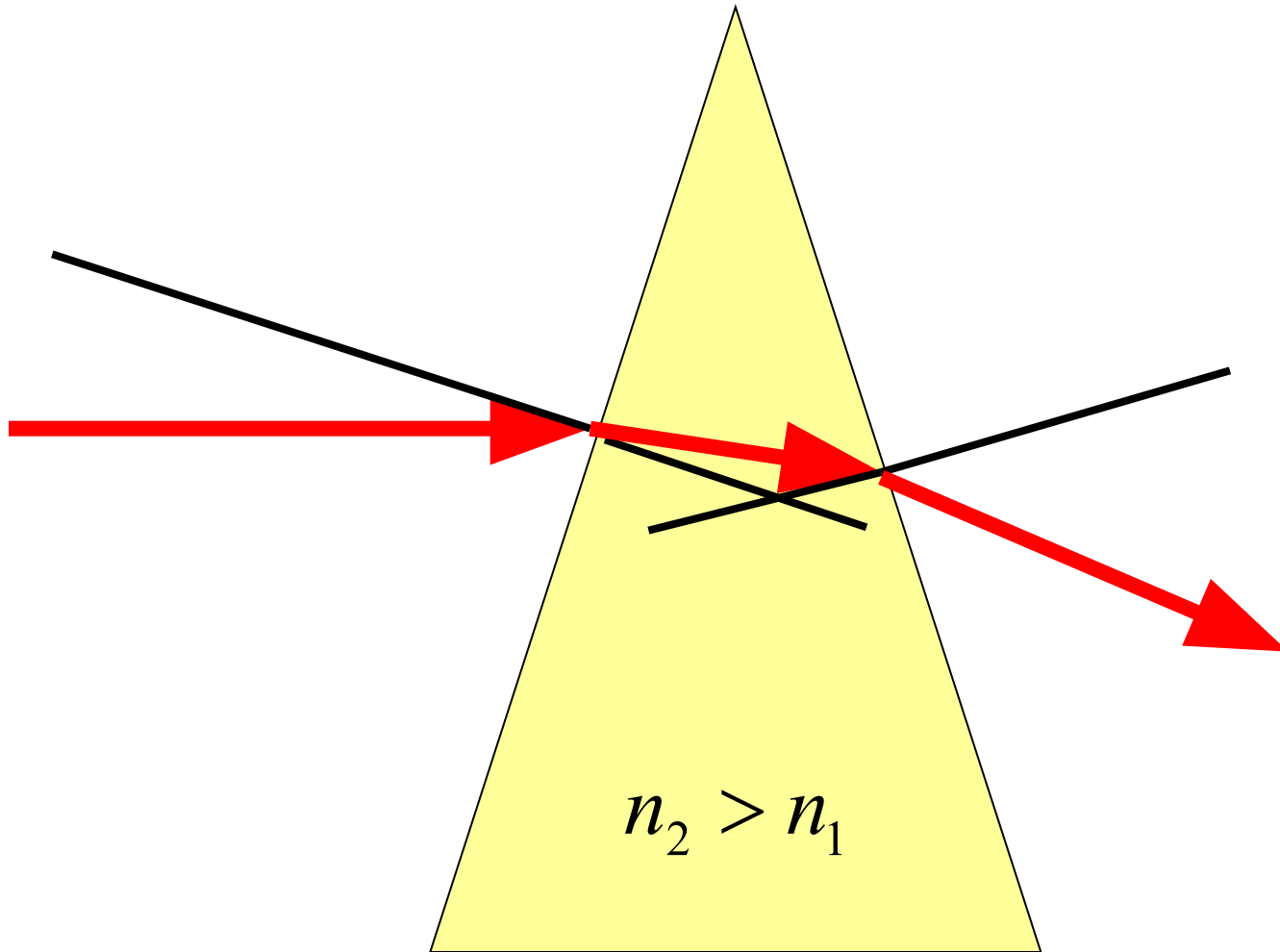
## Волоконный кабель



# Линзы

$n$





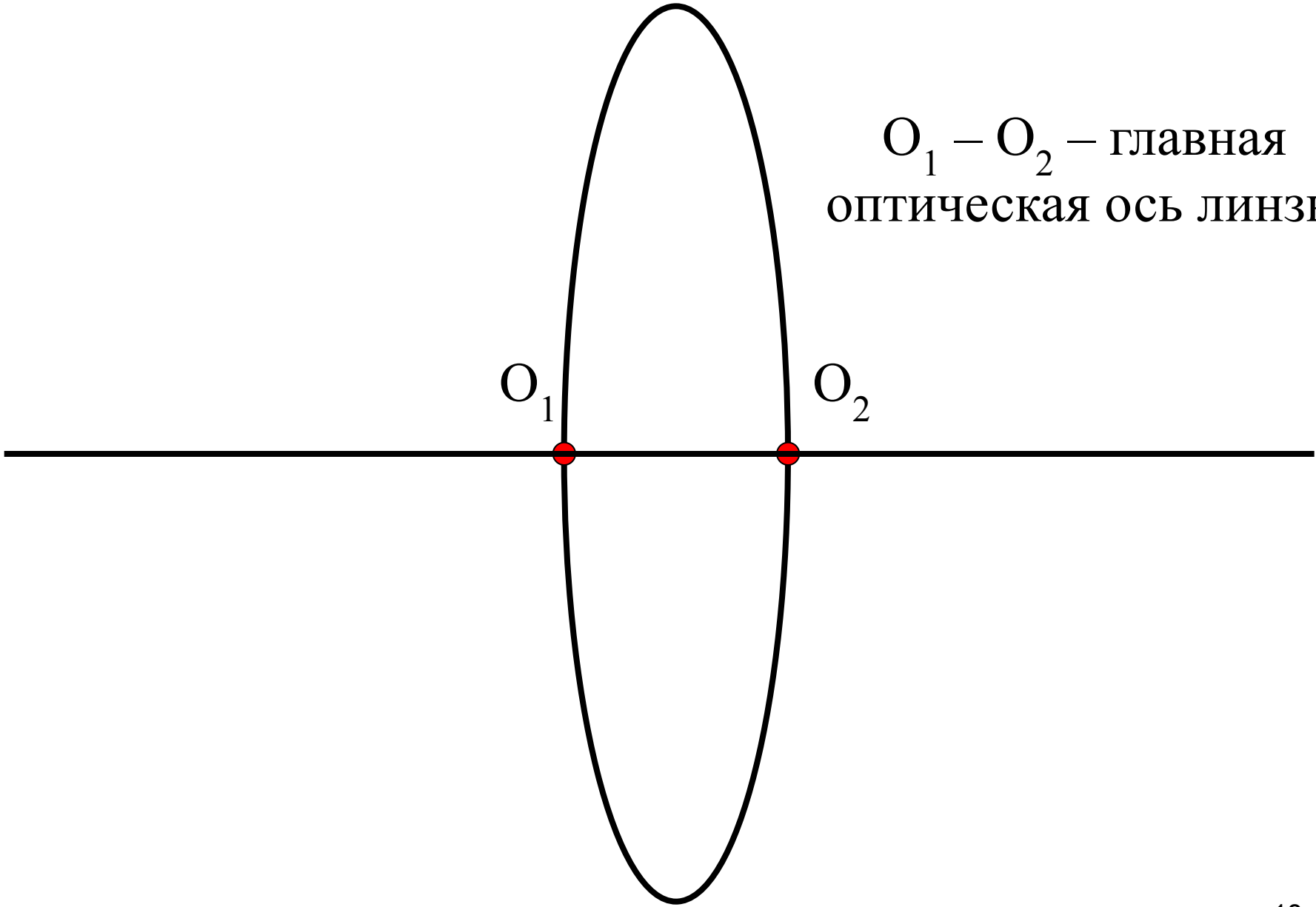


Формула идеальной линзы (воздух):

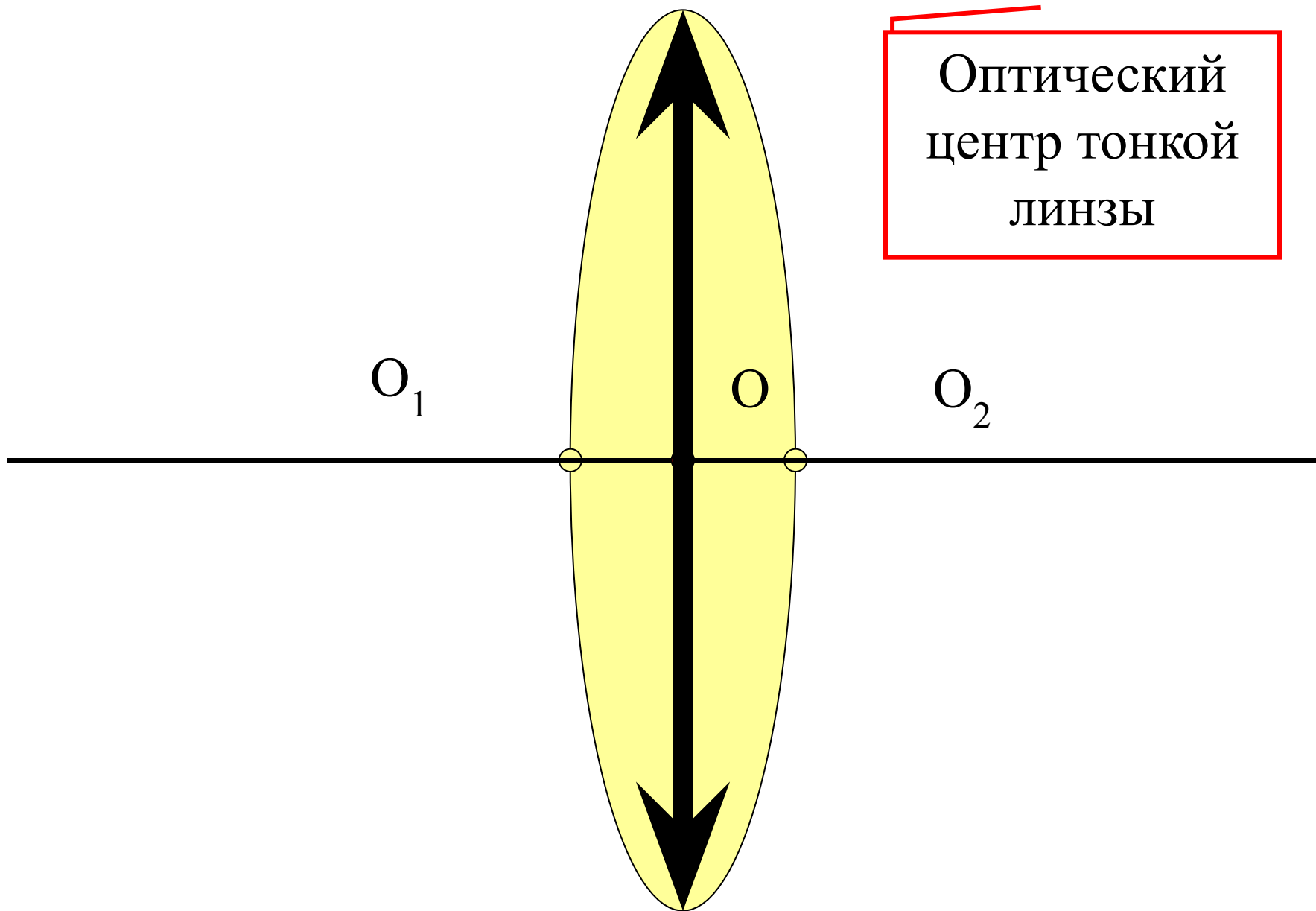
$$\frac{1}{F} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

