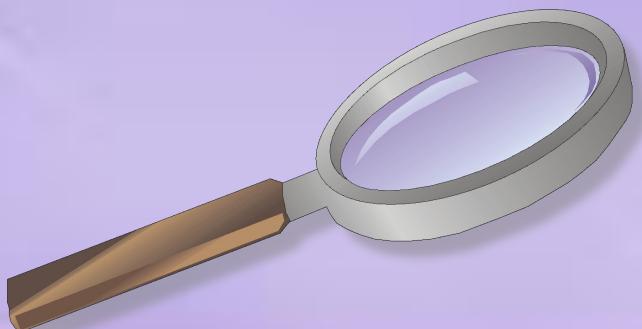


*Линзы. Типы линз.*

*Изображение в тонких линзах.*

*Формула тонкой линзы.*



# *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.

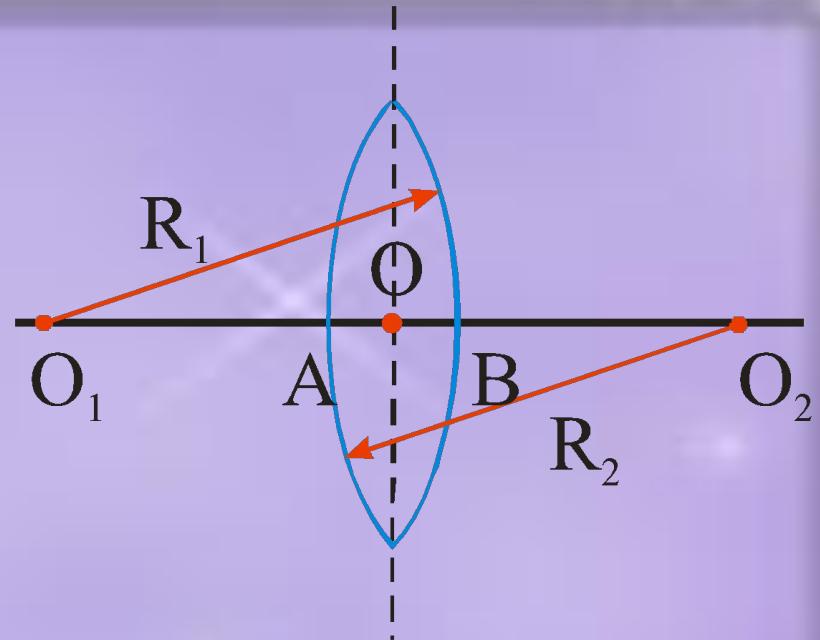
## *Применять* полученные знания при решении задач на построение и расчет тонкой линзы (в том числе с помощью компьютера)

**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.

## *Главная оптическая*

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



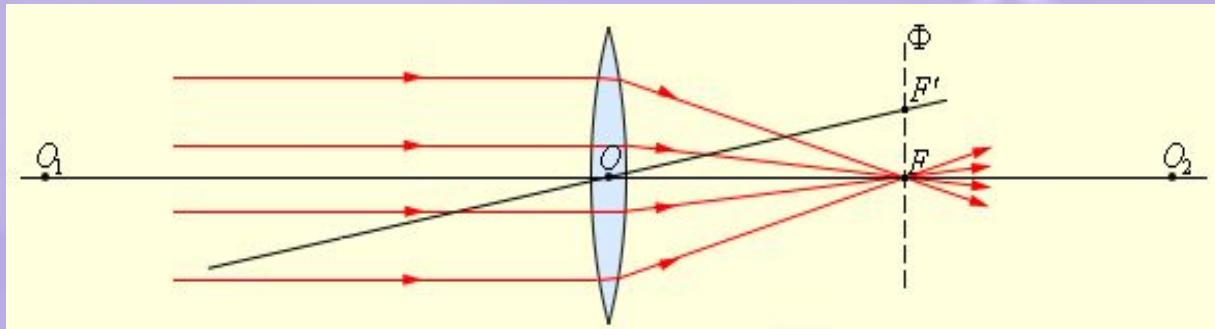
*Главная плоскость линзы* – плоскость, проходящая через центр линзы (точку  $O$ ) перпендикулярно главной оптической оси.  
О – оптический центр линзы (свет, проходящий через эту точку – не преломляется)



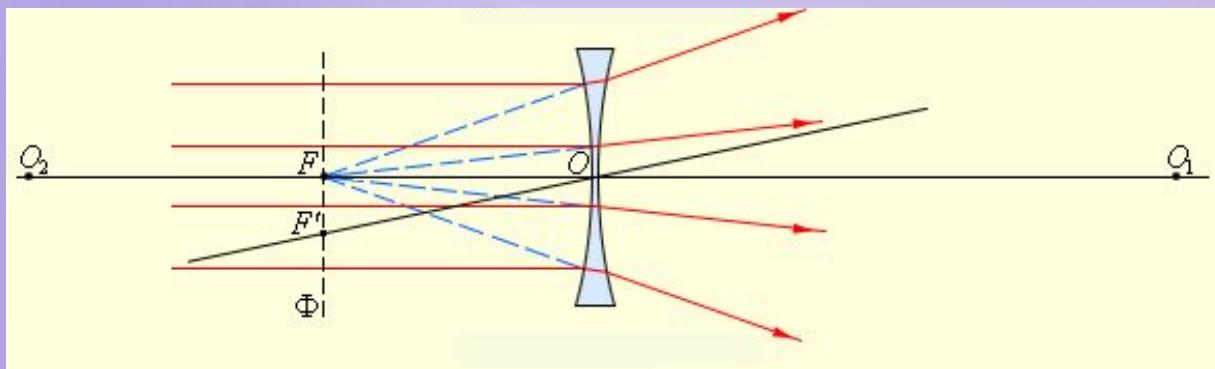
Любую прямую, проходящую через оптический центр линзы и не совпадающую с главной оптической осью называют **побочной оптической осью**.  
Луч света, распространяющийся по какой-либо из оптических осей, проходит сквозь линзу без преломления

# Типы линз

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



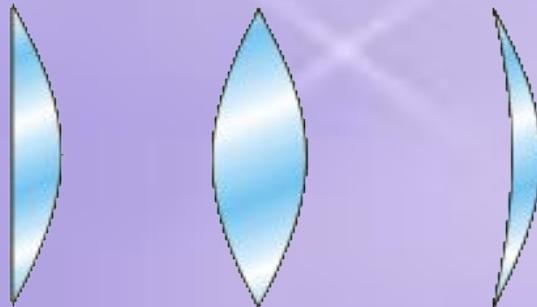
**Рассеивающие линзы** – линзы, преобразующие параллельный пучок световых лучей в расходящийся.



