

# Линзы

## Построения изображений в линзах



# Цель:

## Познакомиться:

- с типами линз;
- с геометрическими характеристиками тонкой линзы.

## Дать определение:

Фокусного расстояния, фокальной плоскости и оптической силы тонкой линзы.

**Научиться** строить изображение в тонких линзах и характеризовать их.

**Вывести** формулу тонкой собирающей и рассеивающей линз.

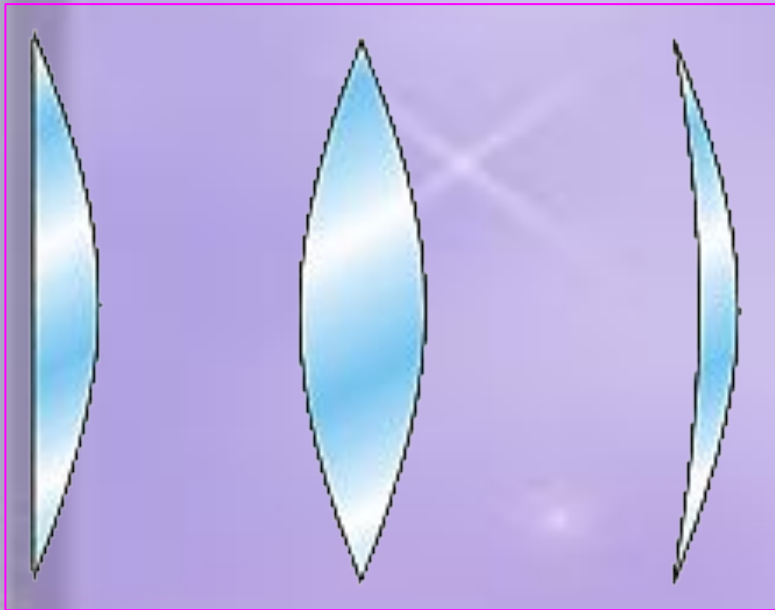
**Применять** полученные знания при решении задач на построение и расчет тонкой линзы (в том числе с помощью компьютера)

**Линза** – прозрачное тело (обычно стеклянное), ограниченное двумя сферическими поверхностями. Является одним из основных элементов оптических систем.

Линза, у которой толщина пренебрежимо мала по сравнению с радиусами кривизны ее поверхностей, называется **тонкой**. Главное свойство тонких линз заключается в том, что все приосевые лучи, вышедшие из какой-либо точки предмета и прошедшие сквозь тонкую линзу, собираются этой линзой снова в одной точке. Благодаря этому свойству с помощью линз можно получать изображения различных предметов.

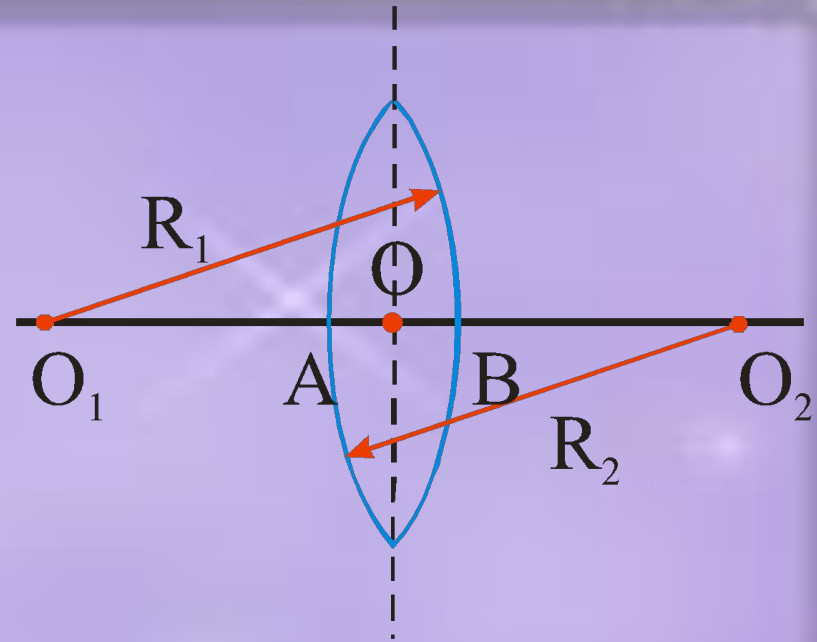
# По форме ограничивающих поверхностей:

- плоско-выпуклая
- двояковыпуклая
- вогнуто-выпуклая
- двояковогнутая
- выпукло-вогнутая
- плоско-вогнутая



## **Главная**

**оптическая ось** –  
прямая, на которой лежат  
центры обеих сферических  
поверхностей,  
ограничивающих линзу  
( $O_1O_2$ ) – является осью  
симметрии линзы.



**Главная плоскость линзы** – плоскость,  
проходящая через центр линзы (точку  $O$ )  
перпендикулярно главной оптической оси.  
 $O$  – оптический центр линзы – свет, проходящий через  
эту точку, не изменяет своего направления  
(не преломляется в тонкой линзе)

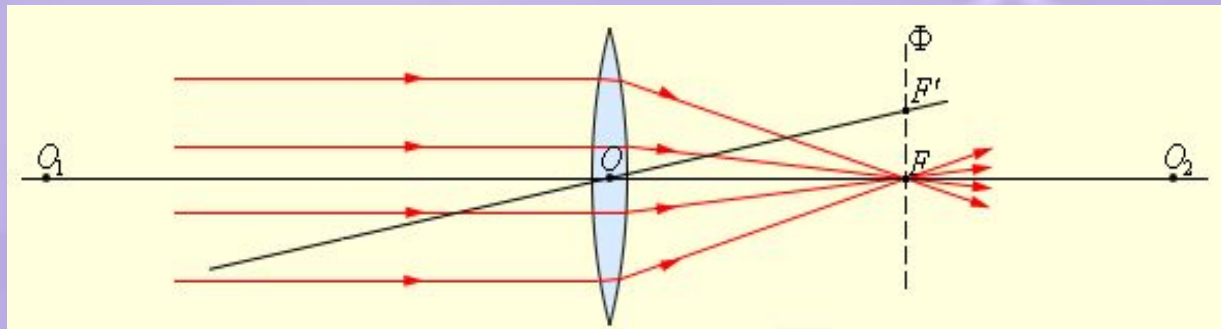


Любую прямую, проходящую через оптический центр линзы и не совпадающую с главной оптической осью называют **побочной оптической осью**.

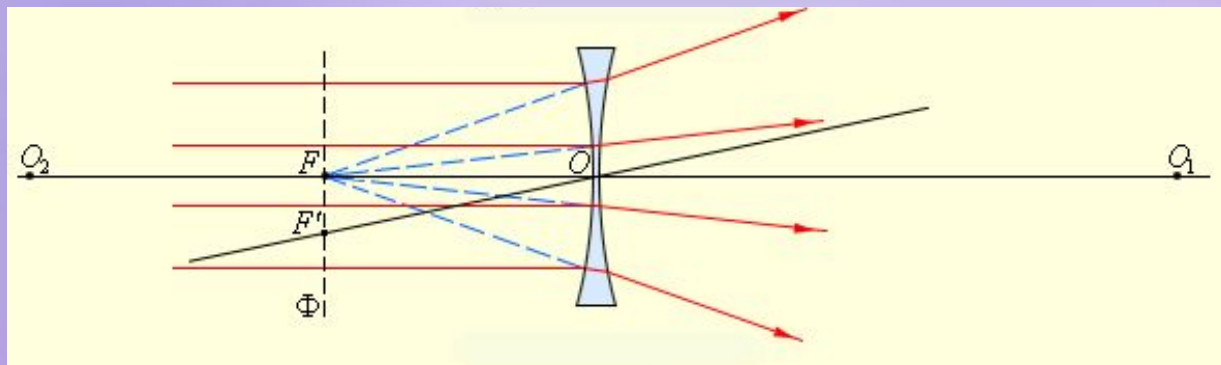
Луч света, распространяющийся по какой-либо из оптических осей, проходит сквозь линзу без изменения направления (без преломления)

# Типы линз

**Собирающие линзы** – линзы, преобразующие параллельный пучок световых лучей в сходящийся.



**Рассеивающие линзы** – линзы, преобразующие параллельный пучок световых лучей в расходящийся.



# По форме ограничивающих поверхностей:

- плоско-выпуклая
- двояковыпуклая
- вогнуто-выпуклая
- двояковогнутая
- выпукло-вогнутая
- плоско-вогнутая

## Собирающие



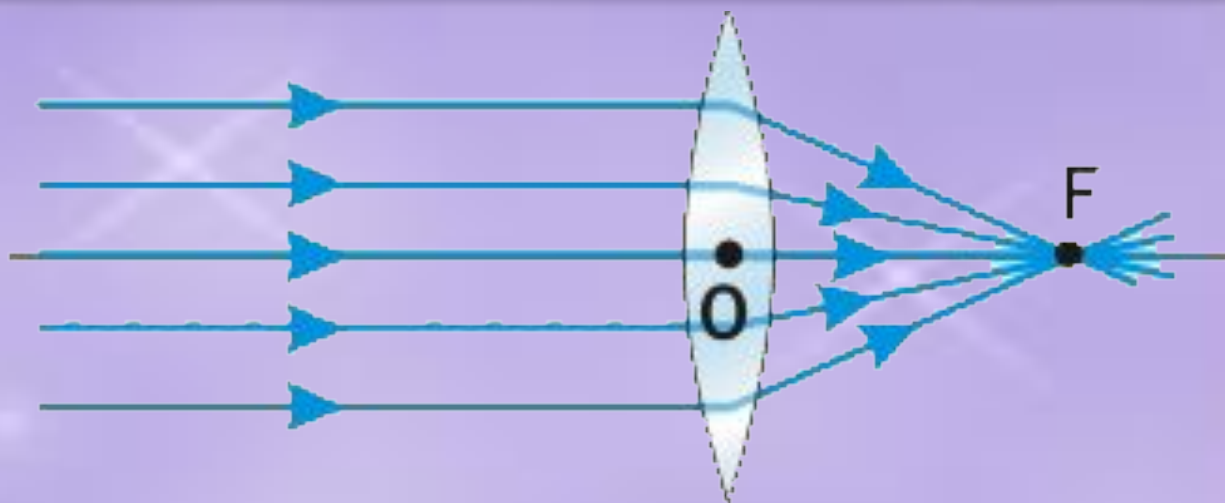
|                          |           |                 |
|--------------------------|-----------|-----------------|
| $R_1 > 0$                | $R_1 > 0$ | $R_1 < 0$       |
| $R_2 \rightarrow \infty$ | $R_2 > 0$ | $R_2 > 0$       |
|                          |           | $ R_1  >  R_2 $ |

## Рассеивающие



|           |                 |                          |
|-----------|-----------------|--------------------------|
| $R_1 < 0$ | $R_1 > 0$       | $R_1 \rightarrow \infty$ |
| $R_2 < 0$ | $R_2 < 0$       | $R_2 < 0$                |
|           | $ R_1  <  R_2 $ |                          |

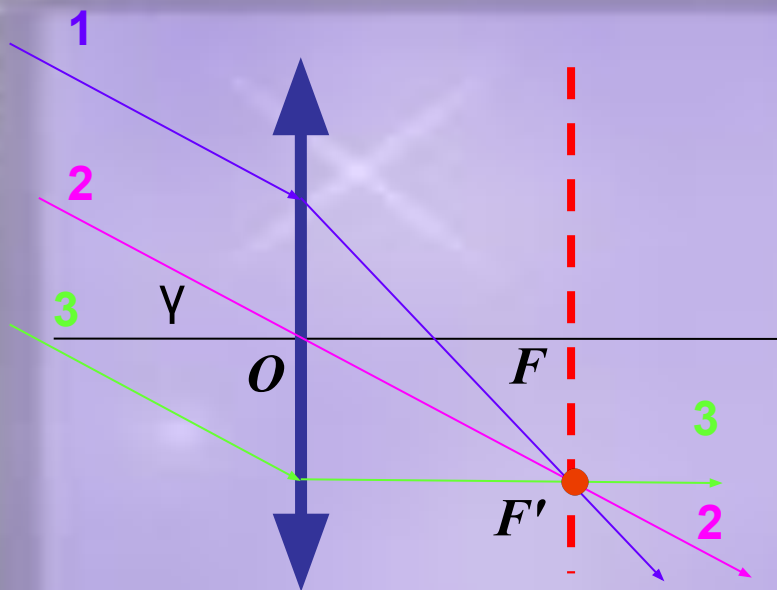




**Главный фокус** собирающей линзы (**F**) – точка на главной оптической оси, в которой собираются лучи, падающие параллельно главной оптической оси, после преломления их в линзе.

