

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.

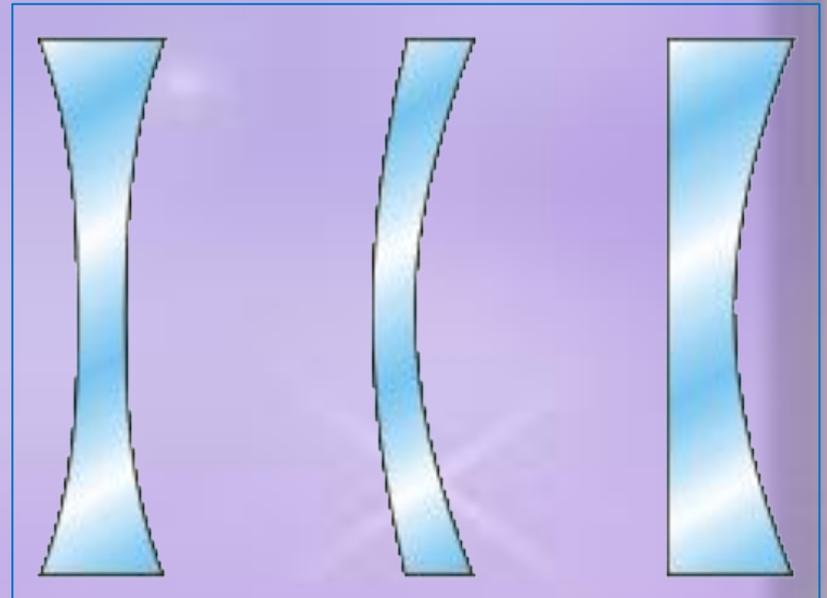
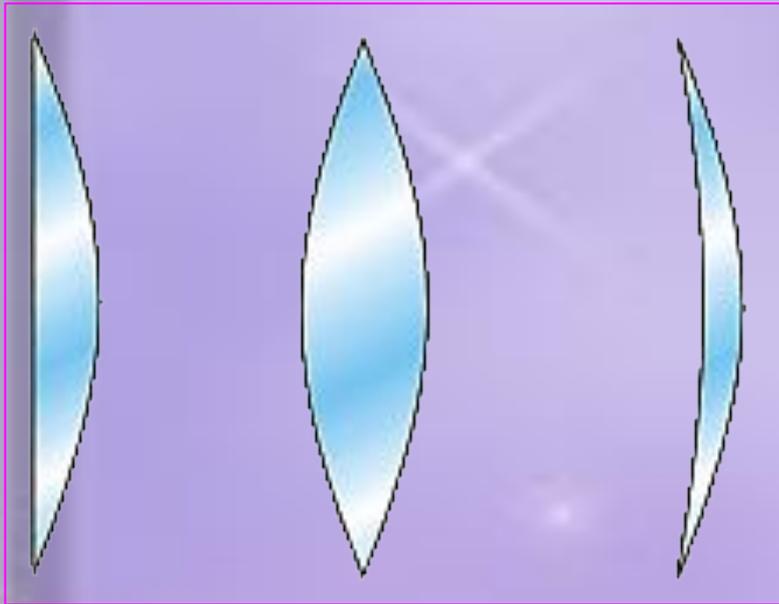
Применять полученные знания при решении задач на построение и расчет тонкой линзы (в том числе с помощью компьютера)

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.

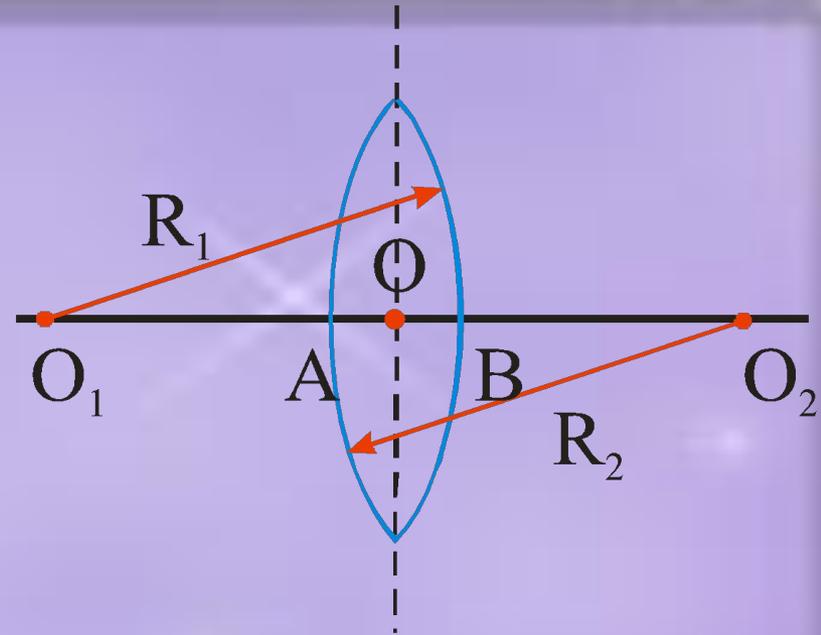
По форме ограничивающих поверхностей:

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

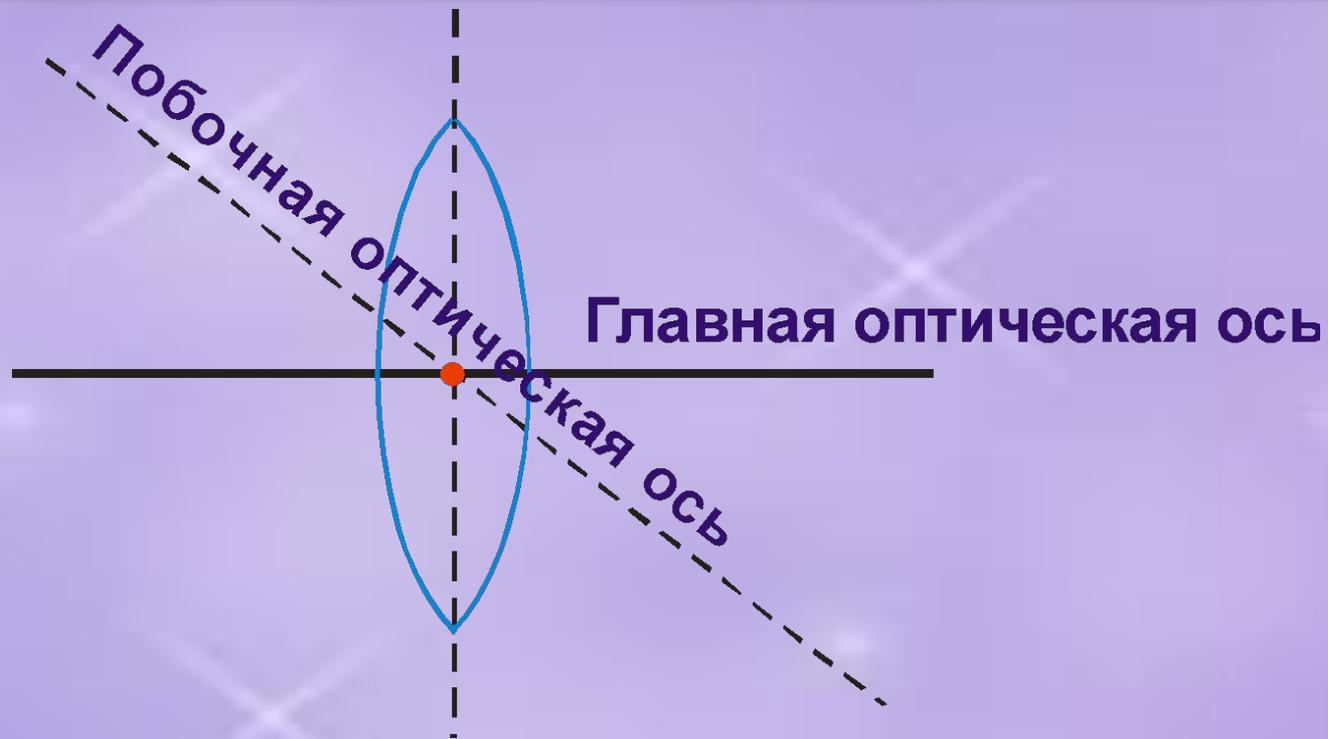


Главная

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)

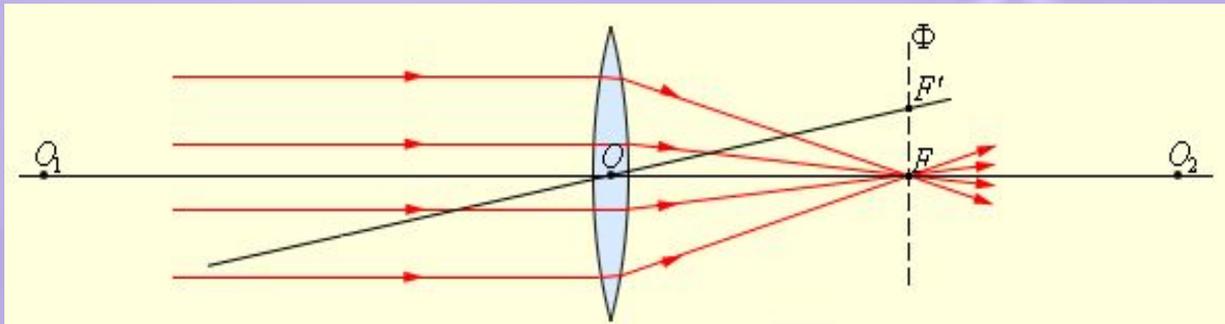


Любую прямую, проходящую через оптический центр линзы и не совпадающую с главной оптической осью называют **побочной оптической осью**.

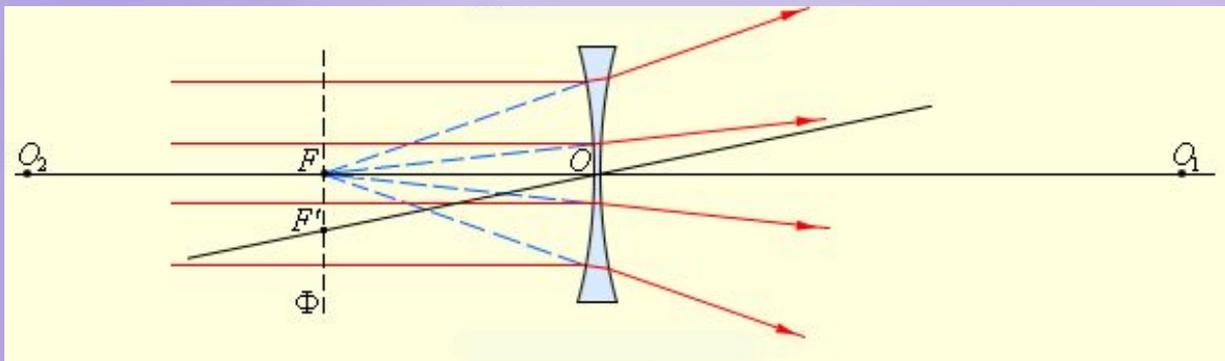
Луч света, распространяющийся по какой-либо из оптических осей, проходит сквозь линзу без изменения направления (без преломления)

Типы линз

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



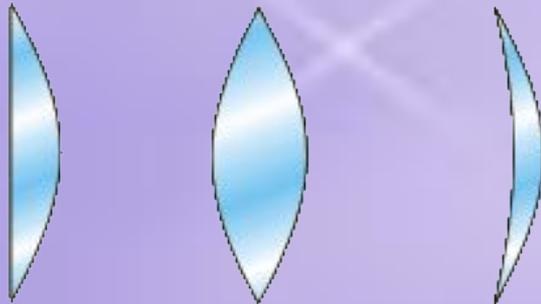
Рассеивающие линзы – линзы, преобразующие параллельный пучок световых лучей в расходящийся.