и (или):

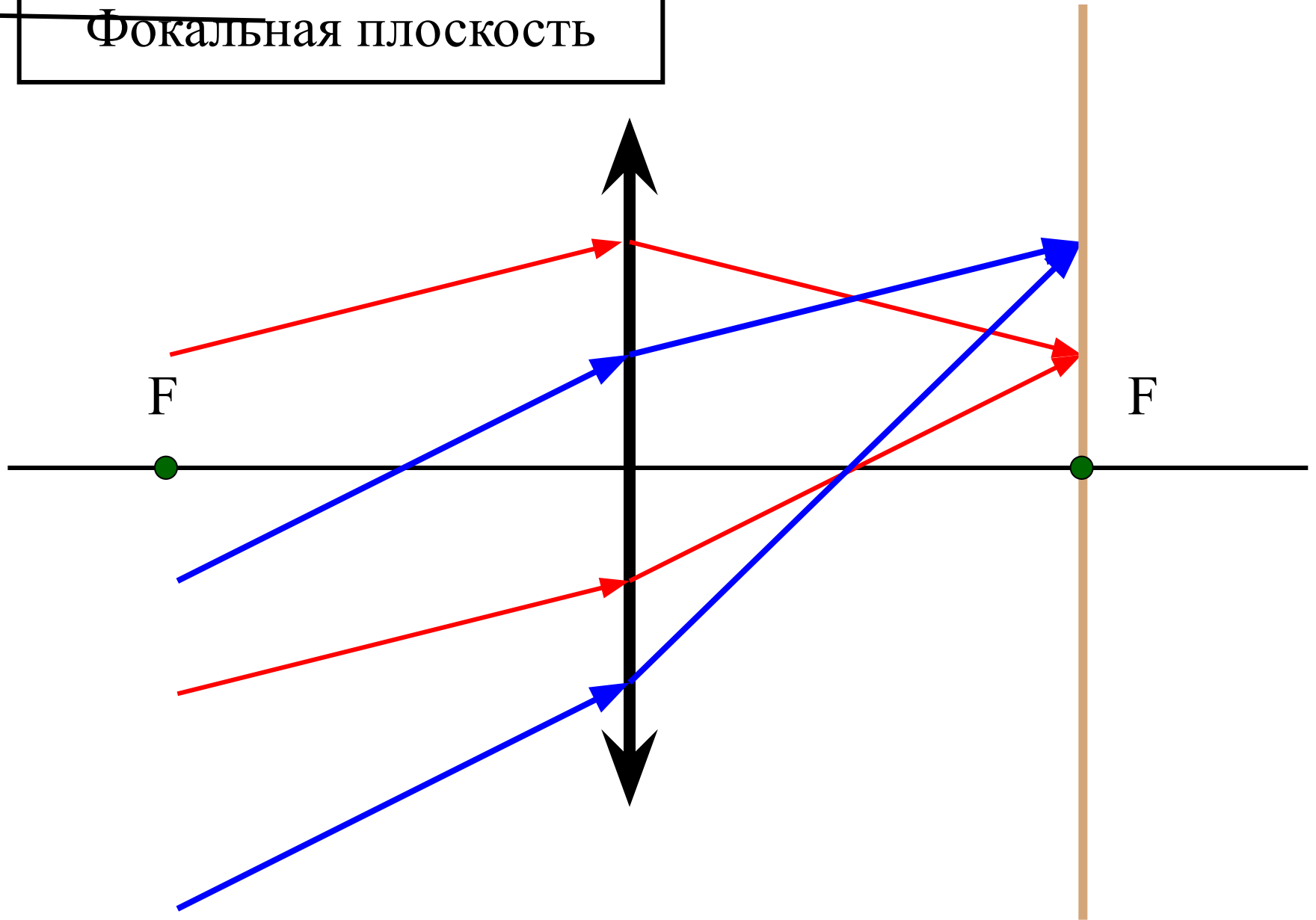
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$



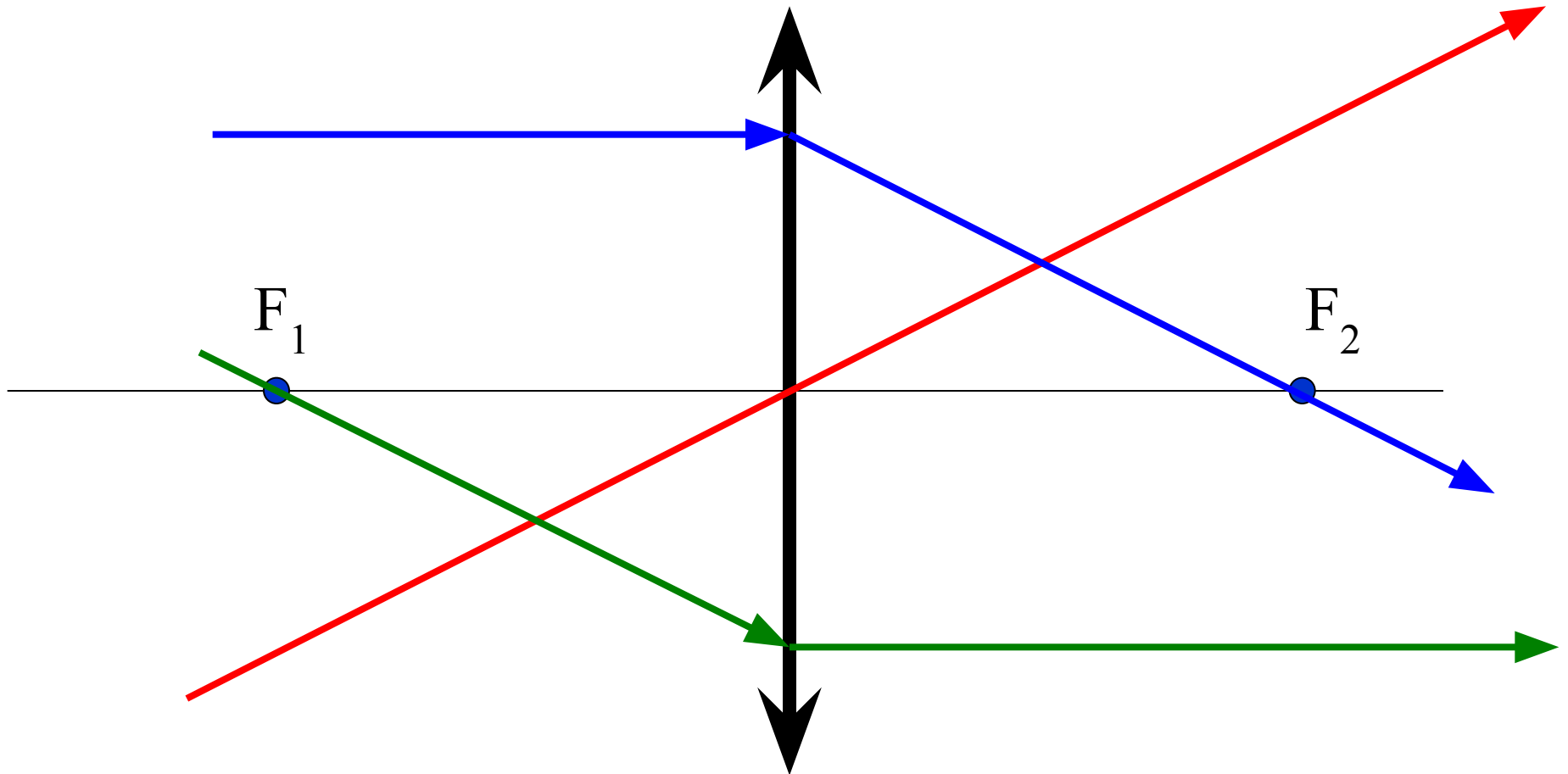
$O_1 - O_2$  – главная  
оптическая ось линзы