# По форме ограничивающих поверхностей:

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

## Собирающие

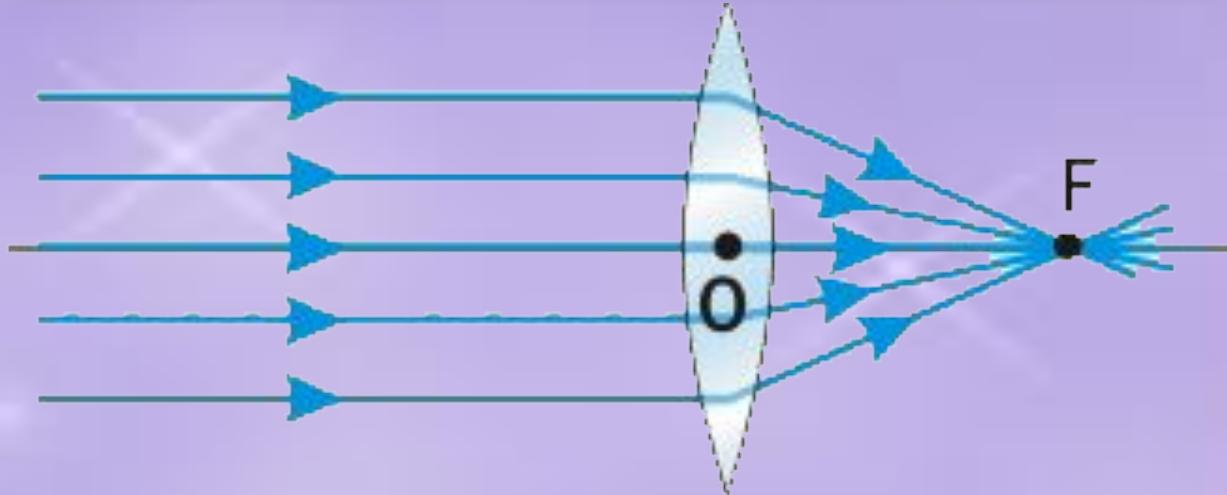


$$\begin{array}{lll} R_1 > 0 & R_1 > 0 & R_1 < 0 \\ R_2 \rightarrow \infty & R_2 > 0 & R_2 > 0 \\ |R_1| > |R_2| & & \end{array}$$

## Рассеивающие



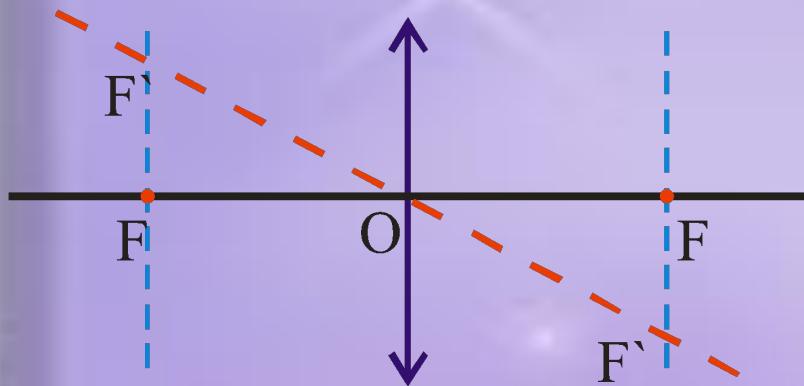
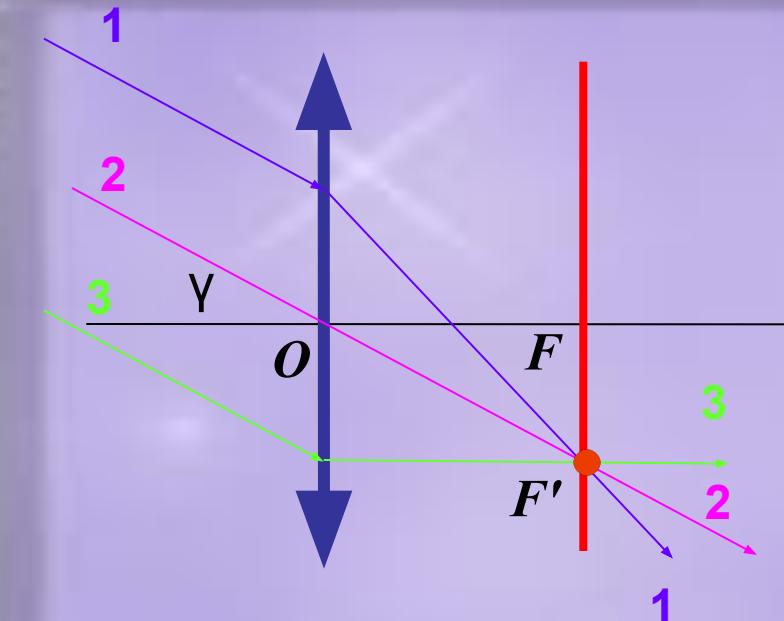
$$\begin{array}{lll} R_1 < 0 & R_1 > 0 & R_1 \rightarrow \infty \\ R_2 < 0 & R_2 < 0 & R_2 < 0 \\ |R_1| < |R_2| & & \end{array}$$



**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.

$$СИ: [F]=м \text{ (метр)}$$



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

Точки пересечения побочных оптических плоскостей с фокальными плоскостями называются **побочным фокусом ( $F'$ )**. В побочном фокусе сходятся все лучи, падающие на линзу параллельно побочной оптической оси.

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

### **Фокусное расстояние плоско-выпуклой линзы**

в вакууме определяется радиусом кривизны ее поверхности и абсолютным показателем преломления материала линзы.

### **Фокусное расстояние двоековыпуклой линзы**

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

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

### **Фокусное расстояние вогнуто-выпуклой линзы**

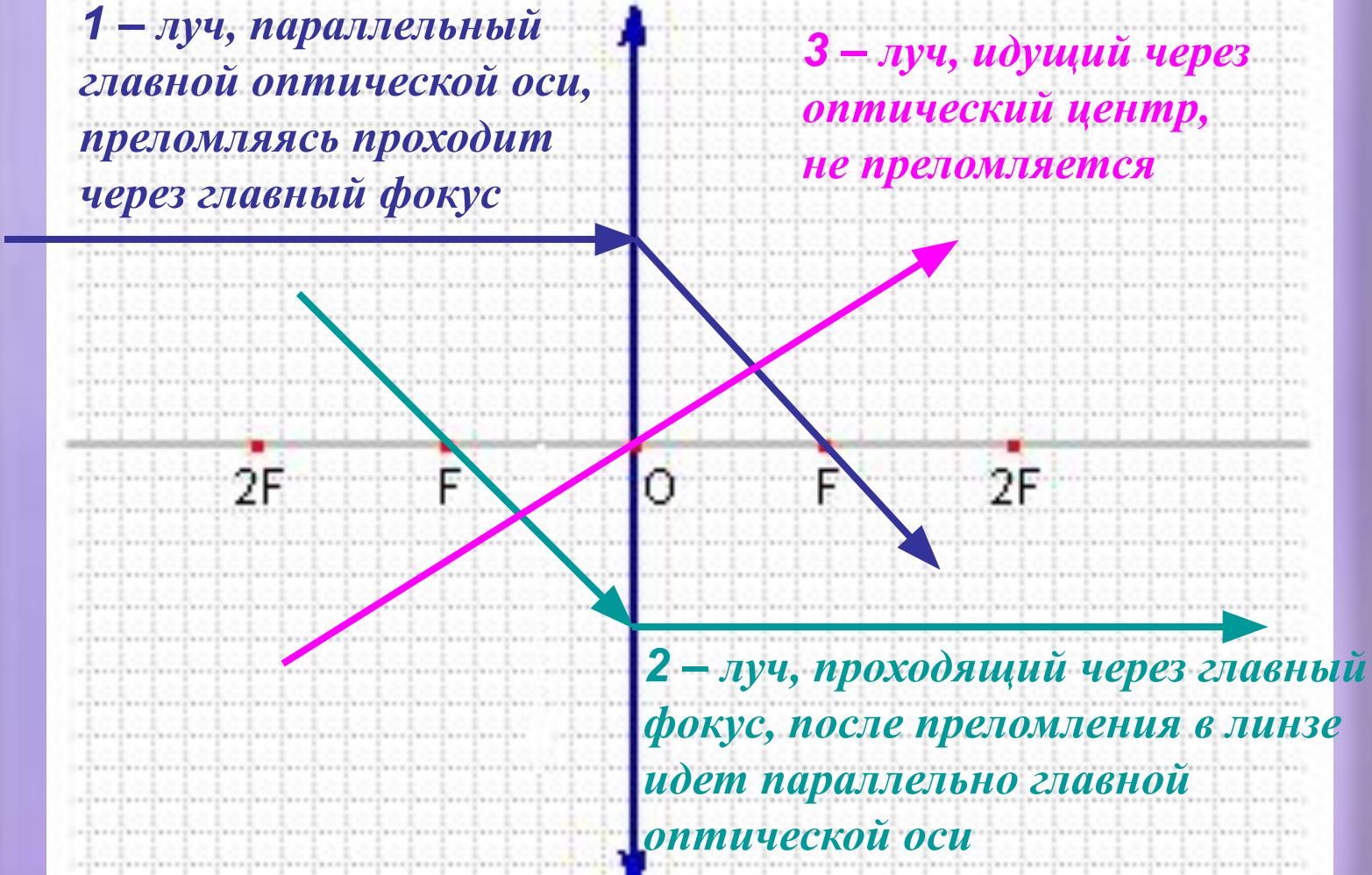
**Оптическая сила** – величина, обратная фокусному расстоянию линзы  
**СИ:  $[D]=1/m=дptr$  (диоптрия)**

