

# Оптика

## Лекция 14

- **Оптика** – раздел физики, изучающий свойства и физическую природу света, а также его взаимодействие с веществом. Учение о свете принято делить на три части:
- **геометрическая или лучевая оптика**, в основе которой лежит представление о световых лучах;
- **волновая оптика**, изучающая явления, в которых проявляются волновые свойства света;
- **квантовая оптика**, изучающая взаимодействие света с веществом, при котором проявляются корпускулярные свойства света.

# Основные законы геометрической оптики

- **Закон прямолинейного распространения света:** в оптически однородной среде свет распространяется прямолинейно.
- **Закон отражения света:** падающий и отраженный лучи, а также перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости (**плоскость падения**). Угол отражения  $\gamma$  равен углу падения  $\alpha$ .
- **Закон преломления света:** падающий и преломленный лучи, а также перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости. Отношение синуса угла падения  $\alpha$  к синусу угла преломления  $\beta$  есть величина, постоянная для двух данных сред:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n.$$

- Постоянную величину  $n$  называют **относительным показателем преломления** второй среды относительно первой. Показатель преломления среды относительно вакуума называют **абсолютным показателем преломления**.
- Относительный показатель преломления двух сред равен отношению их абсолютных показателей преломления:

$$n = n_2 / n_1.$$

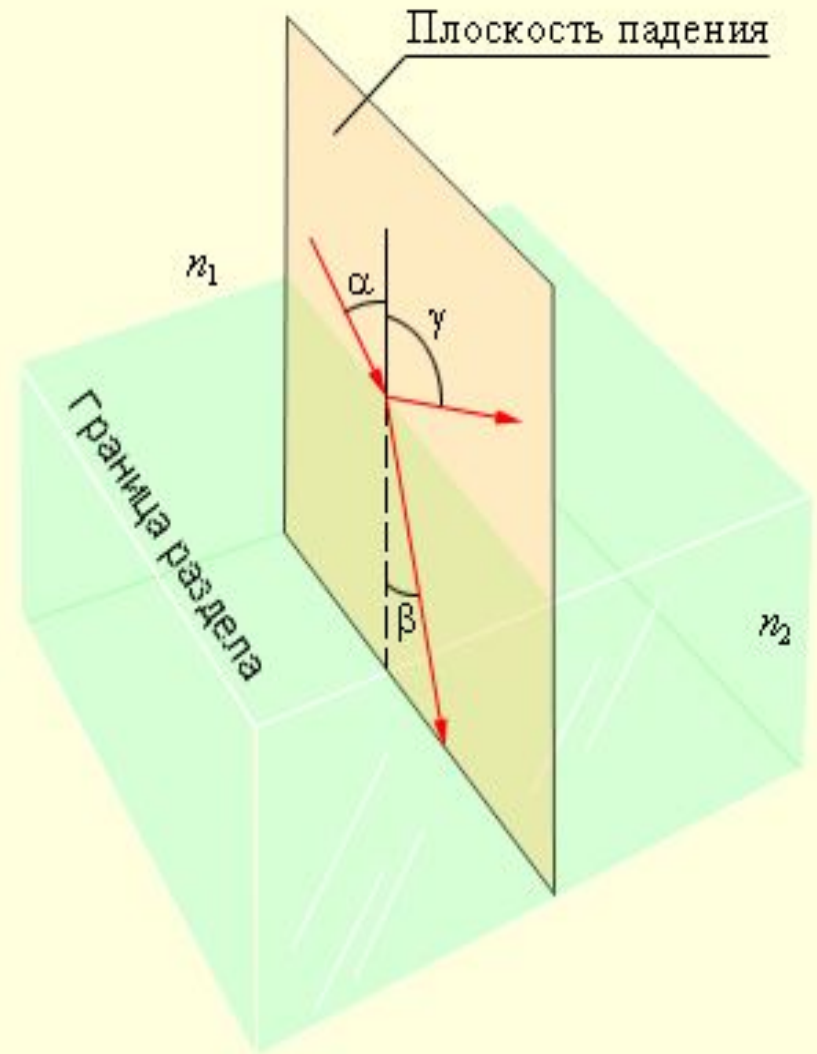
- . Физический смысл показателя преломления – это отношение скорости распространения волн в первой среде  $v_1$  к скорости их распространения во второй среде  $v_2$ :

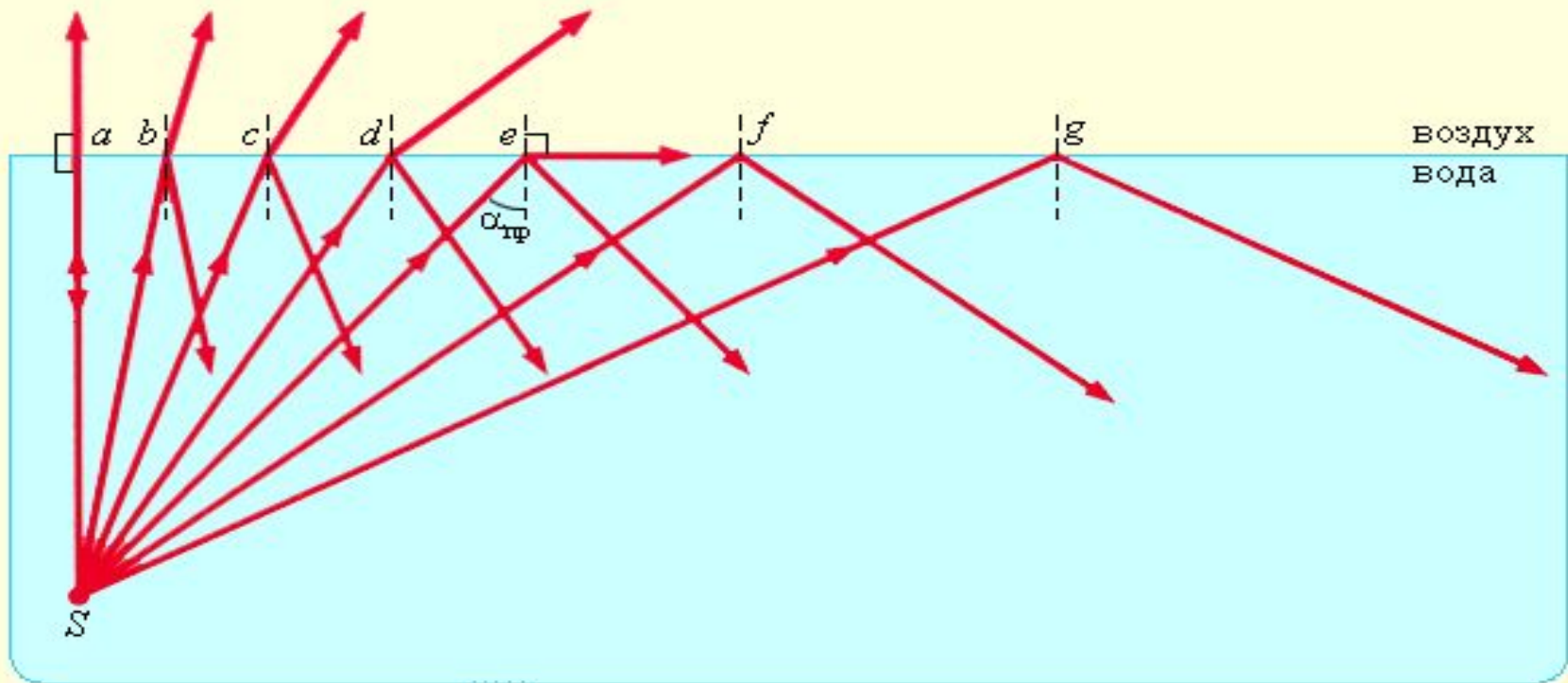
$$n_2 = \frac{v_1}{v_2}.$$

- Абсолютный показатель преломления равен отношению скорости света  $c$  в вакууме к скорости света  $v$  в среде:

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

Рис. иллюстрирует законы отражения и преломления света.