**Фокусное расстояние (OF)** – расстояние от главного фокуса до центра линзы (O). У собирающей линзы фокус действительный, потому – положительный.

**СИ: [F] = 1м (метр)**

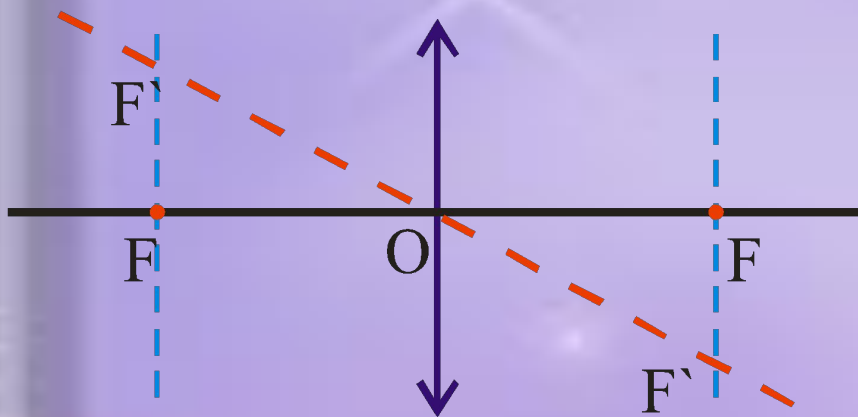


## Фокальная плоскость

линзы – плоскость, проходящая через главный фокус линзы перпендикулярно главной оптической оси.

Точки пересечения побочных оптических осей с фокальными плоскостями называются **побочным фокусом (  $F'$  )**

В побочном фокусе сходятся все лучи, падающие на линзу параллельно побочной оптической оси.



**Оптическая сила** – величина, характеризующая преломляющие свойства линзы, обратная фокусному расстоянию линзы

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

$$[D] = 1/\text{м} = 1\text{дптр (диоптрия)}$$

Для системы вплотную сложенных тонких линз оптическая сила равна  $D = D_1 + D_2 + \dots + D_n$

**Фокусное расстояние двояковыпуклой линзы** определяется радиусом кривизны ее поверхности и относительным показателем преломления материала линзы относительно однородной окружающей среды

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

Фокусное расстояние плосковыпуклой линзы

$$\frac{1}{F} = (n - 1) \frac{1}{R}$$

Фокусное расстояние вогнутовыпуклой собирающей линзы (при  $R_1 < R_2$ )

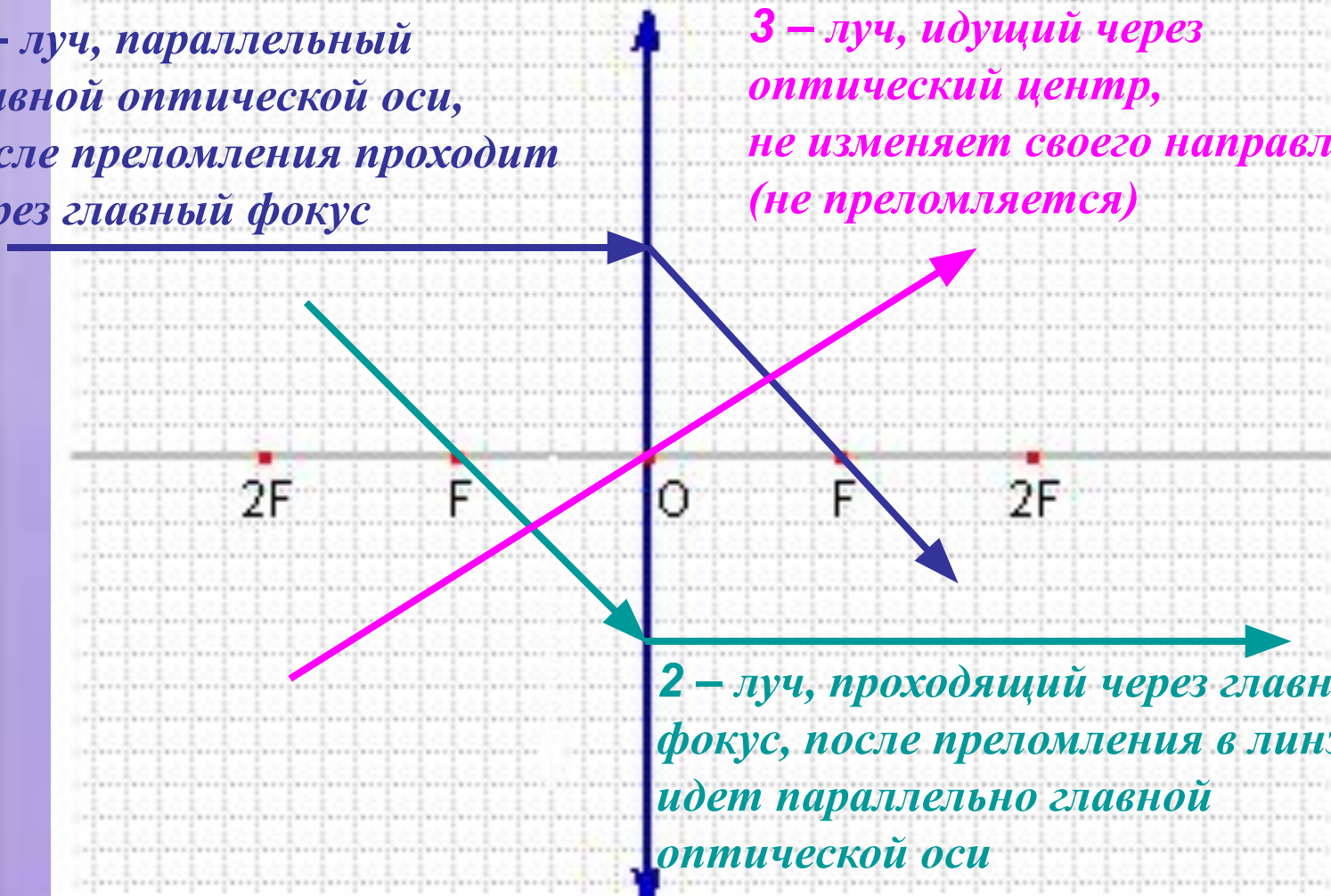
$$\frac{1}{F} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

# Ход лучей

## в собирающей линзе:

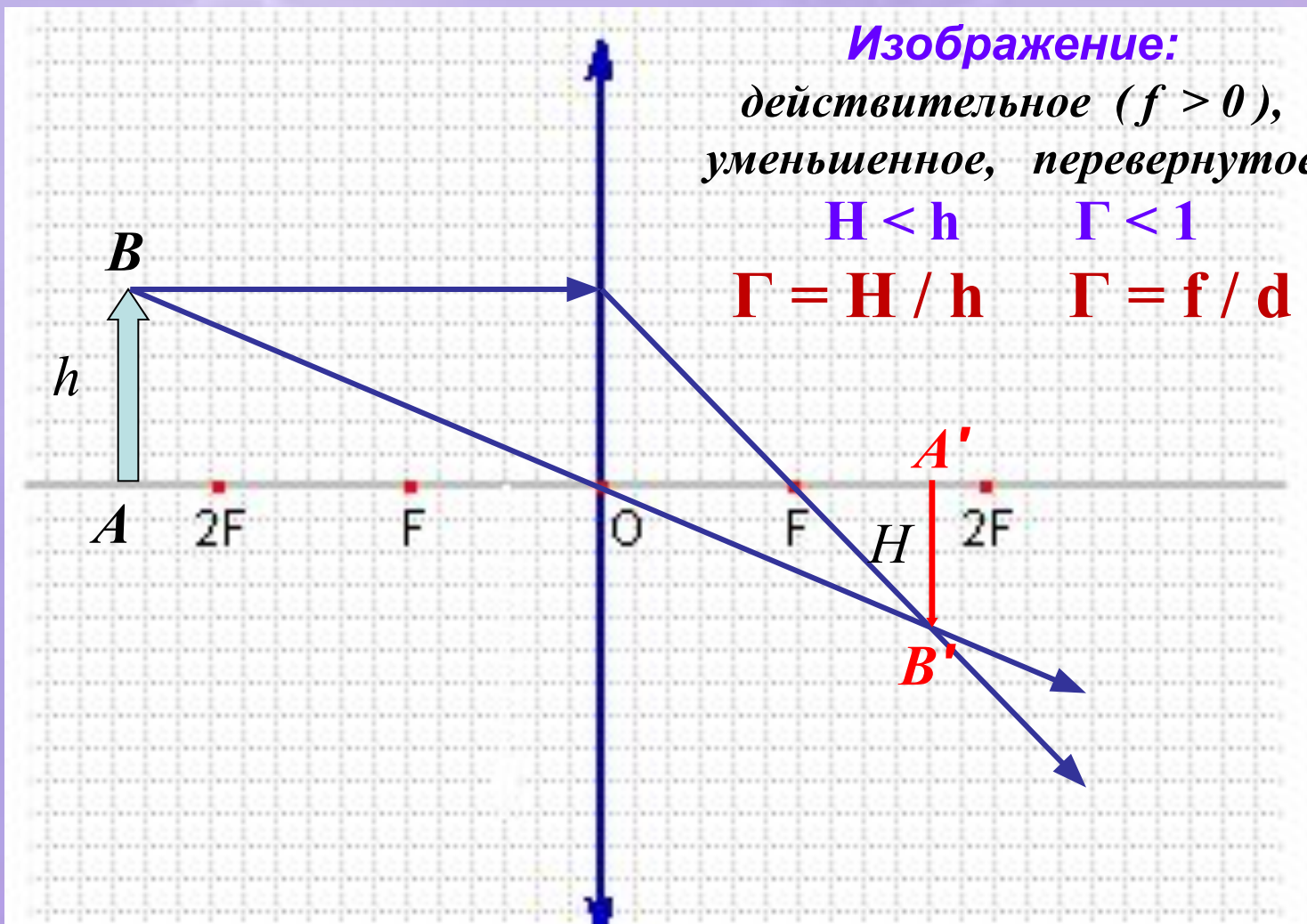
1 – луч, параллельный главной оптической оси, после преломления проходит через главный фокус

3 – луч, идущий через оптический центр, не изменяет своего направления (не преломляется)



2 – луч, проходящий через главный фокус, после преломления в линзе идет параллельно главной оптической оси