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

# Ход лучей в собирающей линзе:

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

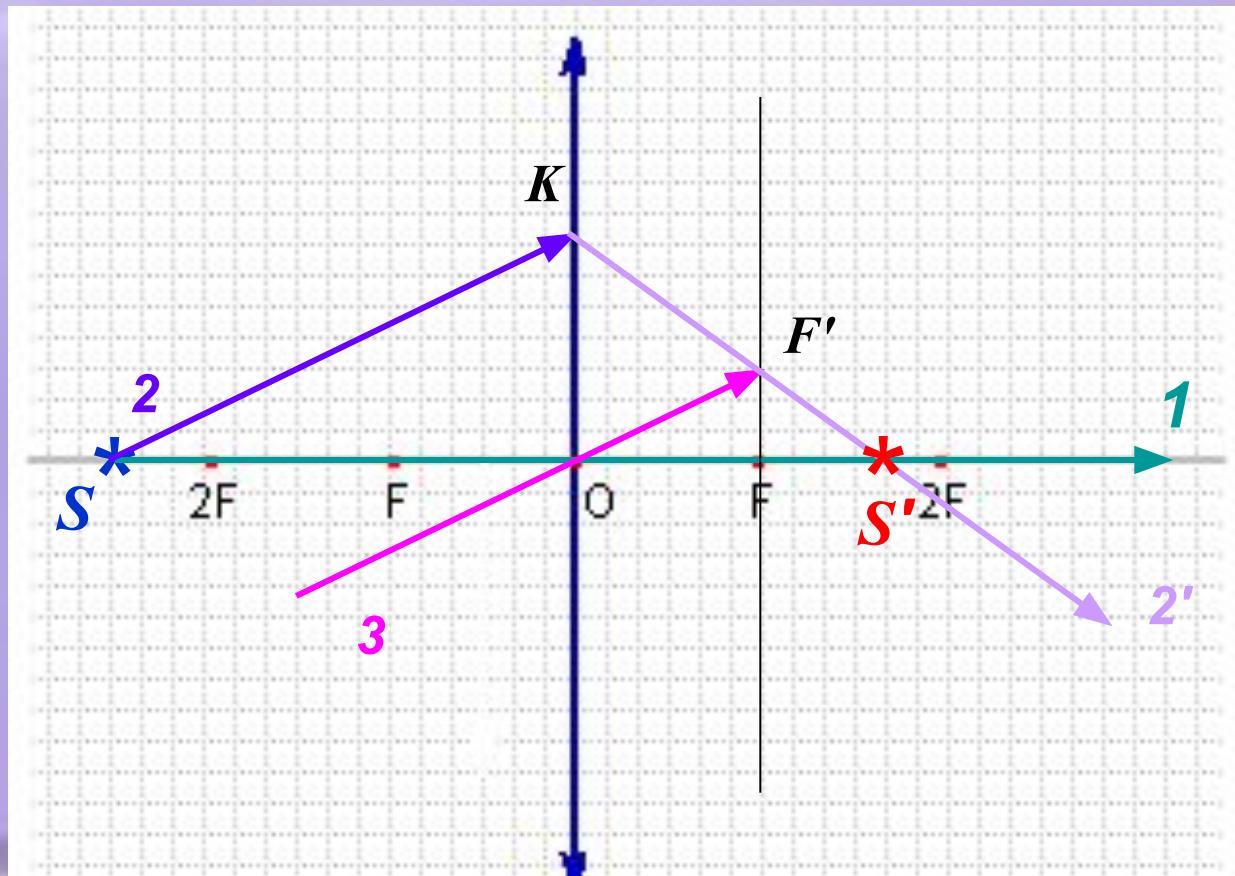
3 – луч, идущий через оптический центр, не преломляется



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

# Построение изображений в тонкой линзе.

1. Точечный источник света, находящийся на главной оптической оси.



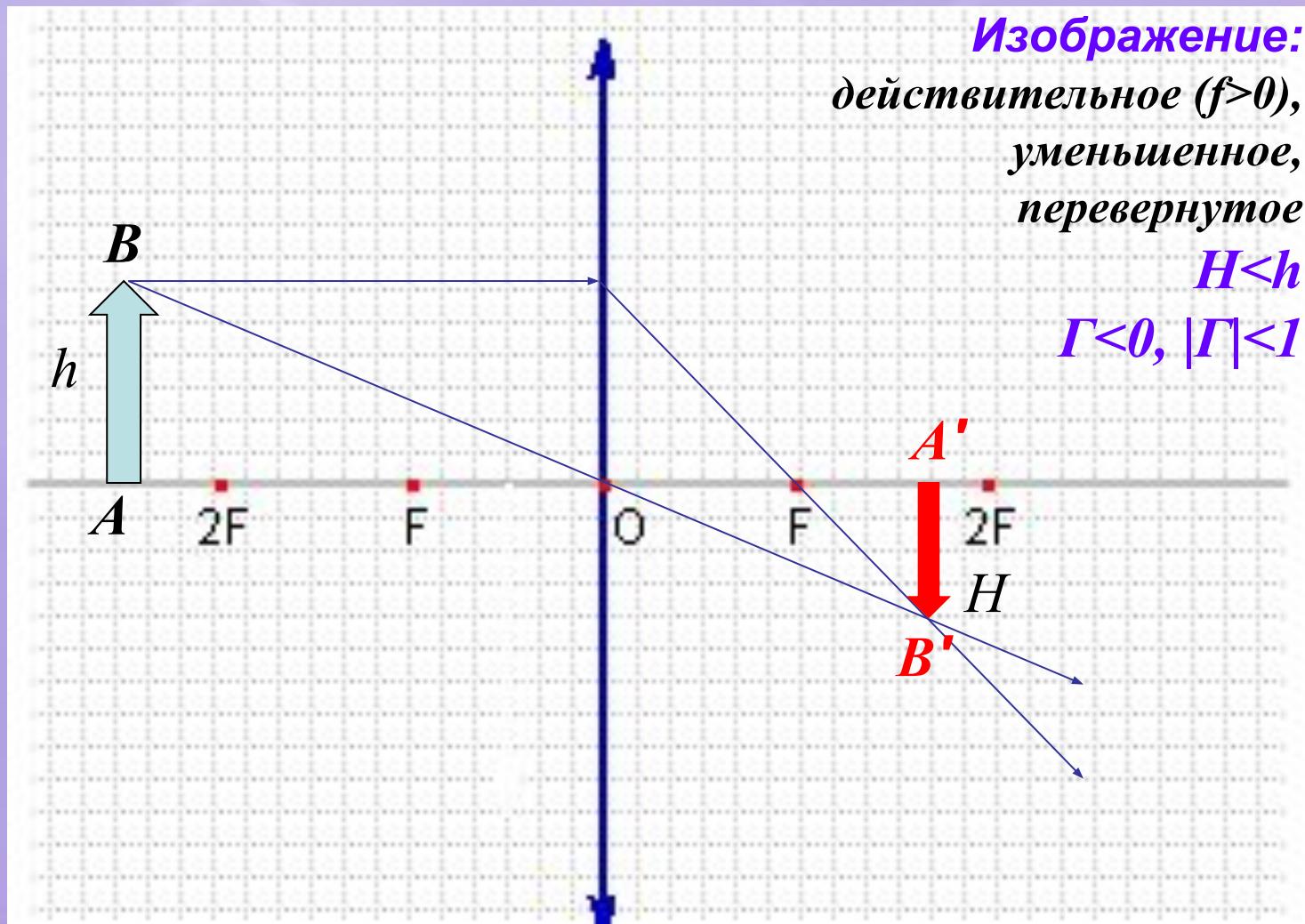
**Увеличение линзы** – отношение высоты изображения к высоте предмета.