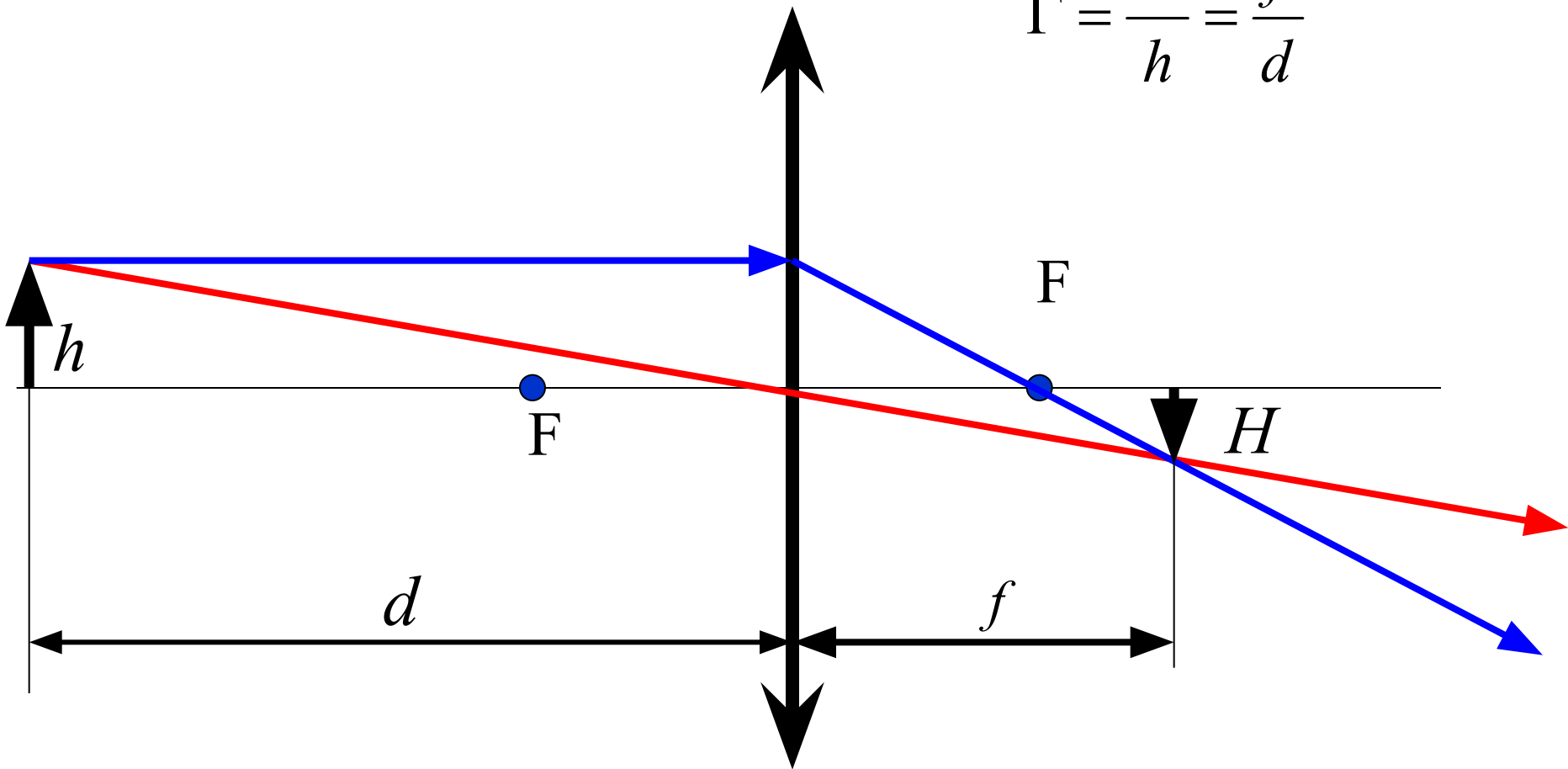
Фокальная плоскость



# Принцип обратимости световых лучей

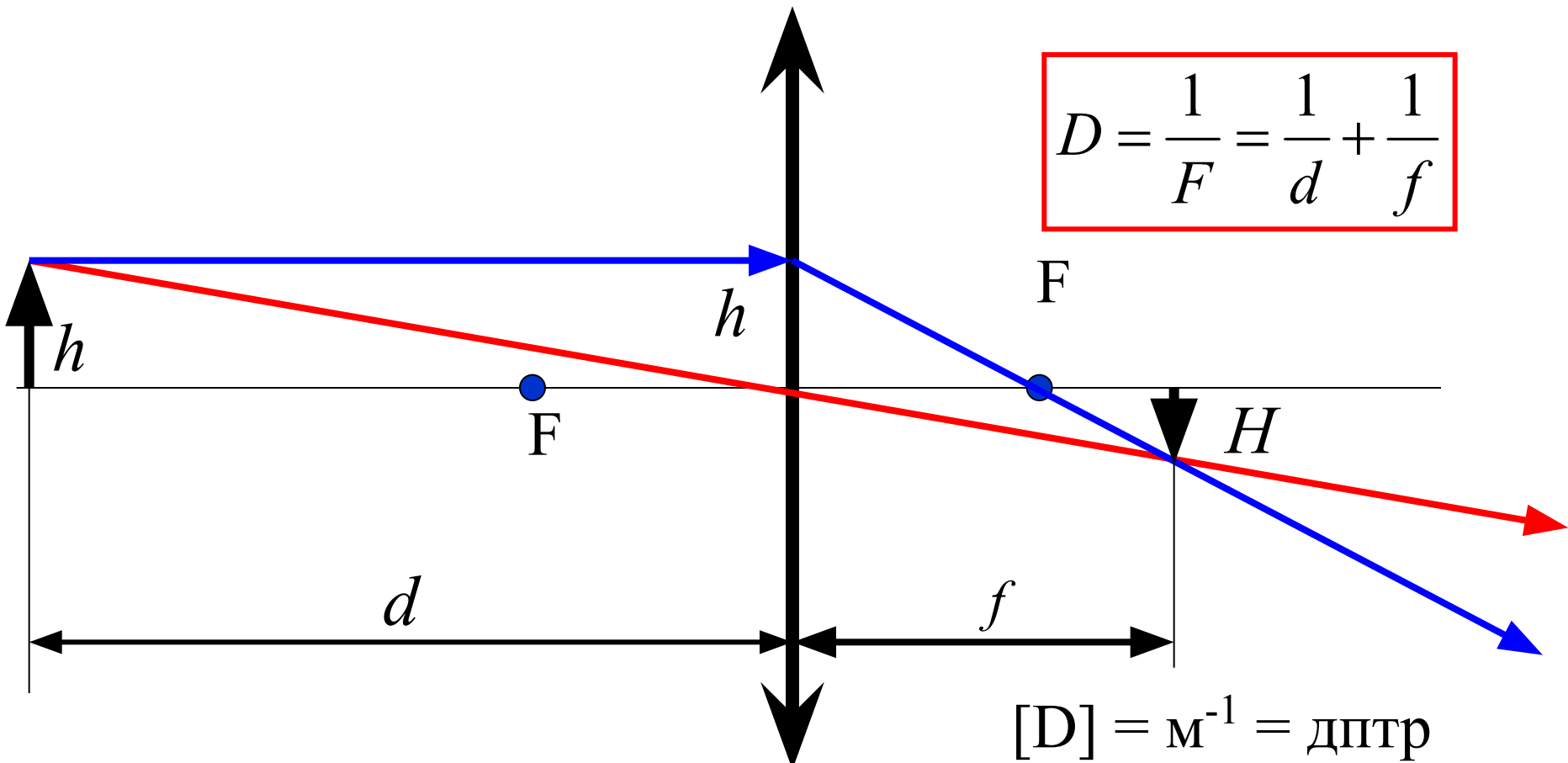


$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$$



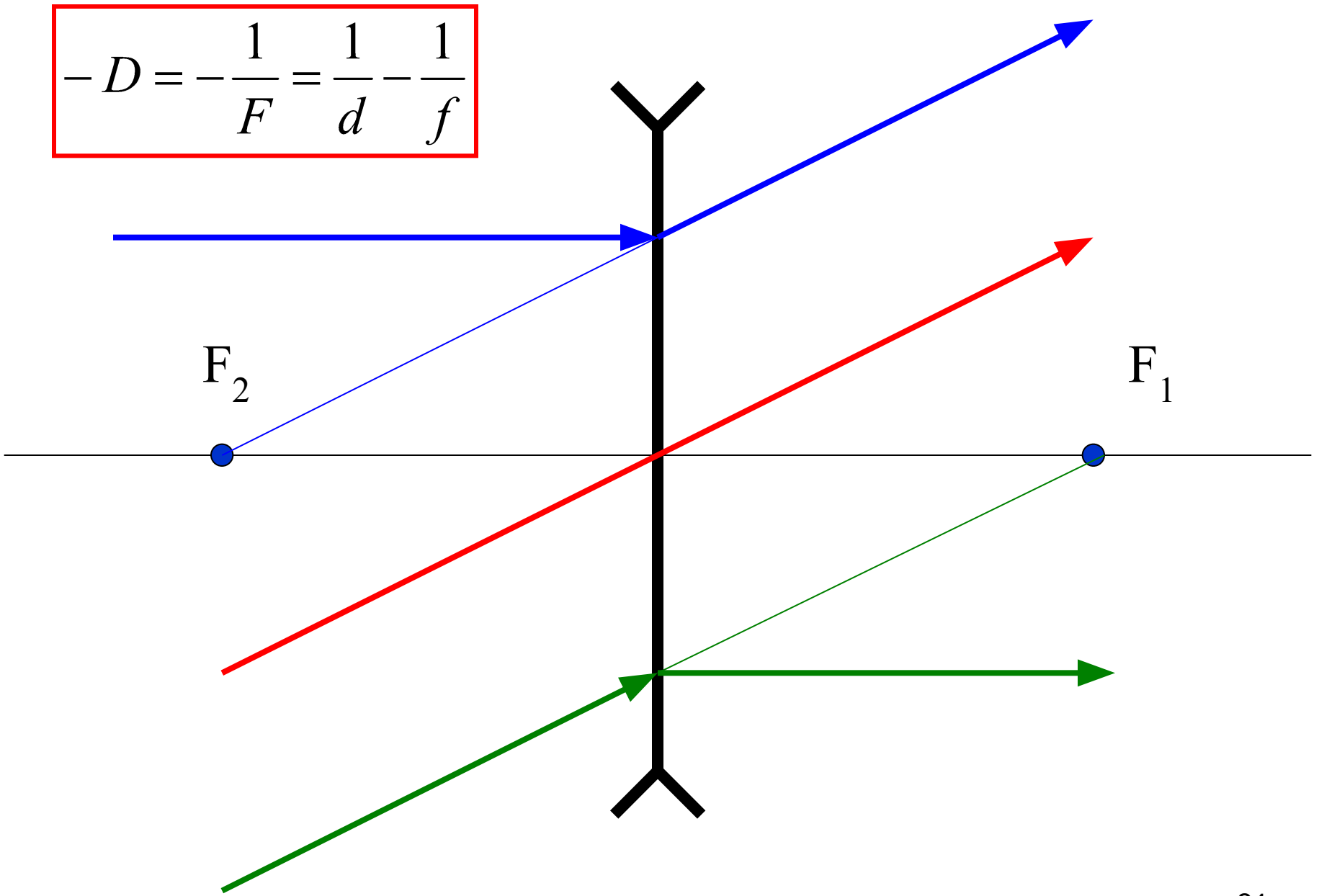
$$\frac{H}{h} = \frac{f}{d} = \frac{f - F}{F} \quad fF = df - dF \quad \times \frac{1}{dfF} \quad \frac{1}{d} = \frac{1}{F} - \frac{1}{f}$$

$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$



$$[D] = \text{м}^{-1} = \text{дптр}$$

$$-D = -\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$$





Оптическая сила линзы 3 дптр.