По форме ограничивающих поверхностей:

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

Собирающие

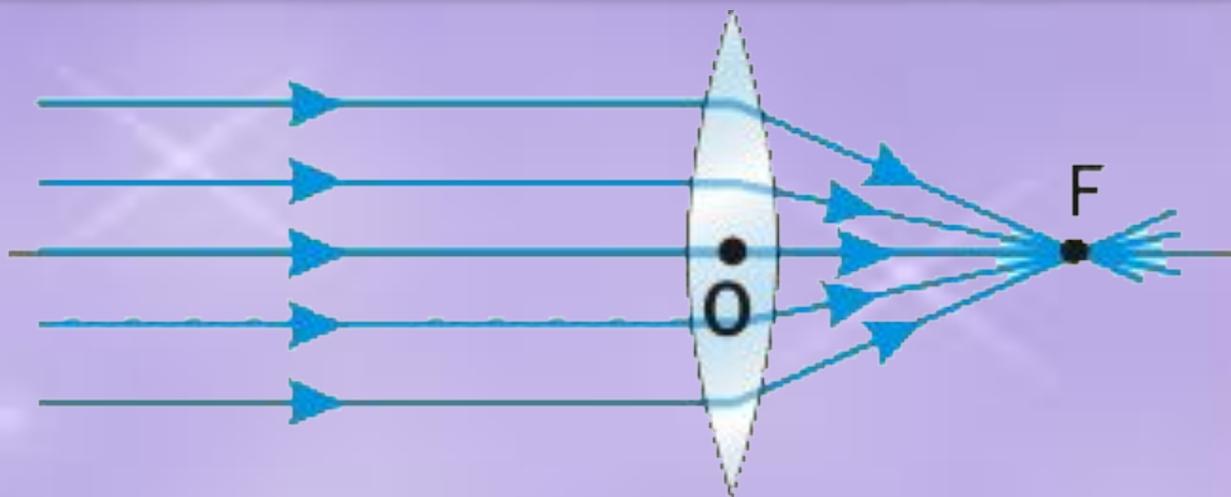


| | | |
|--------------------------|-----------|-----------------|
| $R_1 > 0$ | $R_1 > 0$ | $R_1 < 0$ |
| $R_2 \rightarrow \infty$ | $R_2 > 0$ | $R_2 > 0$ |
| | | $ R_1 > R_2 $ |

Рассеивающие



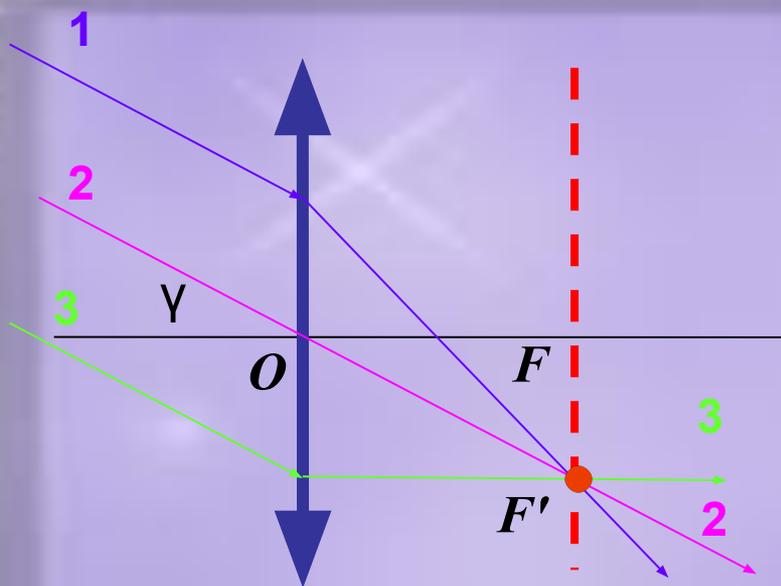
| | | |
|-----------|-----------------|--------------------------|
| $R_1 < 0$ | $R_1 > 0$ | $R_1 \rightarrow \infty$ |
| $R_2 < 0$ | $R_2 < 0$ | $R_2 < 0$ |
| | $ R_1 < R_2 $ | |



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)

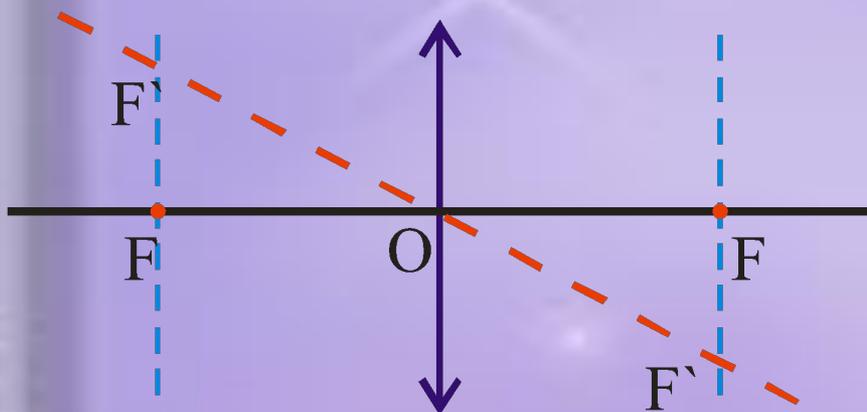


Фокальная плоскость

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 $R_1 < R_2$)

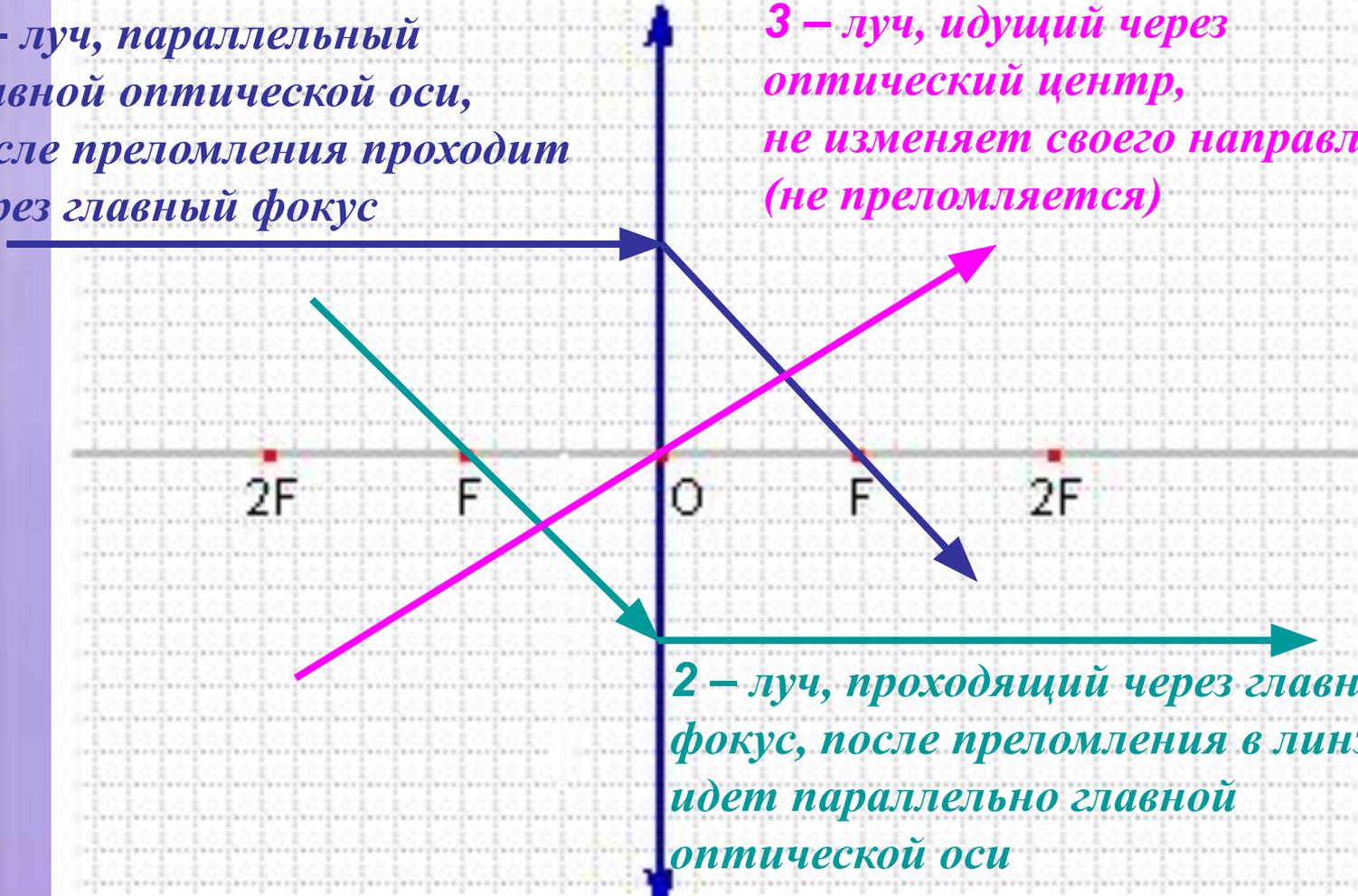
$$\frac{1}{F} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Ход лучей

в собирающей линзе:

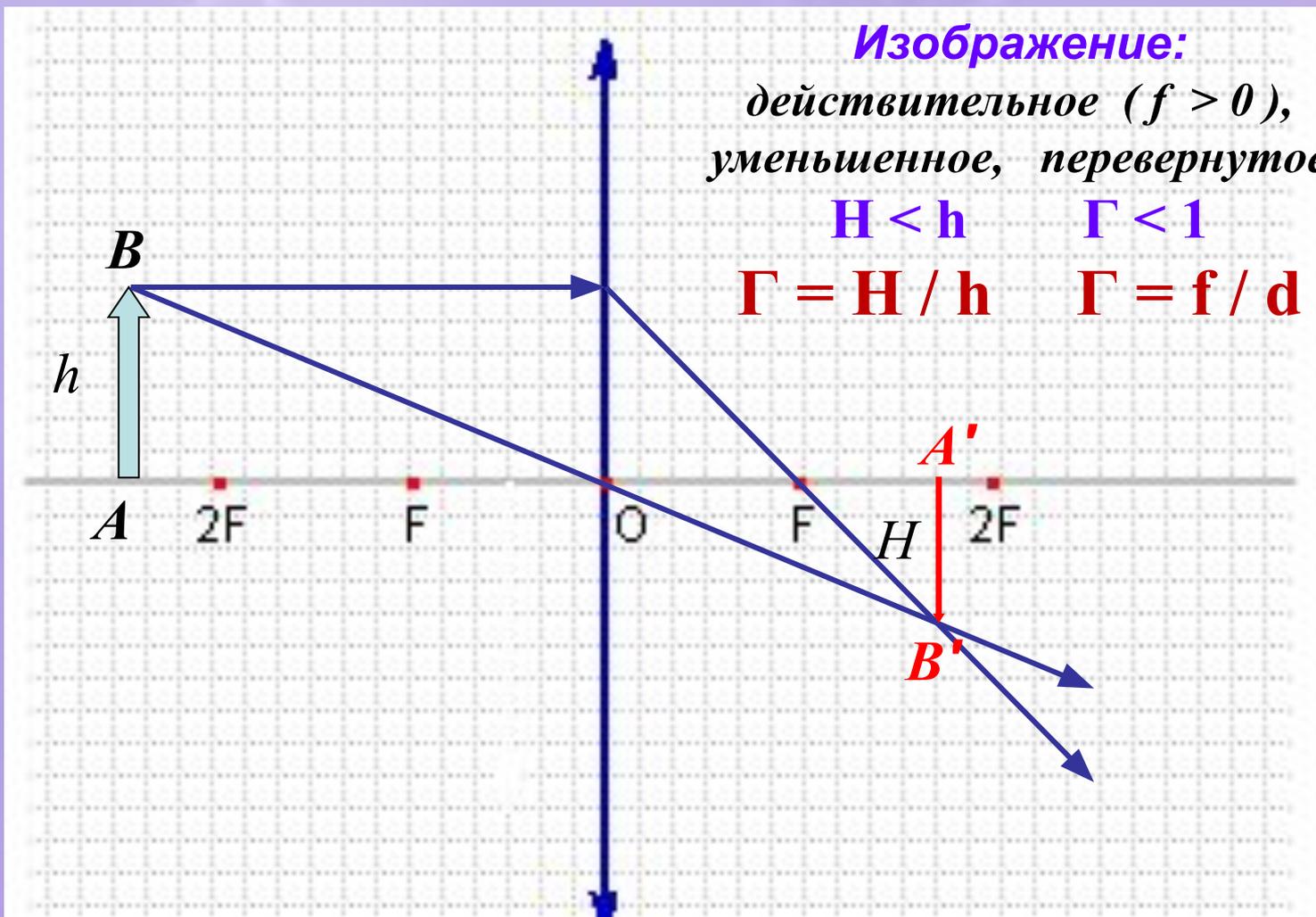
1 – луч, параллельный главной оптической оси, после преломления проходит через главный фокус

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 (Γ) – отношение линейного размера изображения H к линейному размеру предмета h

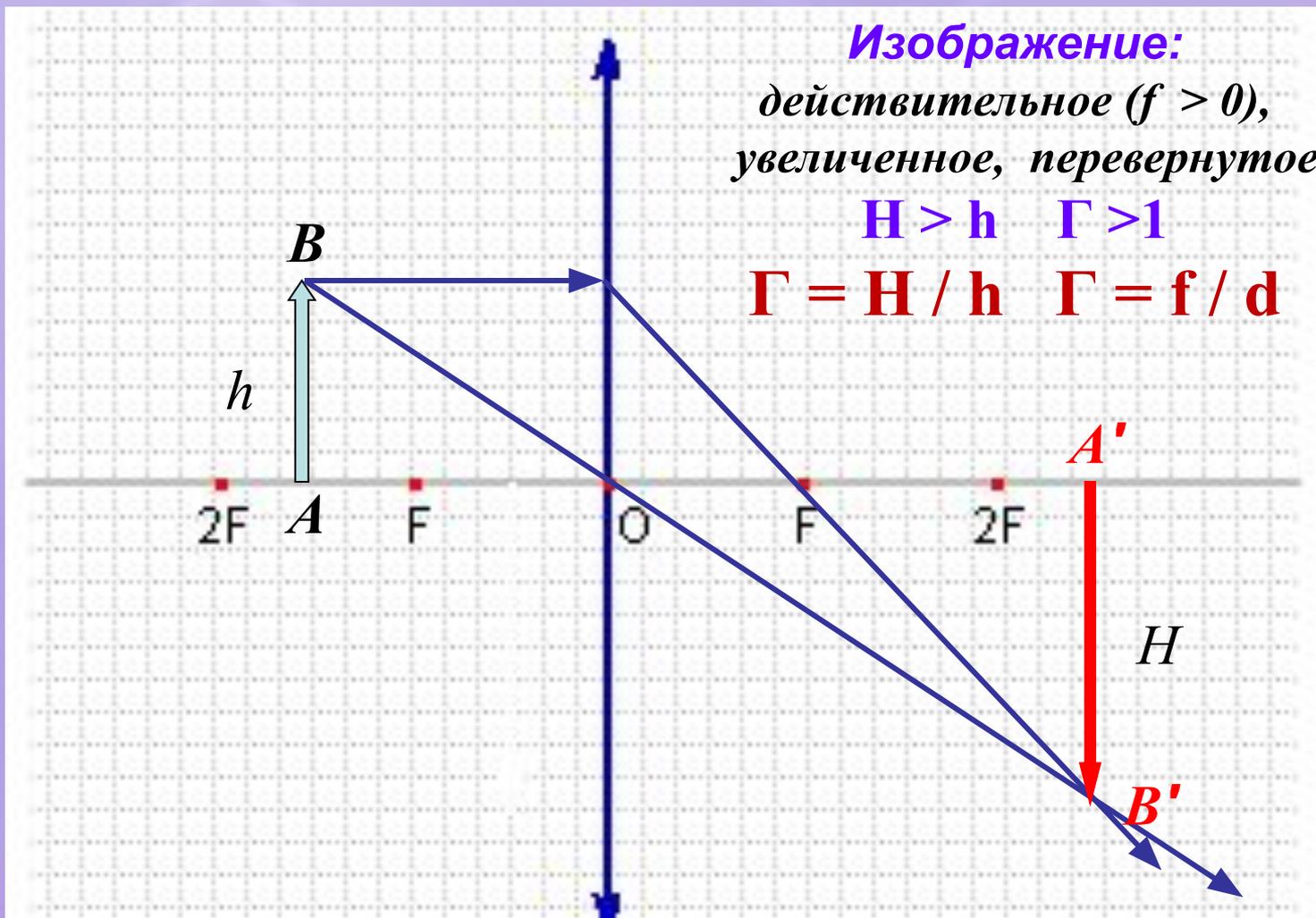
$$\Gamma = H/h$$

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

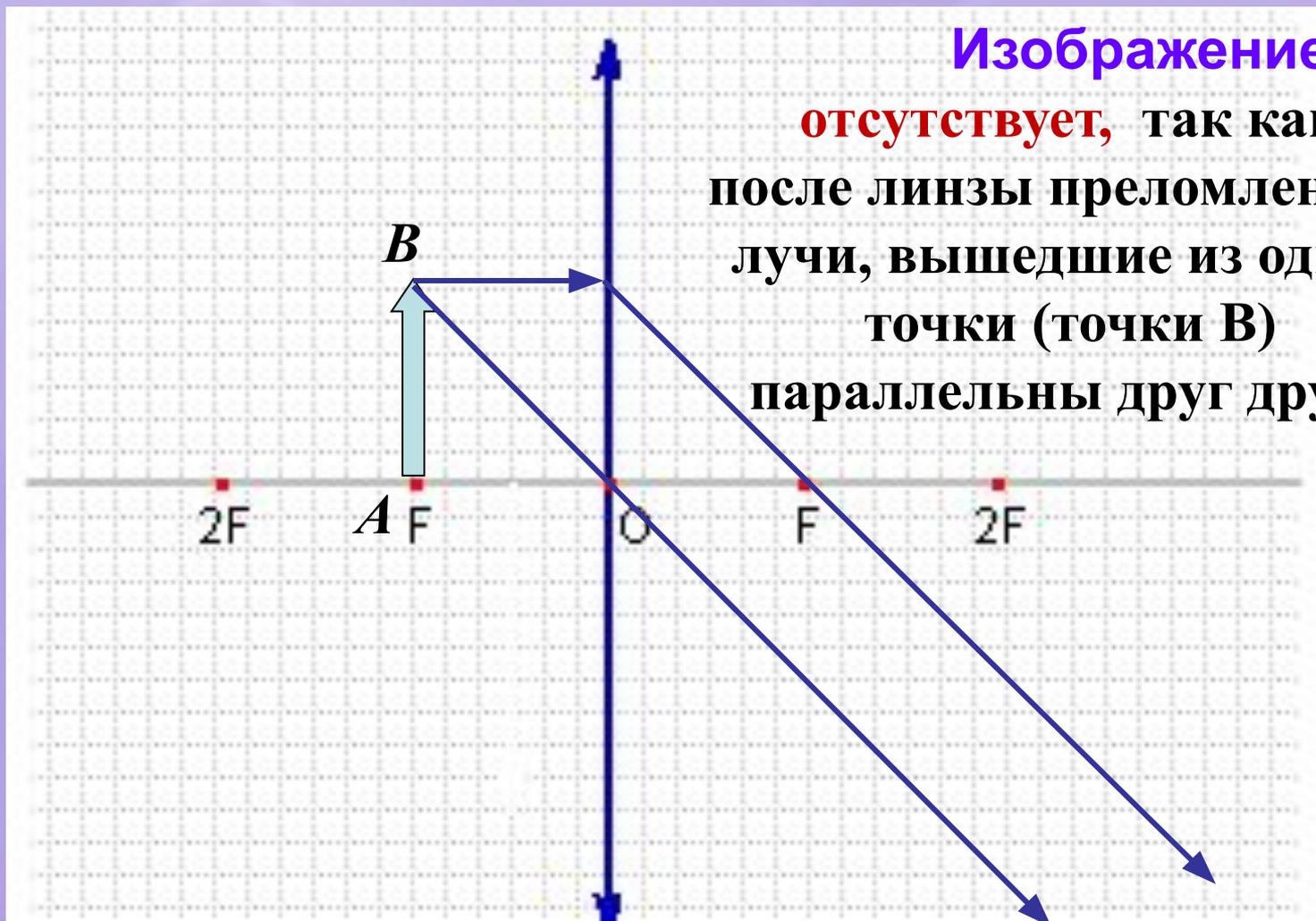
Например: $\Gamma = 0,2$ \rightarrow линейный размер изображения в $k = 5$ раз ($1/0,2 = 5$) меньше линейного размера предмета

