





# ОПТИКА



# Основные законы оптики

- ? 1) закон прямолинейного распространения света;
  - ? 2) закон независимости световых лучей;
  - ? 3) закон отражения света;
  - ? 4) закон преломления света.
- 

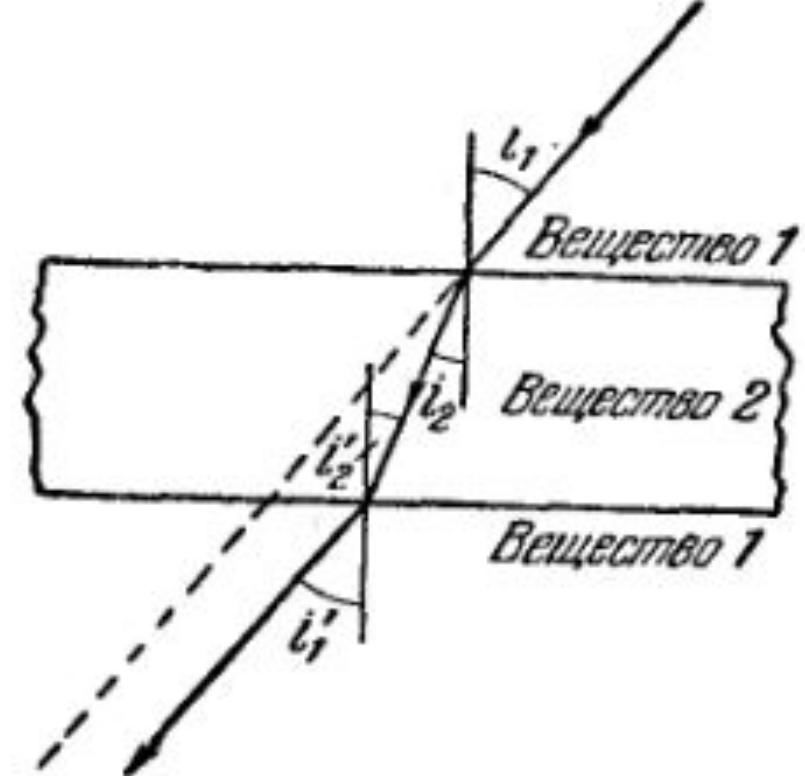


## 1) закон прямолинейного распространения света;

? В однородной среде свет распространяется прямолинейно.

## 2) закон независимости световых лучей

□ Независимость световых лучей заключается в том, что они при пересечении не возмущают друг друга. Пересечения лучей не мешают каждому из них распространяться независимо друг от друга.



### Закон отражения:

отраженный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и нормалью восстановленной в точке падения. Угол отражения равен углу падения.

$$-i_1' = i_1.$$

### Закон преломления света:

преломленный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и нормалью, восстановленной в точке падения. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных веществ:

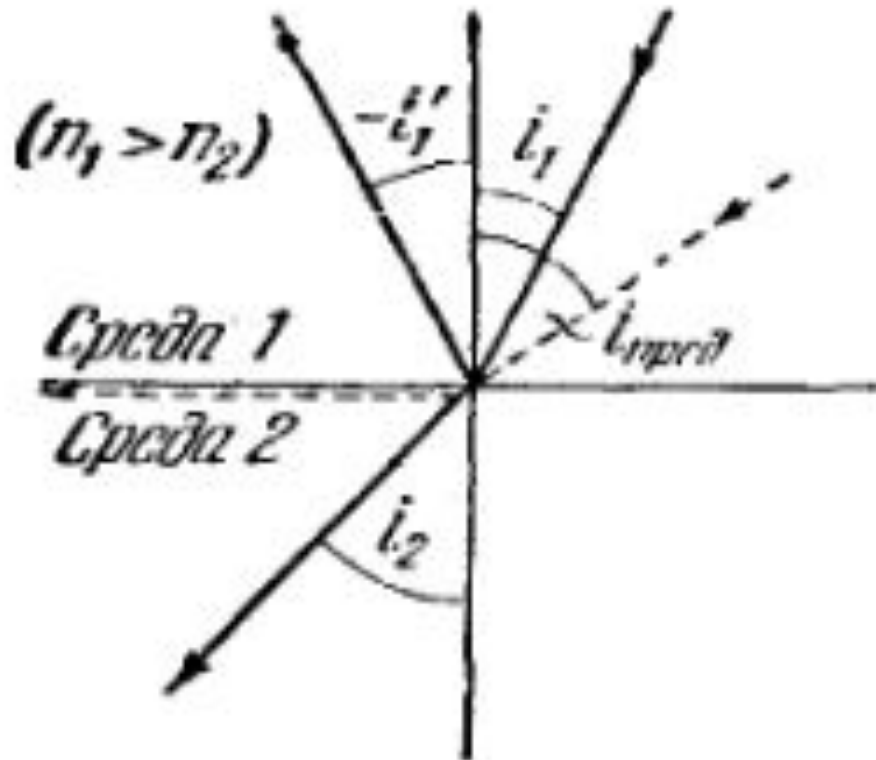
$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{12}.$$