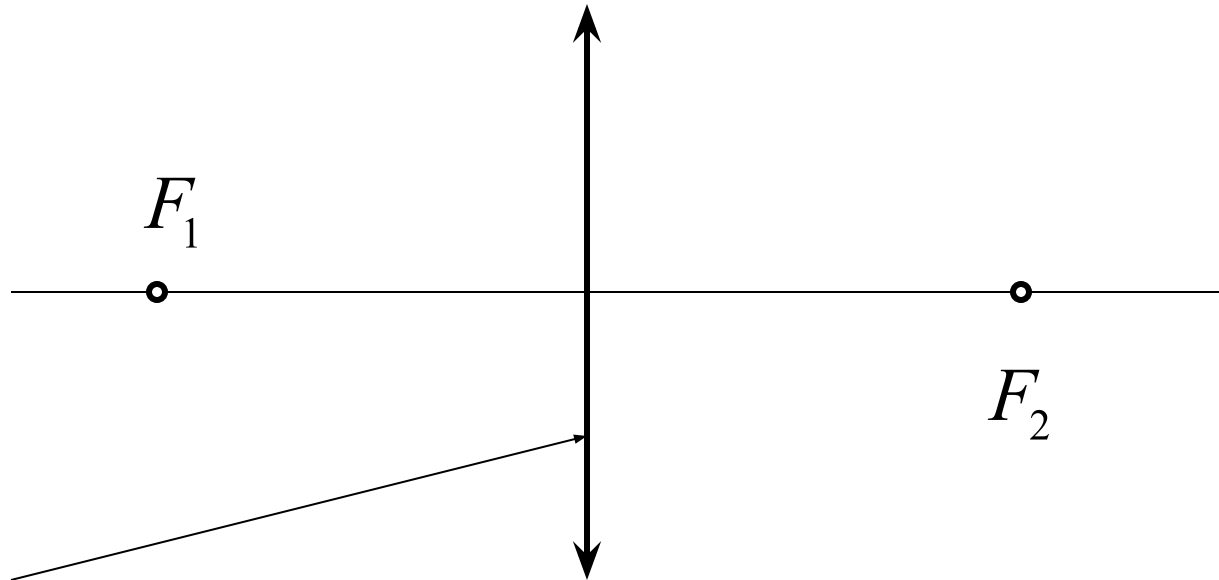
Чему равно фокусное расстояние линзы?

Ответ выразить в см.

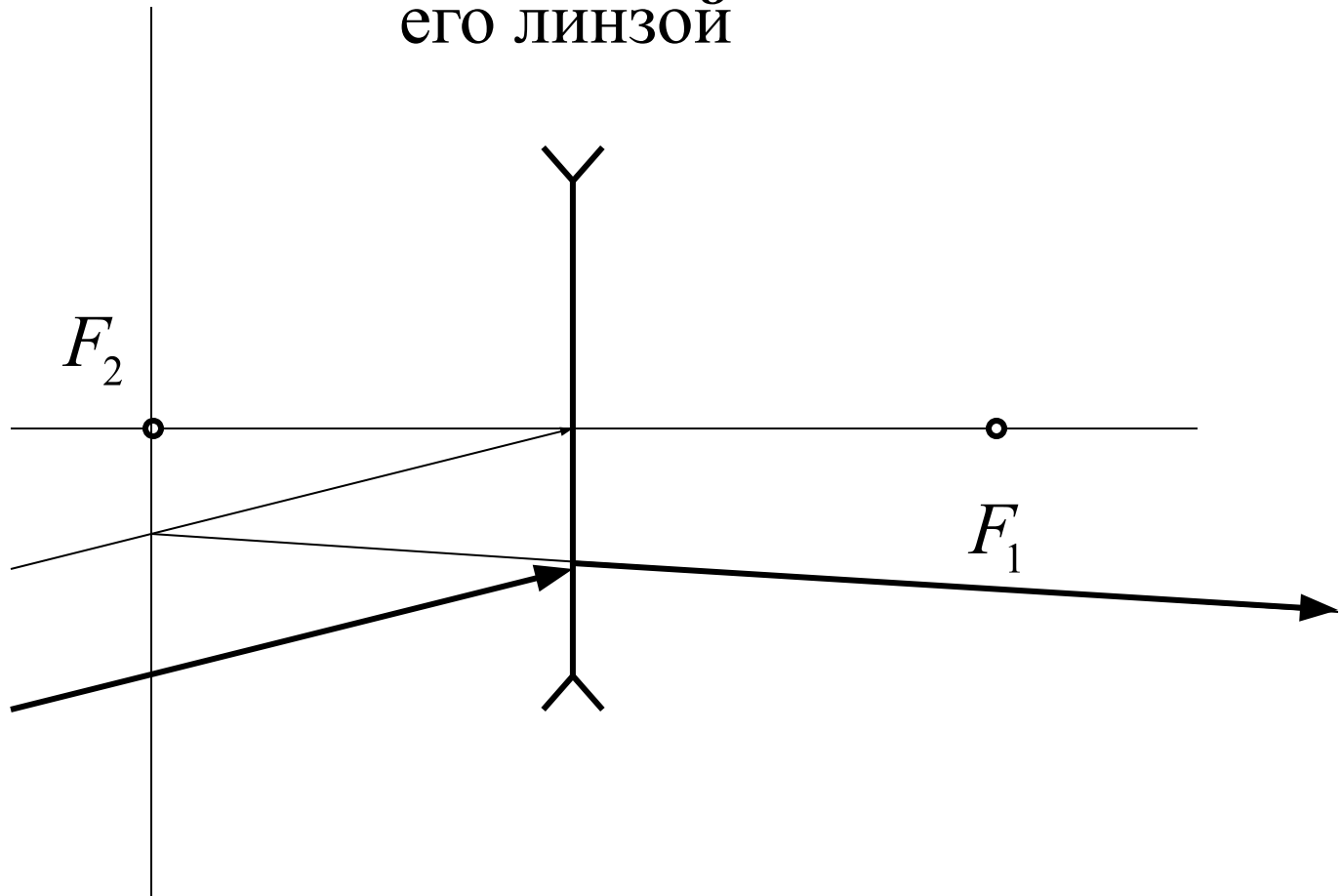
Фокусные расстояния у двух линз равны соответственно:

$F_1 = +40$  см,  $F_2 = -40$  см. Найти их оптические силы.

На тонкую линзу падает луч света.  
Найти построением ход луча после преломления  
его линзой



На тонкую линзу падает луч света.  
Найти построением ход луча после преломления  
его линзой



Построить изображение, даваемое собирающей и рассеивающей линзами для случаев:

собирающая

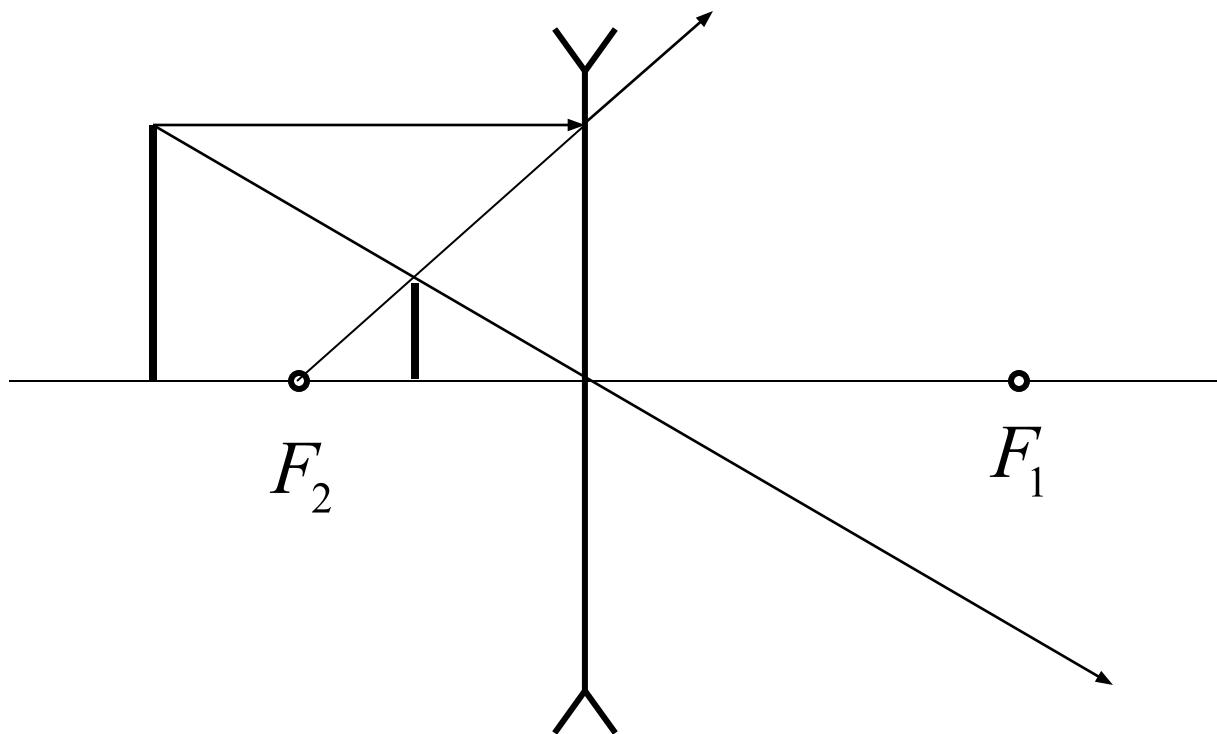
$$F \boxtimes d \boxtimes 2F; \quad d = 2F; \quad d \boxtimes 2F; \quad d \boxtimes F$$



рассеивающая

$$F \boxtimes d \boxtimes 2F; d = 2F; d \boxtimes 2F; d \boxtimes F$$

Мнимое, прямое, уменьшенное



Для линзы с фокусным расстоянием, равным 20 см,  
найти расстояния до объекта, при которых  
линейный размер действительного изображения будет:

- 1) вдвое больше, чем размер объекта;
- 2) равен размеру объекта;
- 3) вдвое меньше, чем размер объекта.