## 2. Предмет находится за двойным фокусным расстоянием линзы ( $d > 2F$ )



**Увеличение линзы (  $\Gamma$  )** – отношение линейного размера изображения  $H$  к линейному размеру предмета  $h$

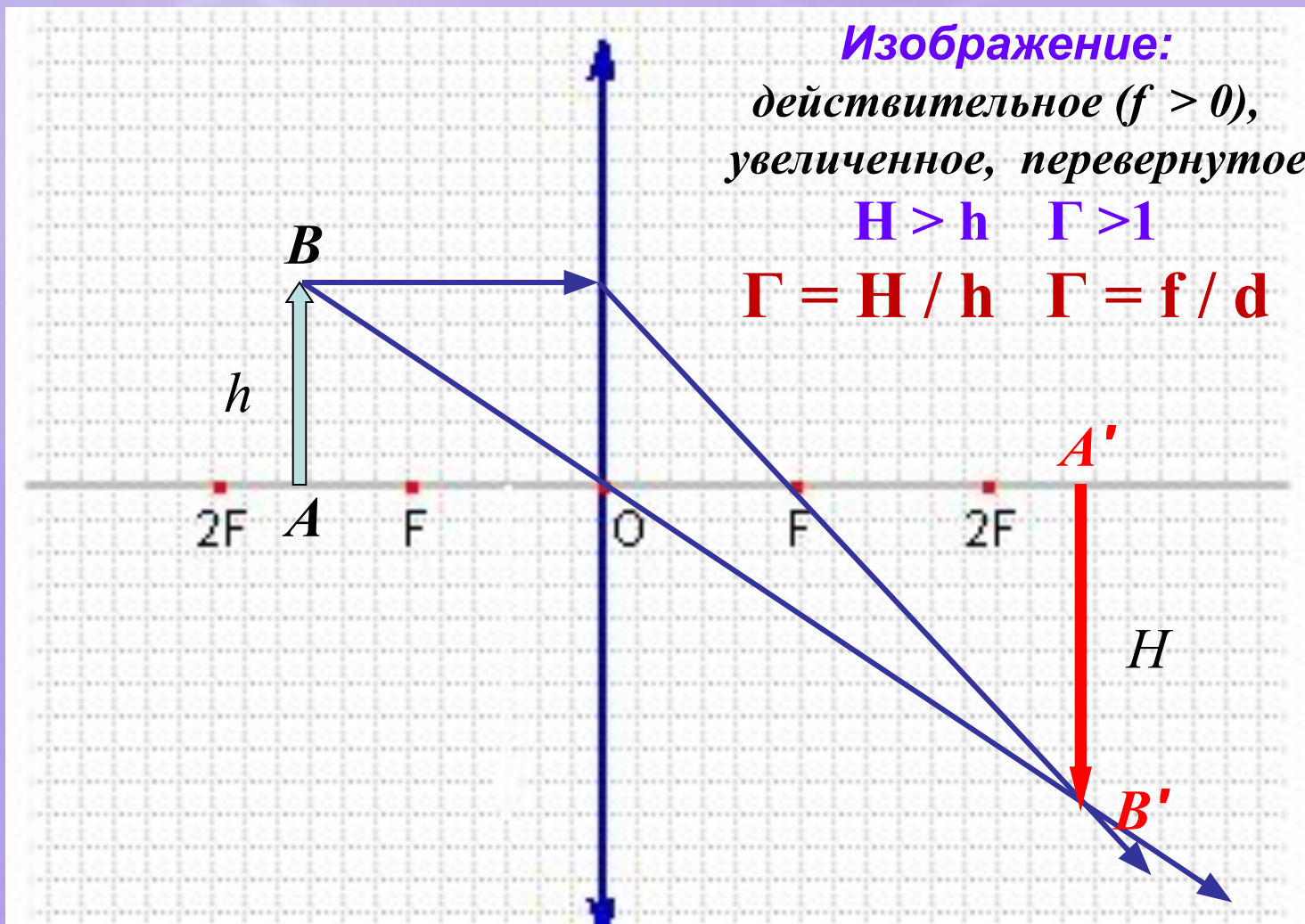
$$\Gamma = H/h$$

При увеличенном изображении предмета в линзе величина увеличения больше единицы (  $\Gamma > 1$  ), а при уменьшенном – меньше единицы (  $\Gamma < 1$  ).

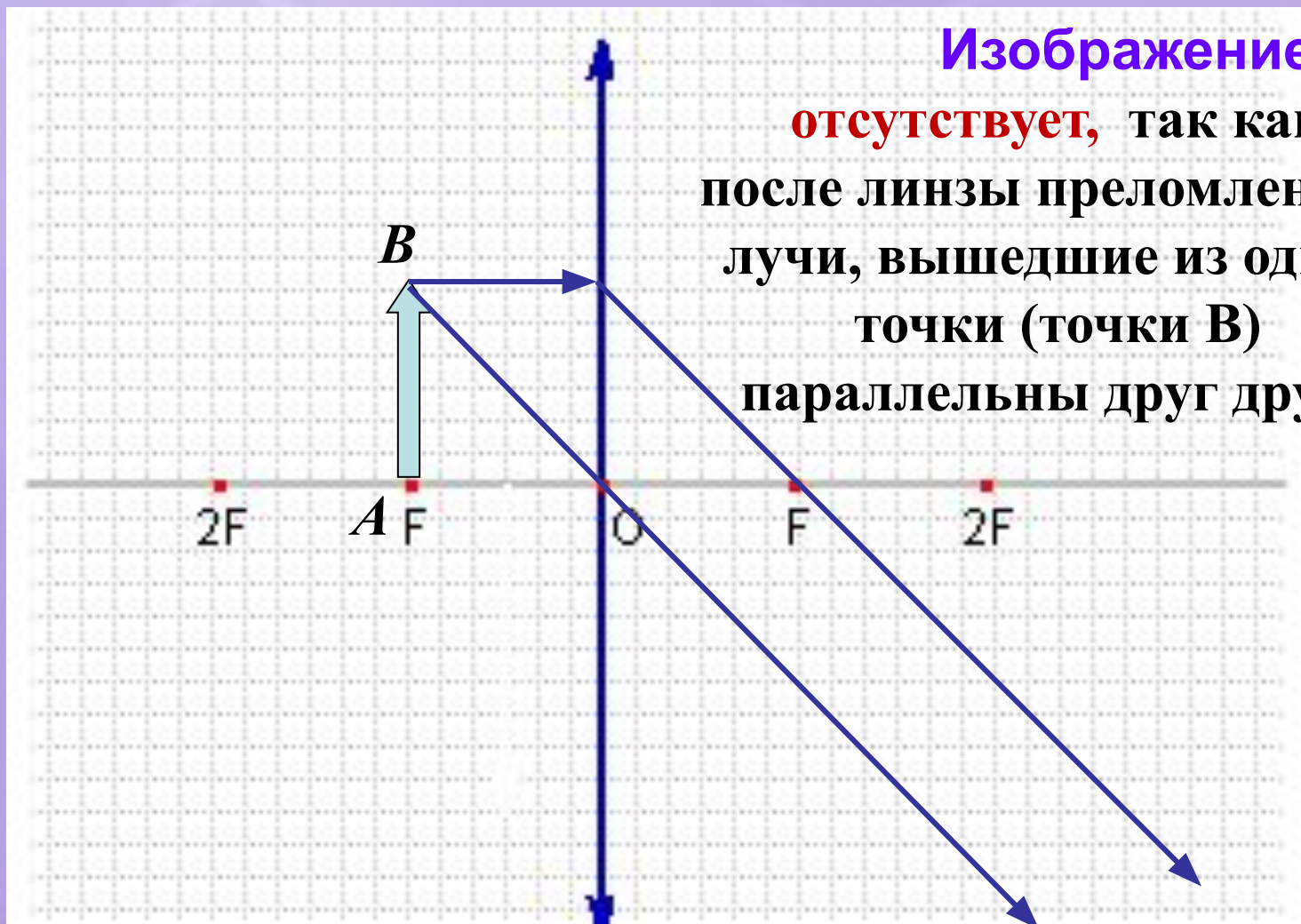
Например:  $\Gamma = 0,2$   $\rightarrow$  линейный размер изображения в  $k = 5$  раз (  $1/0,2 = 5$  ) меньше линейного размера предмета

$$\Gamma = f/d$$

### 3. Предмет находится между двойным фокусом и фокусом линзы ( $F < d < 2F$ )



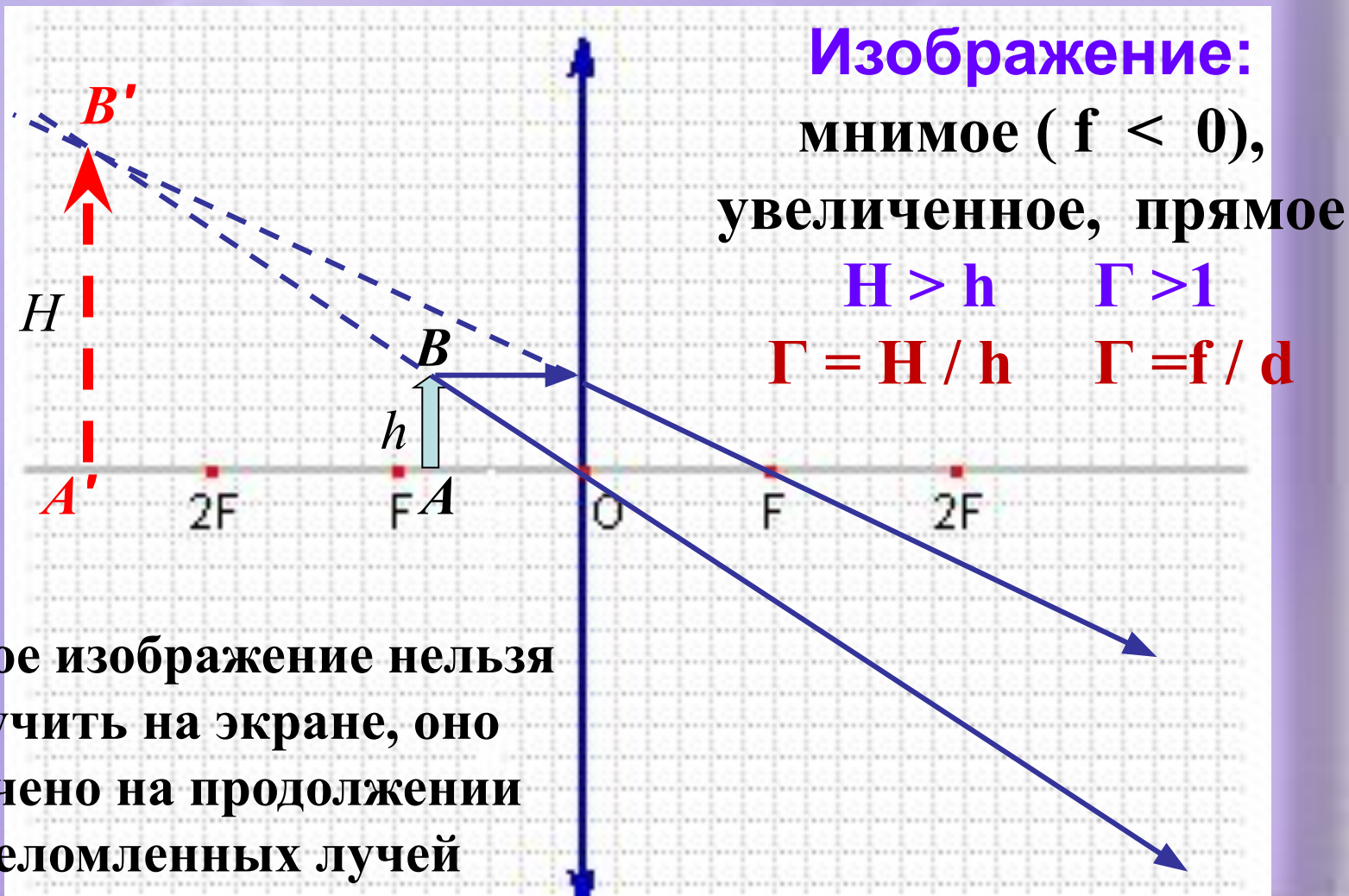
### 3. Предмет находится на фокусном расстоянии от линзы ( $d = F$ )



**Изображение:**  
**отсутствует**, так как  
после линзы преломленные  
лучи, вышедшие из одной  
точки (точки  $B$ )  
параллельны друг другу