A decorative graphic on the left side of the slide. It features a dark blue vertical bar on the far left. A black arrow points to the right from the top of this bar. Several thin, light blue lines curve downwards and to the right from the bottom of the arrow, creating a sense of flow or movement.

## закон обратимости (или взаимности) световых лучей

? если навстречу лучу, претерпевшему ряд отражений и преломлений, пустить другой луч, то он пойдет по тому же пути, что и первый (прямой) луч, но в обратном направлении.

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

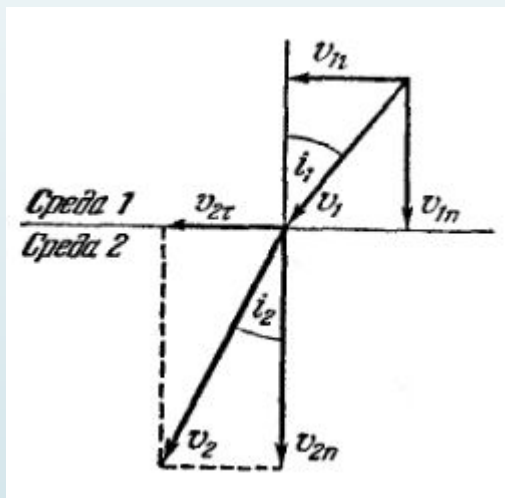


$$i_{\text{пред}} = \arcsin n_{12}$$

При углах падения, заключенных в пределах от  $i_{\text{пред}}$  до  $\pi/2$ , свет во вторую среду не проникает<sup>1)</sup>, интенсивность отраженного луча равна интенсивности падающего. Это явление называется полным внутренним отражением.

# Развитие представлений о природе света

Теория истечения  
(Ньютон)



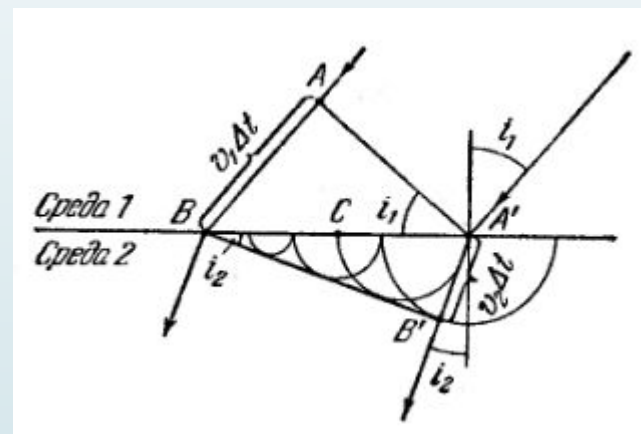
$$\sin i_1 = \frac{v_{1x}}{v_1}, \quad \sin i_2 = \frac{v_{2x}}{v_2}.$$

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

$$n_{12} = v_2/v_1.$$

$$n = \frac{v}{c}.$$

Волновая теория  
(Гюйгенс)



$$\sin i_1 = \frac{v_1 \Delta t}{BA'}, \quad \sin i_2 = \frac{v_2 \Delta t}{BA'}.$$