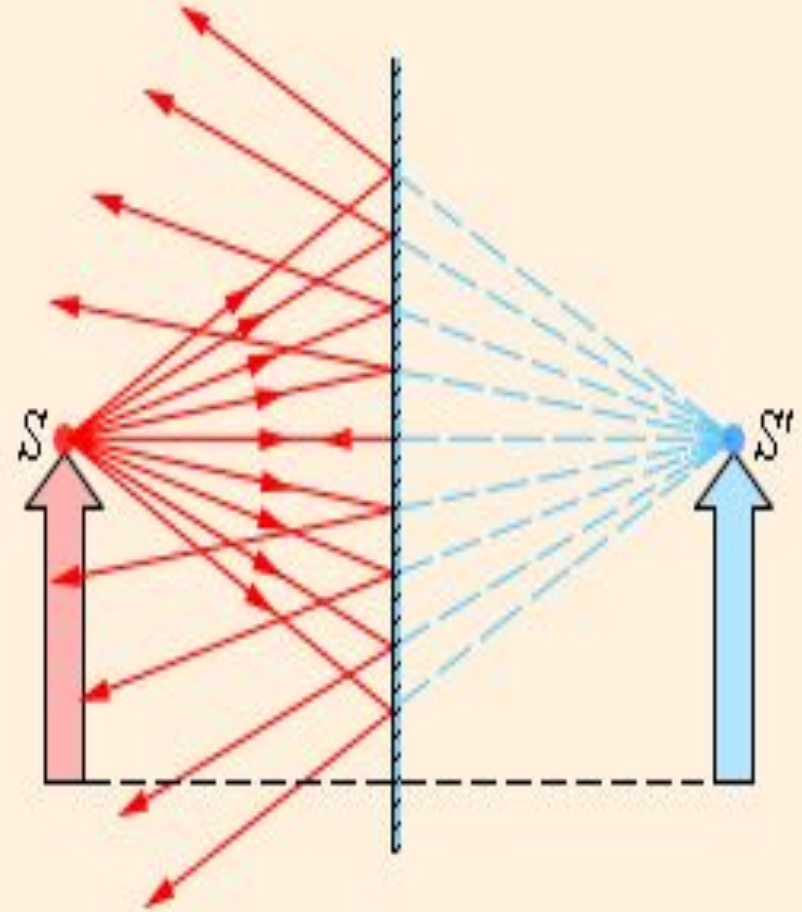




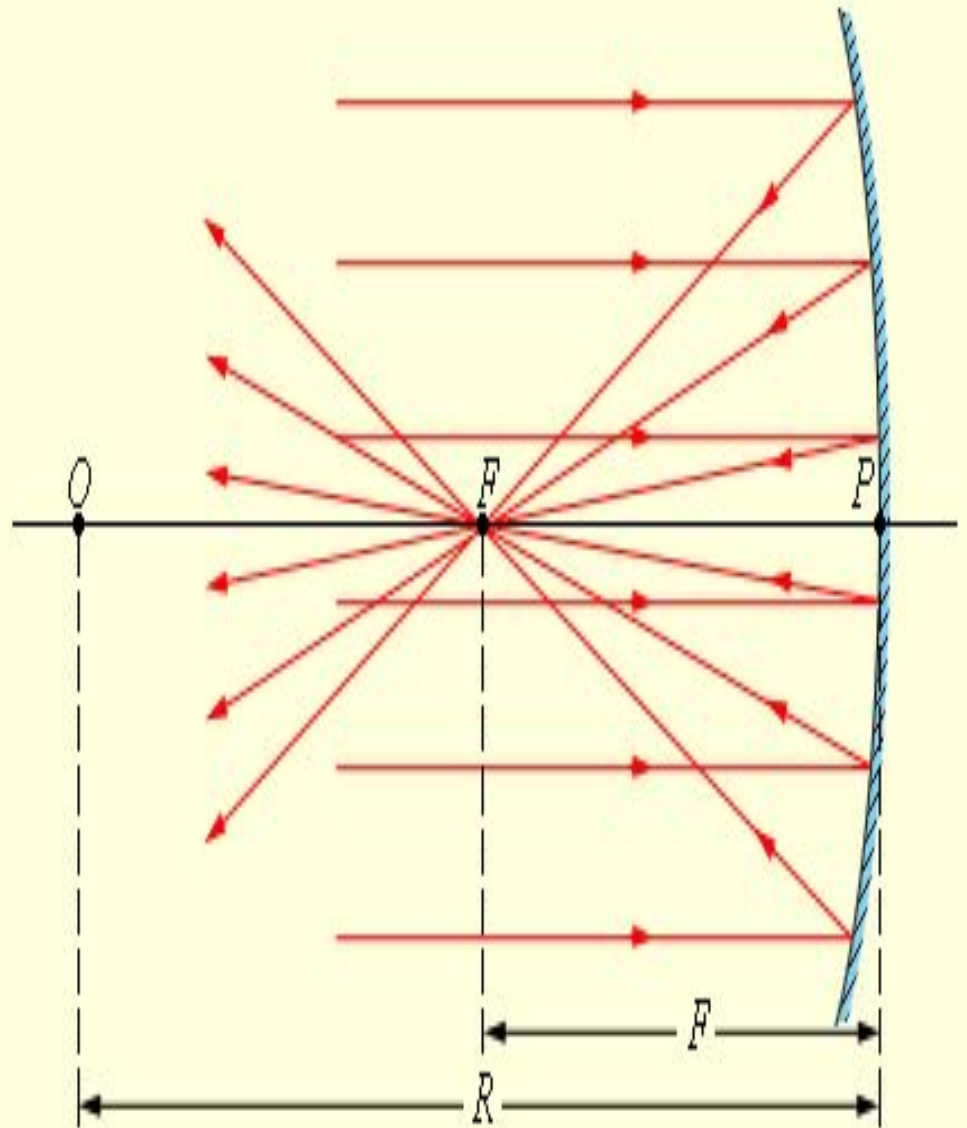
- При переходе света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную  $n_2 < n_1$  (например, из стекла в воздух) можно наблюдать явление **полного отражения**, то есть исчезновение преломленного луча. Это явление наблюдается при углах падения, превышающих некоторый критический угол  $\alpha_{\text{пр}}$ , который называется **предельным углом полного внутреннего отражения**

# Зеркала

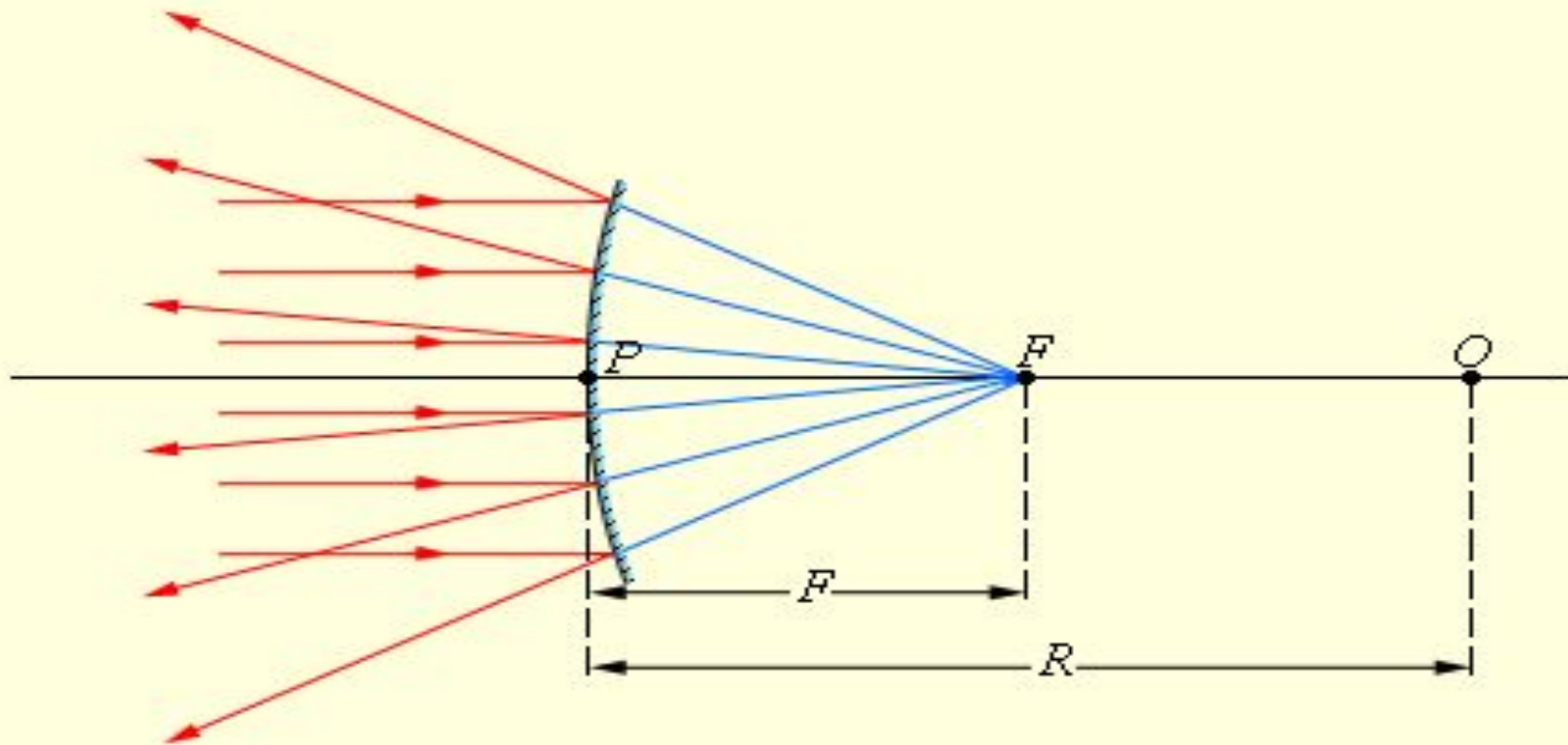
- Простейшим оптическим устройством, способным создавать изображение предмета, является **плоское зеркало**. Изображение предмета, даваемое плоским зеркалом, формируется за счет лучей, отраженных от зеркальной поверхности. Это изображение является **мнимым**, так как оно образуется пересечением не самих отраженных лучей, а их продолжений в «зазеркалье».