#### 4. Предмет находится между главным фокусом и линзой ( $d < F$ )

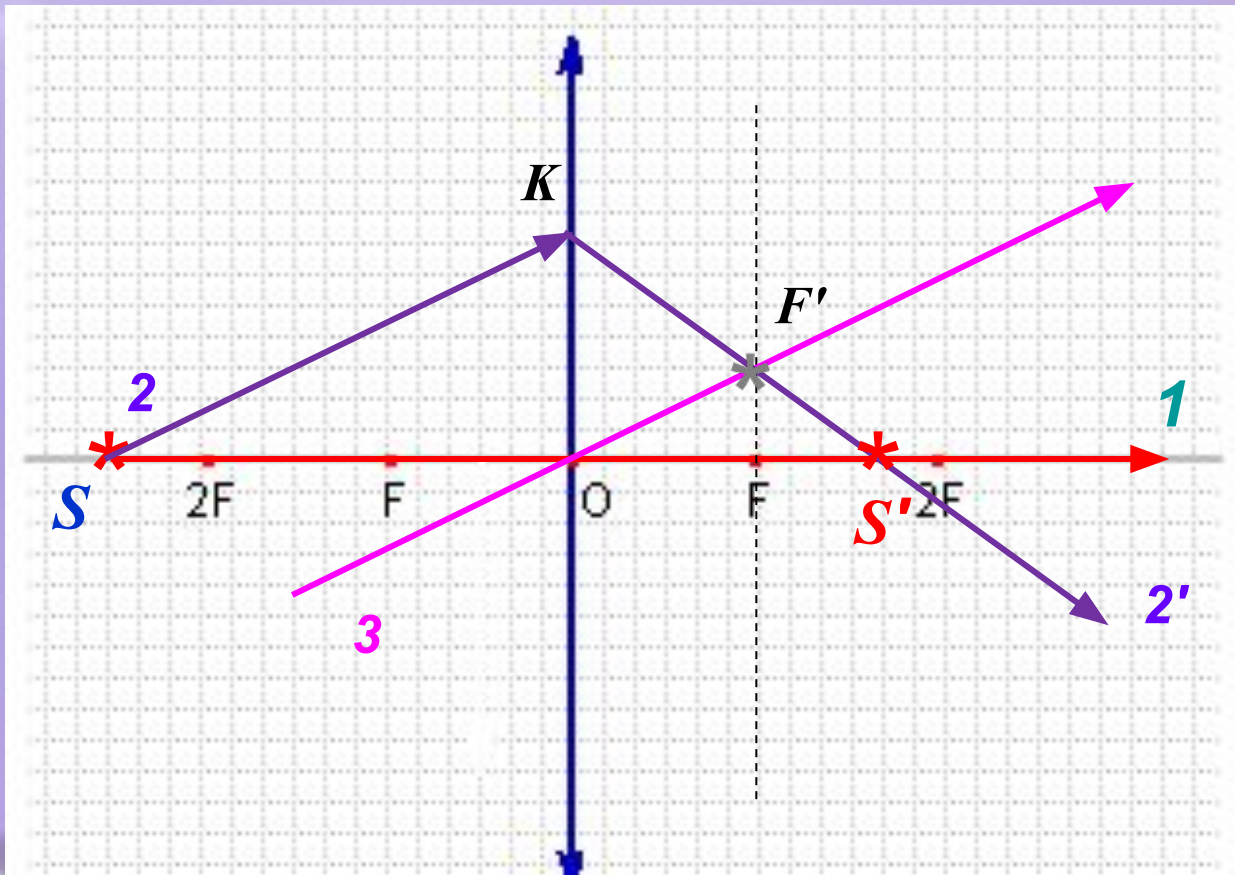


Мнимое изображение нельзя получить на экране, оно получено на продолжении преломленных лучей

# Построение изображений

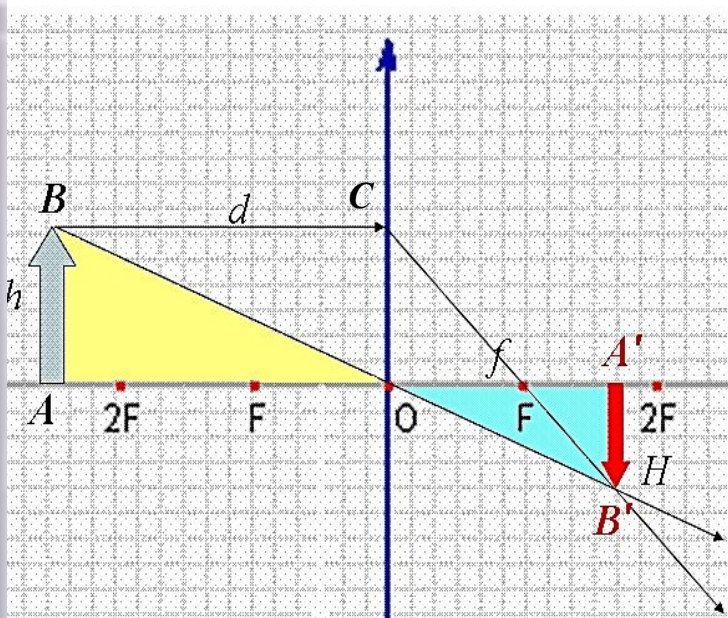
## в тонкой линзе.

Точечный источник света, находящийся на главной оптической оси.



| <i>Предмет</i>                                | <i>Изображение</i>  |  |   |
|---|---|--|---|
| <i>Расстояние от предмета до линзы</i><br>$d$ | <i>Расстояние от линзы до изображения</i><br>$f$  | <i>Вид изображения</i>                     | <i>Ориентация, размер, применение</i>   |
| $d > 2F$                                      | $F < f < 2F$  | Действительное (на экране)                 | перевернутое, уменьшенное ( $0 < \Gamma < 1$ ), фотоаппарат   |
| $d = 2F$                                      | $f = 2F$  | Действительное (на экране)                 | перевернутое, равное ( $\Gamma = 1$ )   |
| $F < d < 2F$                                  | $f > 2F$  | Действительное (на экране)                 | перевернутое, увеличенное ( $\Gamma > 1$ ), проекционный аппарат, фильмоскоп                        |
| $d = F$                                       | Изображения нет, лучи вышедшие из одной точки после преломления параллельны между собой (получение параллельного пучка света в оптических приборах) |  |   |
| $d < F$                                       | $f > d$   | Мнимое (на продолжении преломленных лучей) | Прямое (неперевернутое), увеличенное ( $\Gamma > 1$ ), лупа, окуляры микроскопа, телескопа, бинокля |

# Формула тонкой линзы



$\triangle AOB$  подобен  $\triangle A'OB'$ , поэтому  $|\Gamma| = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$

$\triangle CFO$  подобен  $\triangle A'FB'$ :  $|\Gamma| = \frac{H}{h} = \frac{f - F}{F}$

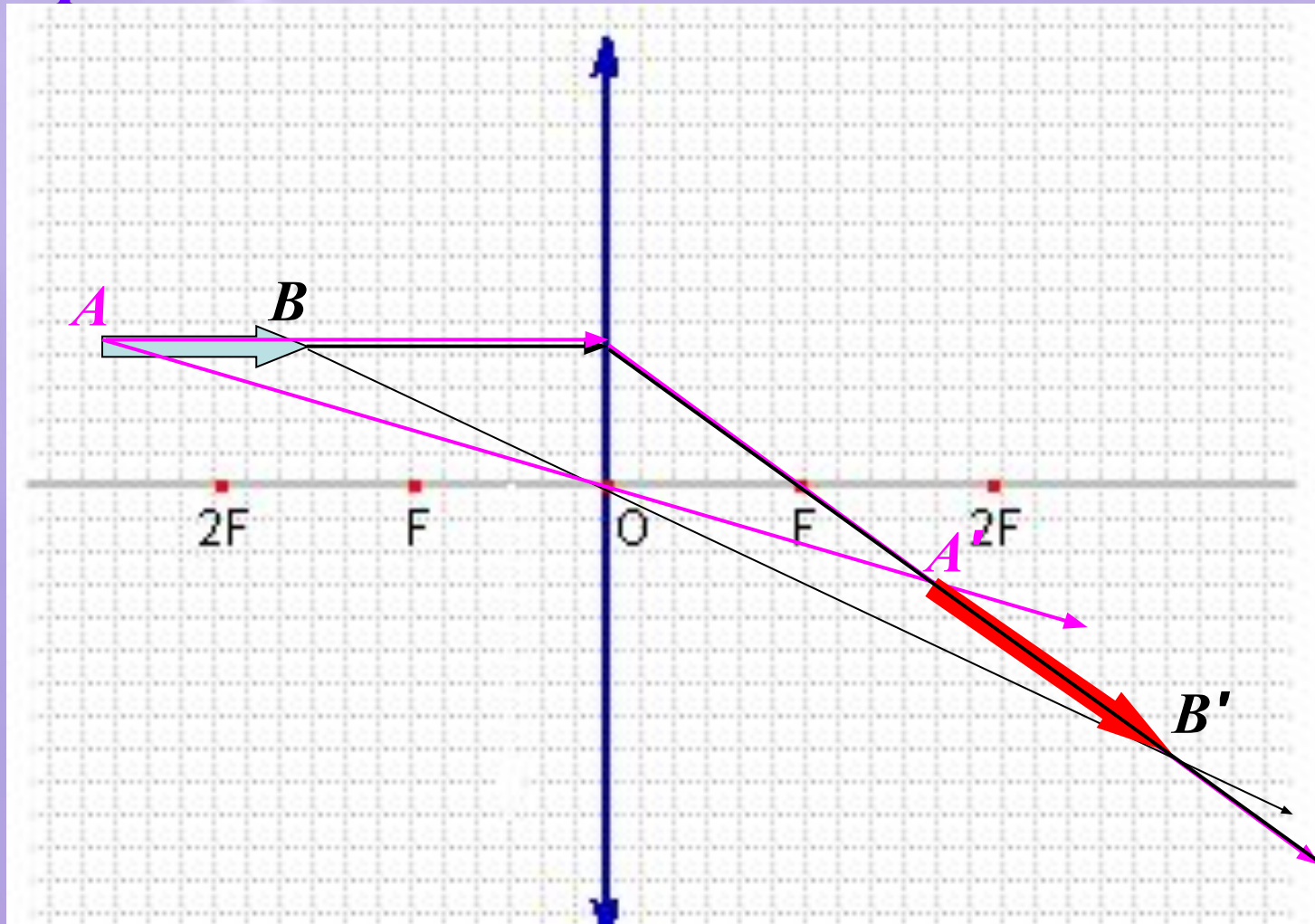
$\frac{f}{d} = \frac{f - F}{F}$  |разделим обе части на f

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

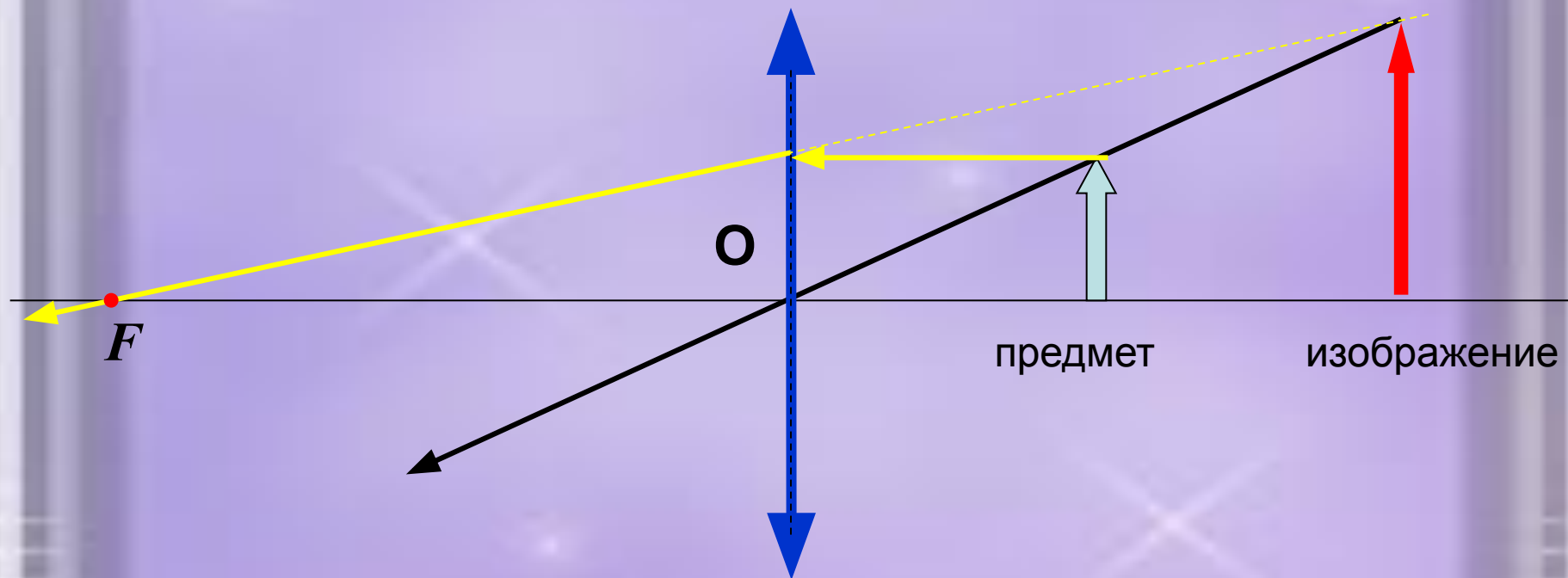
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

*Формула тонкой линзы  
для действительных изображений*

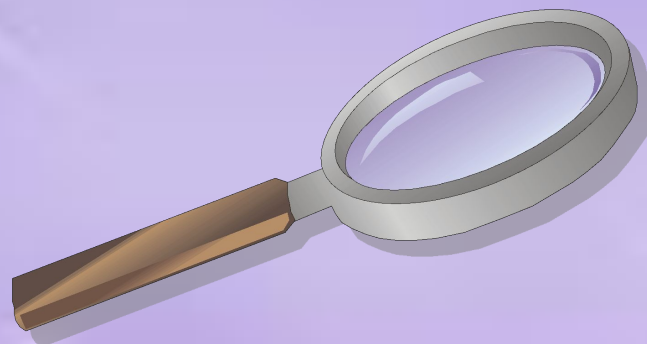
*Линейный предмет, расположенный параллельно главной оптической оси.*



*Графическое определение положения  
оптического центра и главного фокуса  
линзы.*



Рассеивающие  
линзы.