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

$$n_{12} = v_1/v_2.$$

$$n = \frac{c}{v}$$

## 5.1.2. ЗЕРКАЛА И ИХ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

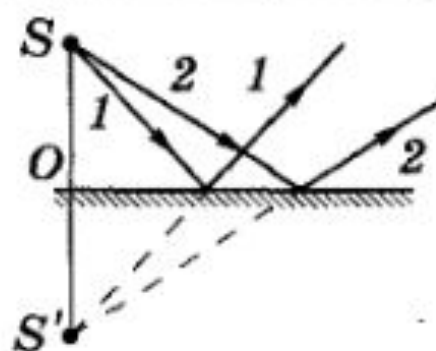
### Плоское зеркало

Плоская полированная поверхность, при отражении от которой параллельный пучок света остается параллельным.

## 5.6 Построение изображения в плоском зеркале

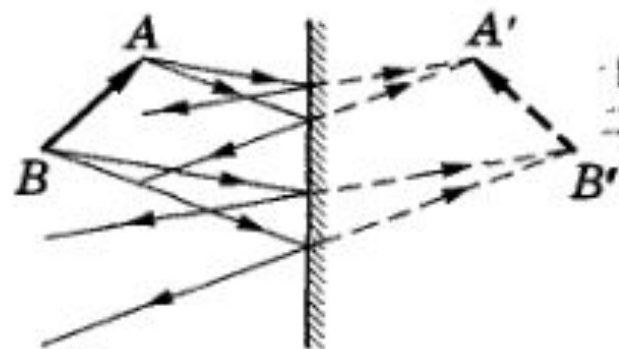
### Изображение точечного источника

Два произвольных луча  $1$  и  $2$ , исходящие из точки  $S$ , отражаясь от зеркала в соответствии с законом отражения, расходятся. Продолжения этих лучей пересекаются в точке  $S'$ , находящейся по другую сторону зеркала относительно  $S$ ;  $S'$  — мнимое изображение. Линия  $SS'$  перпендикулярна плоскости зеркала;  $SO = SO'$ .



### Изображение предмета

Плоское зеркало отражает свет, приходящий из точек  $A$  и  $B$ . Обе произвольные пары отраженных лучей от точек  $A$  и  $B$  продолжены за зеркало, причем отраженная пара лучей из точки  $A$  сходится в  $A'$ , из  $B$  — в точке  $B'$ . Изображение  $A'B'$  — мнимое, его размеры такие же, как у предмета.



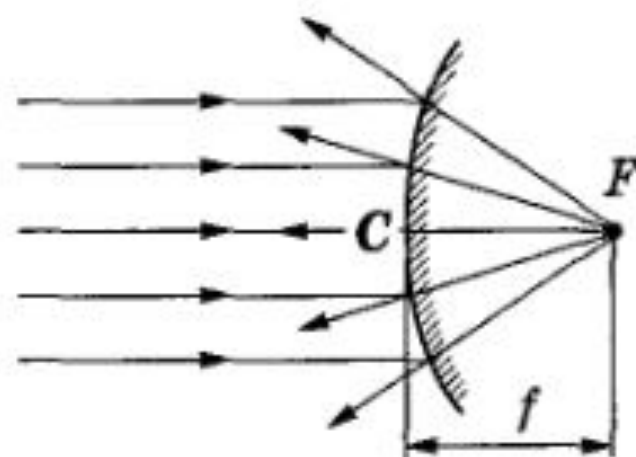


## 5.7 Деление сферических зеркал по внешней форме и оптическим свойствам

### Сферическое зеркало

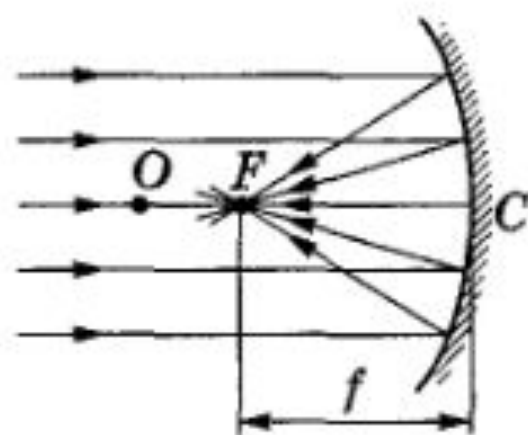
Зеркало, отражающая поверхность которого представляет собой часть сферы.