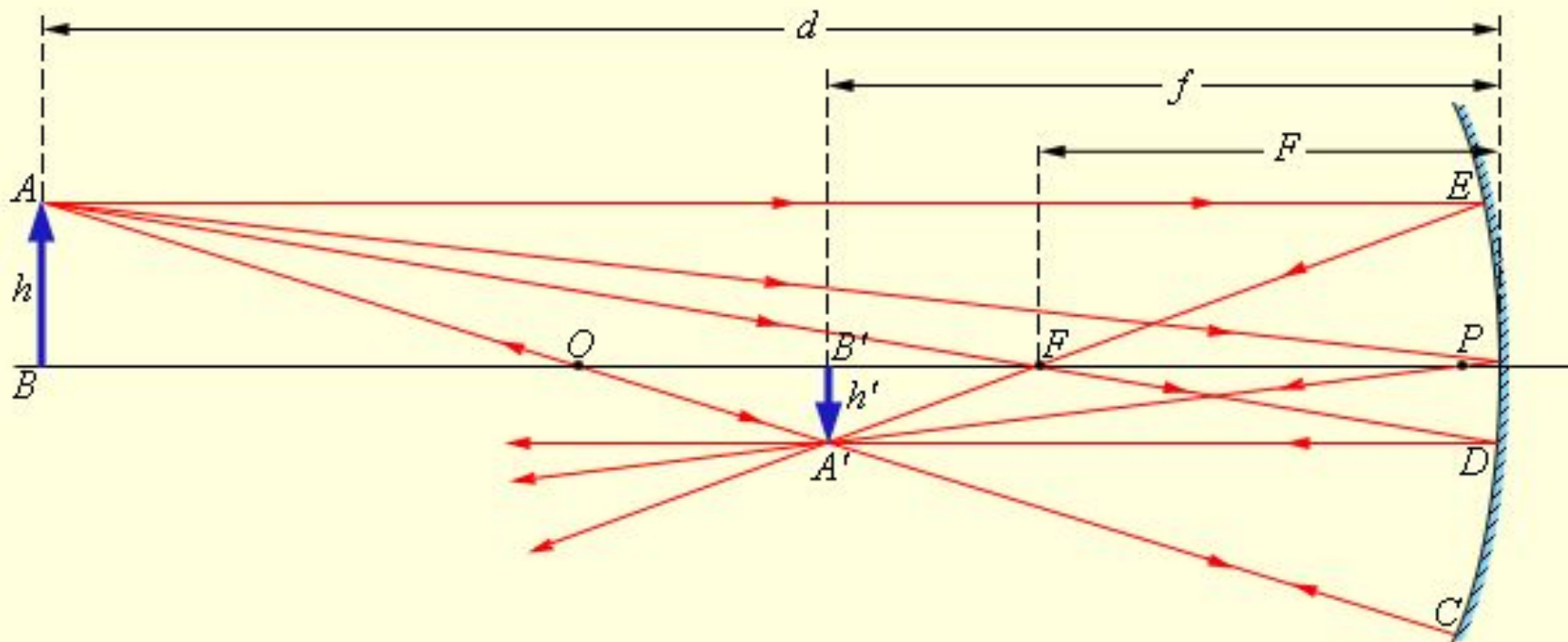
- **Сферическим зеркалом** называют зеркально отражающую поверхность, имеющую форму сферического сегмента. Центр сферы, из которой вырезан сегмент, называют **оптическим центром зеркала**. Вершину сферического сегмента называют **полюсом**. Прямая, проходящая через оптический центр и полюс зеркала, называется **главной оптической осью** сферического зеркала. Главная оптическая ось выделена из всех других прямых, проходящих через оптический центр, только тем, что она является осью симметрии зеркала.
- Сферические зеркала бывают **вогнутыми** и **выпуклыми**.







- Отражение параллельного пучка лучей от выпуклого зеркала.  $F$  – мнимый фокус зеркала,  $O$  – оптический центр;  $OP$  – главная оптическая ось.



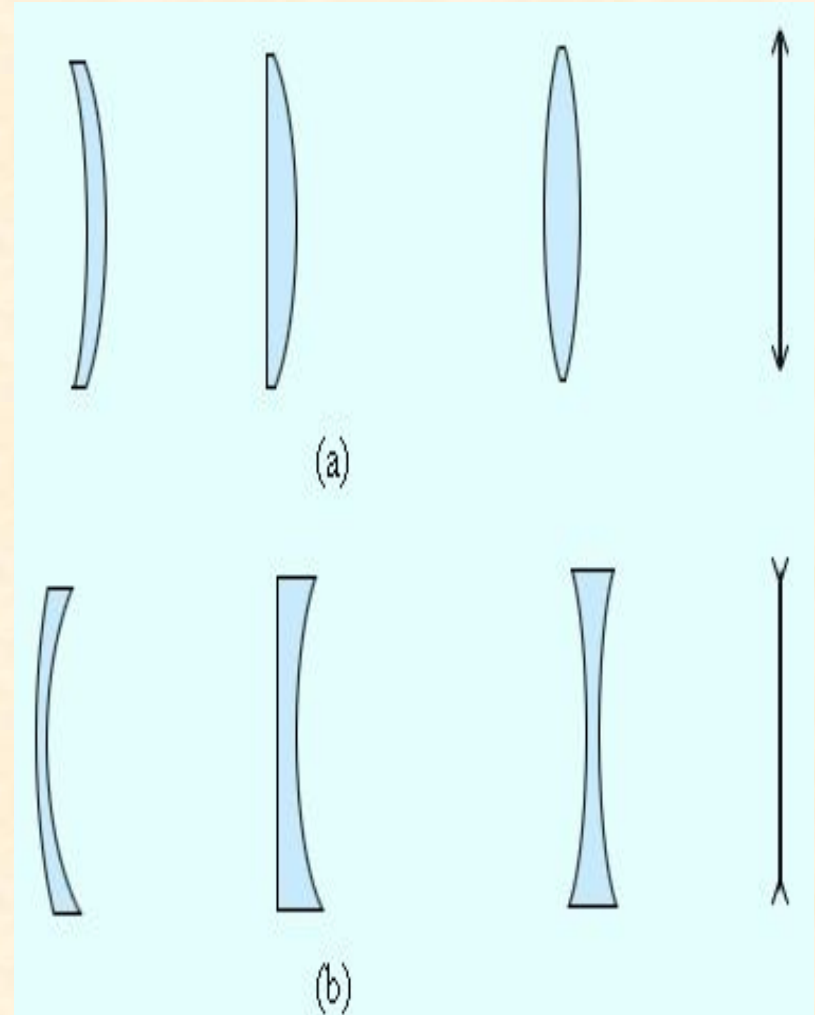
- Построение изображения в вогнутом сферическом зеркале. Положение изображения и его размер можно также определить с помощью **формулы сферического зеркала**:

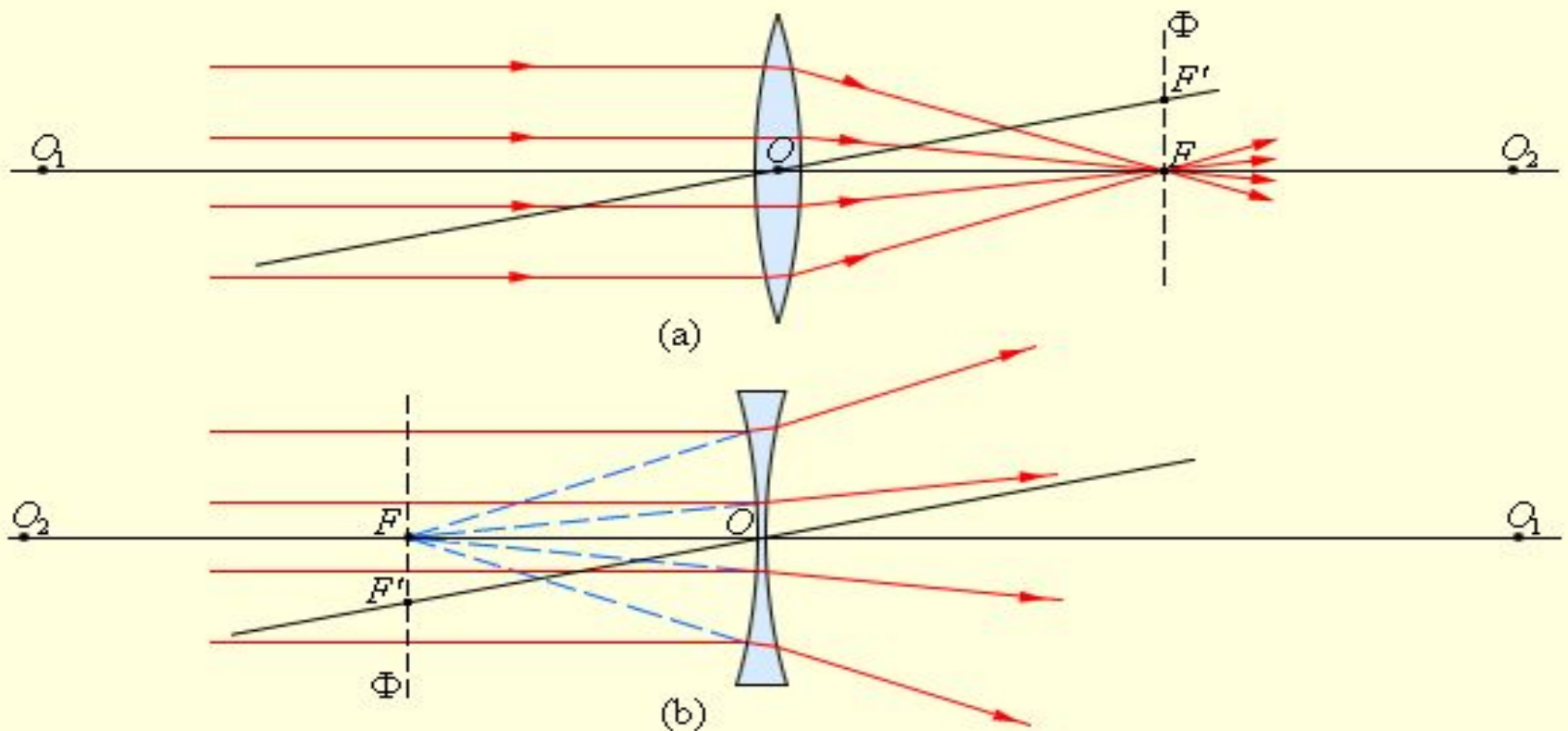
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$$

- Здесь  $d$  – расстояние от предмета до зеркала,  $f$  – расстояние от зеркала до изображения. Величины  $d$  и  $f$  подчиняются определенному правилу знаков:  
 $d > 0$  и  $f > 0$  – для действительных предметов и изображений;  
 $d < 0$  и  $f < 0$  – для мнимых предметов и изображений.

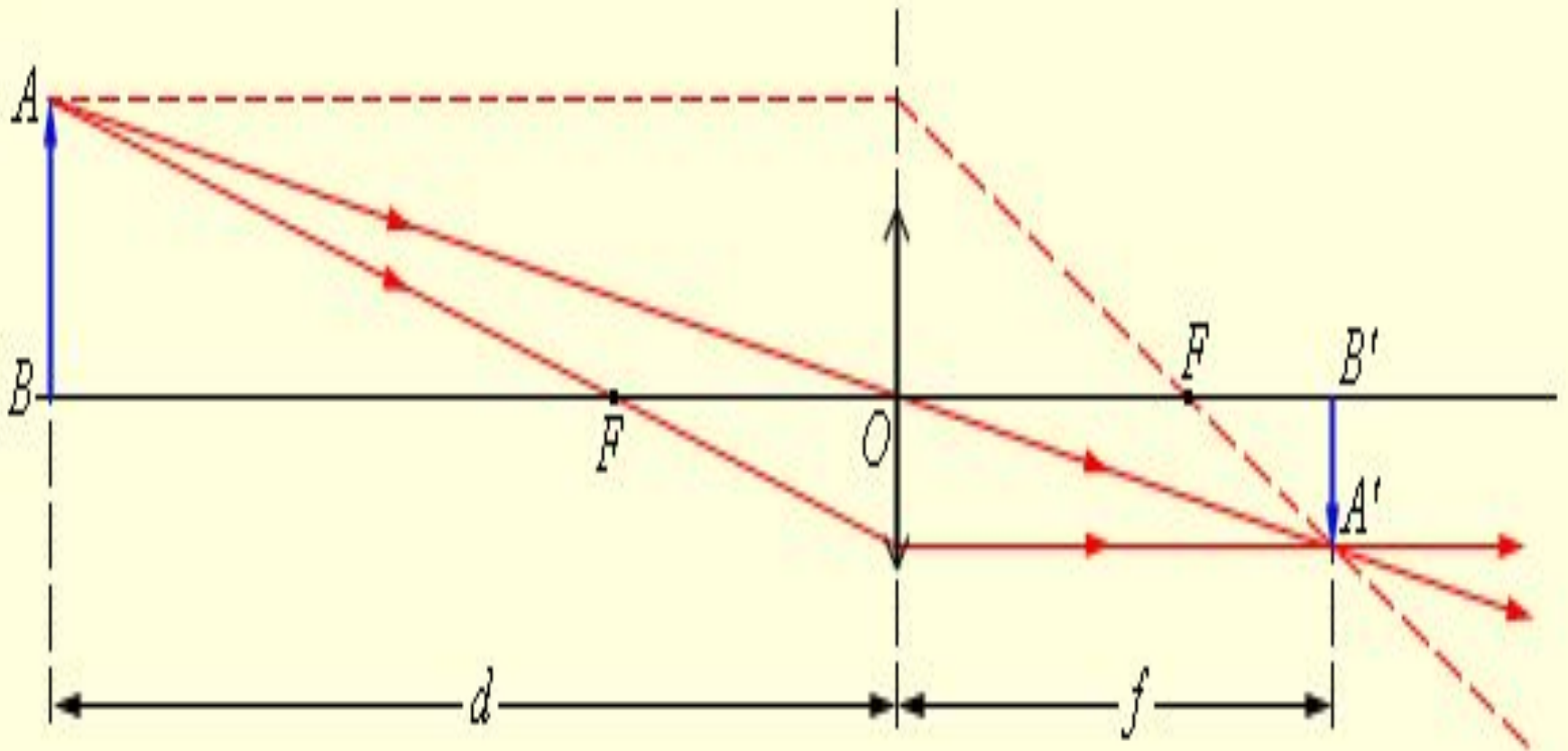
# Тонкие линзы

- **Линзой** называется прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями. Если толщина самой линзы мала по сравнению с радиусами кривизны сферических поверхностей, то линзу называют **тонкой**.
- Линзы входят в состав практически всех оптических приборов. Линзы бывают **собирающими** и **рассеивающими**. Собирающая линза в середине толще, чем у краев, рассеивающая линза, наоборот, в средней части тоньше