$$\Gamma = f/d$$

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

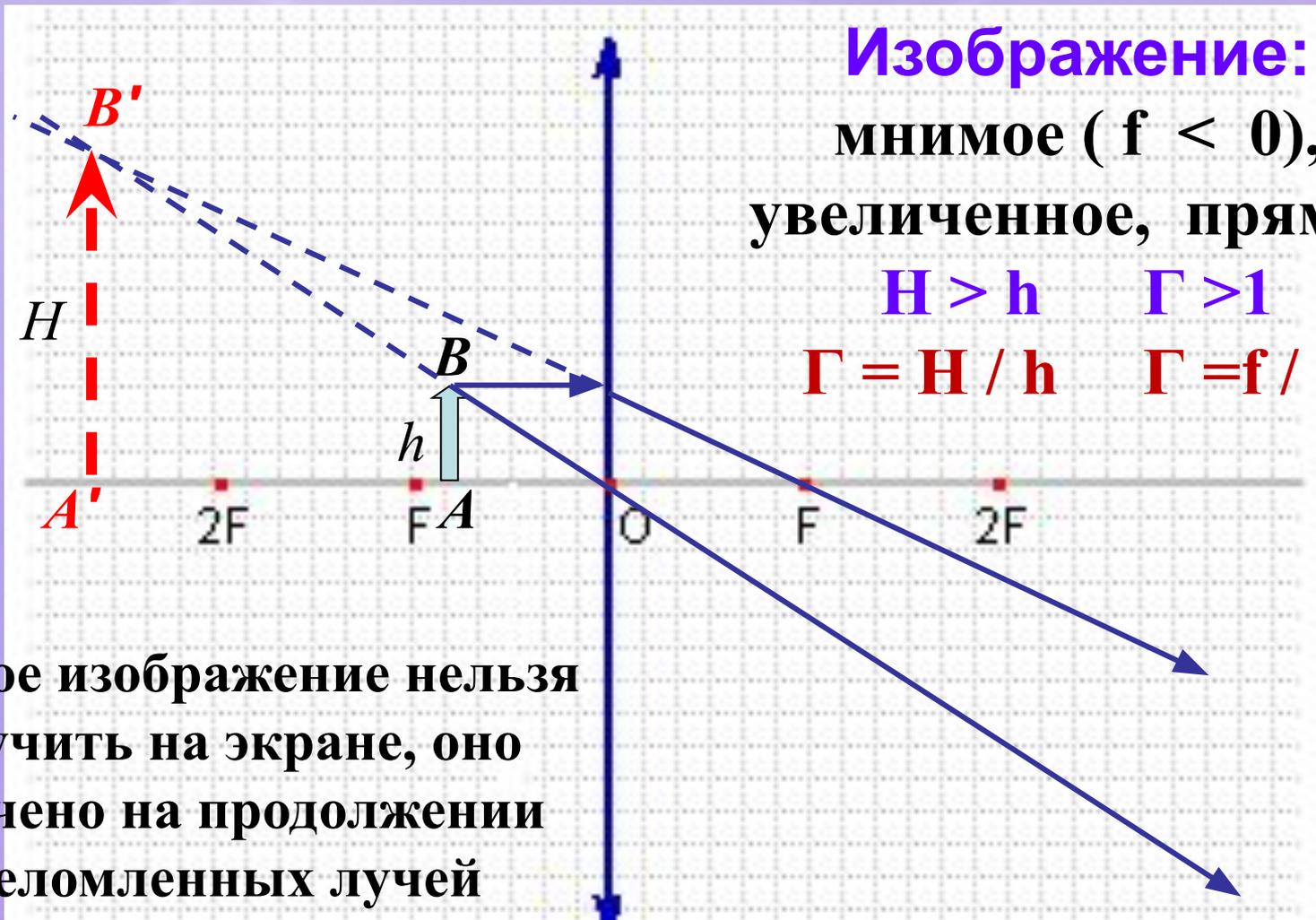


3. Предмет находится на фокусном расстоянии от линзы ($d = F$)



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

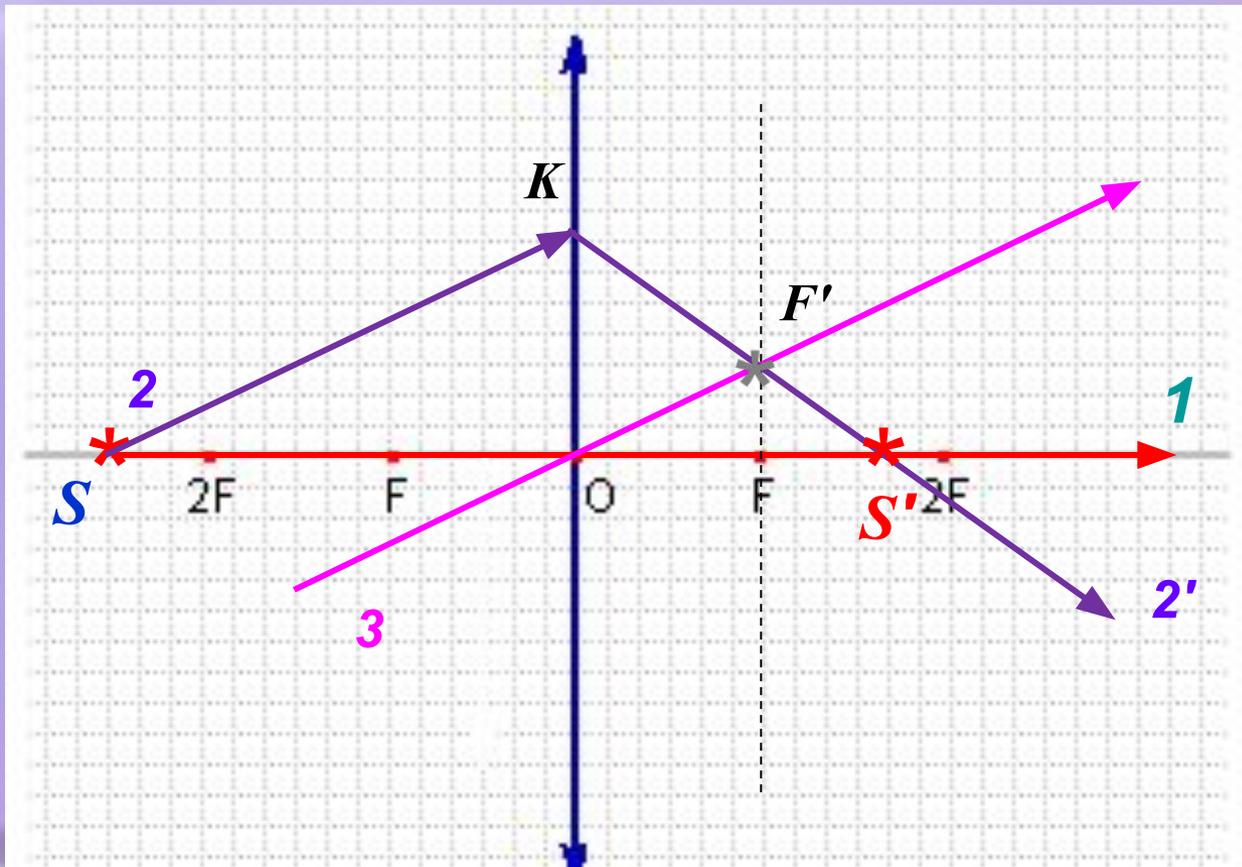
4. Предмет находится между главным фокусом и линзой ($d < F$)



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

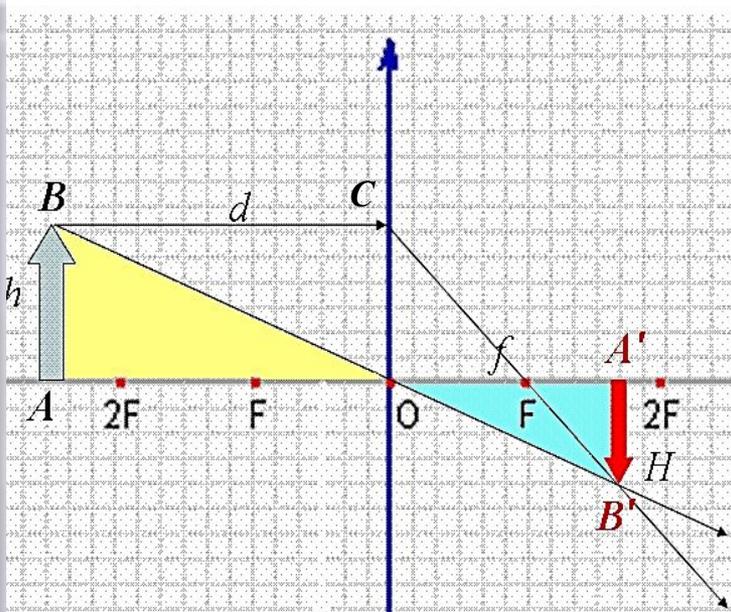
Построение изображений в тонкой линзе.

Точечный источник света, находящийся на главной оптической оси.



| <i>Предмет</i> | <i>Изображение</i> | | |
|---|---|--|---|
| <i>Расстояние от предмета до линзы</i> d | <i>Расстояние от линзы до изображения</i> 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 $\triangle A'FB'$: $|\Gamma| = \frac{H}{h} = \frac{f-F}{F}$

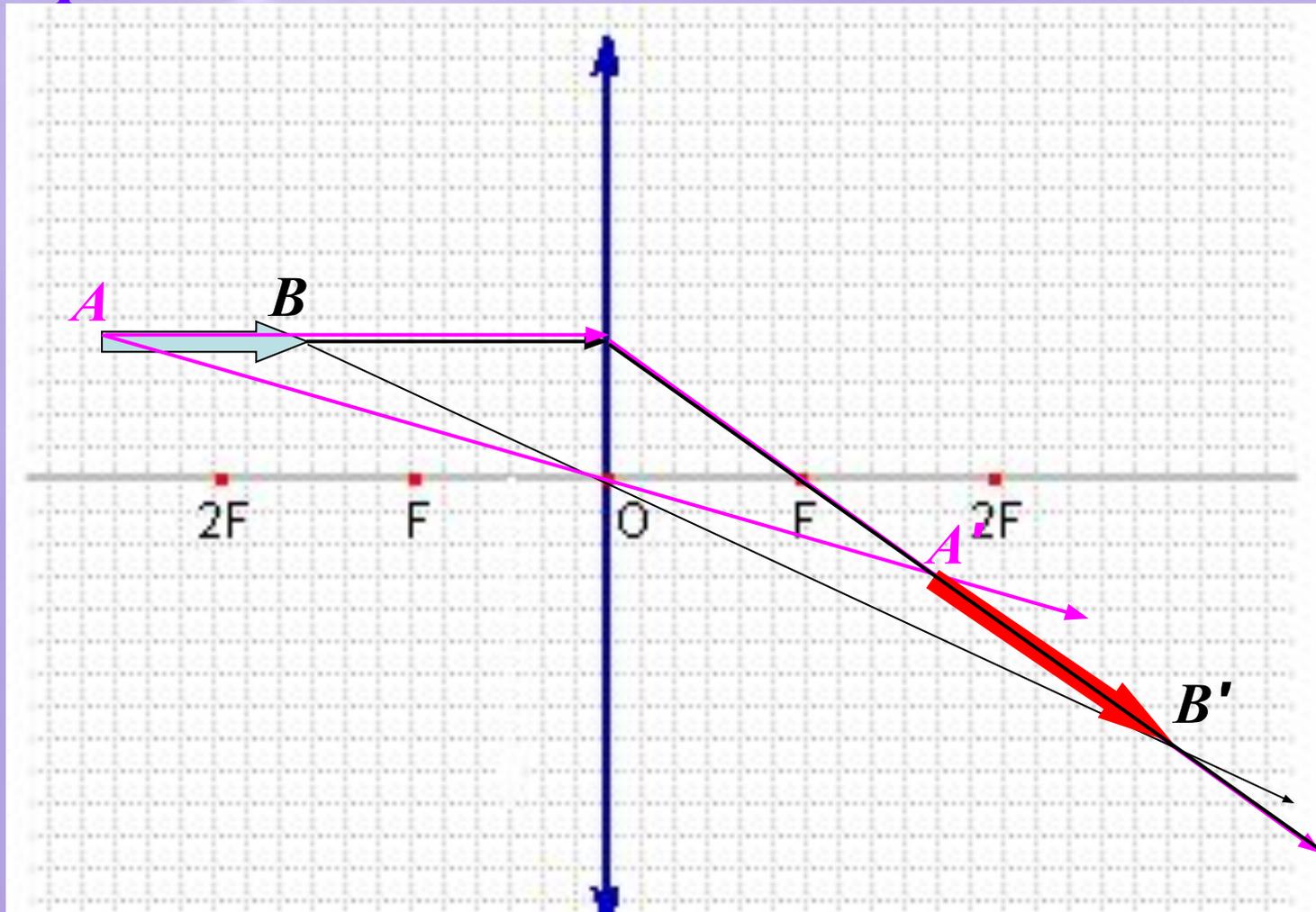
$\frac{f}{d} = \frac{f-F}{F}$ |разделим обе части на f