*При прямом изображении предмета в линзе увеличение положительно ( $\Gamma>0$ ), а при перевернутом – отрицательно ( $\Gamma<0$ ).*

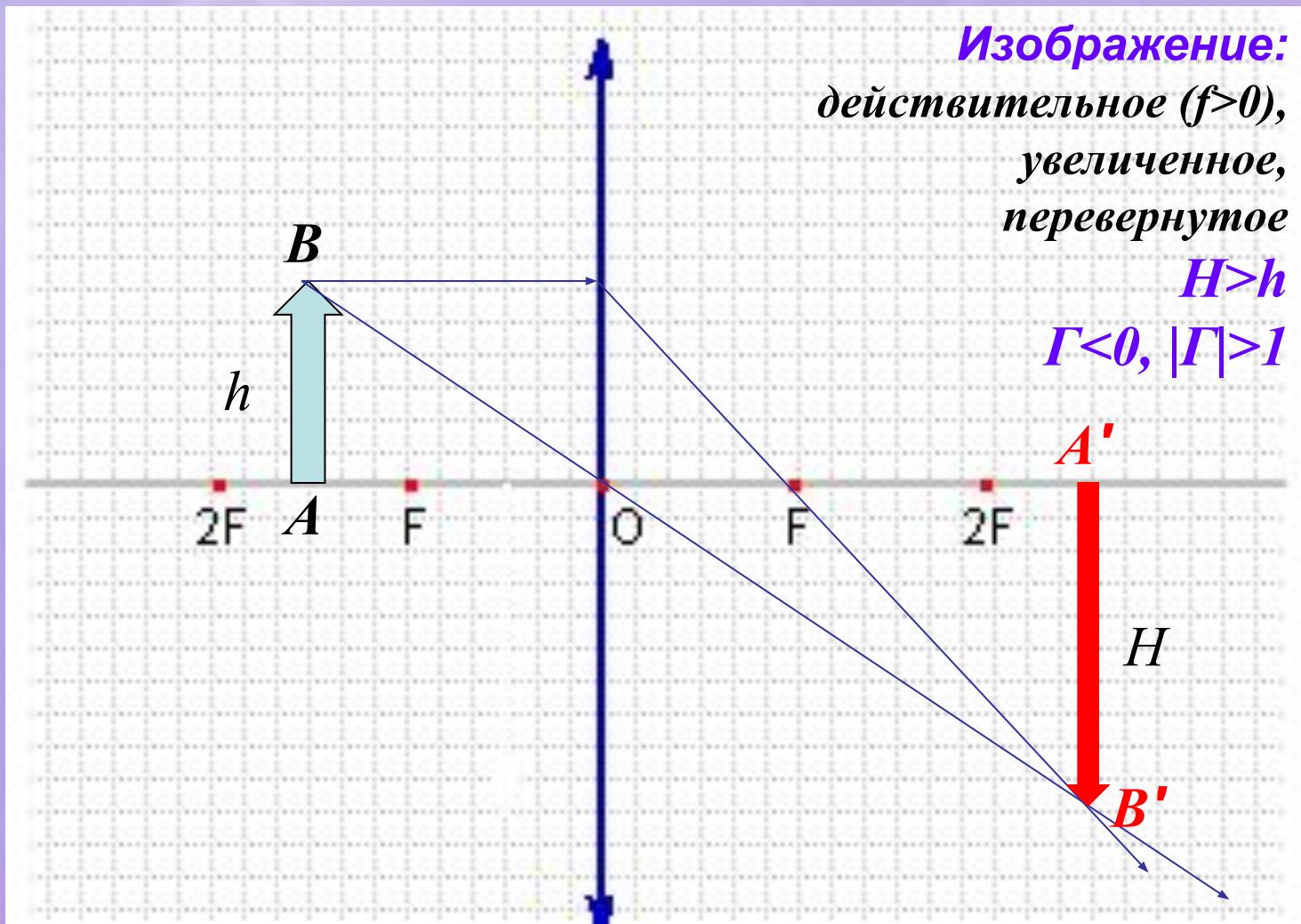
*При увеличенном изображении предмета в линзе модуль увеличения больше единицы ( $|\Gamma|>1$ ), а при уменьшенном – меньше единицы ( $|\Gamma|<1$ )*

$$\Gamma = H/h$$

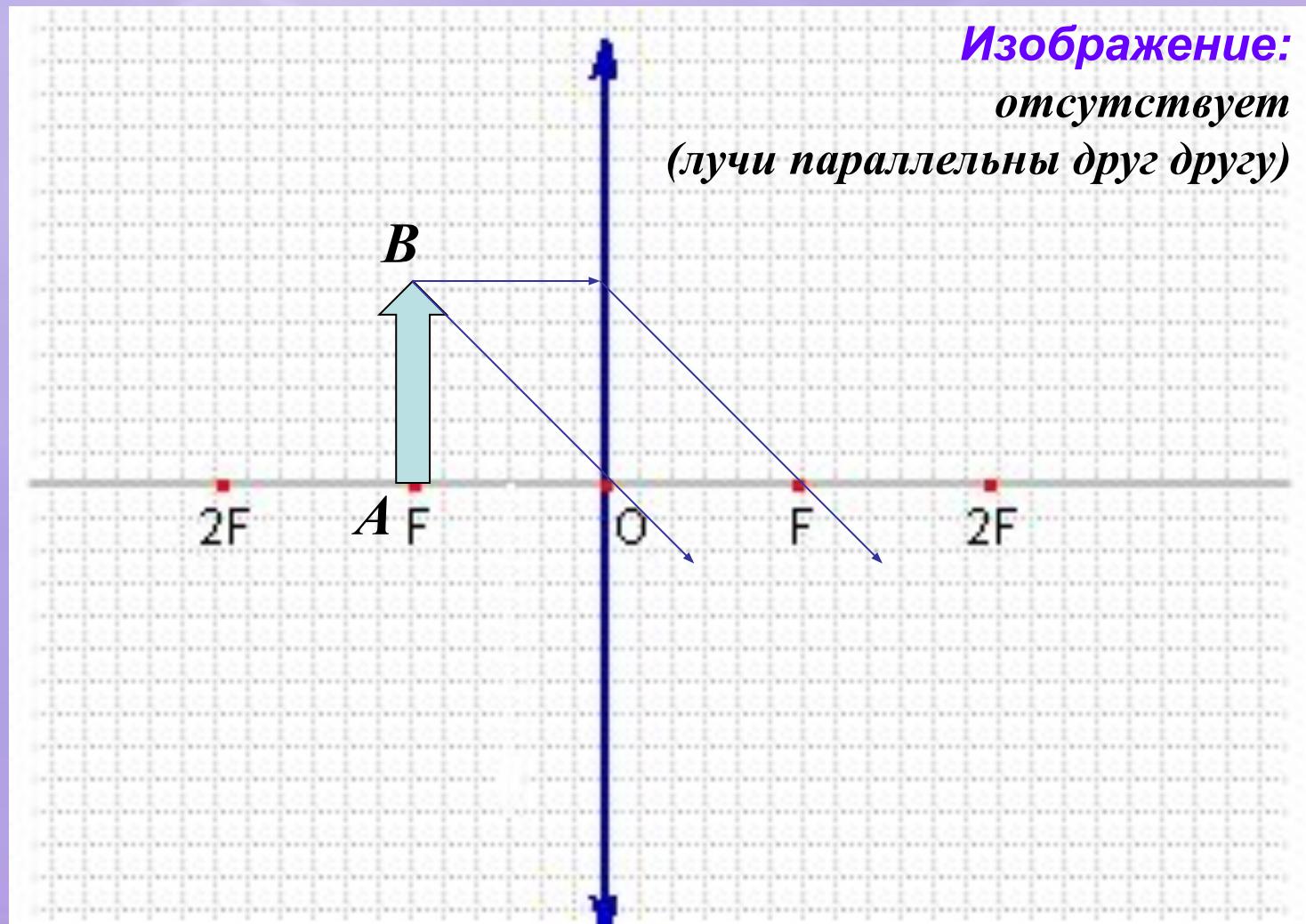
## 2. Предмет находится за двойным фокусом линзы ( $d>2F$ )