*Выпуклое сферическое зеркало*



Отражающее покрытие нанесено на внешнюю поверхность сферы

*Вогнутое сферическое зеркало*



Отражающее покрытие нанесено на внутреннюю поверхность сферы

[ $O$  — оптический центр зеркала;  $C$  — полюс зеркала;  $F$  — главный фокус (фокус зеркала);  $f$  — главное фокусное расстояние]

## 5.8 Основные элементы сферического зеркала

### Оптический центр зеркала

Центр  $O$  сферической поверхности, из которой вырезан сегмент.

### Полюс зеркала

Вершина  $C$  сферического сегмента.

### Главная оптическая ось

Прямая, проходящая через оптический центр  $O$  зеркала и его полюс  $C$ .



Выпуклое зеркало



Вогнутое зеркало

### Оптическая ось зеркала

Любая прямая, проходящая через оптический центр  $O$  зеркала.

### Главный фокус (фокус) зеркала

Точка  $F$  на главной оптической оси, через которую проходит после отражения от зеркала луч или его продолжение, падающий параллельно главной оптической оси.

## 5.9 Формула сферического зеркала, оптическая сила зеркала

### Главное фокусное расстояние

$$f = \frac{R}{2}$$

Эта формула — для *параксиальных* (приосевых) лучей. У выпуклого зеркала — фокус мнимый.

### Формула сферического зеркала (для параксиальных световых пучков)

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{R} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$$

Фокусное расстояние вогнутого зеркала — величина положительная, выпуклого — отрицательная.

### Оптическая сила зеркала

$$\Phi = \frac{1}{f} = \frac{2}{R}$$

Величина, обратная главному фокусному расстоянию.

[ $f$  — главное фокусное расстояние;  $R$  — радиус кривизны сферического зеркала;  $a$  — расстояние от зеркала до светящейся точки, расположенной на главной оптической оси;  $b$  — расстояние от зеркала до изображения;  $\Phi$  — оптическая сила зеркала. В формуле сферического зеркала расстояния от зеркала до действительных точек следует брать со знаком плюс, а расстояния от зеркала до мнимых точек — со знаком минус]