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

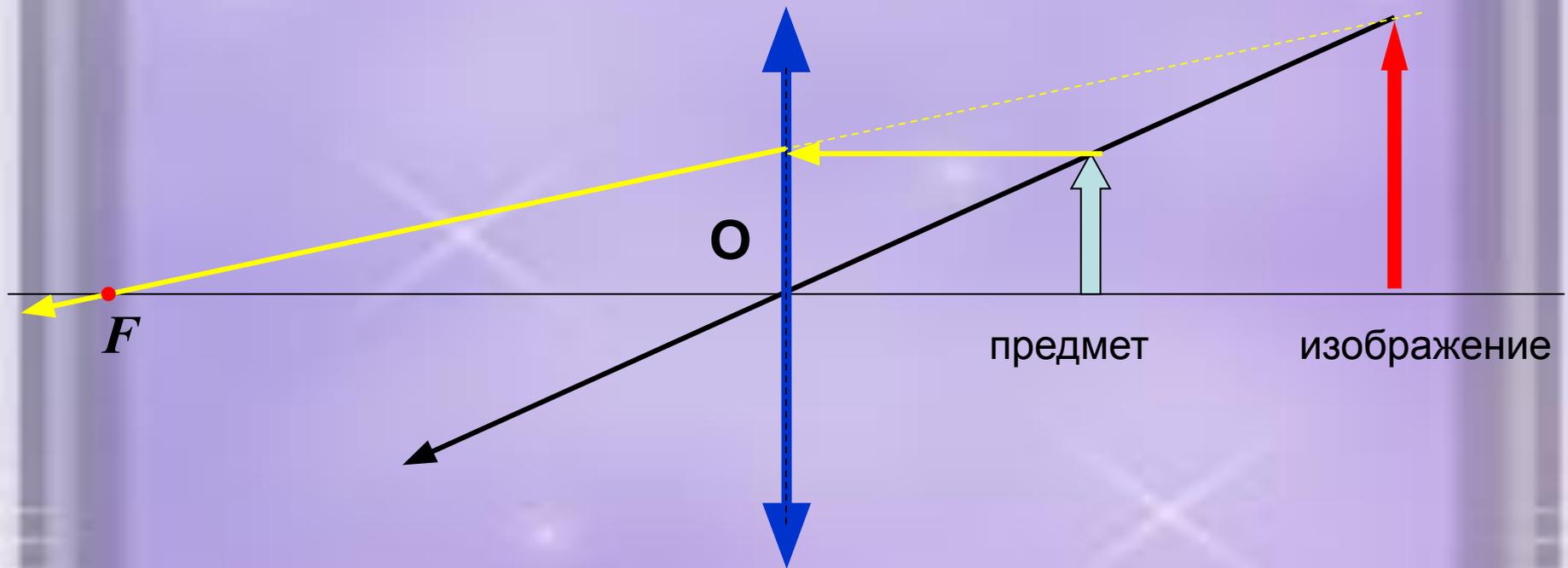
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

*Формула тонкой линзы
для действительных изображений*

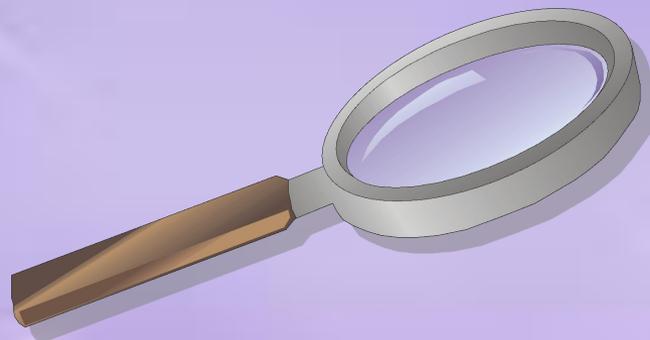
Линейный предмет, расположенный параллельно главной оптической оси.



*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 $R_1 > R_2$)

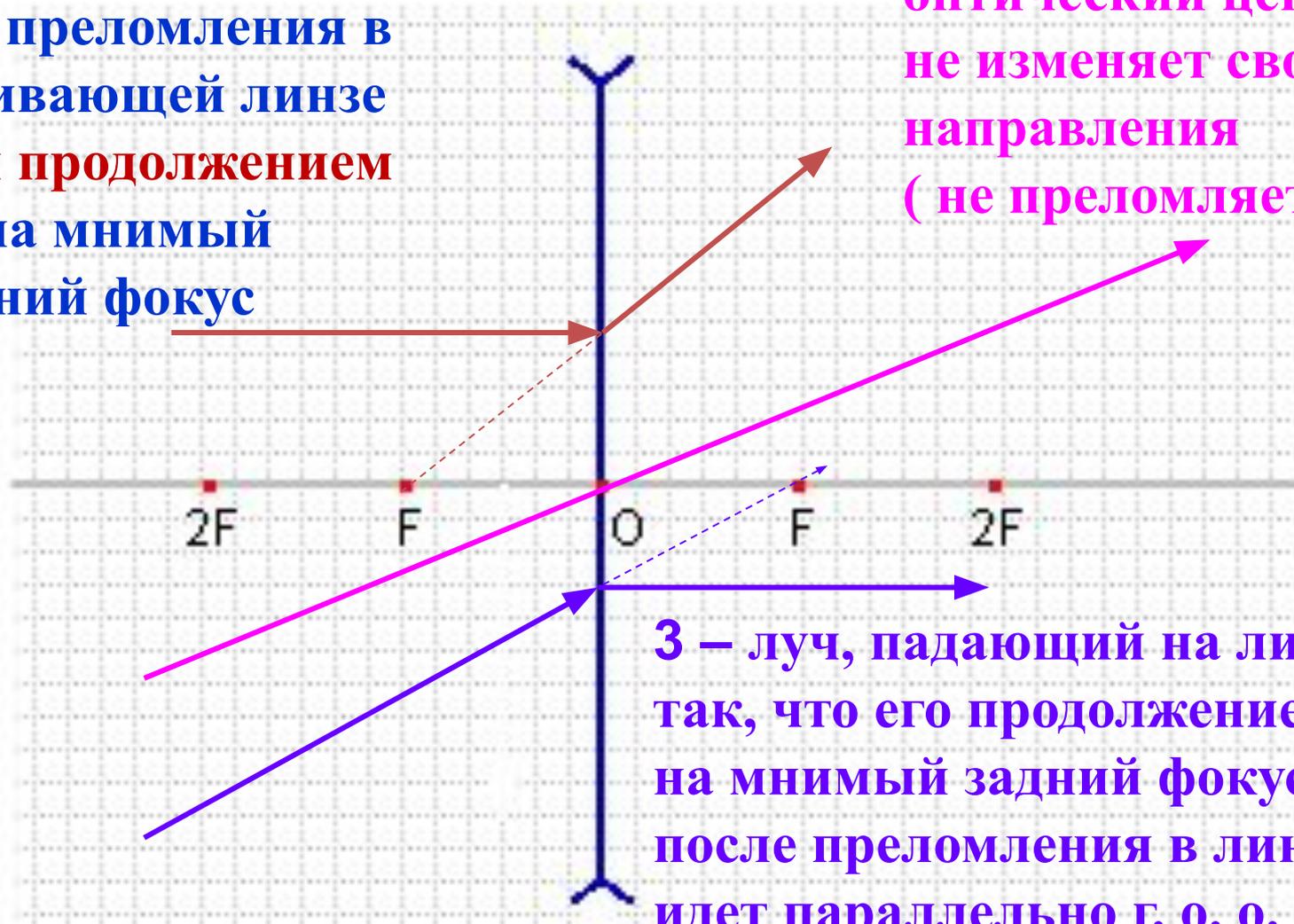
$$D < 0$$

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

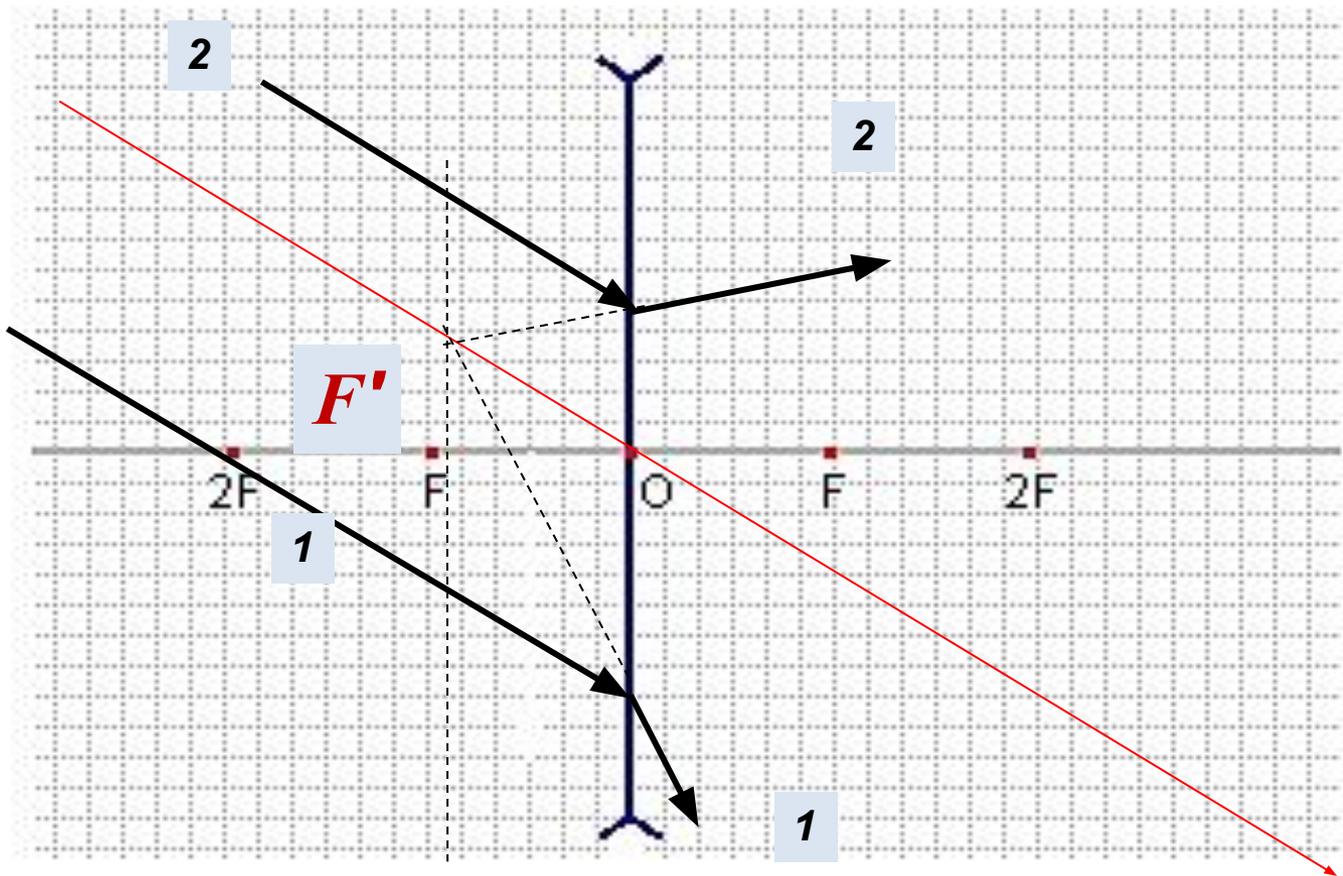
Основные лучи для рассеивающей линзы

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)