# Ход лучей

## в рассеивающей линзе

Рассеивающая линза превращает пучок **параллельно** падающих на неё световых лучей в **расходящийся**.

**Главный фокус** рассеивающей линзы – точка на главной оптической оси, через которую проходят **продолжения** расходящегося пучка лучей, возникающего после преломления в линзе лучей, параллельных главной оптической оси.

Фокус рассеивающей линзы **всегда мнимый**.



**Оптическая сила  
двояковогнутой  
рассеивающей линзы**

$$D < 0$$

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

**Оптическая сила  
плосковогнутой  
рассеивающей линзы**

$$D < 0$$

$$D = \frac{1}{F} = -(n - 1) \frac{1}{R}$$

**Оптическая сила  
вогнутовыпуклой  
рассеивающей линзы**

**(при  $R_1 > R_2$ )**

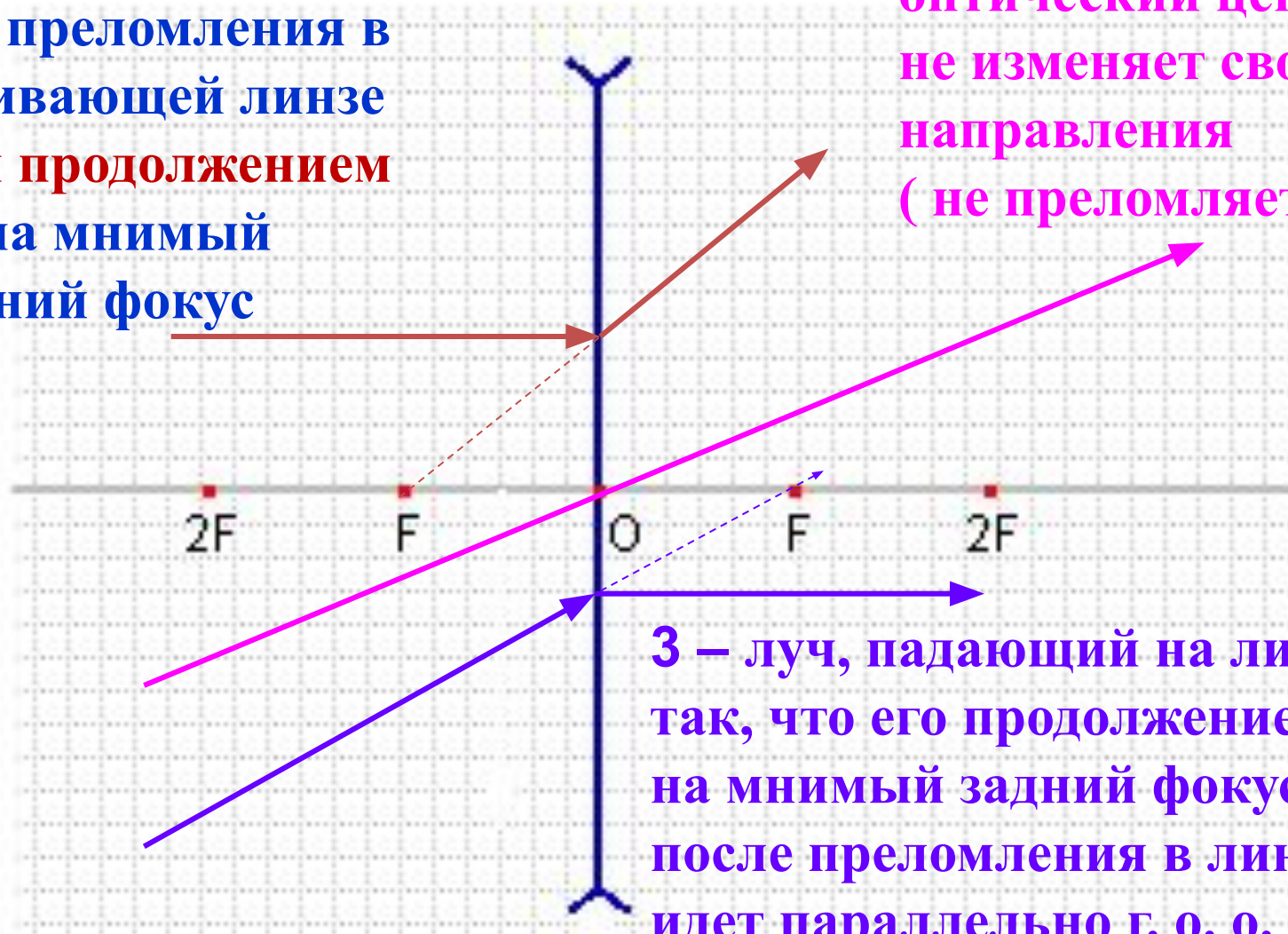
$$D < 0$$

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

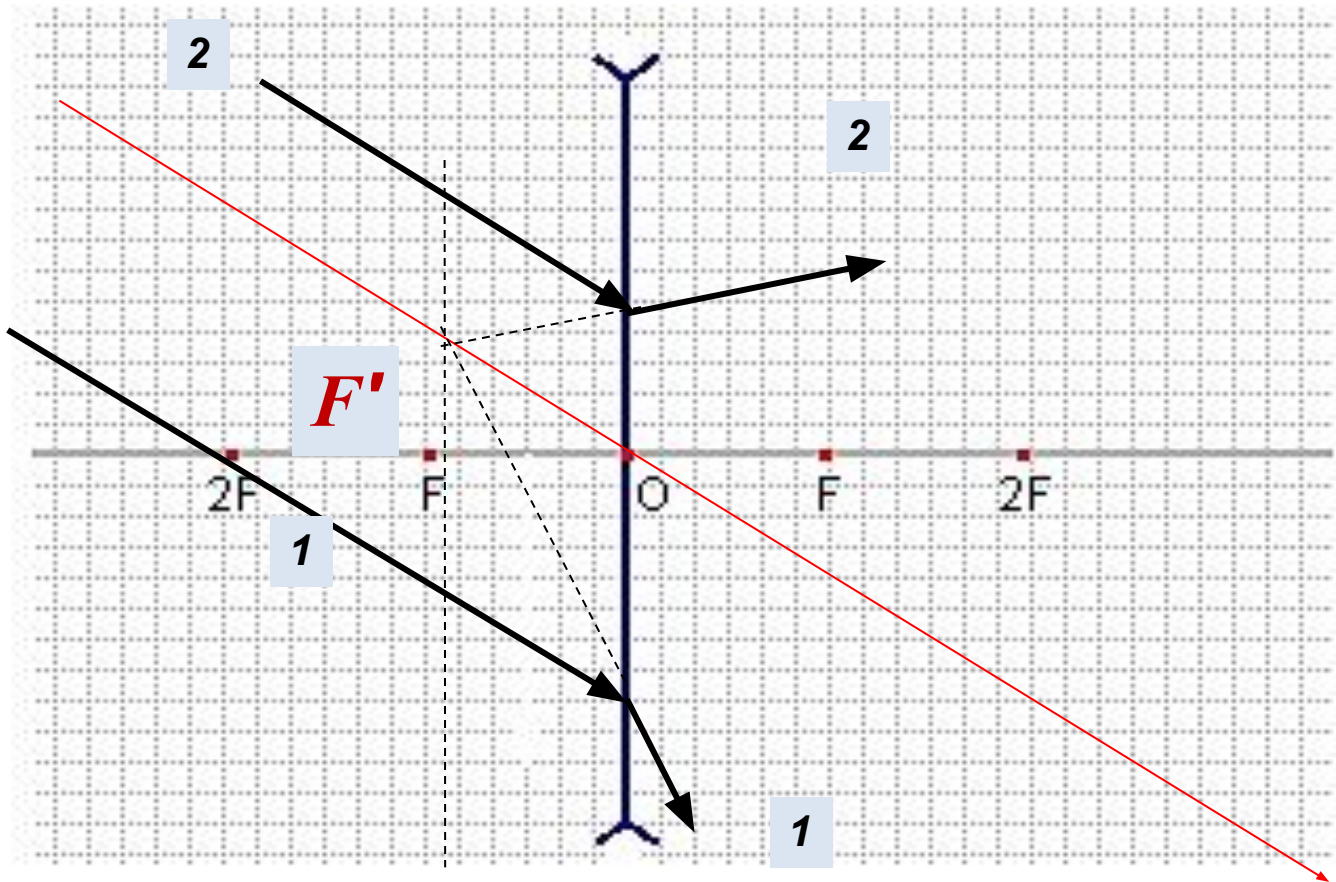
# Основные лучи для рассеивающей линзы

1 – луч, идущий параллельно г.о.о., после преломления в рассеивающей линзе своим продолжением идет на мнимый передний фокус

2 – луч, идущий через оптический центр, не изменяет своего направления (не преломляется)