Дано:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$$

$$f = \Gamma d$$

$$\Gamma_1 = 2$$

$$\Gamma_2 = 1$$

$$\Gamma_3 = 0,5$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{\Gamma d} = \frac{1}{d} \left( 1 + \frac{1}{\Gamma} \right)$$

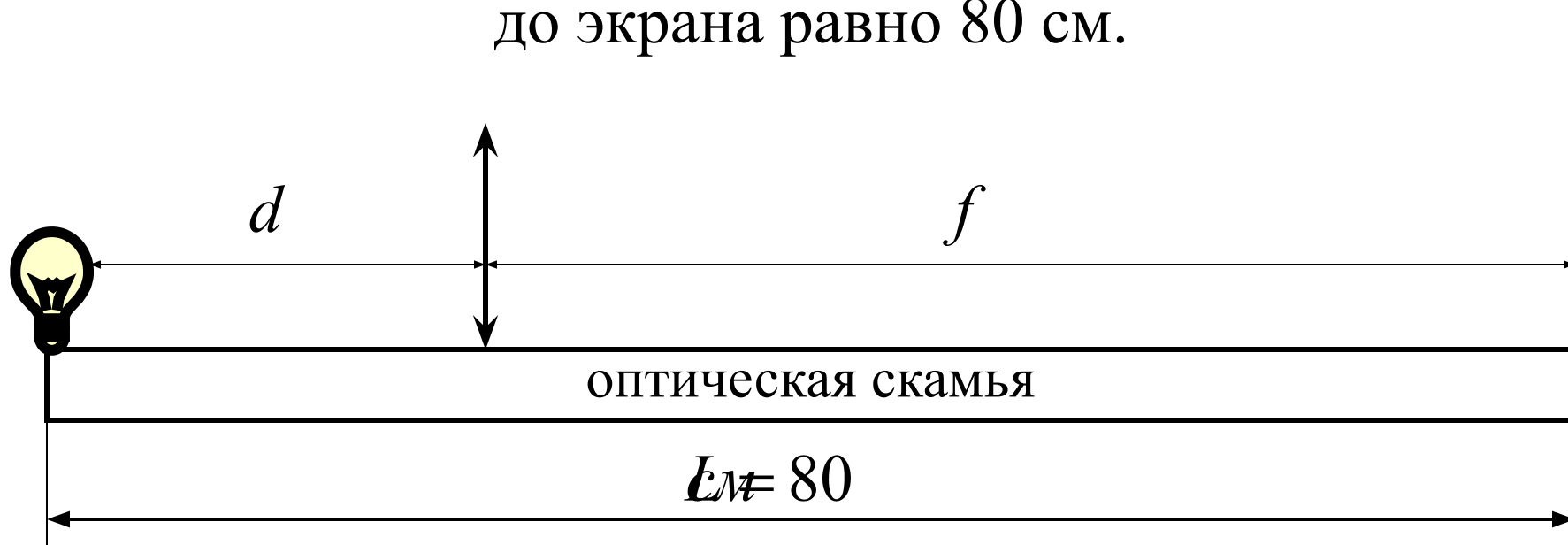
$$d = F \left( 1 + \frac{1}{\Gamma} \right)$$

$$d_1 =$$

$$d_2 =$$

$$d_3 =$$

Линза, расположенная на оптической скамье между лампочкой и экраном, дает на экране резко увеличенное изображение лампочки. Когда линзу передвинули  $\Delta l = 40$  см ближе к экрану, на нем появилось резко уменьшенное изображение лампочки. Определить фокусное расстояние  $F$  линзы, если расстояние  $l$  от лампочки Э до экрана равно 80 см.



$$d + f = 80$$

Количество неизвестных =

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

Количество независимых уравнений =

Вывод:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d + 40} + \frac{1}{f - 40}$$

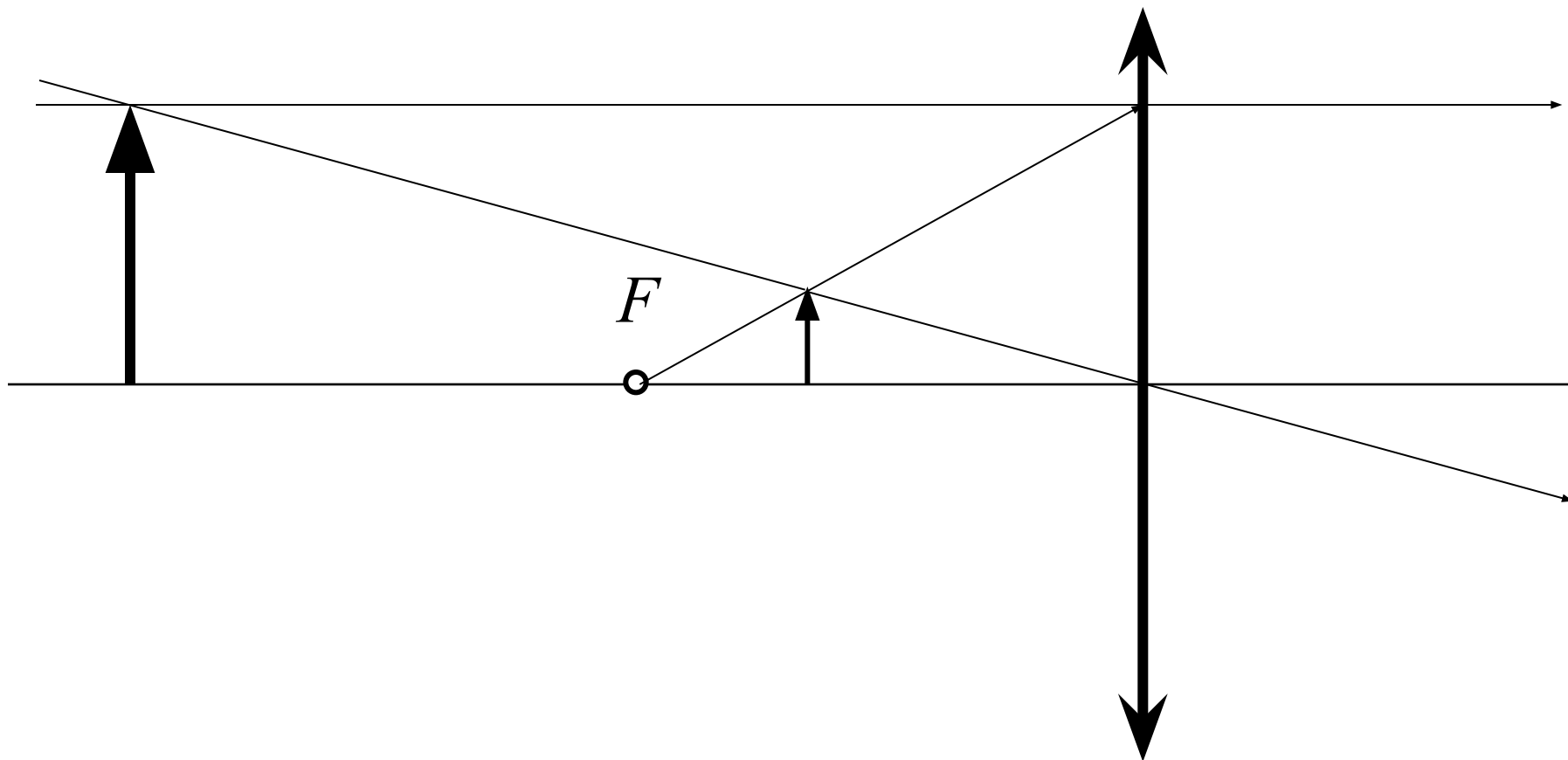
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{d + 40} + \frac{1}{f - 40} \quad f = 80 - d$$

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{80 - d} = \frac{1}{d + 40} + \frac{1}{80 - d - 40}$$