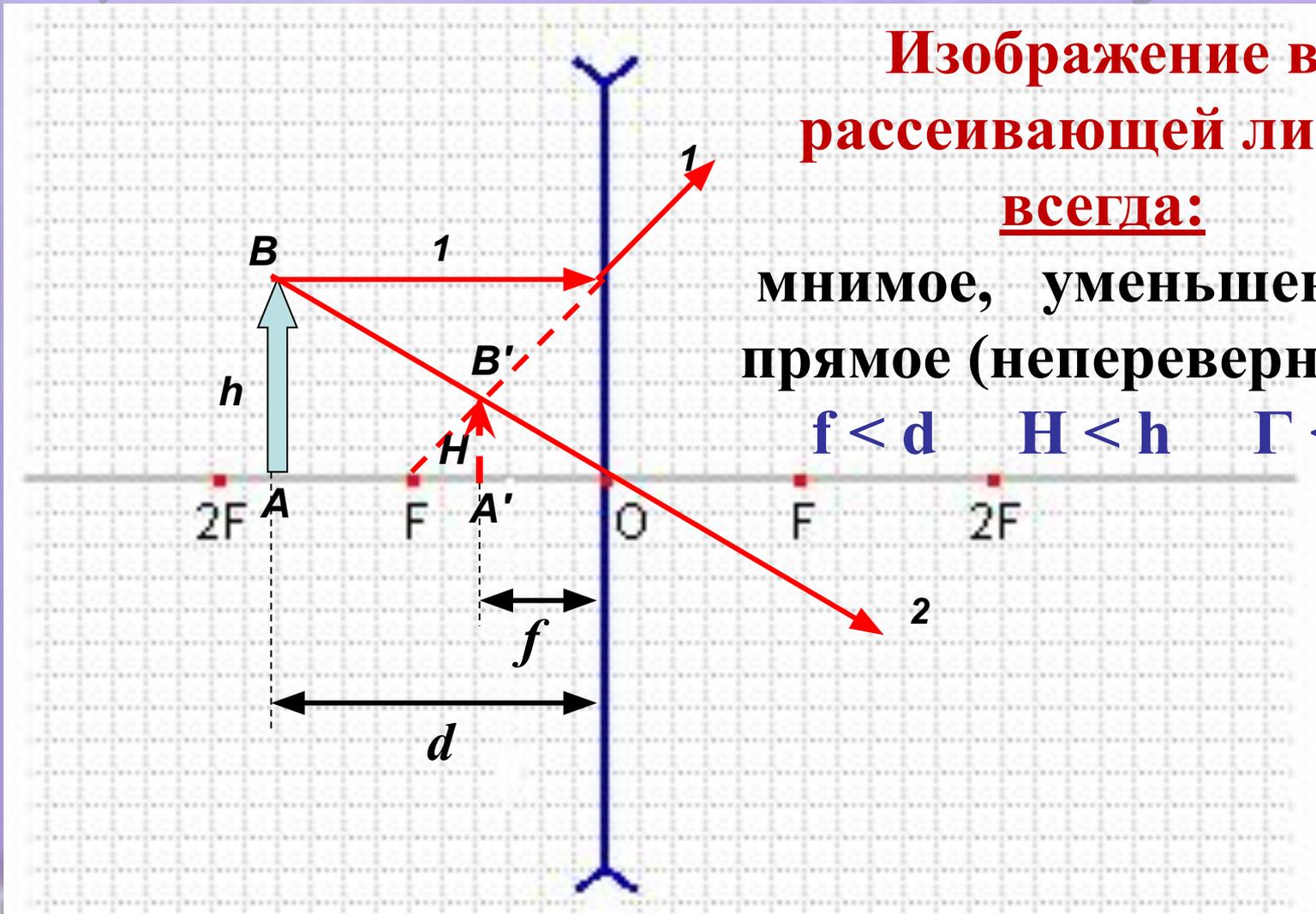


3 – луч, падающий на линзу так, что его продолжение идет на мнимый задний фокус, после преломления в линзе идет параллельно г. о. о.



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



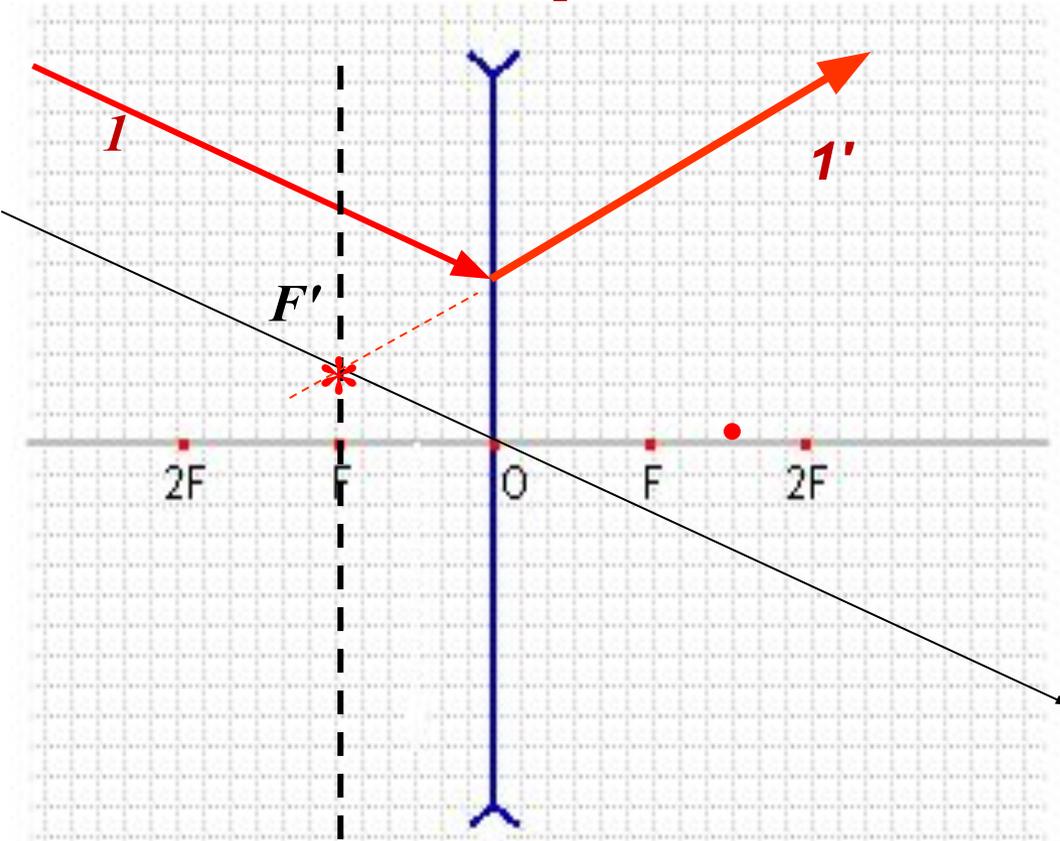
**Изображение в
рассеивающей линзе**

всегда:

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

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

Построение хода произвольного луча в рассеивающей линзе

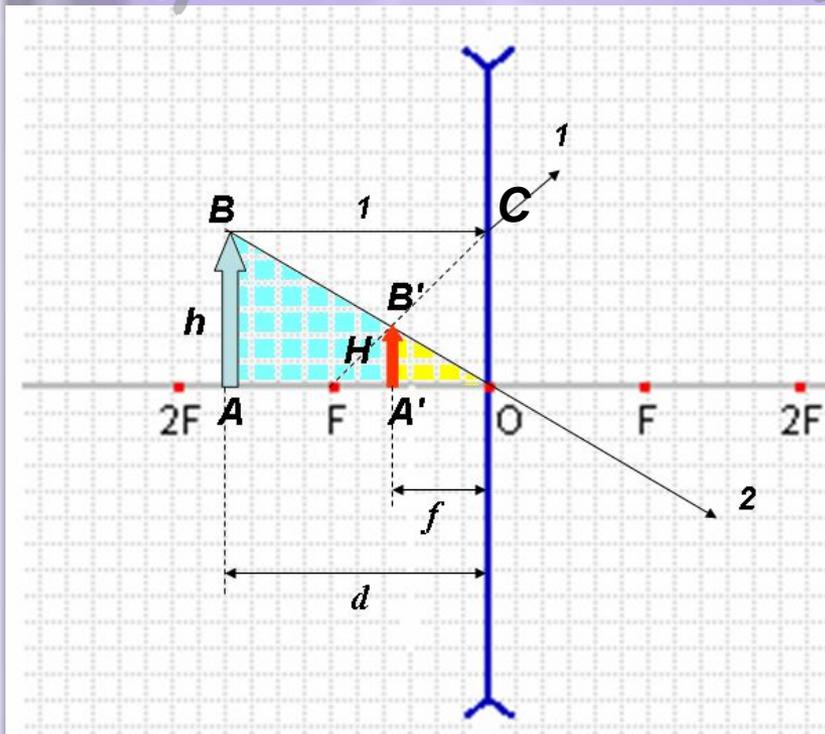


1. Провести параллельно
заданному лучу
побочную оптическую
ось

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

3. Построить продолжение преломленного луча, а затем
преломленный луч

Формула тонкой рассеивающей линзы



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

(мы учли, что $f < 0$)