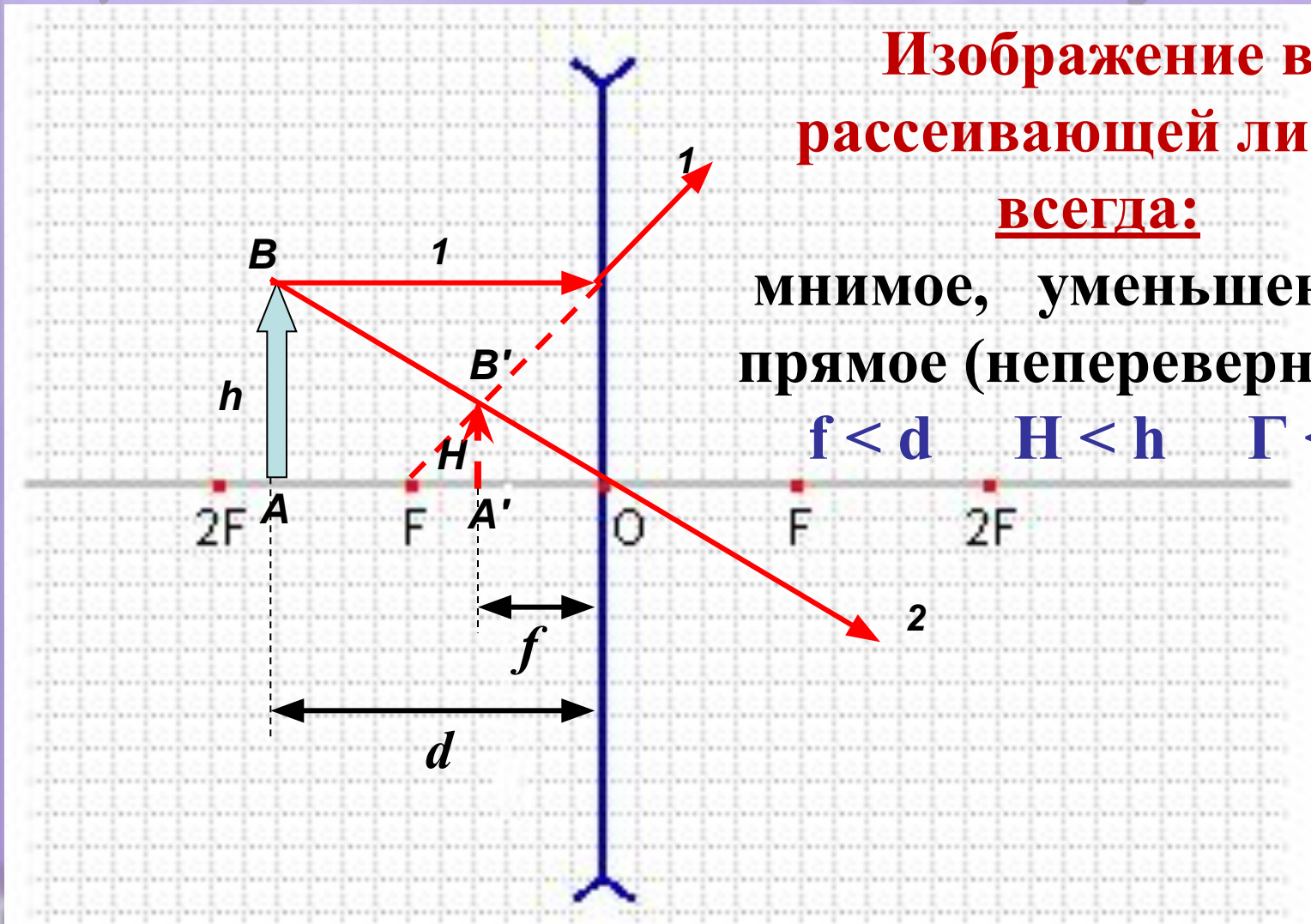


3 – луч, падающий на линзу так, что его продолжение идет на мнимый задний фокус, после преломления в линзе идет параллельно г. о. о.



Если пучок параллельных лучей падает на тонкую рассеивающую линзу параллельно побочной оптической оси, то продолжения преломленных лучей пересекаются в одной точке  $F'$  фокальной плоскости линзы – в ее мнимом *побочном фокусе*.

# Изображение предмета в рассеивающей линзе



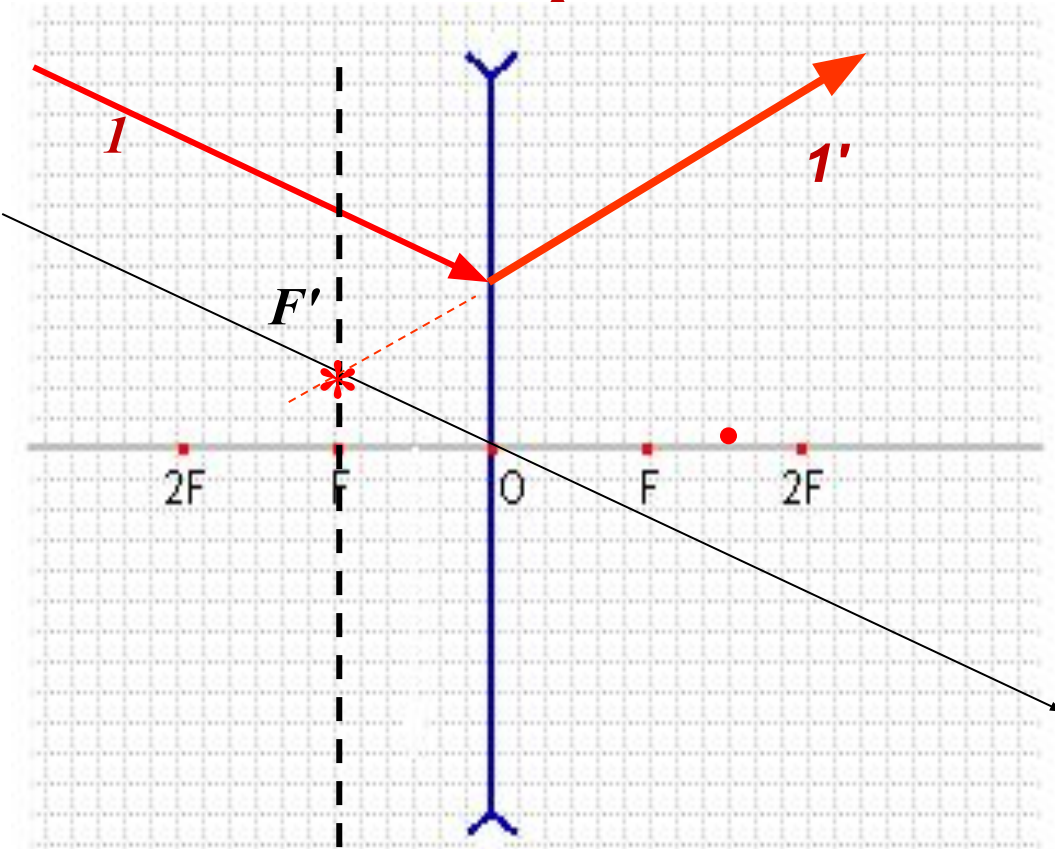
**Изображение в  
рассеивающей линзе**

**всегда:**

**мнимое, уменьшенное,  
прямое (неперевернутое)**

$$f < d \quad H < h \quad \Gamma < 1$$

# Построение хода произвольного луча в рассеивающей линзе

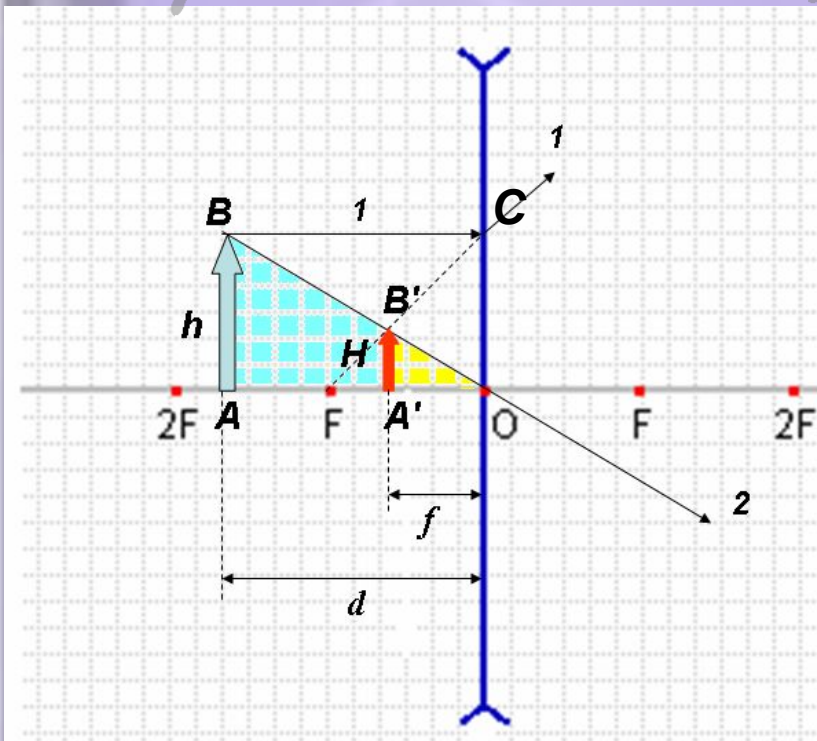


1. Провести параллельно  
заданному лучу  
побочную оптическую  
ось

2. Построить через фокус  
фокальную плоскость.  
Найти побочный мнимый  
фокус

3. Построить продолжение преломленного луча, а затем  
преломленный луч

# Формула тонкой рассеивающей линзы



$\triangle AOB$  подобен  $\triangle A'OB'$ , поэтому  $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{|f|}{d}$

(мы учли, что  $f < 0$ )

$\triangle CFO$  подобен  $\triangle A'FB'$ , тогда  $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{|F| - |f|}{|F|}$ ,

для рассеивающей линзы  $F < 0$

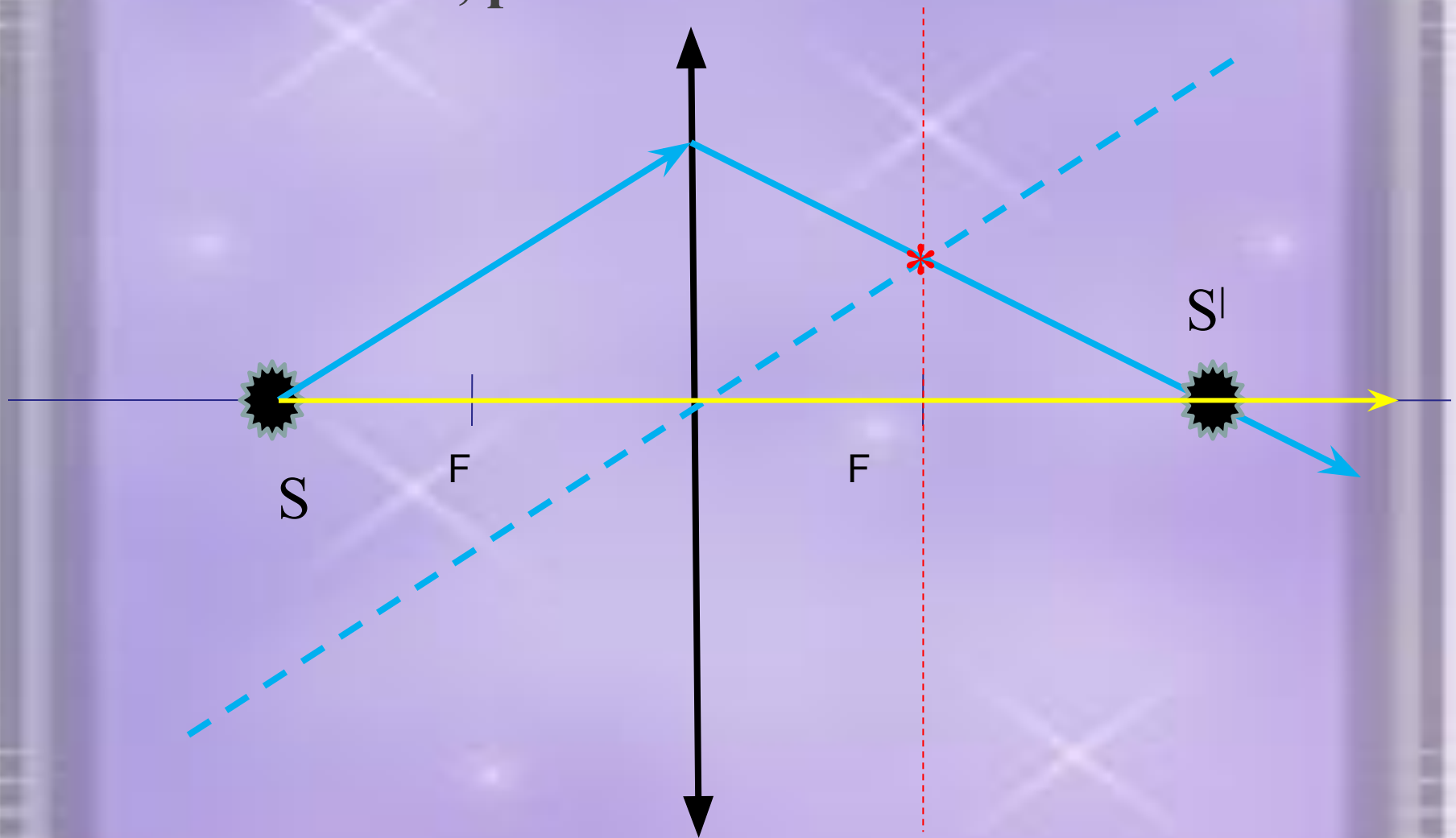
$\frac{|f|}{d} = \frac{|F| - |f|}{|F|}$ . Разделим обе части уравнения на  $|f|$ .