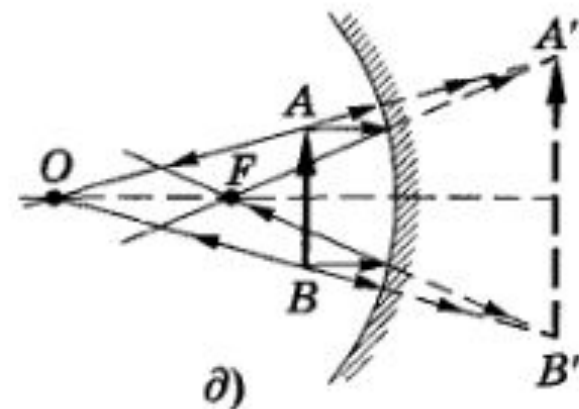
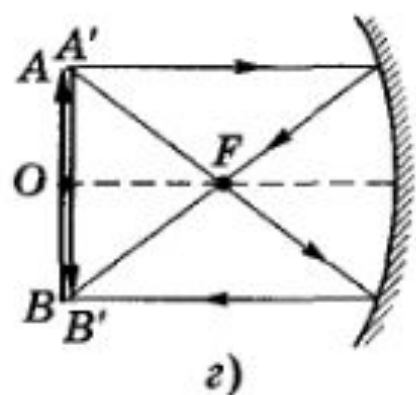
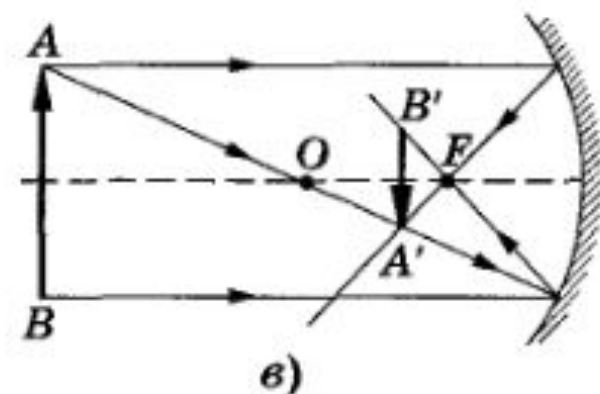
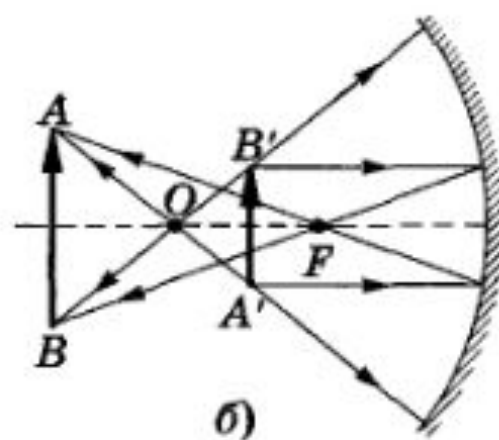
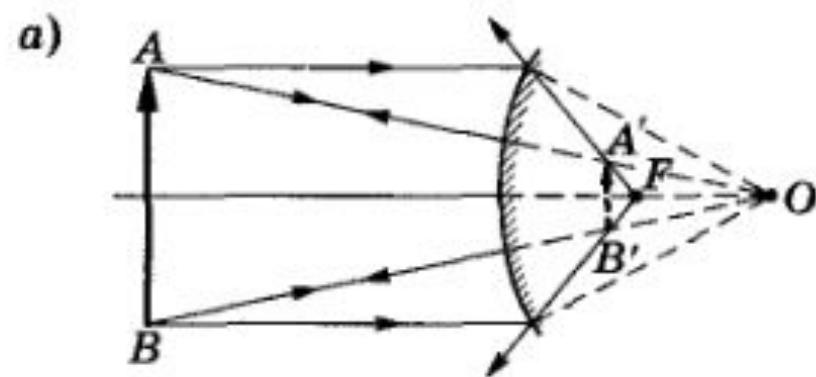
## 5.10 Построение изображения предмета в сферических зеркалах

Построение изображения предмета в сферических зеркалах осуществляется с помощью следующих лучей:

1) луча, проходящего через оптический центр зеркала; отраженный луч идет назад вдоль первоначального направления;

2) луча (или его продолжения), проходящего через главный фокус сферического зеркала; отраженный луч параллелен главной оптической оси;

3) луча, идущего параллельно главной оптической оси, после отражения этот луч (или его продолжение) проходит через главный фокус сферического зеркала.



## 5.11 Особенности изображений в зеркалах

<i>Зеркало</i>	<i>Расположение предмета</i>	<i>Расположение изображения</i>	<i>Особенности изображения</i>
Плоское	Любое	За зеркалом, на том же расстоянии, что и предмет	Мнимое, прямое, обращенное, по величине равно самому предмету
Выпуклое сферическое	Любое	Между главным фокусом и зеркалом	Мнимое, прямое, уменьшенное
Вогнутое сферическое	В бесконечности	В главном фокусе	Действительное, перевернутое, уменьшенное
	За оптическим центром (на конечном расстоянии)	Между главным фокусом и оптическим центром	Действительное, перевернутое, уменьшенное
	В оптическом центре	В оптическом центре	Действительное, перевернутое, по величине равно самому предмету
	Между оптическим центром и главным фокусом	За оптическим центром	Действительное, перевернутое, увеличенное
	Между главным фокусом и зеркалом	За зеркалом	Мнимое, прямое, увеличенное



### 5.1.3. ЛИНЗЫ И ИХ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ


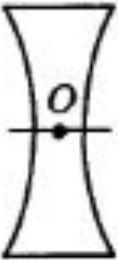

#### 5.12 Деление линз по внешней форме и оптическим свойствам

##### Линзы

Прозрачные тела, ограниченные двумя поверхностями (одна из них обычно сферическая, иногда цилиндрическая, а вторая — сферическая или плоская), преломляющими световые лучи, способные формировать оптические изображения предметов.