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



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

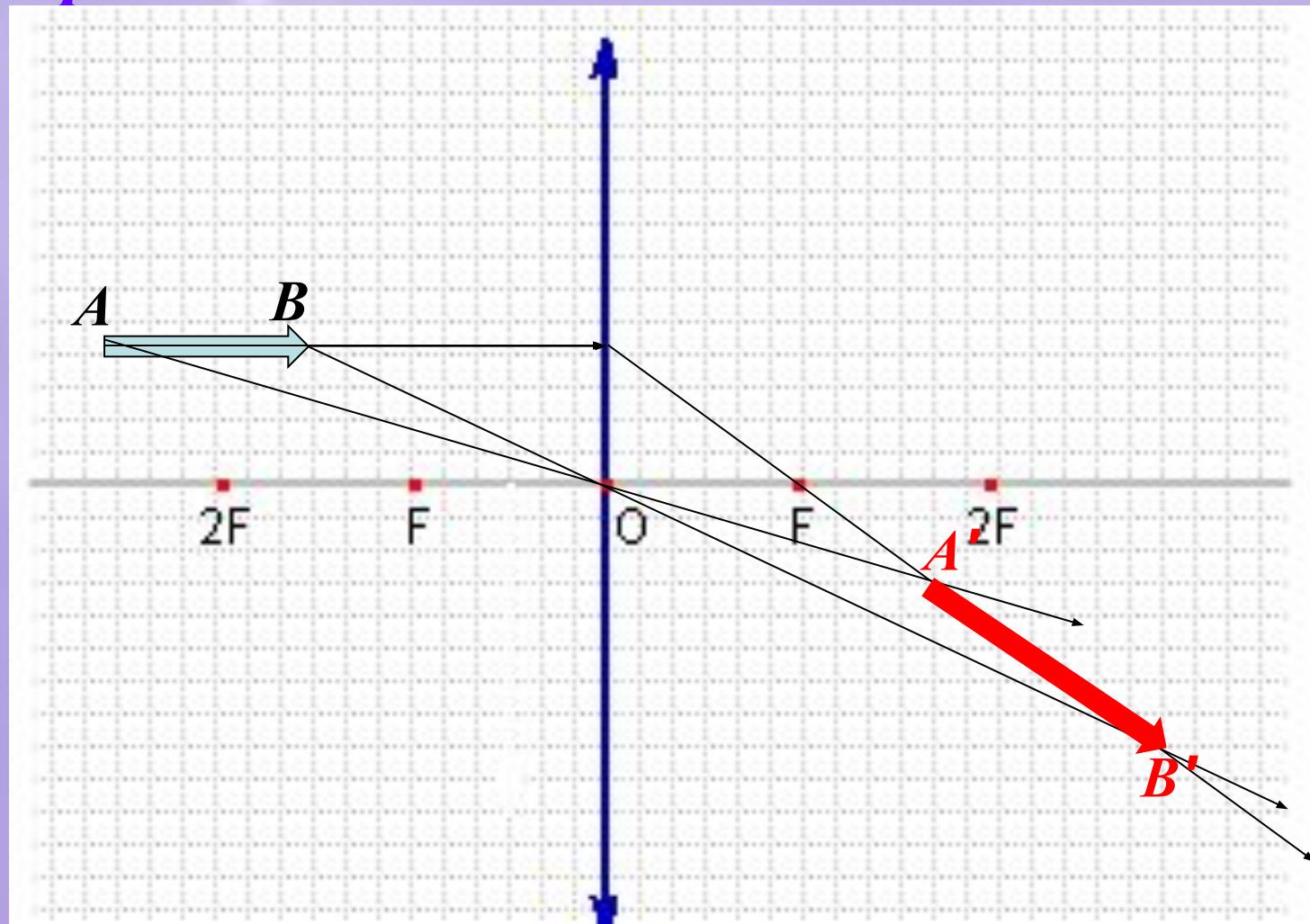


#### 4. Предмет находится между главным фокусом и линзой ( $d < F$ ) A ray diagram illustrating the formation of a real image when an object is placed between the focal point ( $F$ ) and the lens. The horizontal axis represents the principal axis with the origin ( $O$ ) at the lens. The distance from the lens to the focal point is labeled $F$ . The distance from the lens to the object is labeled $d$ . The height of the object is labeled $h$ . The image is real, inverted, and located to the left of the lens. The image height is labeled $H$ , and its distance from the lens is labeled $D$ . The diagram shows two rays originating from the top of the object: one ray passes through the lens parallel to the principal axis and is refracted as if it originated from the focal point; another ray passes through the lens and is refracted parallel to the principal axis. Изображение: мнимое ( $f < 0$ ), увеличенное, прямое $H > h$ $\Gamma < 0, |\Gamma| > 1$