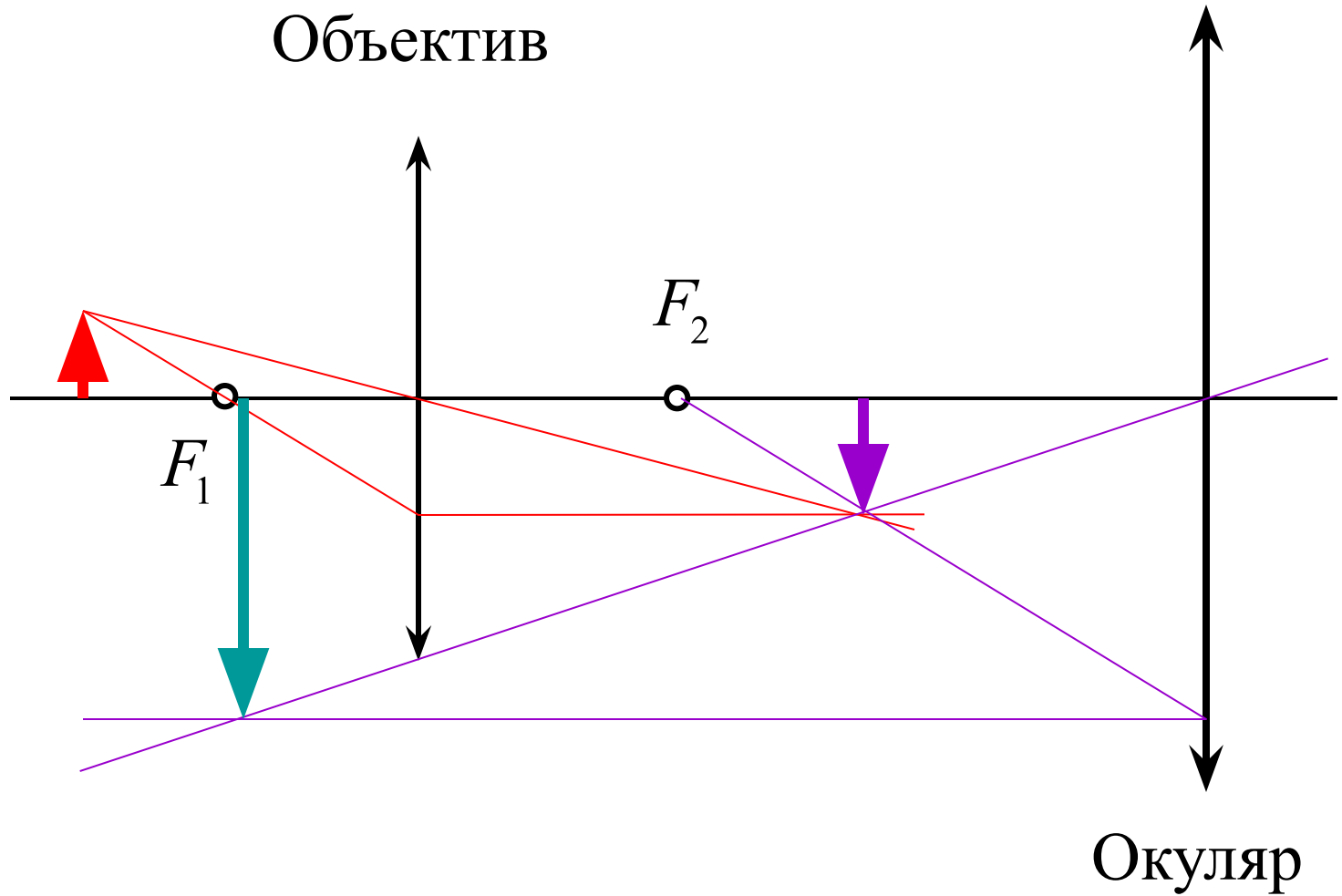




# Лупа



Микроскоп = лупа-окуляр + объектив



Формула идеальной линзы (воздух):

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

и (или):

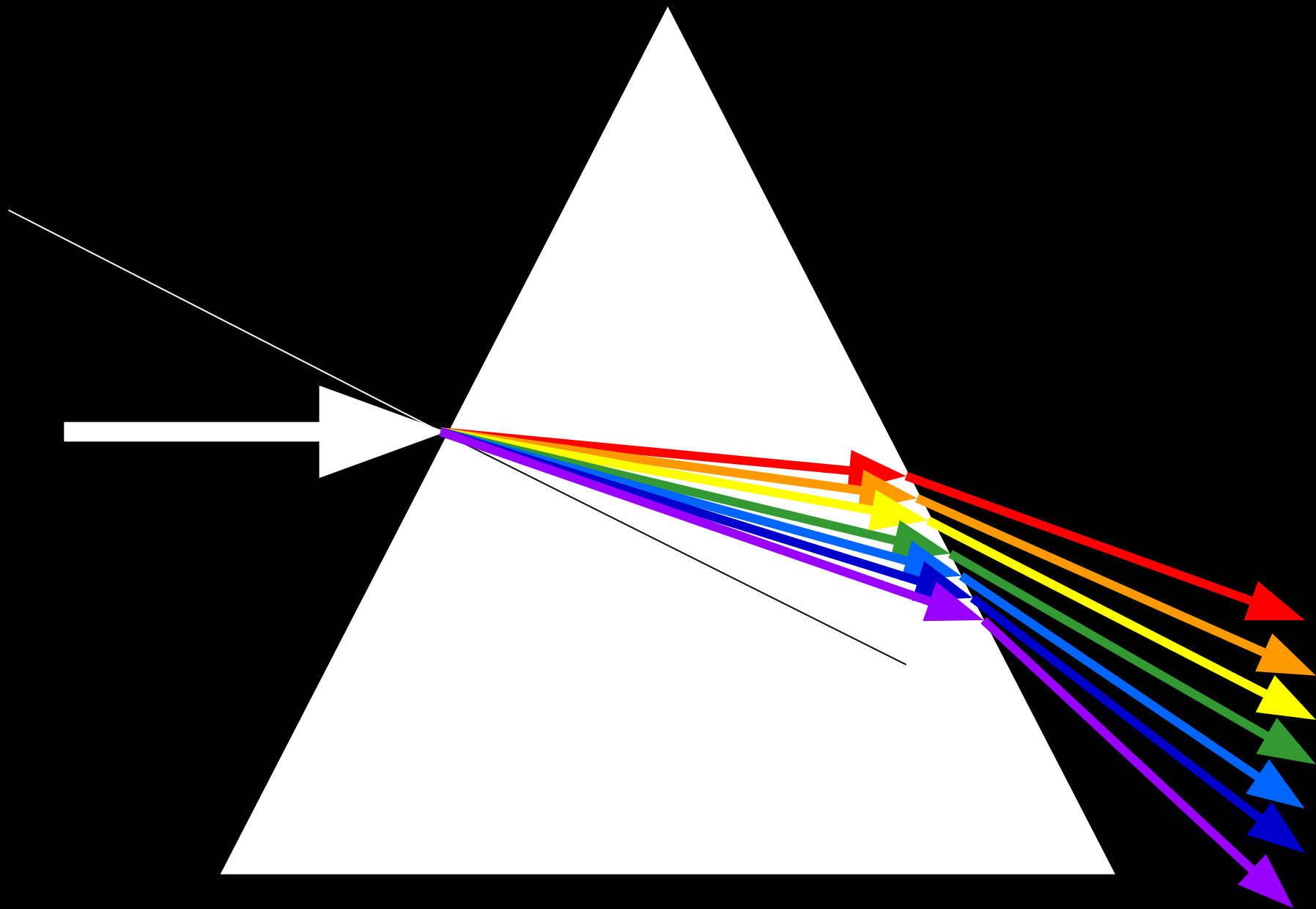
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