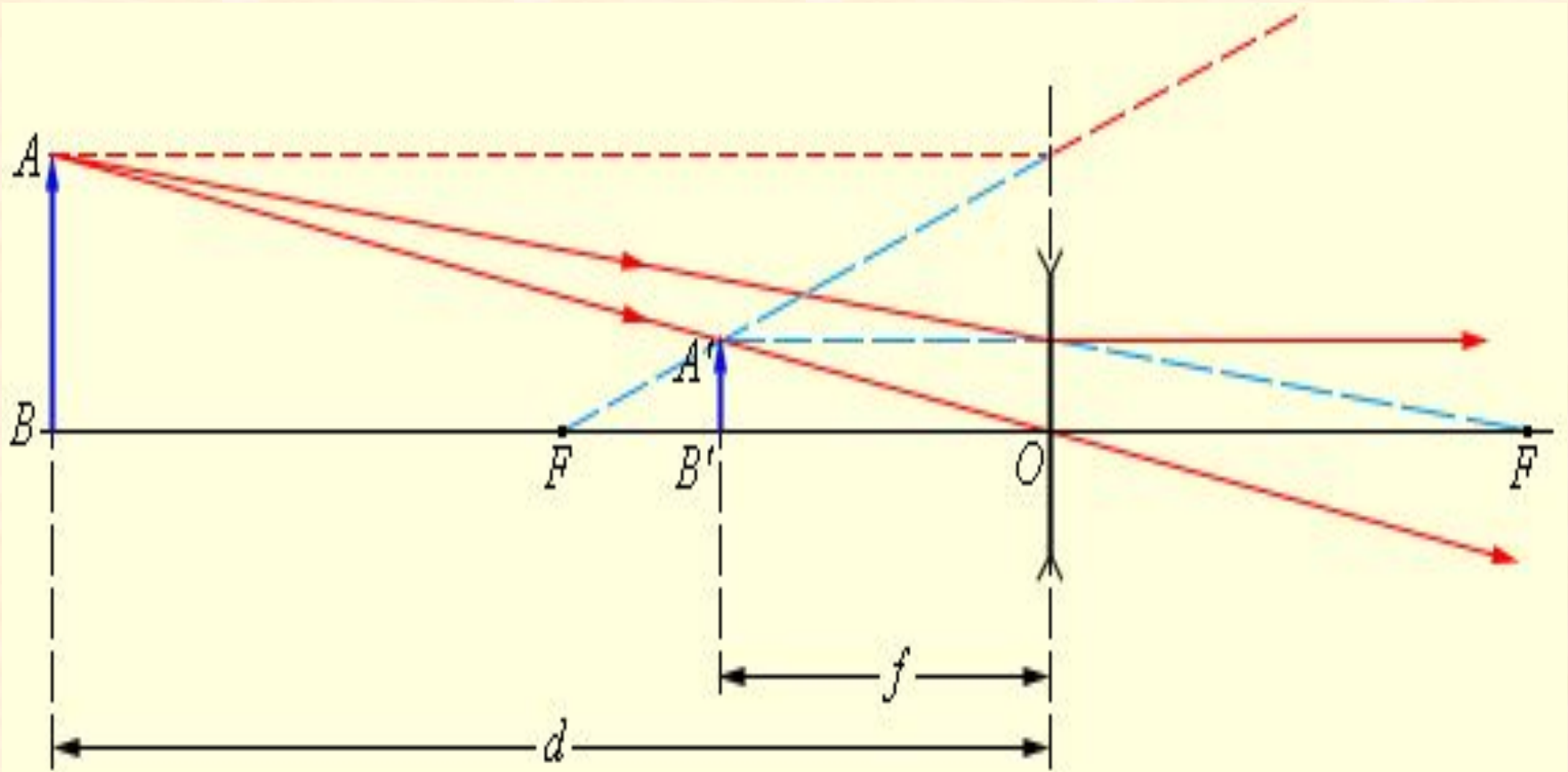




- Преломление параллельного пучка лучей в собирающей (a) и рассеивающей (b) линзах. Точки  $O_1$  и  $O_2$  – центры сферических поверхностей,  $O_1O_2$  – главная оптическая ось,  $O$  – оптический центр,  $F$  – главный фокус,  $F'$  – побочный фокус,  $OF'$  – побочная оптическая ось,  $\Phi$  – фокальная плоскость.
- Основное свойство линз – способность давать **изображения предметов**. Изображения бывают **прямыми** и **перевернутыми**, **действительными** и **мнимыми**, **увеличенными** и **уменьшенными**.



- Построение изображения в собирающей линзе.



- Построение изображения в рассеивающей линзе.

- Изображения можно также рассчитать с помощью **формулы тонкой линзы**. Если расстояние от предмета до линзы обозначить через  $d$ , а расстояние от линзы до изображения через  $f$ , то формулу тонкой линзы можно записать в виде:

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

- Величину  $D$ , обратную фокусному расстоянию, называют **оптической силой** линзы. Единица измерения оптической силы является 1 **диоптрия** (дптр). Диоптрия – оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м:
- 1 дптр =  $\text{м}^{-1}$ .

- Фокусным расстояниям линз принято приписывать определенные знаки: для собирающей линзы  $F > 0$ , для рассеивающей  $F < 0$ .
- Величины  $d$  и  $f$  также подчиняются определенному правилу знаков:  
 $d > 0$  и  $f > 0$  – для действительных предметов (то есть реальных источников света, а не продолжений лучей, сходящихся за линзой) и изображений;  
 $d < 0$  и  $f < 0$  – для мнимых источников и изображений.
- В зависимости от положения предмета по отношению к линзе изменяются линейные размеры изображения. **Линейным увеличением** линзы  $\Gamma$  называют отношение линейных размеров изображения  $h'$  и предмета  $h$ . Величине  $h'$ , как и в случае сферического зеркала, удобно приписывать знаки плюс или минус в зависимости от того, является изображение прямым или перевернутым. Величина  $h$  всегда считается положительной. Поэтому для прямых изображений  $\Gamma > 0$ , для перевернутых  $\Gamma < 0$ .