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

для рассеивающей линзы $F < 0$

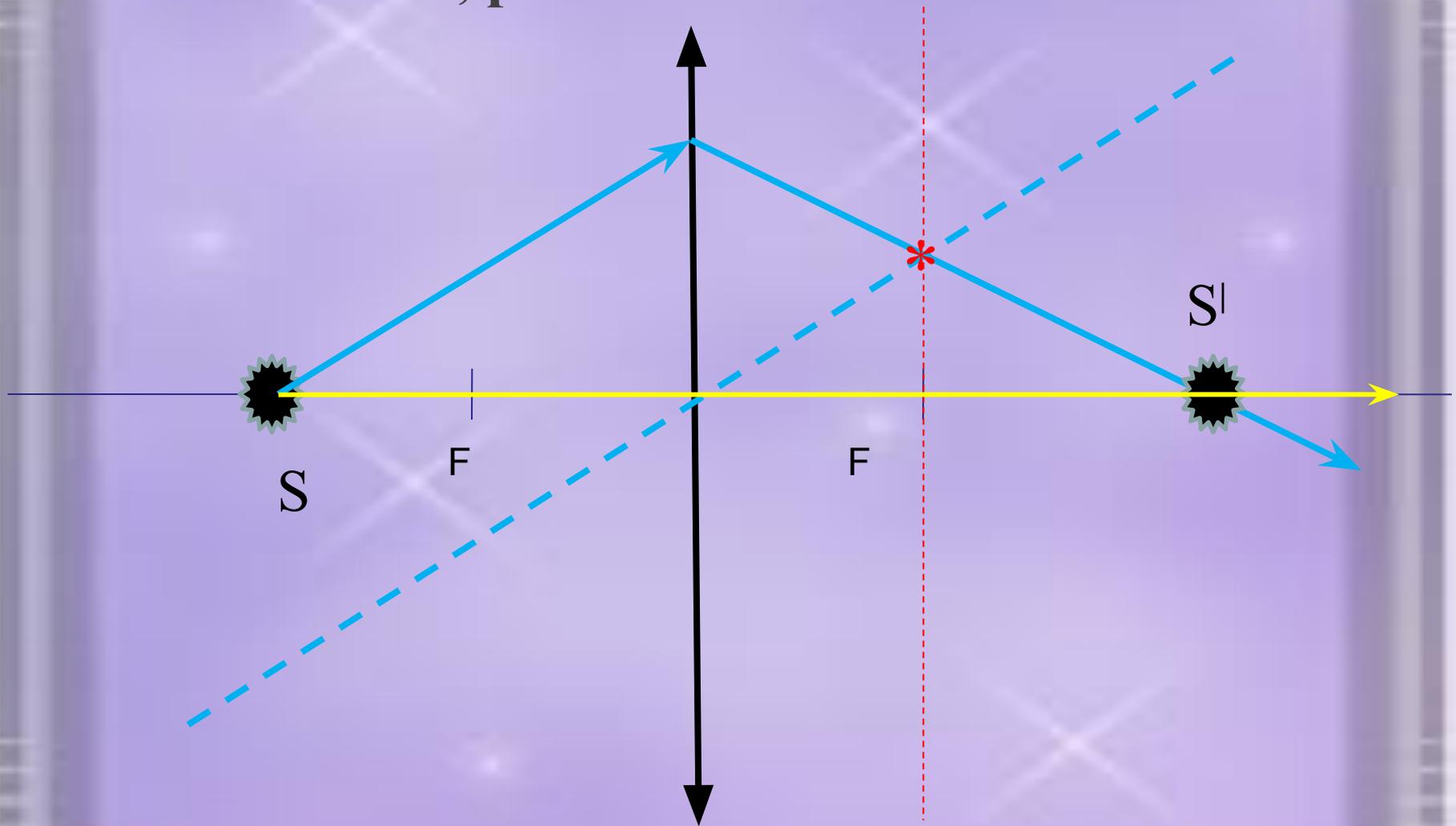
$\frac{|f|}{d} = \frac{|F| - |f|}{|F|}$. Разделим обе части уравнения на $|f|$.

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

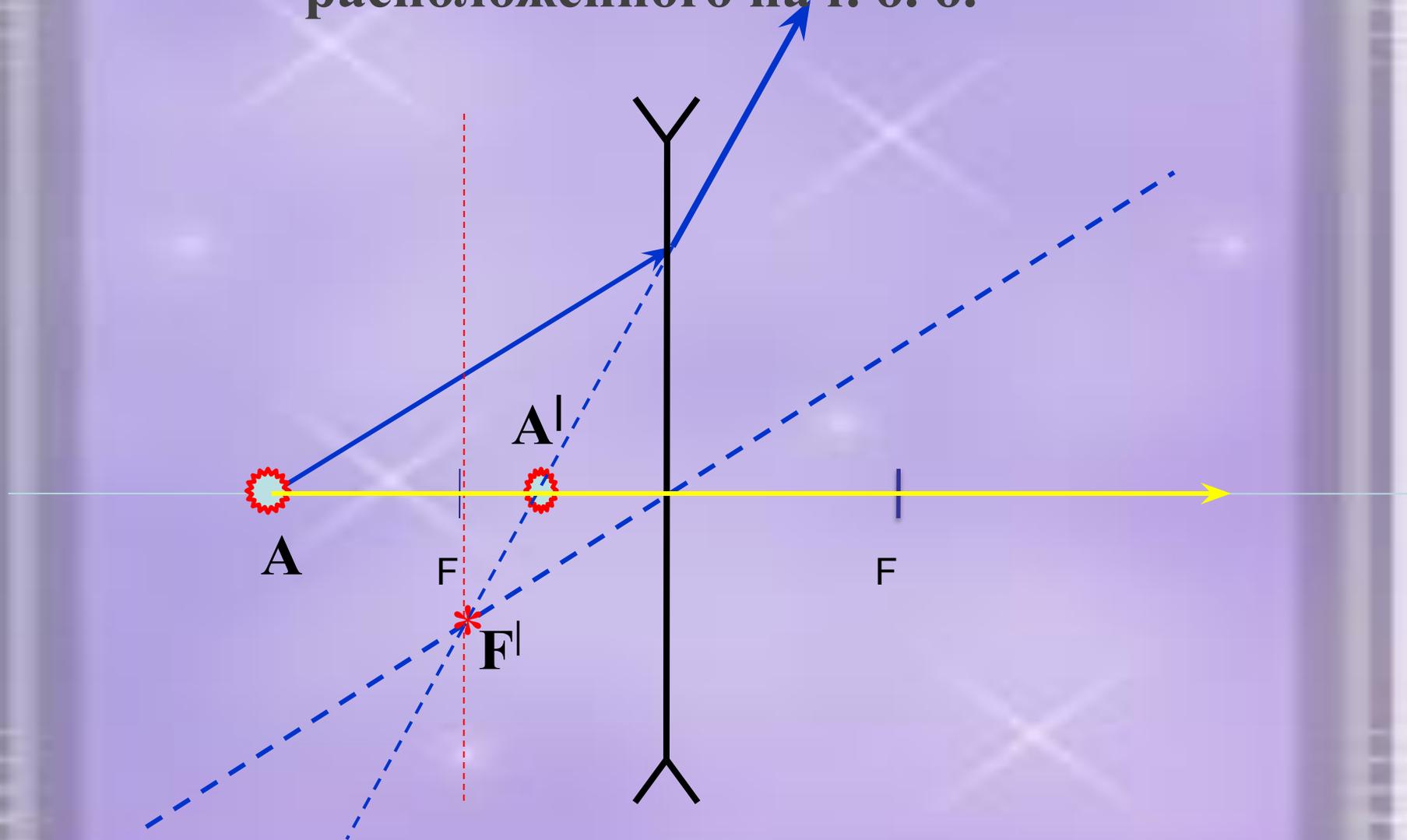
$$\boxed{-\frac{1}{|F|} = \frac{1}{d} - \frac{1}{|f|}}$$

**Формула тонкой
рассеивающей линзы**

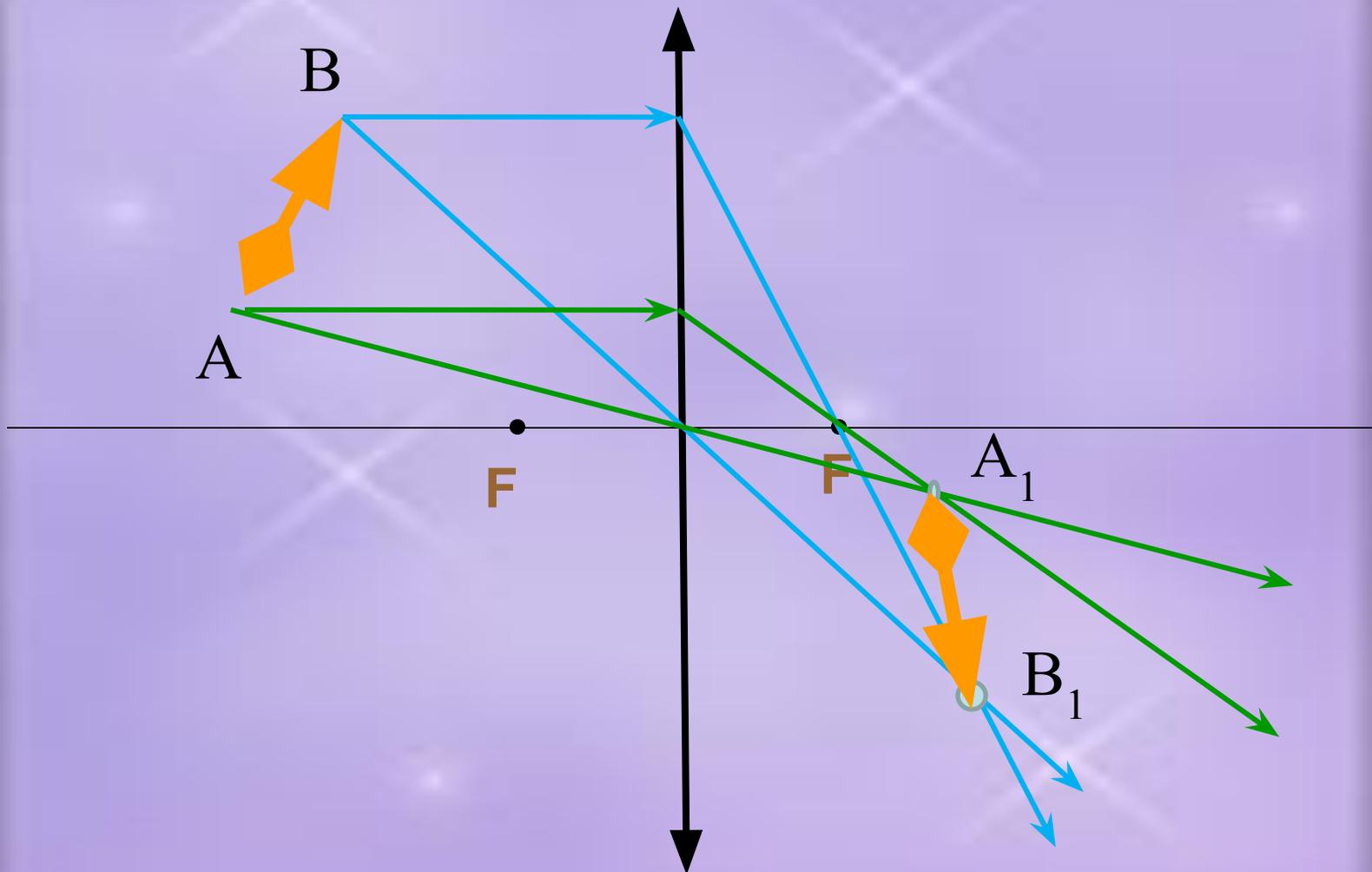
Задание 1: построить изображение источника света, расположенного на г. о. о.