##### Тонкая линза

Линза, если ее толщина (расстояние между ограничивающими поверхностями) значительно меньше по сравнению с радиусами поверхностей, ограничивающих линзу.

Форма линзы						
Название	двойково-выпуклые	плосково-выпуклые	двойковогнутые	плосковогнутые	выпукловогнутые	вогнутовыпуклые
Радиусы	$R_1 > 0$ $R_2 < 0$	$R_1 > 0$ $R_2 = \infty$	$R_1 < 0$ $R_2 > 0$	$R_1 < 0$ $R_2 = \infty$	$R_1 > R_2 > 0$	$R_1 > R_2 < 0$
Фокусное расстояние	$f > 0$	$f > 0$	$f > 0$	$f < 0$	$f < 0$	$f < 0$

## 5.13 Основные элементы линзы

### Главная оптическая ось

Прямая, проходящая через центры кривизны поверхностей линзы.

### Оптический центр линзы

Точка  $O$ , лежащая на главной оптической оси и обладающая тем свойством, что лучи проходят сквозь нее не преломляясь.

### Фокус линзы

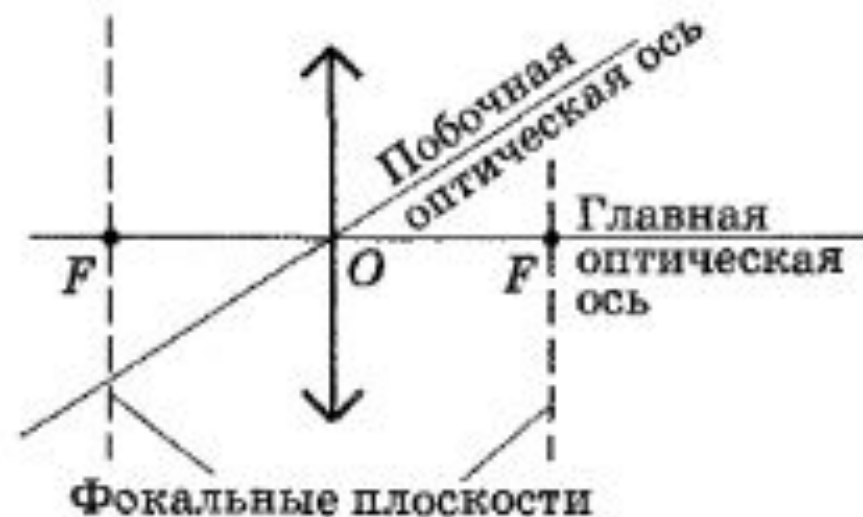
Точка  $F$ , лежащая на главной оптической оси, в которой пересекаются лучи параксиального (приосевого) светового пучка, распространяющиеся параллельно главной оптической оси.

### Фокусное расстояние $f$

Расстояние между оптическим центром линзы и ее фокусом.

### Побочная оптическая ось

Любая прямая, проходящая через оптический центр линзы и не совпадающая с главной оптической осью.



## 5.14 Оптическая сила и формула тонкой линзы

### Оптическая сила линзы

$$\Phi = \frac{1}{f} = (N - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

При  $\Phi > 0$  — линза собирающая;  
при  $\Phi < 0$  — линза рассеивающая.