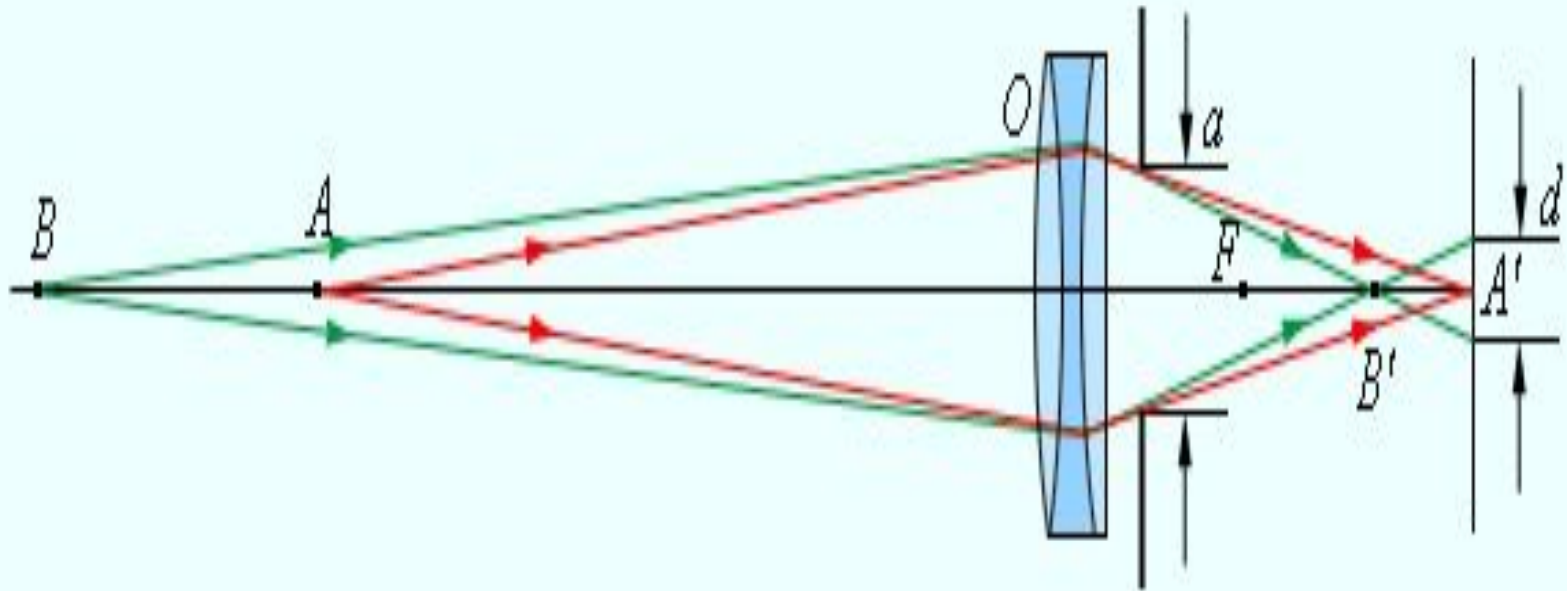
$$\Gamma = \frac{h'}{h} = -\frac{f}{d}$$



- Оптическая сила  $D$  линзы зависит как от радиусов кривизны  $R_1$  и  $R_2$  ее сферических поверхностей, так и от показателя преломления  $n$  материала, из которого изготовлена линза. В курсах оптики доказывается следующая формула:

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

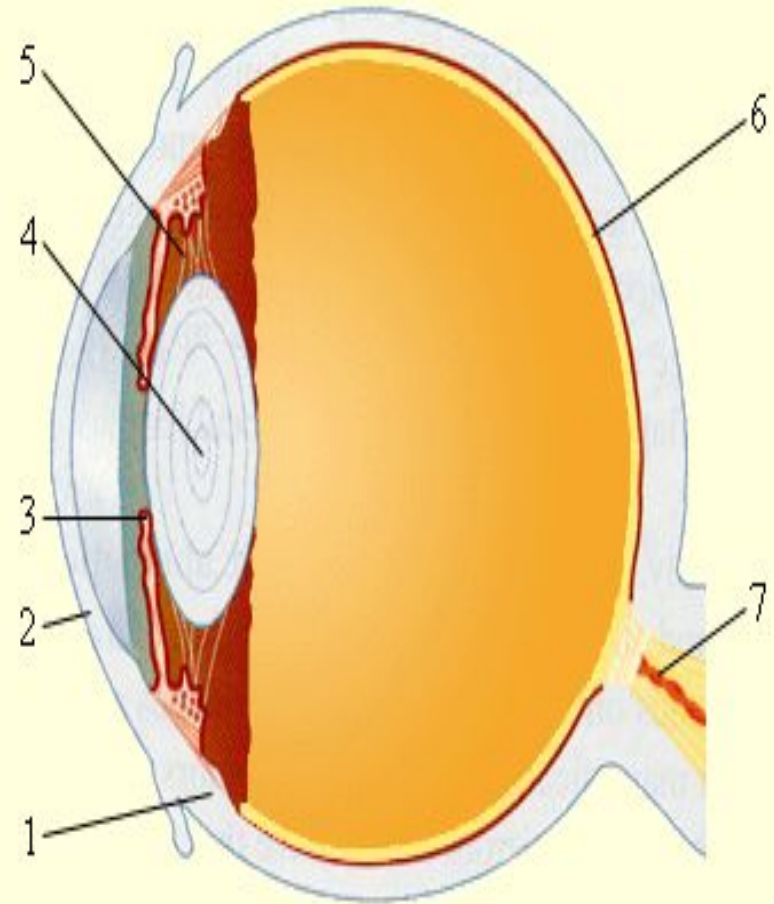
- Радиус кривизны выпуклой поверхности считается положительным, вогнутой – отрицательным. Эта формула используется при изготовлении линз с заданной оптической силой.



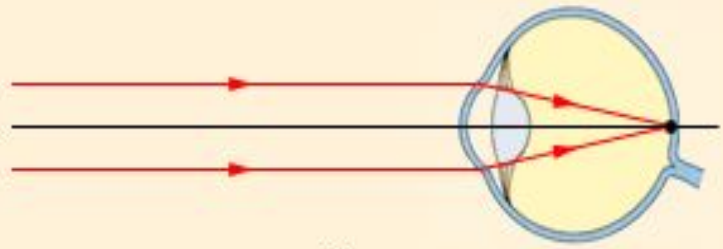
- **Фотоаппарат** представляет собой замкнутую светонепроницаемую камеру. Изображение фотографируемых предметов создается на фотопленке системой линз, которая называется **объективом**. Специальный затвор позволяет открывать объектив на время экспозиции.
- Особенностью работы фотоаппарата является то, что на плоской фотопленке должны получаться достаточно резкими изображения предметов, находящихся на разных расстояниях.

# Глаз как оптический инструмент

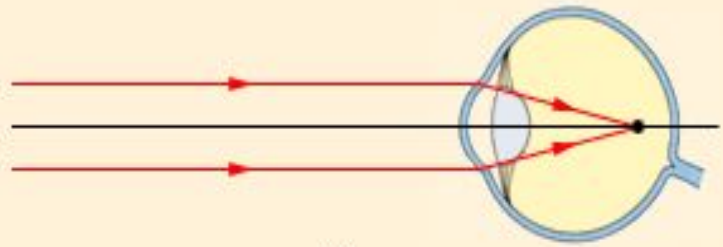
Глаз имеет почти шарообразную форму и диаметр около 2,5 см. Снаружи он покрыт защитной оболочкой 1 белого цвета – **склерой**. Передняя прозрачная часть 2 склеры называется **роговицей**. На некотором расстоянии от нее расположена **радужная оболочка** 3, окрашенная пигментом. Отверстие в радужной оболочке представляет собой **зрачок**. В зависимости от интенсивности падающего света зрачок рефлекторно изменяет свой диаметр приблизительно от 2 до 8 мм, т.е. действует подобно диафрагме фотоаппарата. Между роговицей и радужной оболочкой находится прозрачная жидкость. За зрачком находится **хрусталик** 4 – эластичное линзоподобное тело. Особая мышца 5 может изменять в некоторых пределах форму хрусталика, изменяя тем самым его оптическую силу. Остальная часть глаза заполнена стекловидным телом. Задняя часть глаза – глазное дно, оно покрыто **сетчатой оболочкой** 6, представляющей собой сложное разветвление **зрительного нерва** 7 с нервными окончаниями – **палочками** и **колбочками**, которые являются светочувствительными элементами.



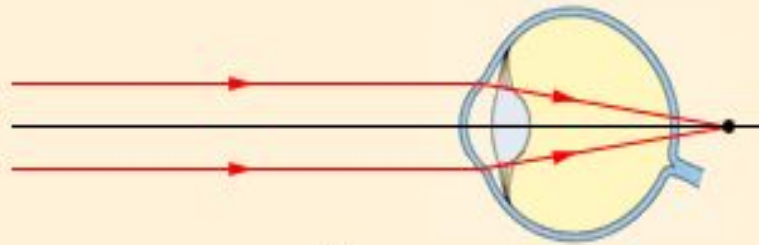
- Приспособление глаза к изменению положения наблюдаемого предмета называется **аккомодацией**.
- **Область аккомодации** глаза можно определить положением двух точек:
- **дальняя точка аккомодации** определяется положением предмета, изображение которого получается на сетчатке при расслабленной глазной мышце. У **нормального глаза** дальняя точка аккомодации находится в бесконечности.
- **ближняя точка аккомодации** – расстояние от рассматриваемого предмета до глаза при максимальном напряжении глазной мышцы. Ближняя точка нормального глаза располагается на расстоянии 10–20 см от глаза. С возрастом это расстояние увеличивается.
- Кроме этих двух точек, определяющих границы области аккомодации, у глаза существует **расстояние наилучшего зрения**, т. е. расстояние от предмета до глаза, при котором удобнее всего (без чрезмерного напряжения) рассматривать детали предмета (например, читать мелкий текст). Это расстояние у нормального глаза условно полагают равным 25 см.
- При нарушении зрения изображения удаленных предметов в случае ненапряженного глаза могут оказаться либо перед сетчаткой (**близорукость**), либо за сетчаткой (**дальнозоркость**).