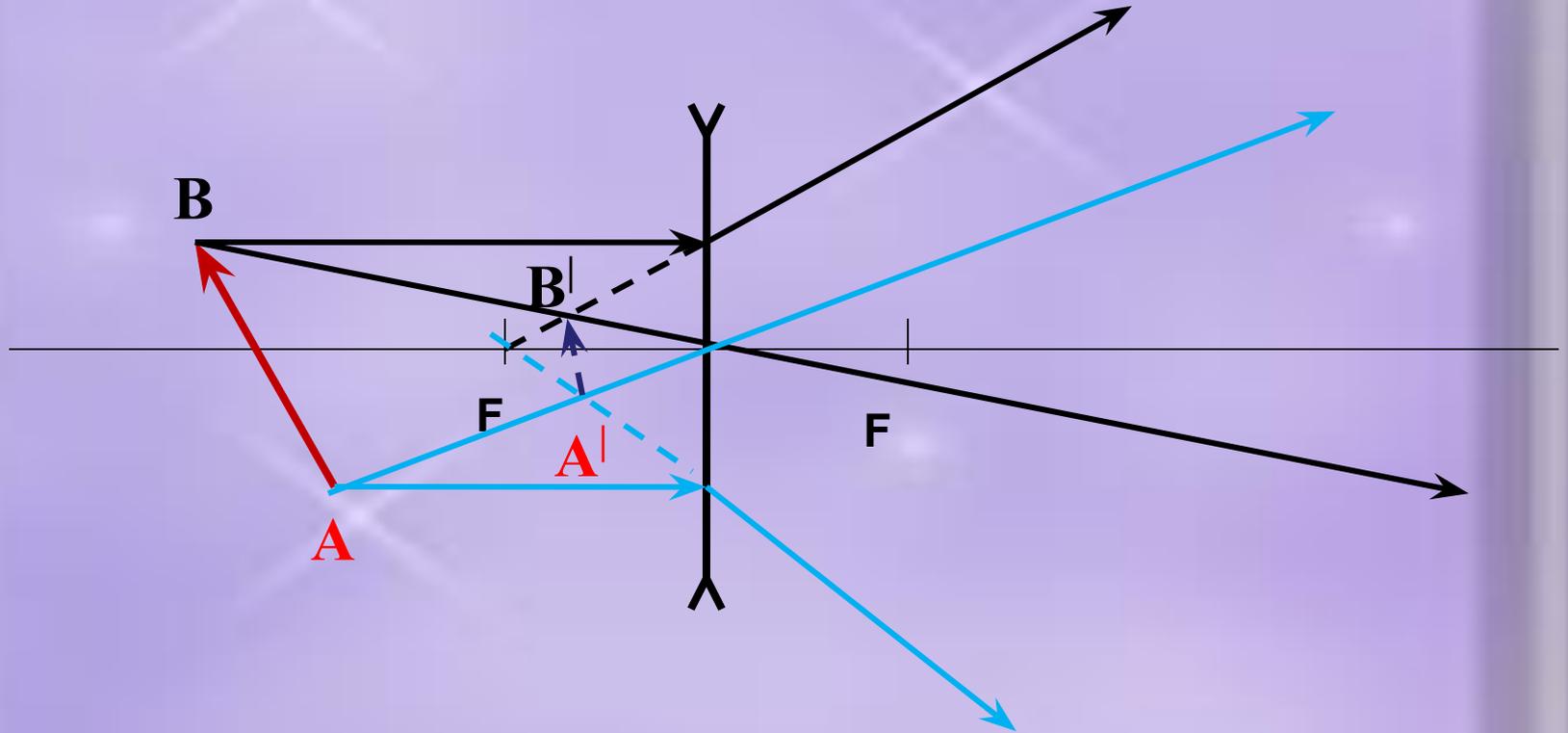
Задание 2: постройте изображение источника света, расположенного на г. о. о.



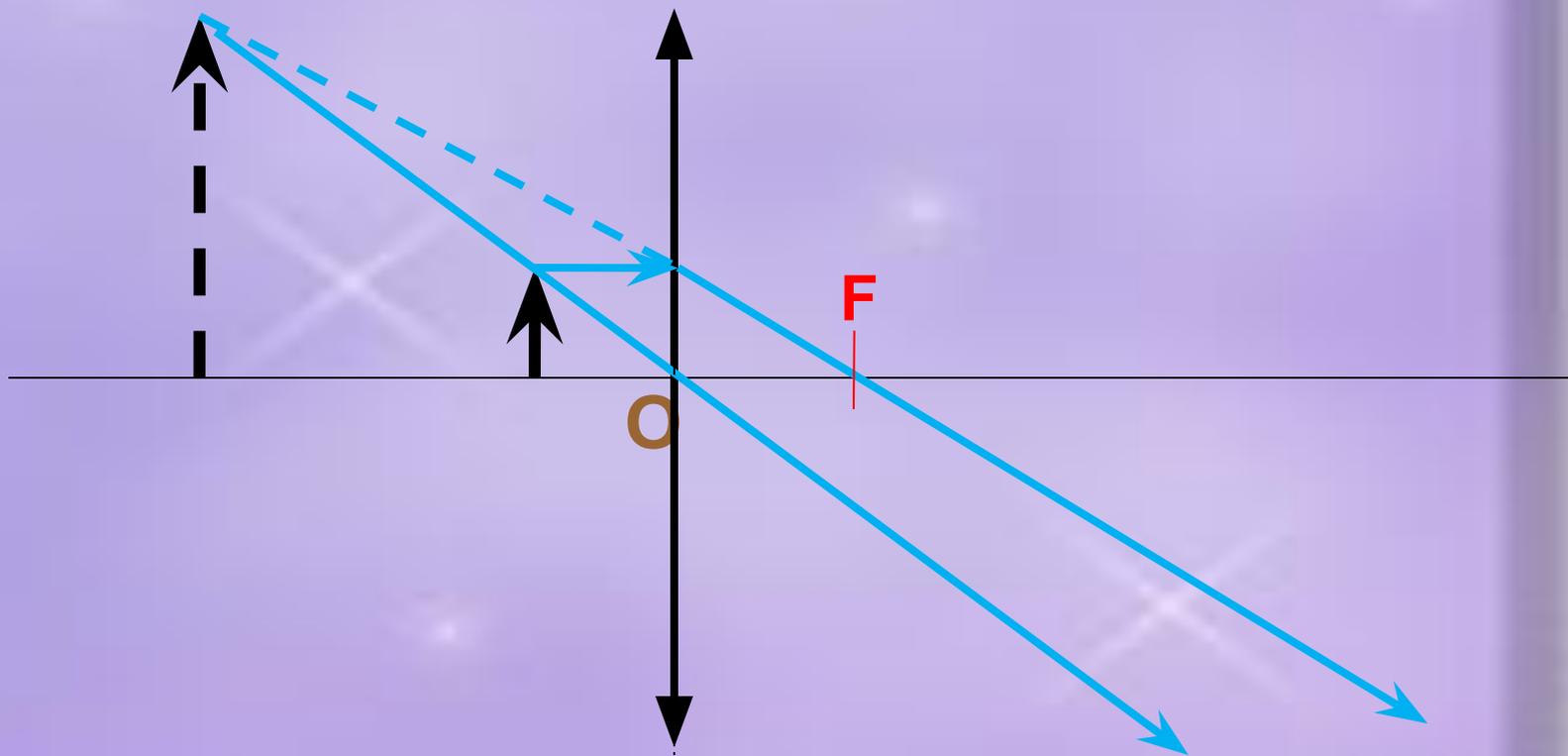
Задание 3: построить изображение предмета и дать характеристику полученному изображению



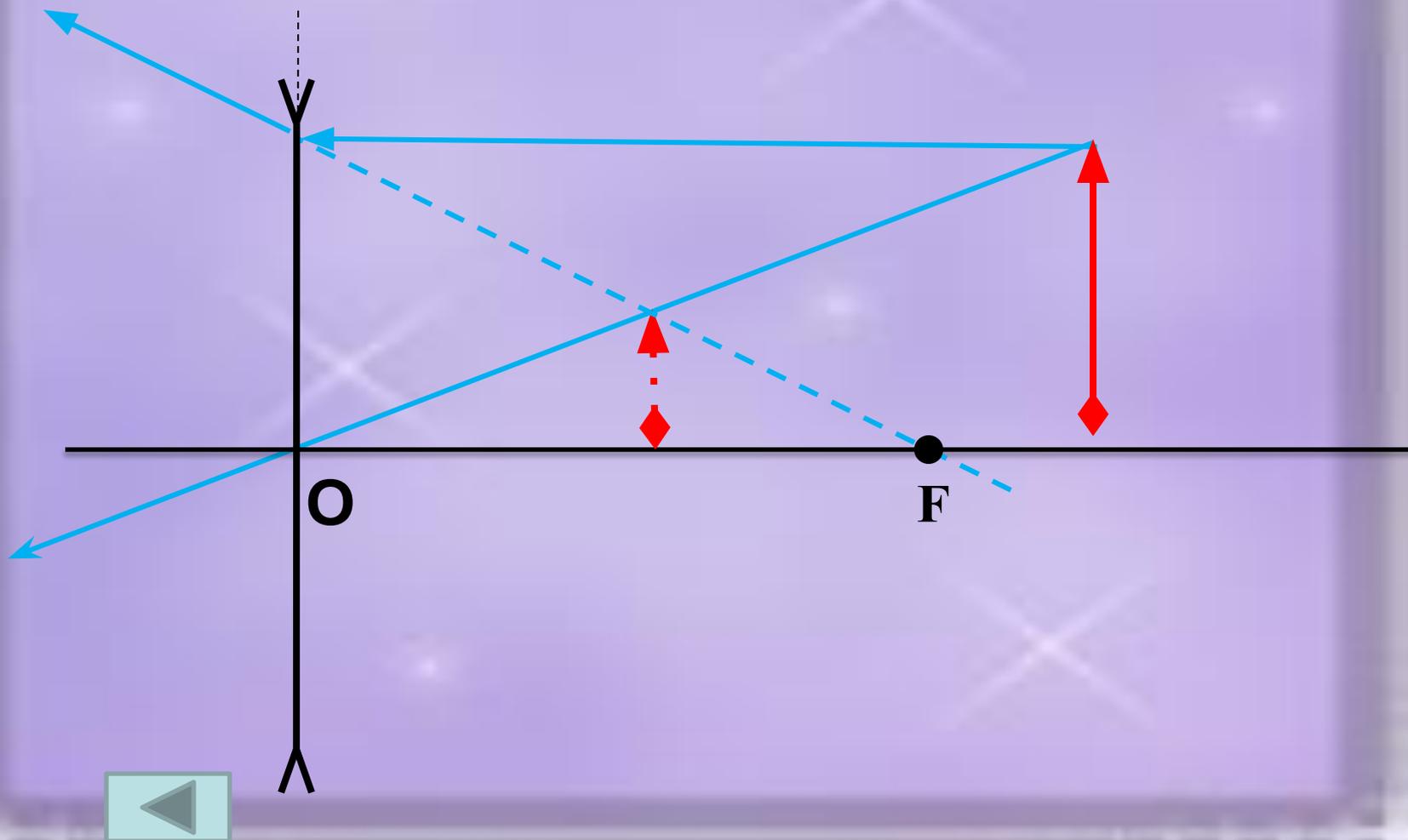
Задание 5: построить изображение предмета и дать характеристику полученному изображению



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 аберрация. 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 аберрацией — 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 изображения за линзой, увидит прямое мнимое увеличенное изображение.