### Формула тонкой линзы

$$(N - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{a} + \frac{1}{b},$$
$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

Радиус кривизны выпуклой поверхности линзы считается положительным, вогнутой — отрицательным. Для рассеивающей линзы  $f$  и  $b$  надо считать отрицательными. [ $\Phi$  — оптическая сила линзы,  $[\Phi] = 1 \text{ м}^{-1} = 1 \text{ дптр}$  — *диоптрия* — оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м;  $f$  — фокусное расстояние;  $N = n/n_1$  — относительный показатель преломления ( $n$  и  $n_1$  — соответственно абсолютные показатели преломления линзы и окружающей среды);  $R_1$  и  $R_2$  — радиусы кривизны поверхностей линз;  $a$  — расстояние от линзы до предмета;  $b$  — расстояние от линзы до изображения предмета]

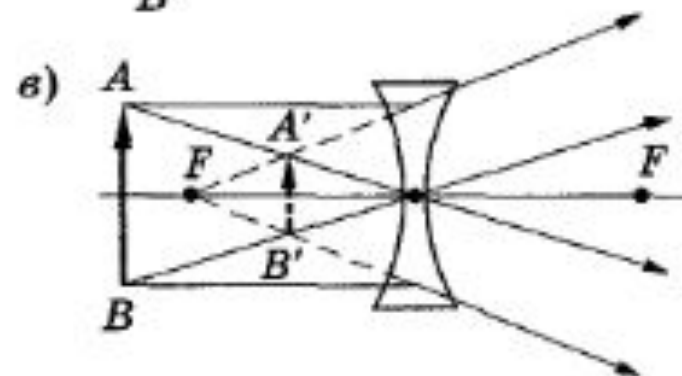
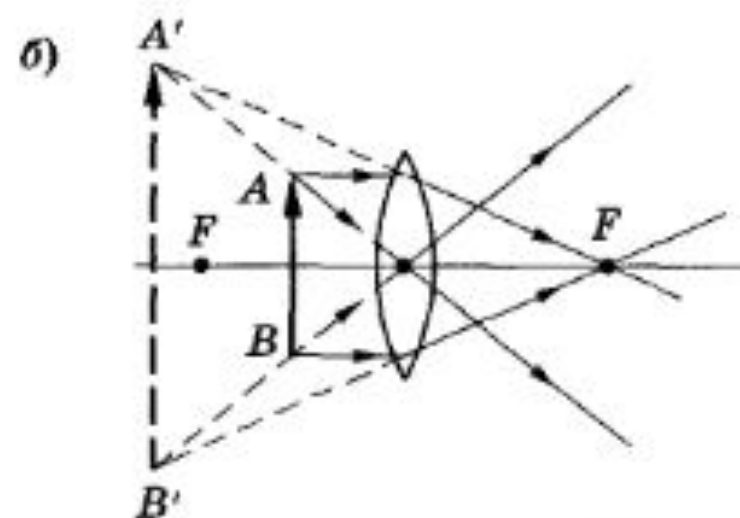
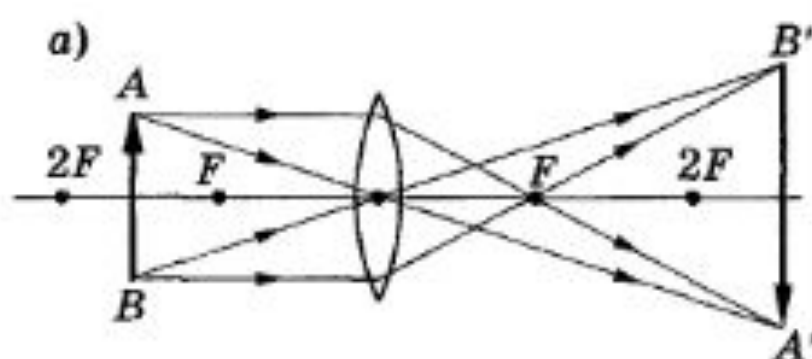


## 5.15 Построение изображения предмета в линзах

Построение изображения предмета в линзах осуществляется с помощью следующих лучей:

- ◆ луча, проходящего через оптический центр линзы и не изменяющего своего направления;
- ◆ луча, идущего параллельно главной оптической оси; после преломления в линзе этот луч (или его продолжение) проходит через второй фокус линзы;
- ◆ луча (или его продолжения), проходящего через первый фокус линзы; после преломления в ней он выходит из линзы параллельно ее главной оптической оси.

**Пример.** Построим изображения в собирающей и в рассеивающей линзах: действительное (рисунок а) и мнимое (рисунок б) изображения — в собирающей линзе, мнимое — в рассеивающей (рисунок в).