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

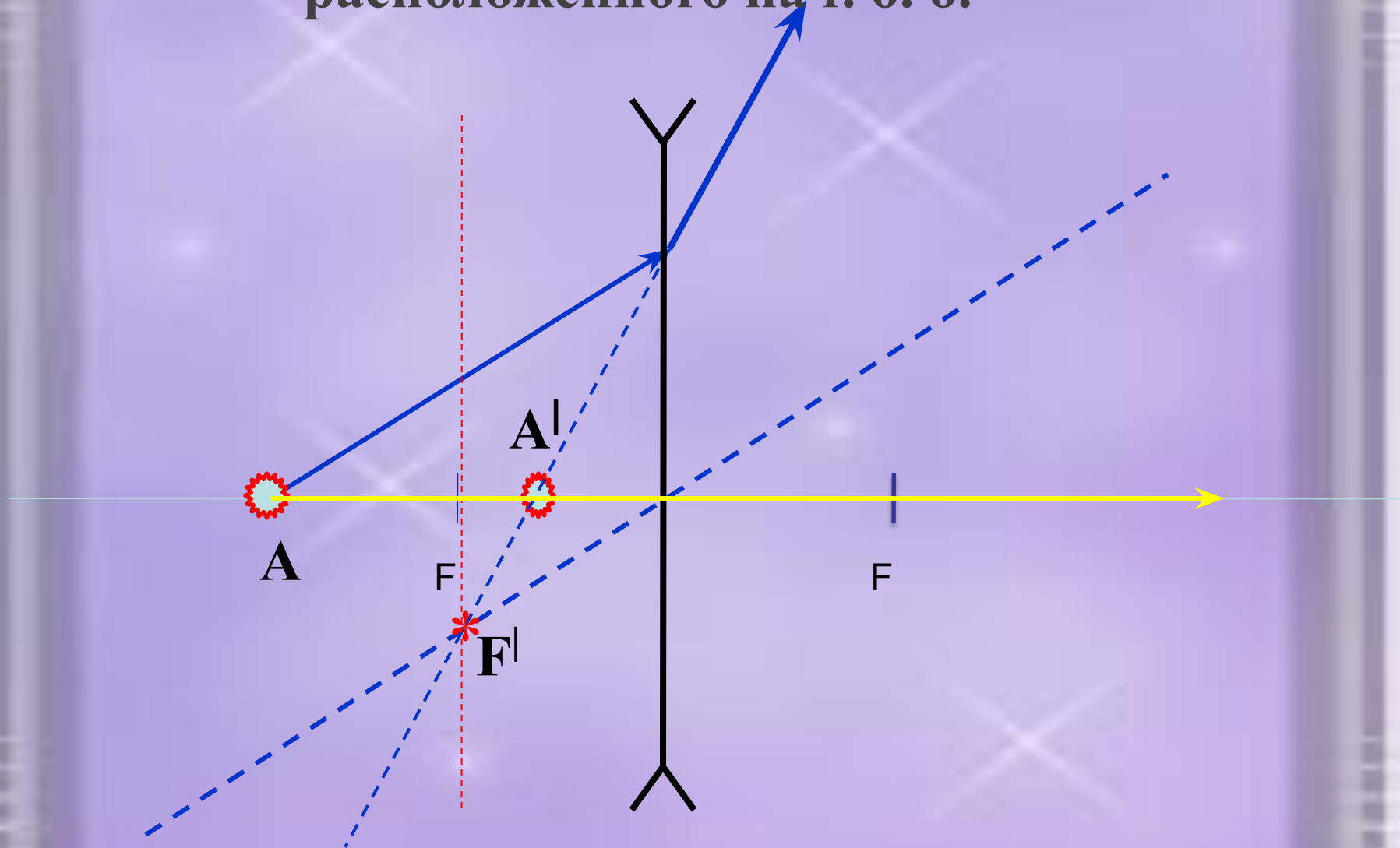
$$\boxed{-\frac{1}{|F|} = \frac{1}{d} - \frac{1}{|f|}}$$