(a)

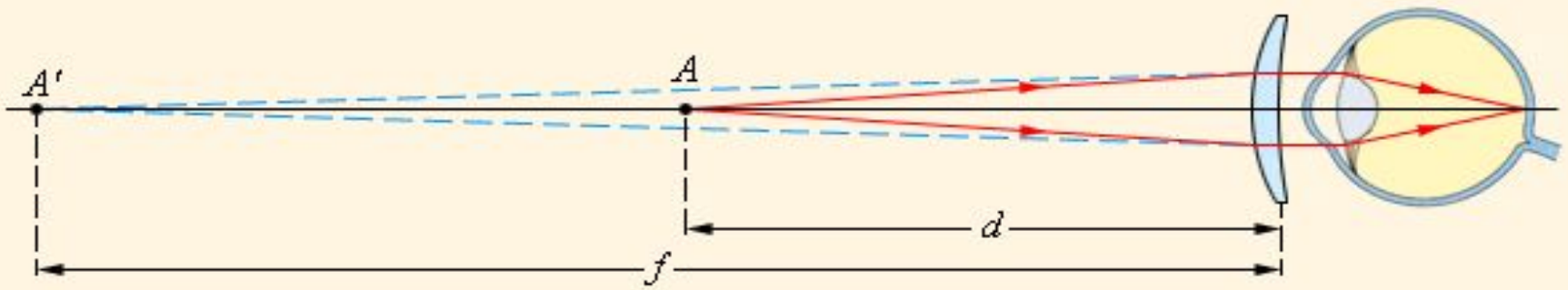


(b)

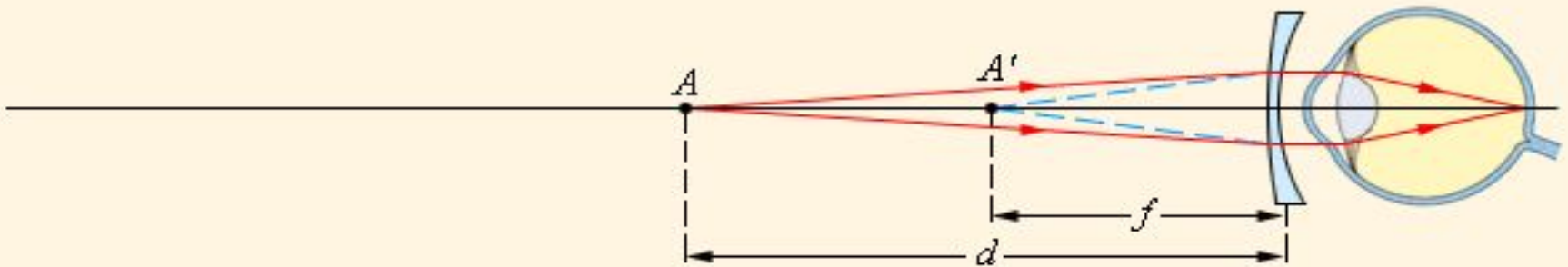


(c)

- Изображение удаленного предмета в глазе:  
а – нормальный глаз; б – близорукий глаз;  
с – дальнозоркий глаз.



(a)



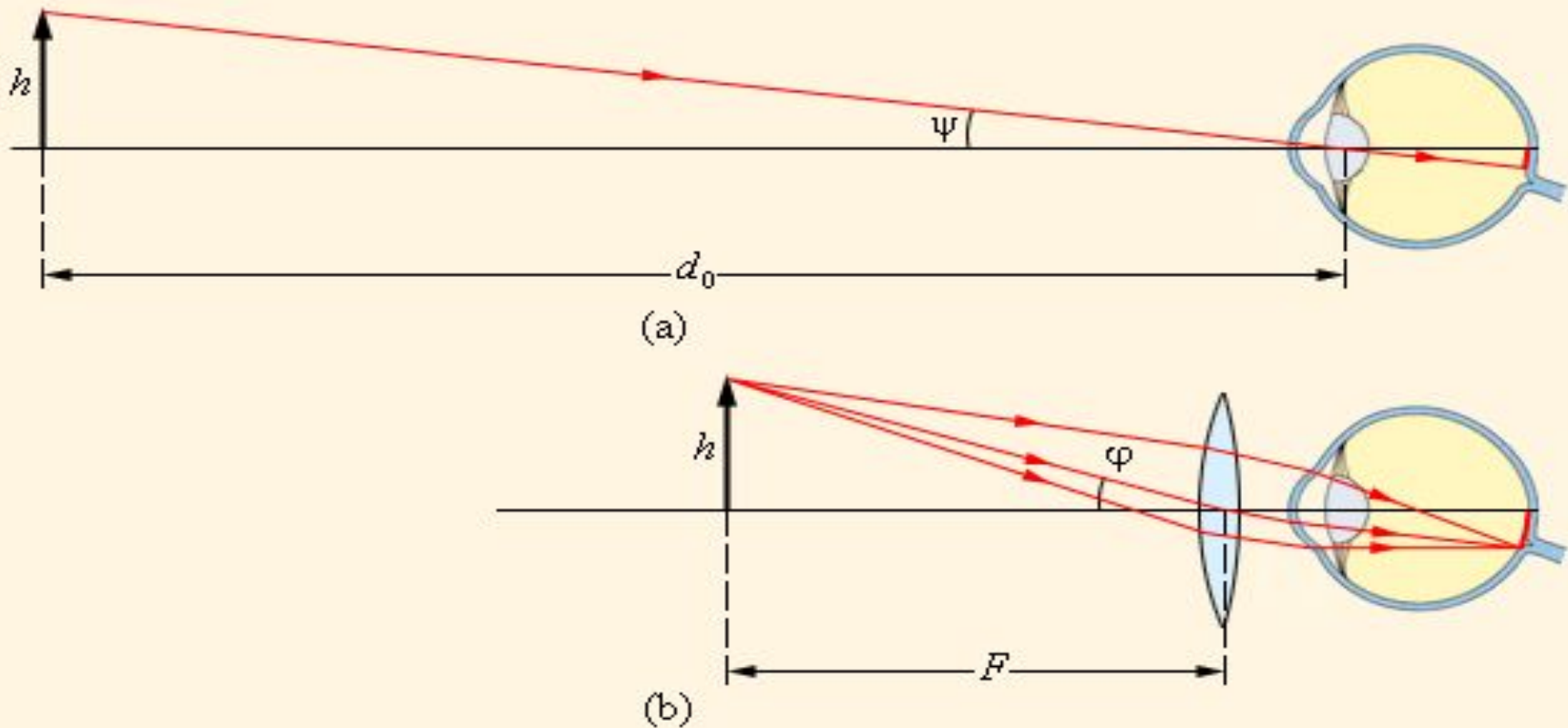
(b)

- Подбор очков для чтения для дальнозоркого (a) и близоручого (b) глаза. Предмет  $A$  располагается на расстоянии  $d = d_0 = 25$  см наилучшего зрения нормального глаза. Мнимое изображение  $A'$  располагается на расстоянии  $f$ , равном расстоянию наилучшего зрения данного глаза.