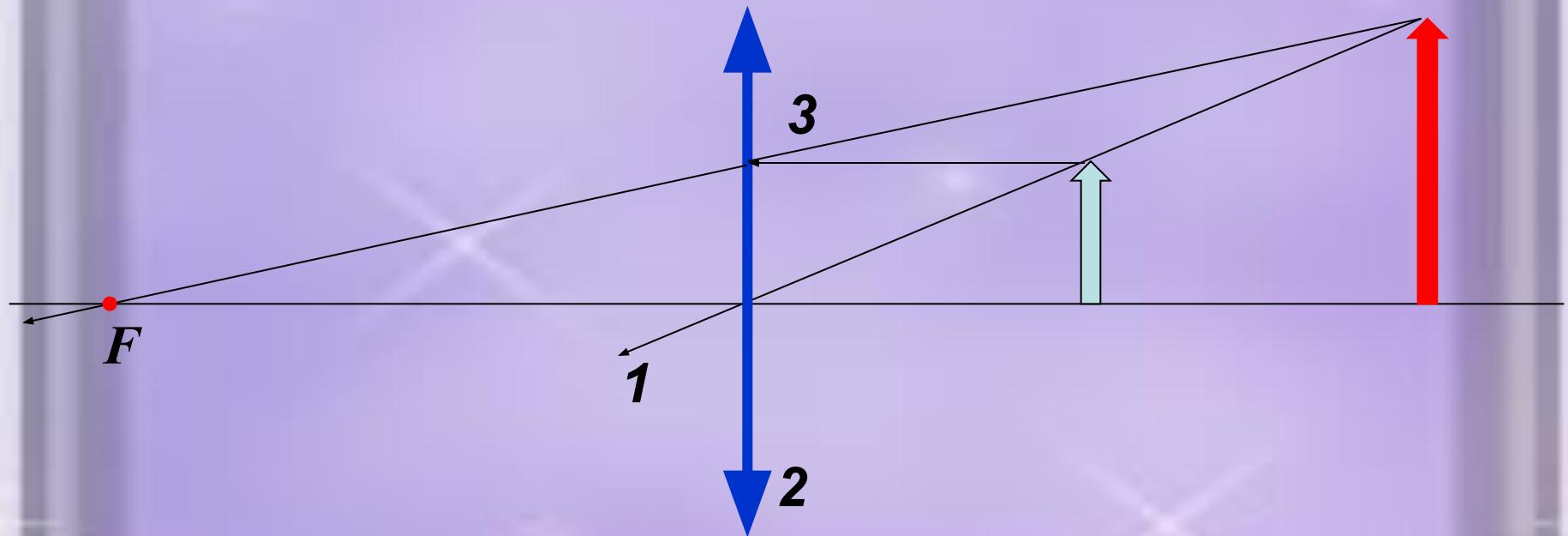
# Заполните таблицу:

Предмет	Изображение			
	Расстояние от предмета до линзы ( $d$ )	Расстояние от линзы до изображения ( $f$ )	Тип	Ориентация
$d > 2F$	$F < f < 2F$	Действ.	Переверн. $(\Gamma < 0)$	Уменьш. $( \Gamma  < 1)$
$d = 2F$				
$F < d < 2F$				
$d = F$				
$d < F$				

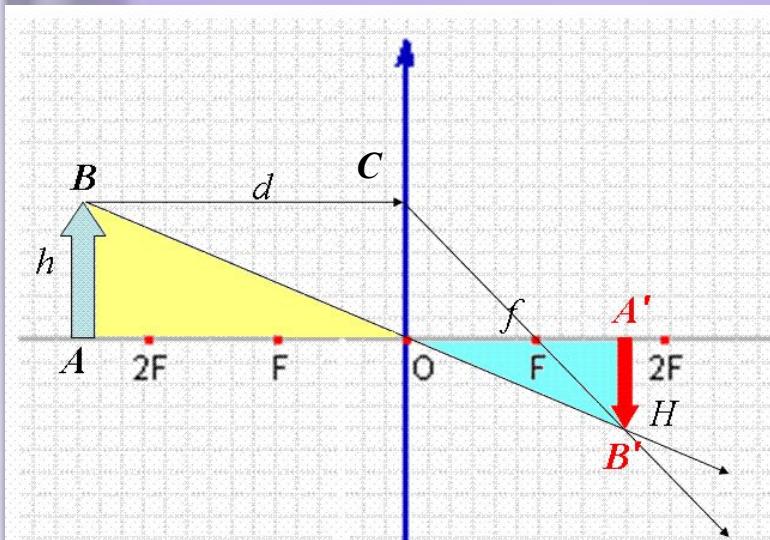
## 5. Линейный предмет, расположенный параллельно главной оптической оси.



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



# Формула тонкой собирающей линзы



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

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

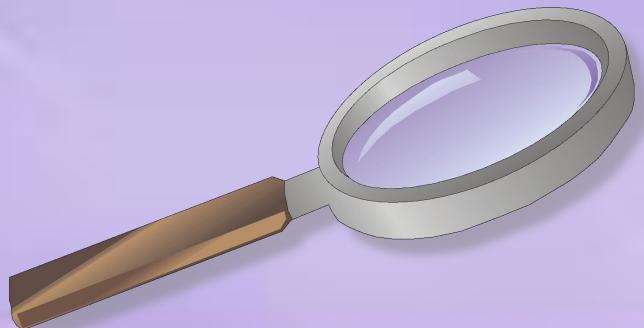
$$\frac{f}{d} = \frac{f - F}{F} \quad \text{разделим обе части на } f$$

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

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

*Формула тонкой линзы (для  $d > 2F$ )*

Рассевающие  
лизы.



# *Ход лучей в рассеивающей линзе*

Рассеивающая линза **отклоняет** параллельно падающие на нее лучи от главной оптической оси .

**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**.

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

*Формула связи фокуса рассеивающей линзы с ее радиусом кривизны*

*Оптическая сила  
рассеивающей линзы ( $D < 0$ )*

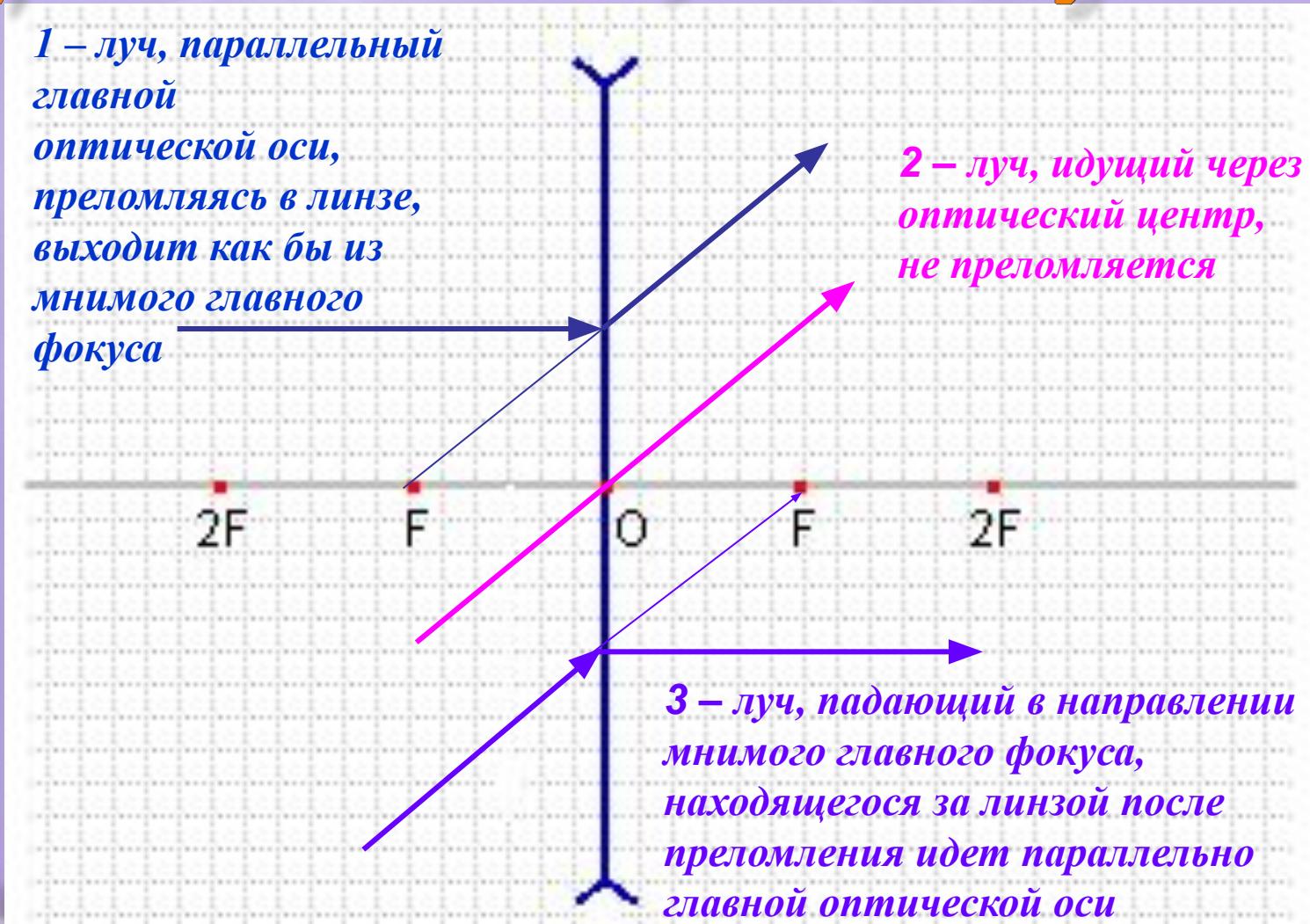
$$D = \frac{1}{F} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