$$n \neq n(\lambda)$$

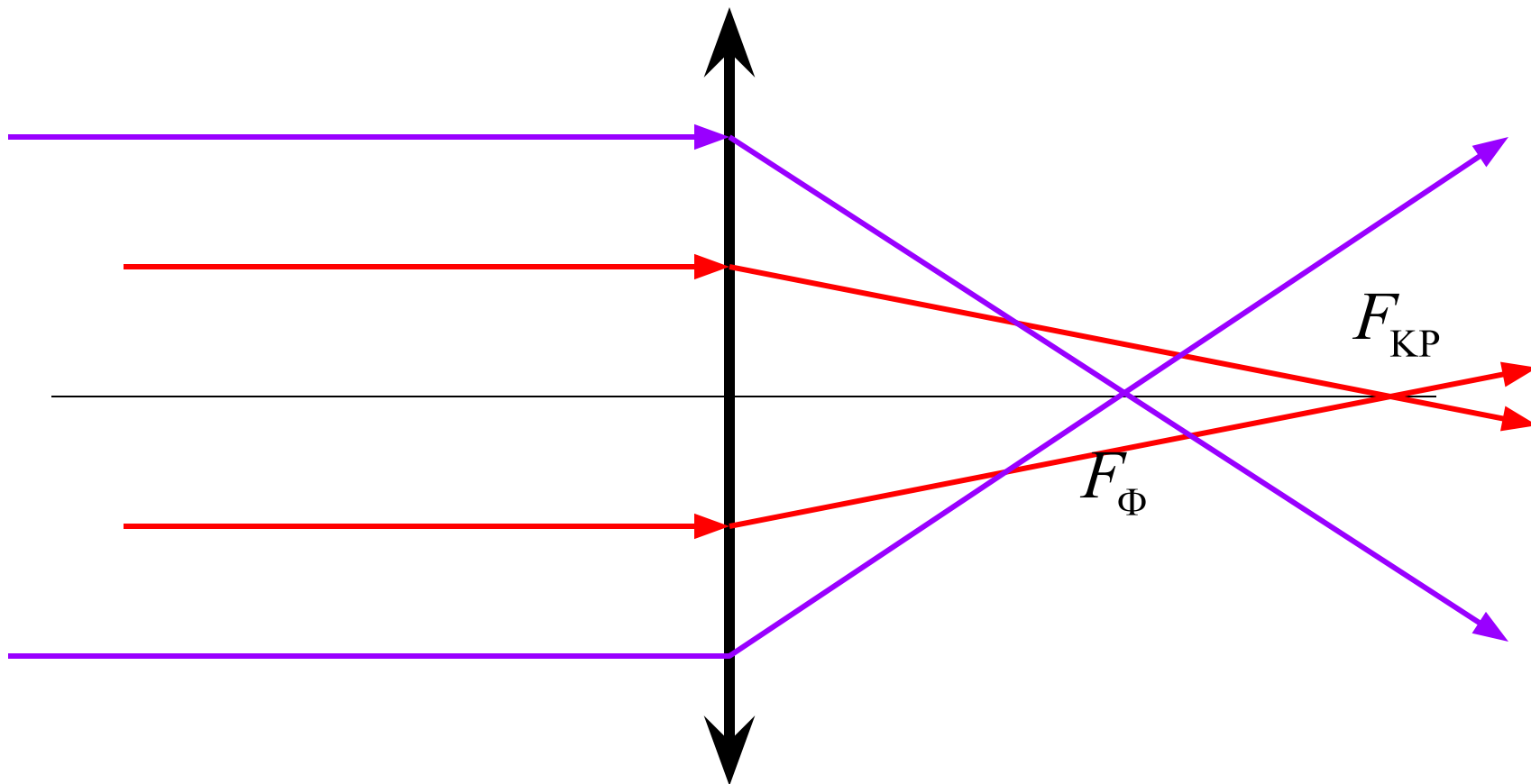
Реальные оптические системы

$$n = n(\lambda)$$

# Дисперсионный спектр



# 1. Различное преломление лучей с разными $\lambda$

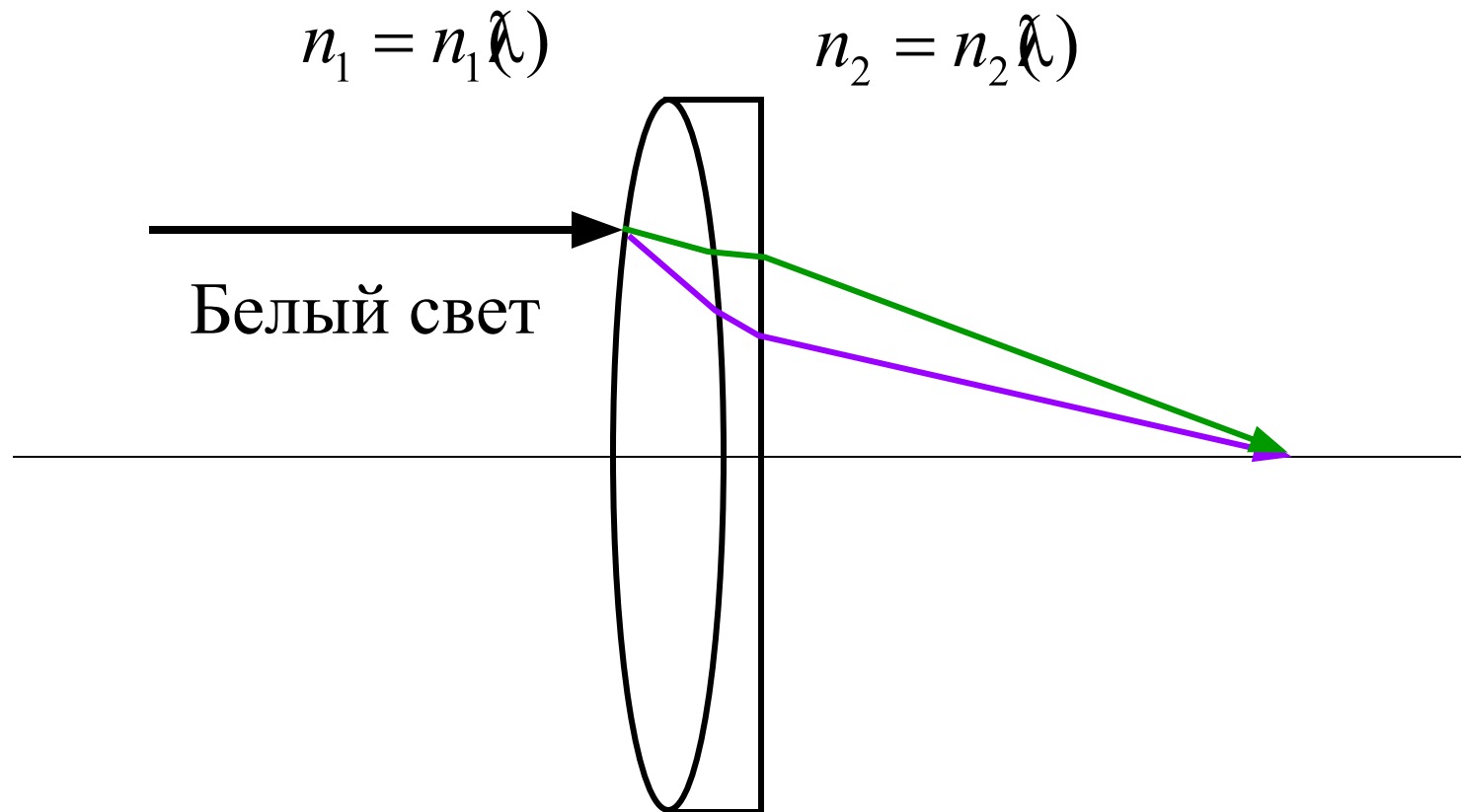


Причина – дисперсия световых волн

Следствие – хроматическая aberrация

Устранение

Ахроматы



# Апохроматы

Специальные сорта стекла

Кристаллический флюорит



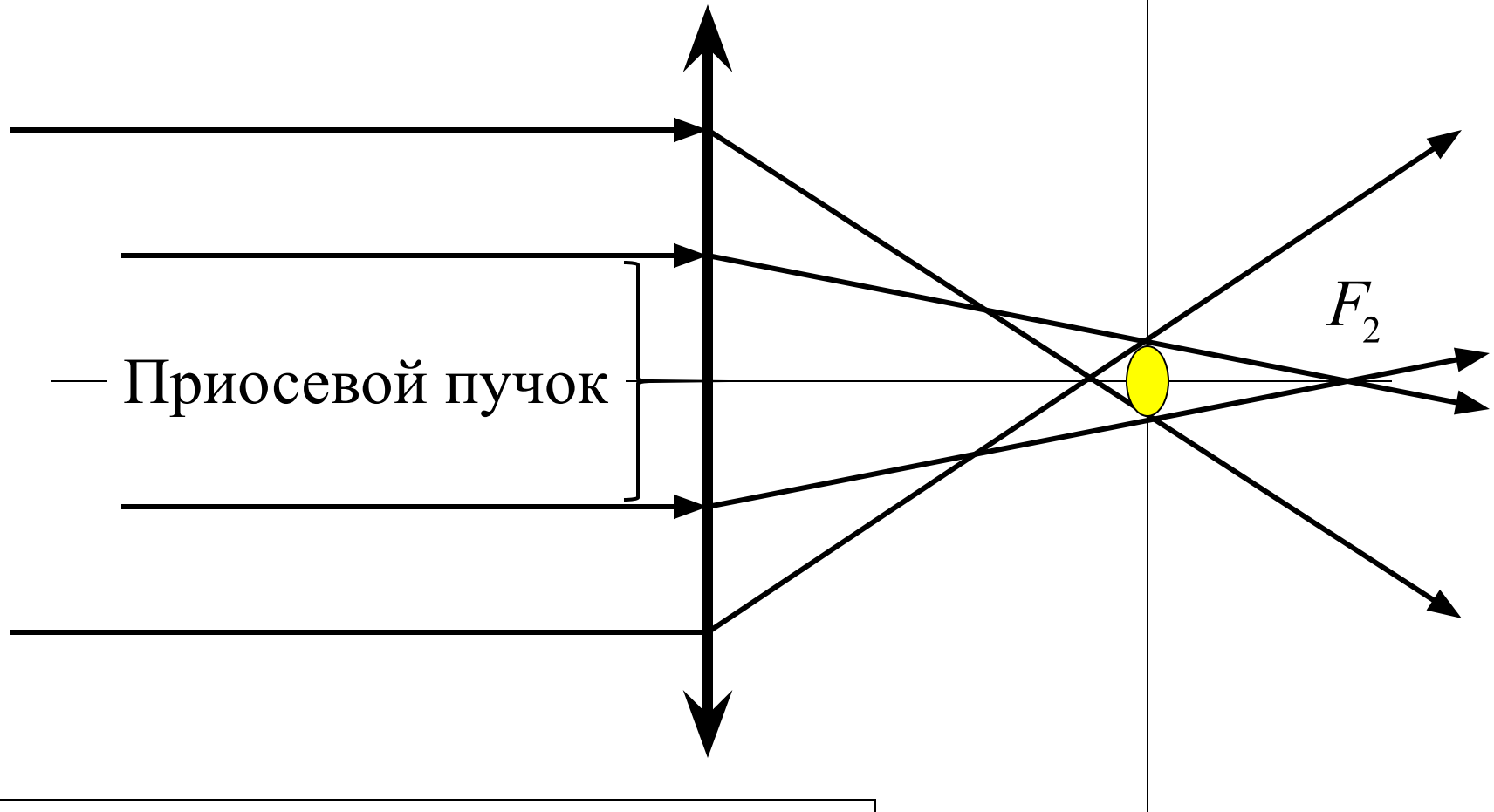
Введение в оптическую систему зеркал



## 2. Различное преломление лучей = $f(r)$

Монохроматический свет

Экран



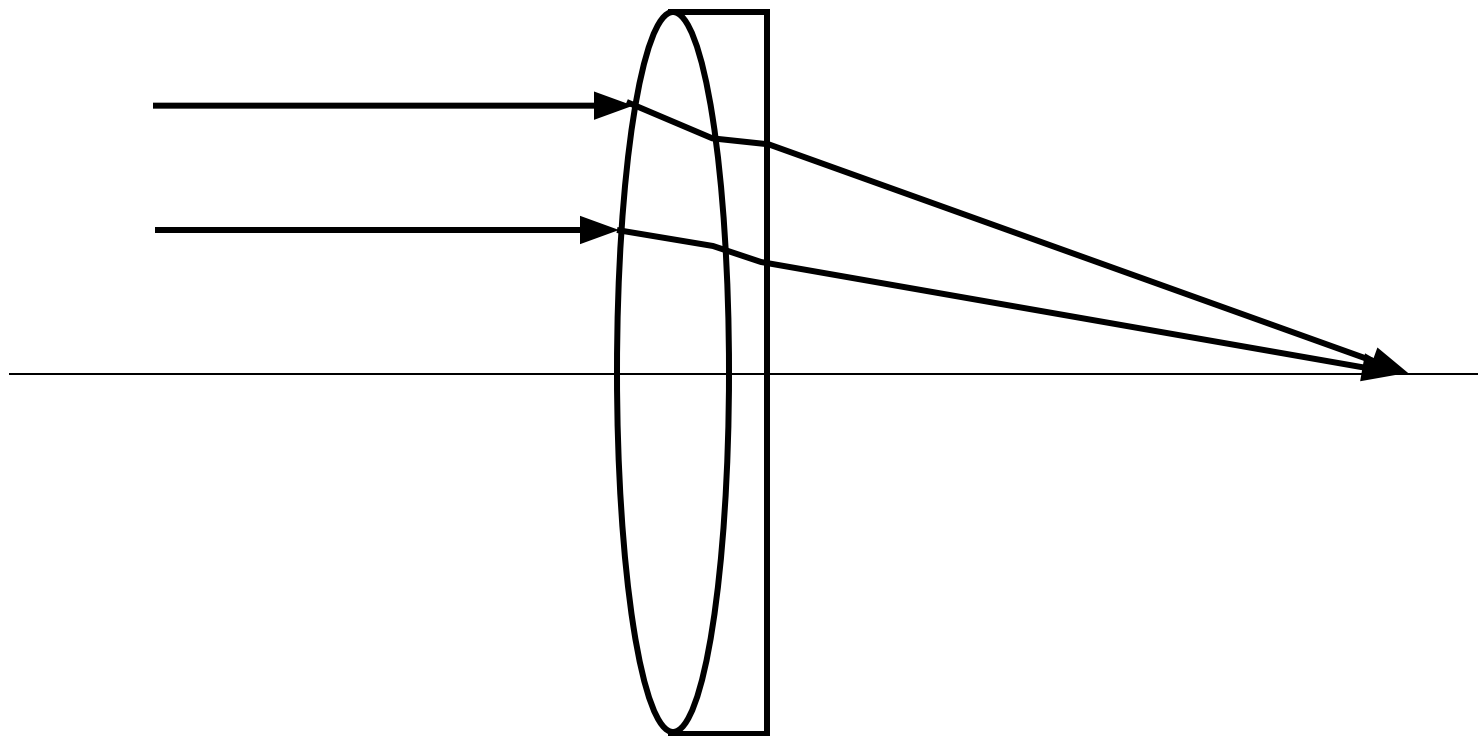
Максимальная фокусировка

Причина – неодинаковое преломление лучей