**5.16 Особенности изображений в линзах**

<i>Линза</i>	<i>Расположение предмета</i>	<i>Расположение изображения</i>	<i>Особенности изображения</i>
Собирающая	За двойным фокусным расстоянием	Между фокусом и двойным фокусом по другую сторону линзы	Действительное, перевернутое, уменьшенное
	В двойном фокусе	В двойном фокусе по другую сторону линзы	Действительное, перевернутое, по величине равно самому предмету
	Между двойным фокусным расстоянием и фокусом	За двойным фокусным расстоянием по другую сторону линзы	Действительное, перевернутое, увеличенное
	В фокусе	Видимого изображения нет (изображение в бесконечности)	
	Между фокусом и линзой	За предметом, по ту же сторону линзы, что и предмет	Мнимое, прямое, увеличенное
Рассеивающая	Любое	Между предметом и линзой, по ту же сторону линзы, что и предмет	Мнимое, прямое, уменьшенное

## **5.1.4. ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ИХ ЕДИНИЦЫ**

### **Фотометрия**

---

Раздел оптики, занимающийся вопросами измерения интенсивности света и его источников. В фотометрии используются:

#### **Энергетические величины**

Характеризуют энергетические параметры оптического излучения безотносительно к его действию на приемники излучения.

#### **Световые величины**

Характеризуют физиологические действия света и оцениваются по воздействию на глаз (исходят из так называемой средней чувствительности глаза) или другие приемники излучения.



## 5.18 Энергетические величины

Величина	Обозначение	Определение	Формула	Единица
Поток излучения	$\Phi_e$	Величина, равная отношению энергии $W$ излучения ко времени $t$ , за которое излучение произошло	$\Phi_e = \frac{W}{t}$	Ватт (Вт)
Энергетическая светимость (излучательность)	$R_e$	Величина, равная отношению потока излучения $\Phi_e$ , испускаемого поверхностью, к площади $S$ сечения, сквозь которое этот поток проходит	$R_e = \frac{\Phi_e}{S}$	Ватт на метр в квадрате (Вт/м <sup>2</sup> )
Энергетическая сила света (сила излучения)	$I_e$	Величина, равная отношению потока излучения $\Phi_e$ источника к телесному углу $\omega$ , в пределах которого это излучение распространяется	$I_e = \frac{\Phi_e}{\omega}$	Ватт на стерадиан (Вт/ср)
Энергетическая яркость (лучистость)	$B_e$	Величина, равная отношению энергетической силы света $\Delta I_e$ элемента излучающей поверхности к площади $\Delta S$ проекции этого элемента на плоскость, перпендикулярную направлению наблюдения	$B_e = \frac{\Delta I_e}{\Delta S}$	Ватт на стерадиан-метр в квадрате (Вт/(ср · м <sup>2</sup> ))

## 5.18 Энергетические величины

Величина	Обозначение	Определение	Формула	Единица
Поток излучения	$\Phi_e$	Величина, равная отношению энергии $W$ излучения ко времени $t$ , за которое излучение произошло	$\Phi_e = \frac{W}{t}$	Ватт (Вт)
Энергетическая светимость (излучательность)	$R_e$	Величина, равная отношению потока излучения $\Phi_e$ , испускаемого поверхностью, к площади $S$ сечения, сквозь которое этот поток проходит	$R_e = \frac{\Phi_e}{S}$	Ватт на метр в квадрате (Вт/м <sup>2</sup> )
Энергетическая сила света (сила излучения)	$I_e$	Величина, равная отношению потока излучения $\Phi_e$ источника к телесному углу $\omega$ , в пределах которого это излучение распространяется	$I_e = \frac{\Phi_e}{\omega}$	Ватт на стерадиан (Вт/ср)
Энергетическая яркость (лучистость)	$B_e$	Величина, равная отношению энергетической силы света $\Delta I_e$ элемента излучающей поверхности к площади $\Delta S$ проекции этого элемента на плоскость, перпендикулярную направлению наблюдения	$B_e = \frac{\Delta I_e}{\Delta S}$	Ватт на стерадиан-метр в квадрате (Вт/(ср · м <sup>2</sup> ))