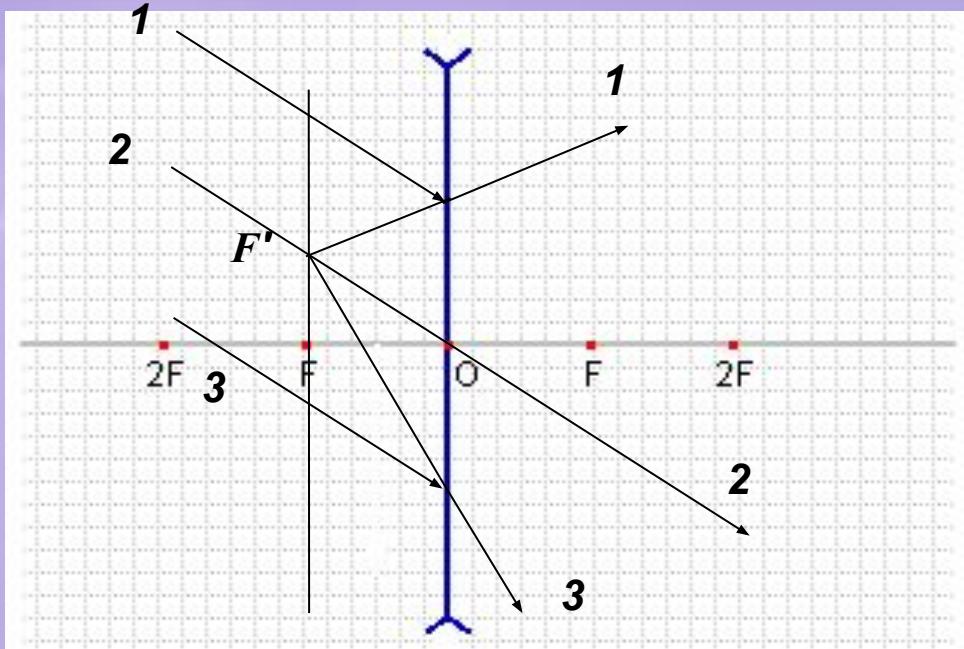
# Основные лучи для рассеивающей линзы

1 – луч, параллельный главной оптической оси, преломляясь в линзе, выходит как бы из мнимого главного фокуса

2 – луч, идущий через оптический центр, не преломляется

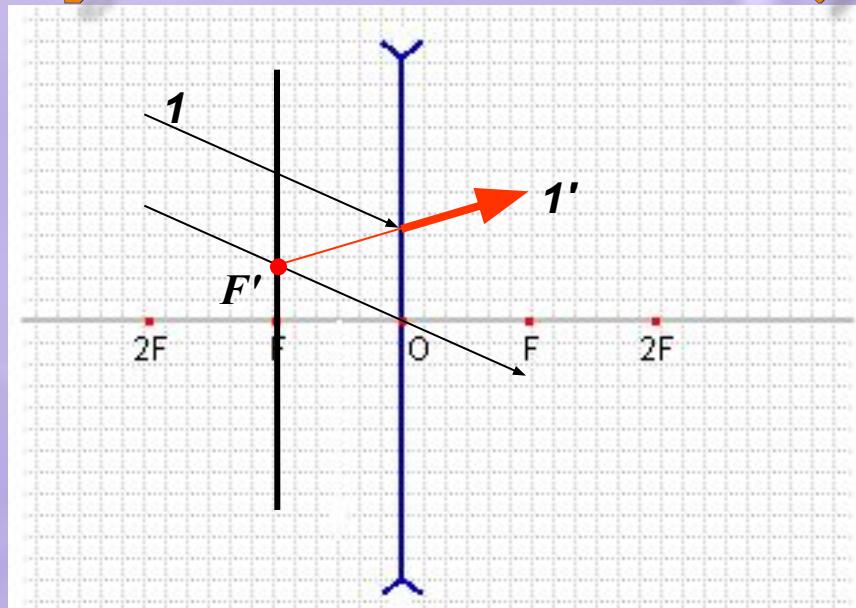
3 – луч, падающий в направлении мнимого главного фокуса, находящегося за линзой после преломления идет параллельно главной оптической оси





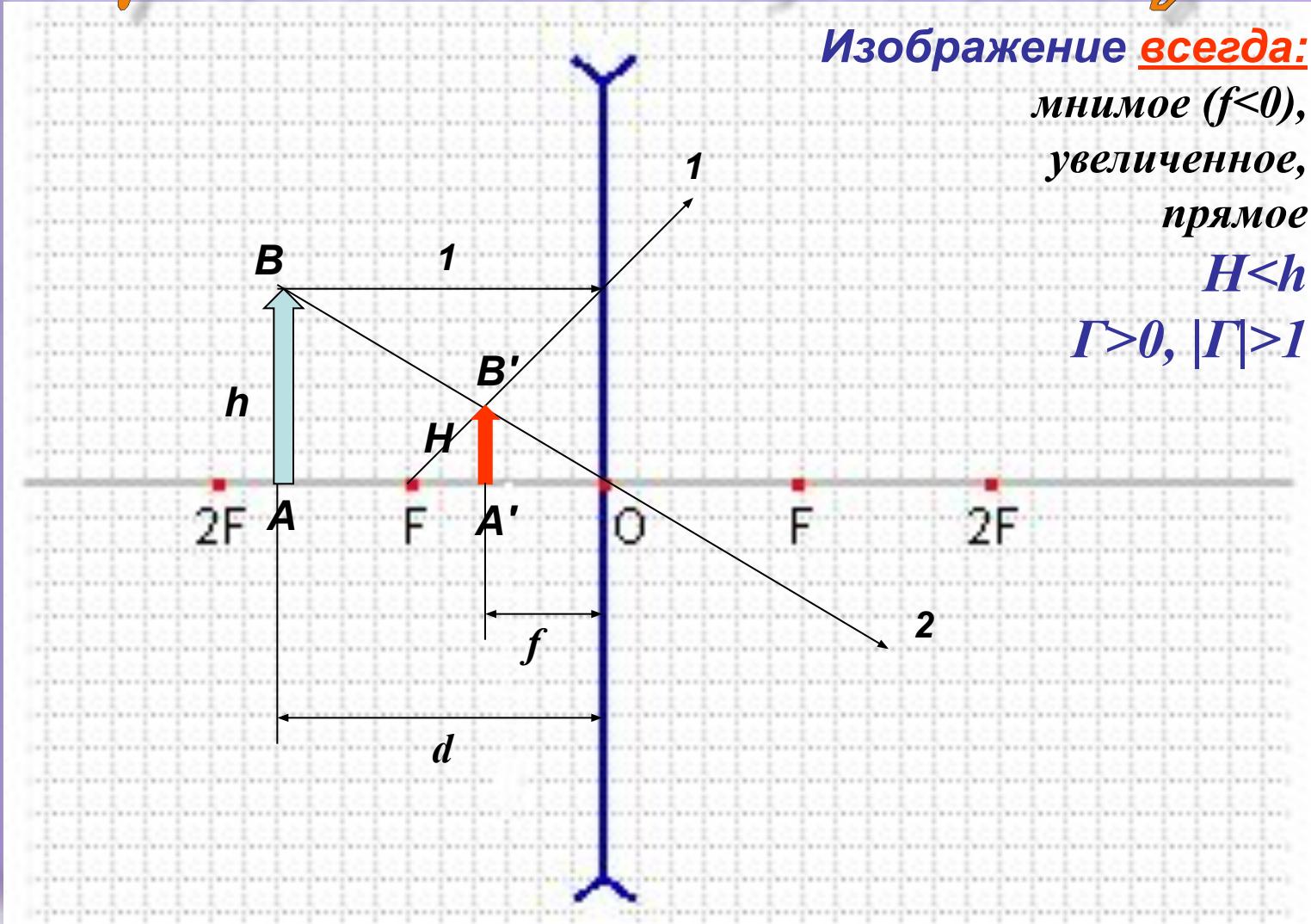
Если пучок параллельных лучей падает на тонкую рассеивающую линзу под небольшим углом к главной оптической оси, то продолжения преломленных лучей пересекаются в одной точке  $F'$  фокальной плоскости линзы – в ее **побочном фокусе**.