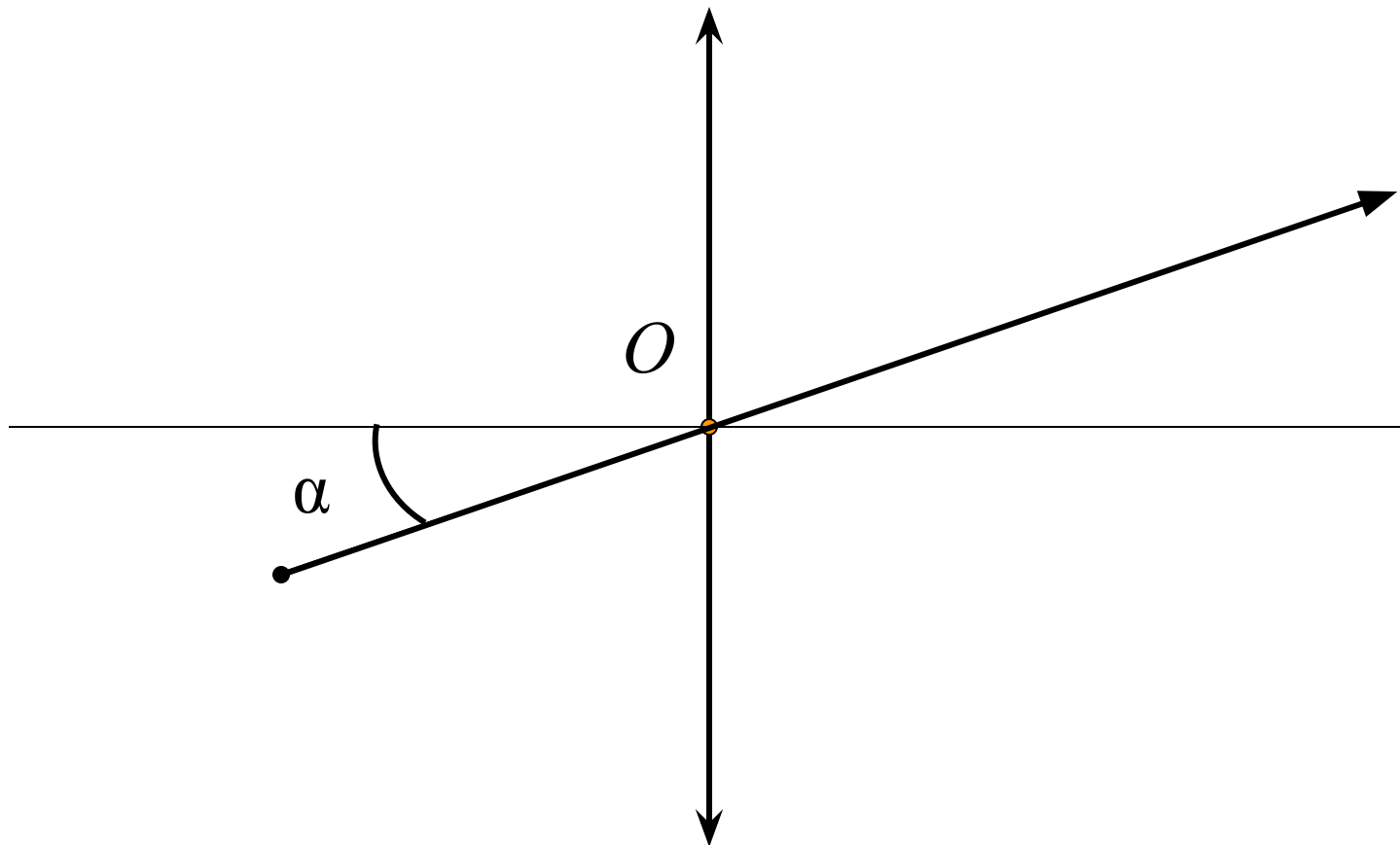
Следствие – сферическая абберация

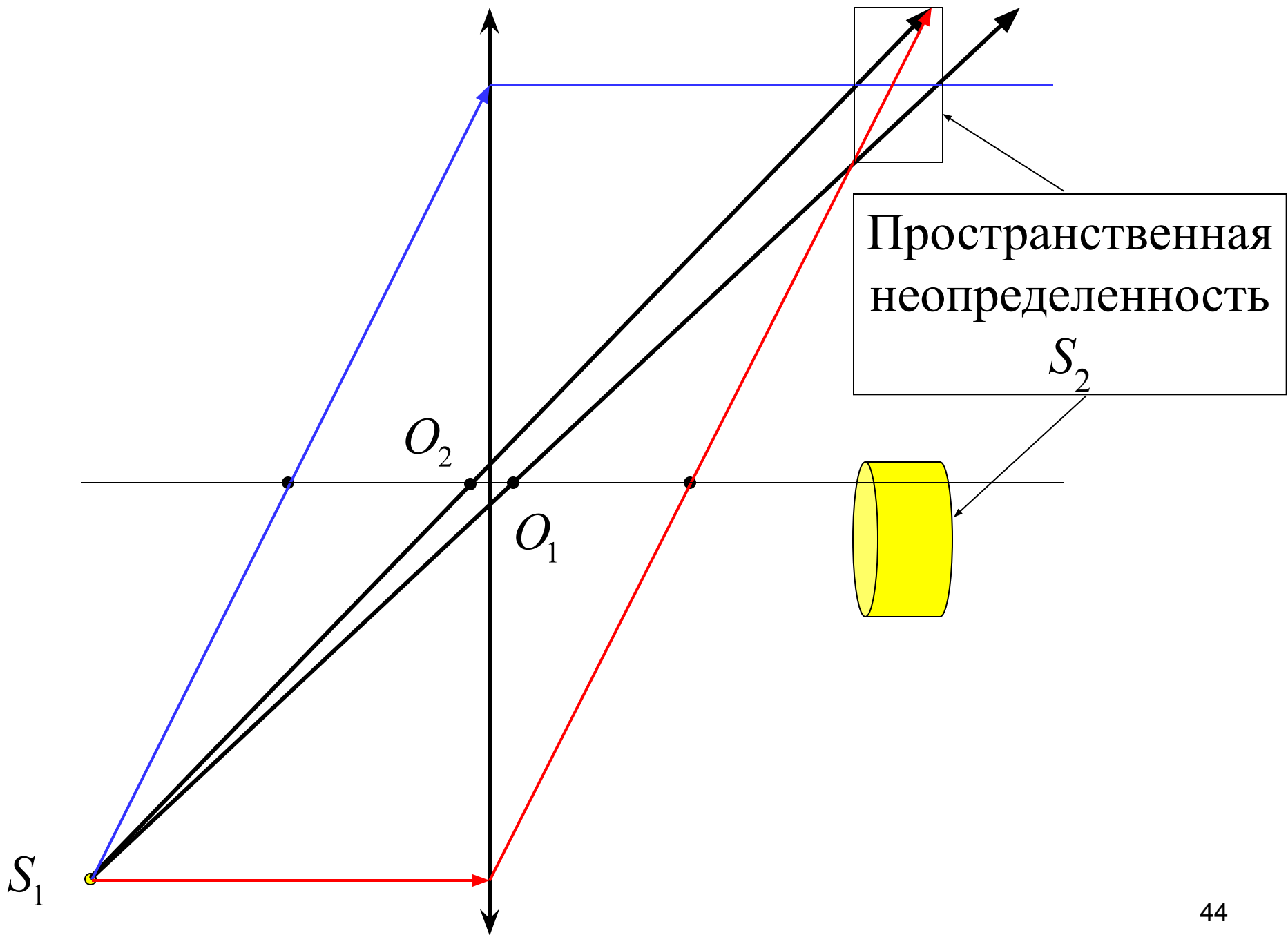
Устранение

Ахроматы



### 3. Изменение формы фронта сферической волны = $f(\alpha)$





Причина – изменение сферичности световой волны

Следствие 1 – астигматизм косых пучков:

различие четкости изображения на экране объектов,  
лежащих в разных меридиональных и сагиттальных  
плоскостях

Следствие 2 – дисторсия:

нарушение подобия предмета и его изображения

# Устранение

## Оптические системы из нескольких линз

### 4. Асимметрия (несферичность) оптической системы

Следствия те же, что и в п.3

Часто создается искусственно для исправления  
астигматизма косых пучков