# Оптические приборы для визуальных наблюдений

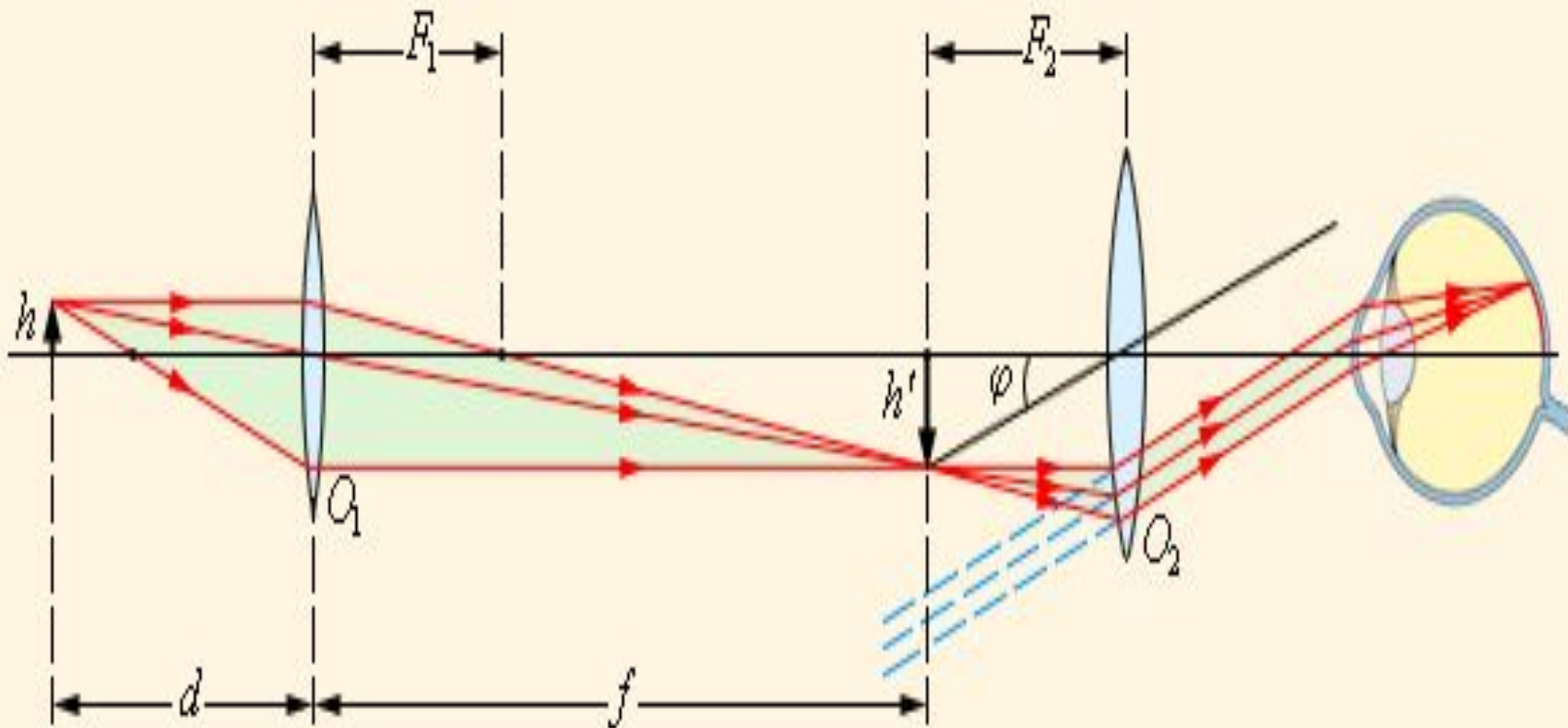
- Для невооруженного глаза наименьший угол зрения приблизительно равен  $1'$ . Этот угол определяется мозаичным строением сетчатки, а также волновыми свойствами света. Существует ряд приборов, предназначенных для увеличения угла зрения – лупа, микроскоп, зрительная труба.
- Отношение угла зрения  $\varphi$  при наблюдении предмета через оптический прибор к углу зрения  $\psi$  при наблюдении невооруженным глазом называется ***угловым увеличением***:

$$\gamma = \frac{\varphi}{\psi}.$$



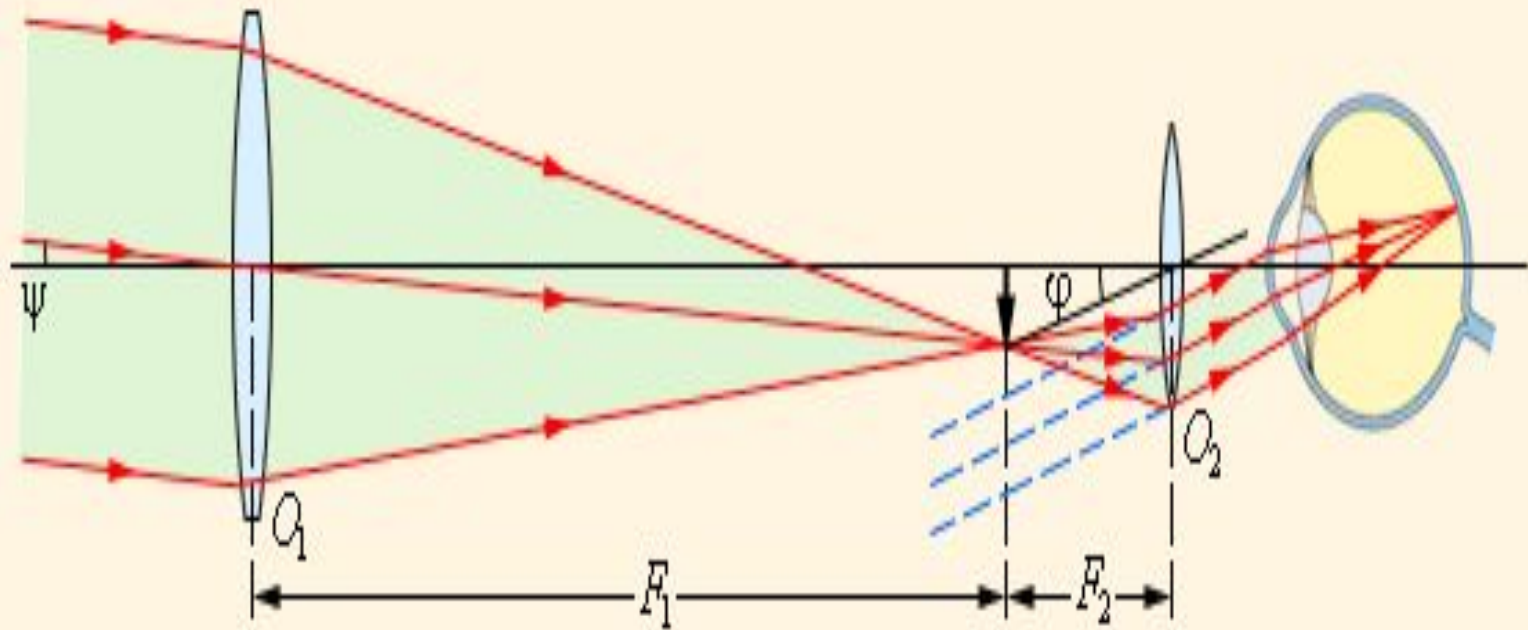
- Действие лупы: а – предмет рассматривается невооруженным глазом с расстояния наилучшего зрения  $d_0 = 25$  см; б – предмет рассматривается через лупу с фокусным расстоянием  $F$ .





- Ход лучей в микроскопе.
- формула для углового увеличения  $\gamma$  микроскопа

$$\gamma = \frac{\varphi}{\psi} = \frac{l \cdot d_0}{F_1 \cdot F_2}$$



- Телескопы (**зрительные трубы**) предназначены для наблюдения удаленных объектов. Они состоят из двух линз – обращенной к предмету собирающей линзы с большим фокусным расстоянием (объектив) и линзы с малым фокусным расстоянием (окуляр), обращенной к наблюдателю. Зрительные трубы бывают двух типов:
- **Зрительная труба Кеплера**, предназначенная для астрономических наблюдений. Она дает увеличенные **перевернутые** изображения удаленных предметов и поэтому неудобна для земных наблюдений.
- **Зрительная труба Галилея**, предназначенная для земных наблюдений, дающая увеличенные **прямые** изображения. Окуляром в трубе Галилея служит рассеивающая линза.