**Формула тонкой  
рассеивающей линзы**

**Задание 1:** построить изображение источника света, расположенного на г. о. о.

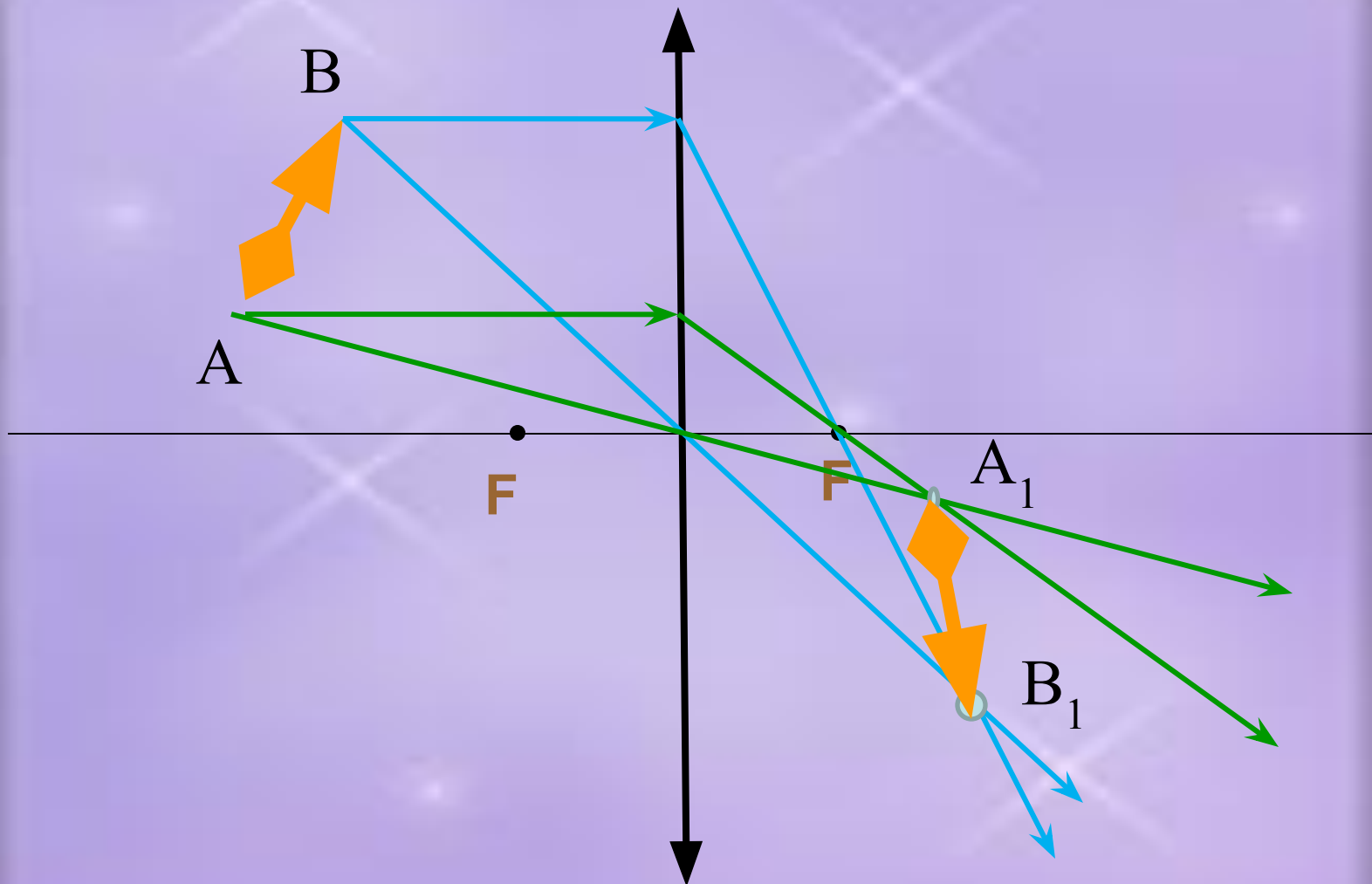


**Задание 2:** постройте изображение источника света, расположенного на г. о. о.

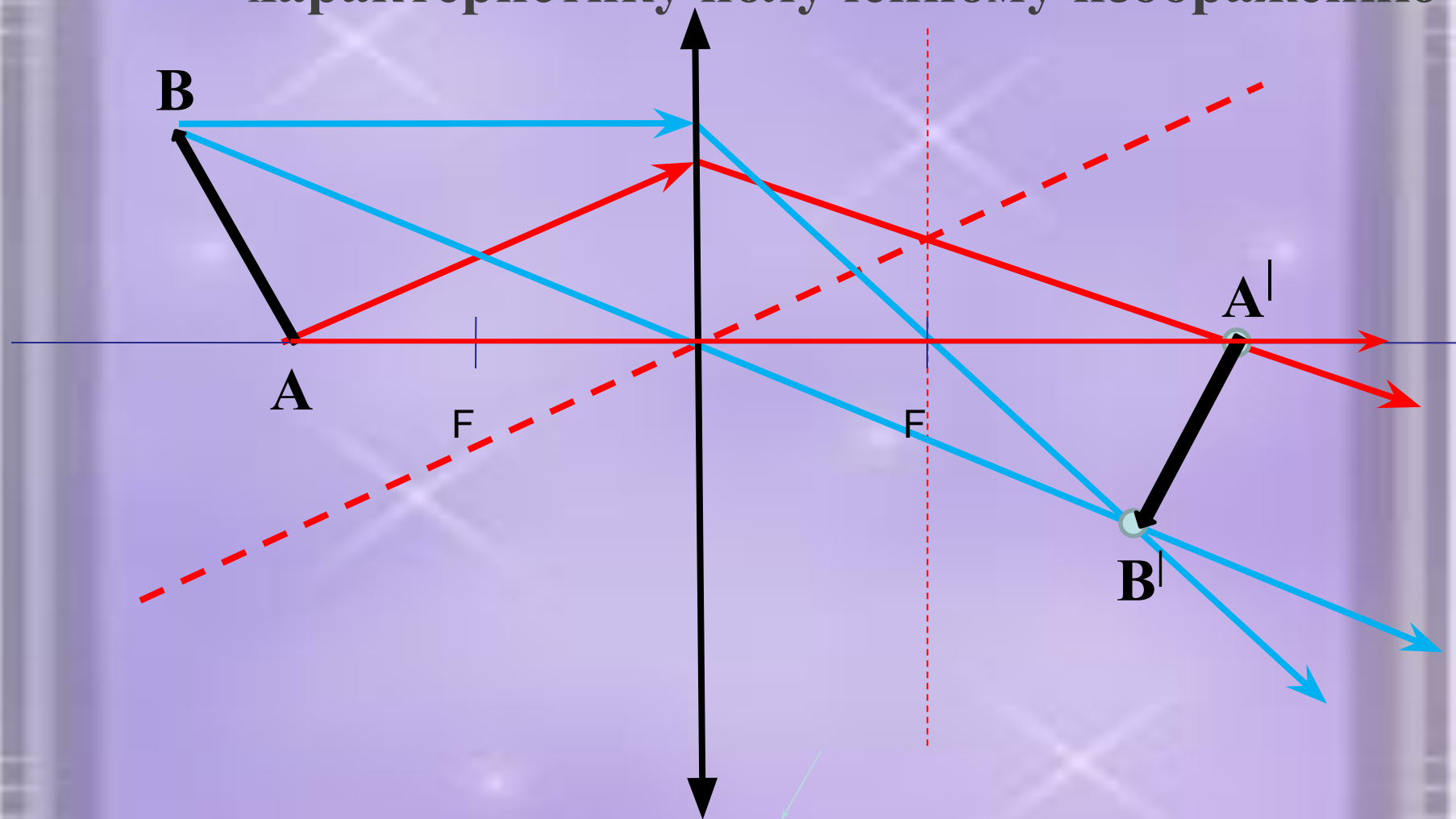




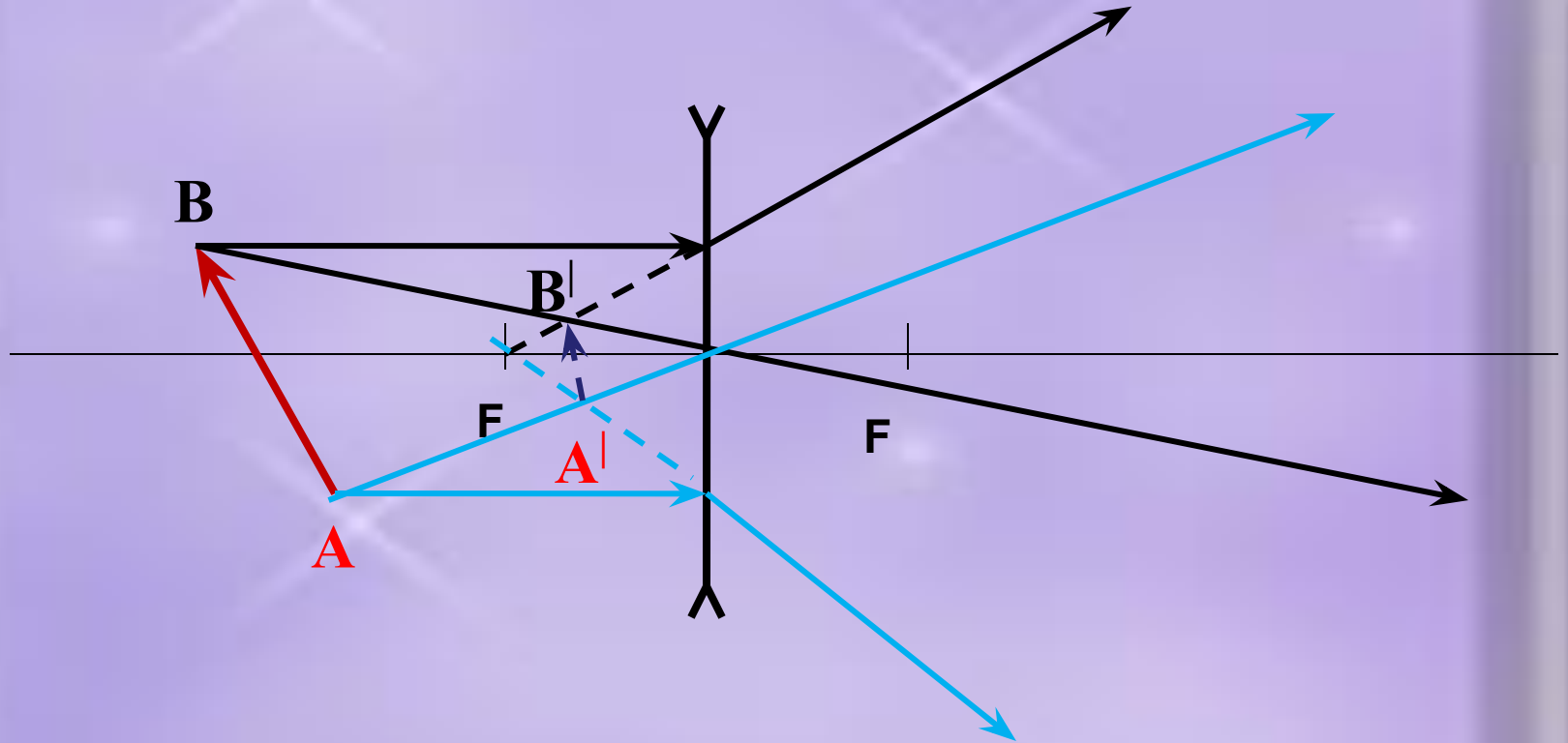
**Задание 3:** построить изображение предмета и дать характеристику полученному изображению



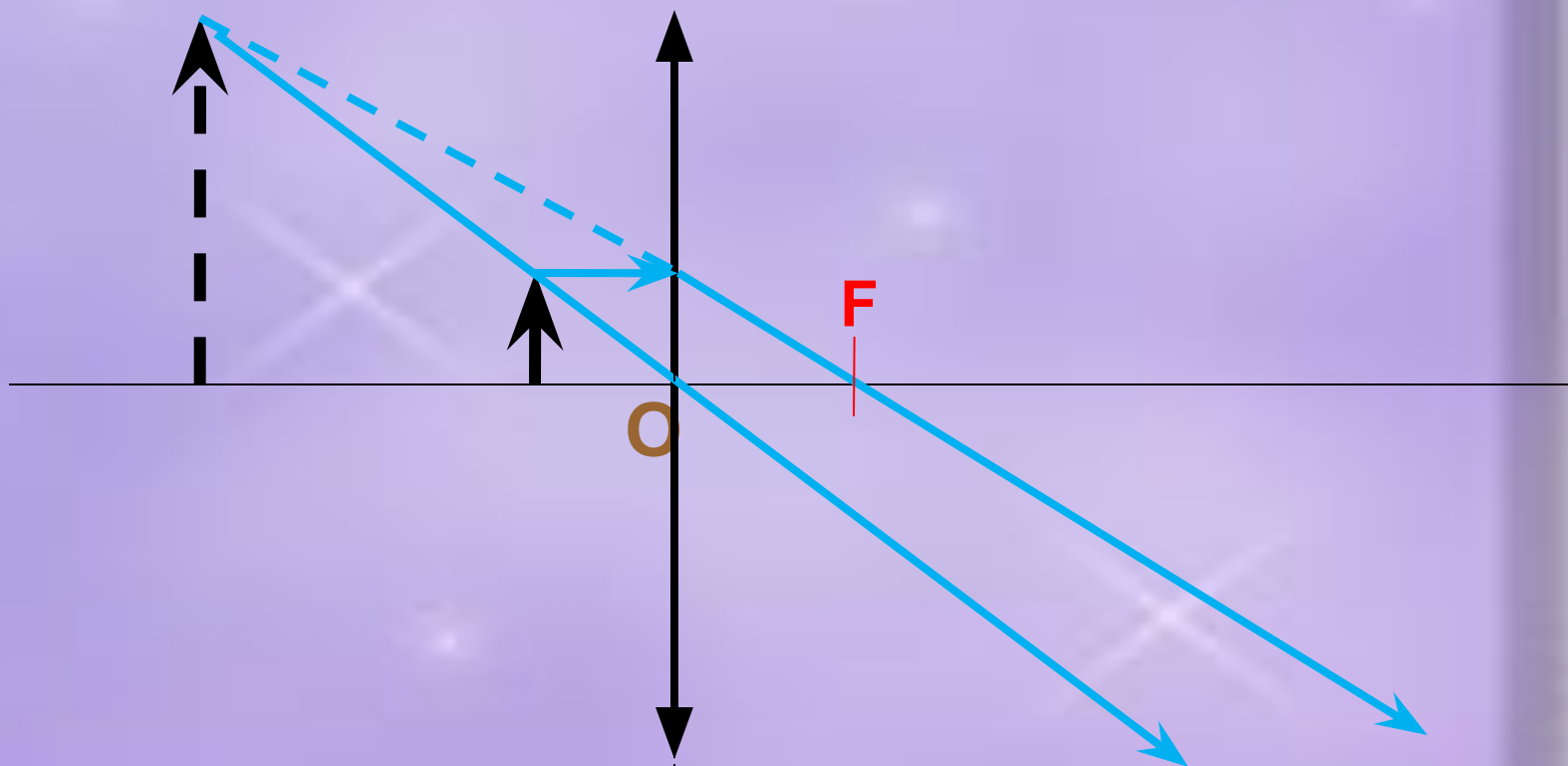
**Задание 4:** построить изображение предмета и дать характеристику полученному изображению



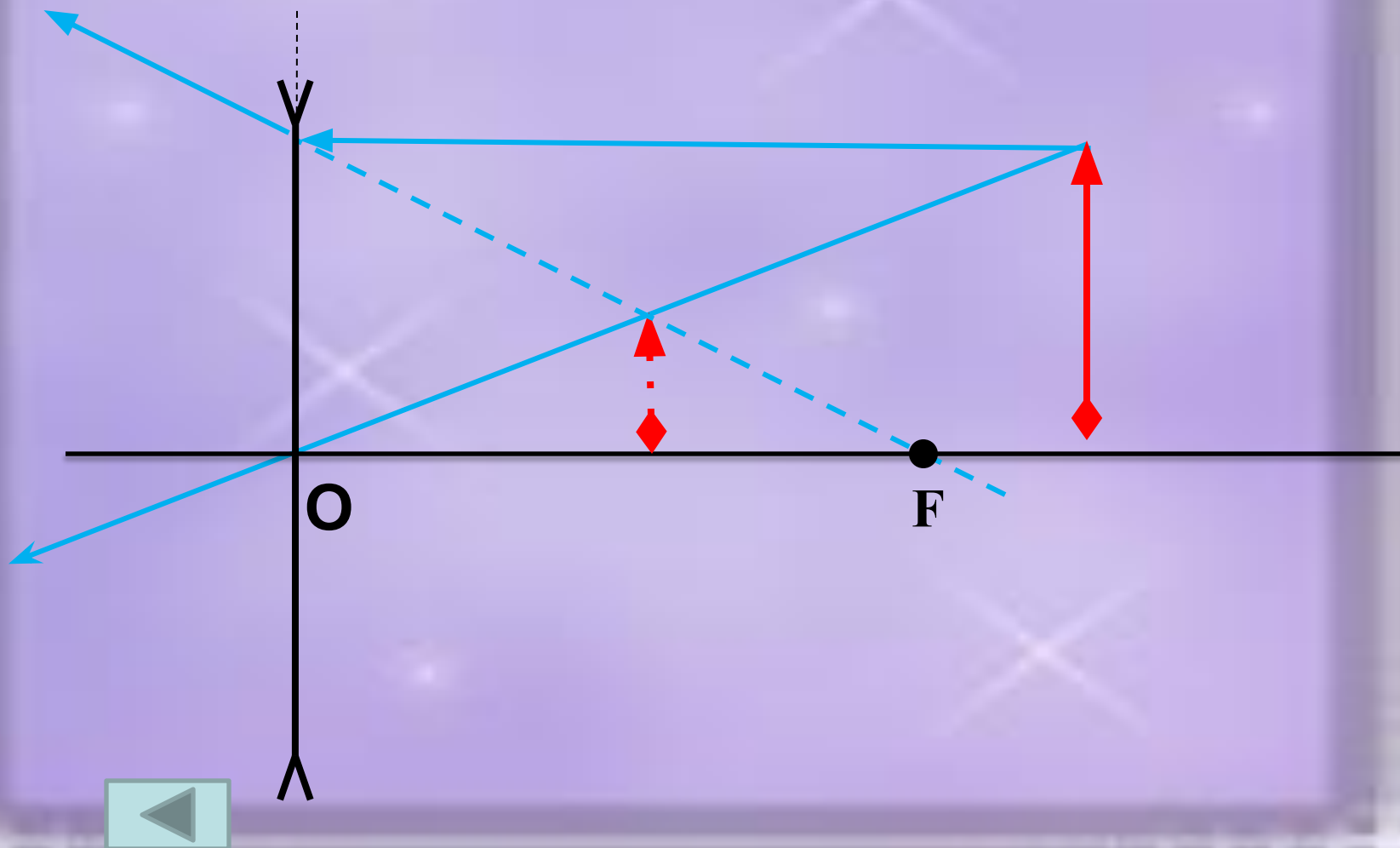
**Задание 5:** построить изображение предмета и дать характеристику полученному изображению



**Задание 6:** найдите построением оптический центр и фокус линзы



**Задание 7:** найти построением оптический центр и главный фокус линзы



# Недостатки линз.

Реальным линзам свойственны некоторые дефекты. Один из них - сферическая абберация. Она заключается в том, что выпуклая линза лучи, отстоящие далеко от главной оптической оси, собирает в точке (фокусе), расположенной ближе к линзе, чем близко прилегающие лучи: у вогнутой линзы — аналогичная картина.

Один из способов борьбы со сферической абберацией — использование только параксиальных пучков, т. е. пучков, близких к главной оптической оси. Для этого линзу диафрагмируют, пропуская через нее более узкий пучок. Но этим уменьшается энергия пучка и освещенность изображения. Второй способ ослабления изображенный за линзой, увидит прямое мнимое увеличенное изображение.