# Построение хода произвольного луча

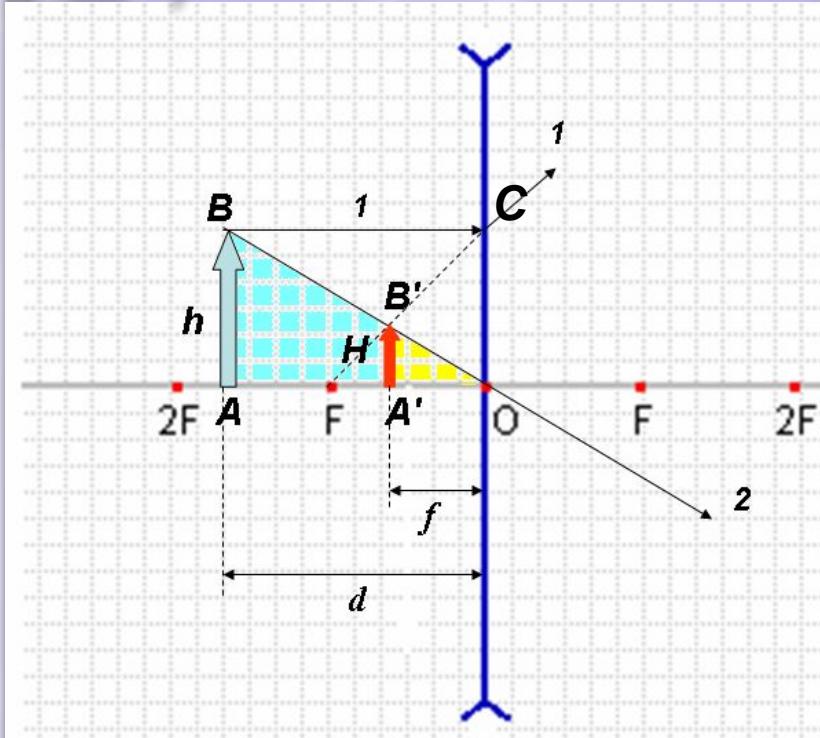


- 1). Построить фокальную плоскость
- 2). Построить произвольный луч 1.
- 3). Построить  $F'O \parallel 1$ ,  $F'On F'F=F'$
- 4). Из точки  $F'$  построить преломленный луч

# Изображение предмета в рассеивающей линзе



# Формула тонкой рассеивающей линзы



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

(мы учли, что  $f < 0$ )

$\Delta CFO$  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  $|f|$ .

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

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

**Формула тонкой  
рассеивающей линзы**

# Недостатки линз.

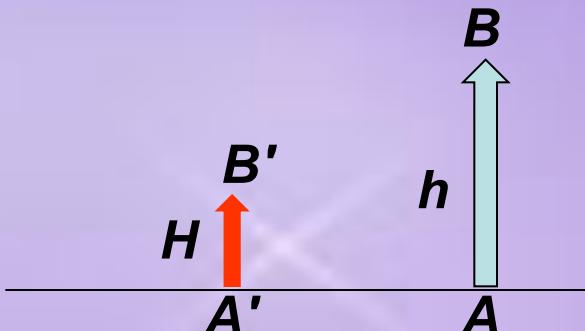
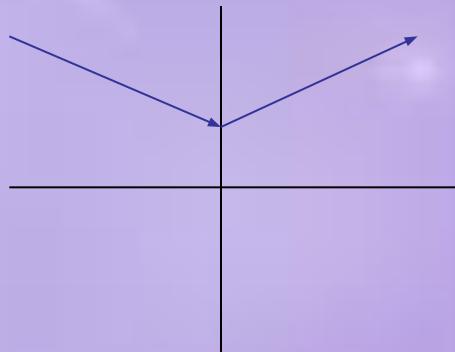
Реальным линзам свойственны некоторые дефекты. Один из них - сферическая аберрация. Она заключается в том, что выпуклая линза лучи, отстоящие далеко от главной оптической оси, собирает в точке (фокусе), расположенной ближе к линзе, чем близко прилегающие лучи: у вогнутой линзы — аналогичная картина.

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 изображенный за линзой, увидит прямое мнимое увеличенное изображение.

# Решите задачи:

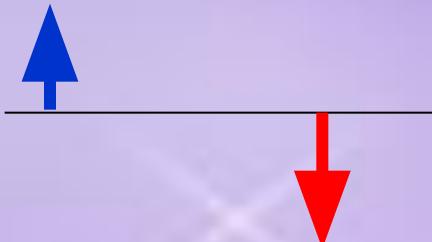
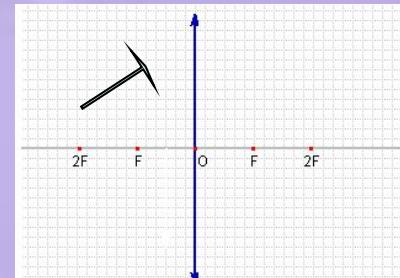
- Плоско-вогнутая линза имеет радиус кривизны 20 см. найдите фокусное расстояние и ее оптическую силу.
- Известен ход падающего и преломленного рассеивающей линзой лучей. Найдите построением главные фокусы линзы.
- Точечный источник света находится в главном фокусе рассеивающей линзы ( $F=10$  см). На каком расстоянии будет находиться его изображение?
- Сформулируйте по рисунку условие задачи и решите ее.

Задачи на построение решите в любом графическом редакторе.



# *Решите задачи:*

1. Двояковыпуклая линза сделана из стекла ( $n=1,5$ ) с радиусами кривизны 9,2 м. Найдите ее оптическую силу.
2. Постройте изображение предмета (см.рис.).
3. Собирающая линза находится на расстоянии 1 м от лампы накаливания и дает изображение ее спирали на экране на расстоянии 0,25 м от линзы. Найдите фокусное расстояние линзы.
4. Сформулируйте по рисунку условие задачи и решите ее.



*Задачи на построение решите в любом графическом редакторе.*