Школа РОСАТОМА

Курс дистанционного обучения
Физика

Лекция 13

Геометрическая оптика

А.С.Ольчак, к.ф.-м.н., доцент,
кафедра «Общая Физика» НИЯУ МИФИ,
эксперт ЕГЭ

РОСАТОМ
TENEX
Благотворительный фонд поддержки и развития "Ренессанс"

Лекция 13: Основные темы лекции

- Отражение и преломление света
- Линзы
- Дисперсия света

Школа РОСАТОМА

Что такое «видимый свет»?

- поток квантов электромагнитного излучения (фотонов)
- электромагнитная волна
- пучок лучей, исходящих от источника света

Школа РОСАТОМА

Что такое «видимый свет»?

- поток квантов электромагнитного излучения (фотонов)
- электромагнитная волна
- пучок лучей, исходящих от источника света

Все три ответа - правильные. Свет - это электромагнитное излучение, имеющее свойства как волны, так и потока частиц, которое во многих случаях можно рассматривать как пучок «лучей».

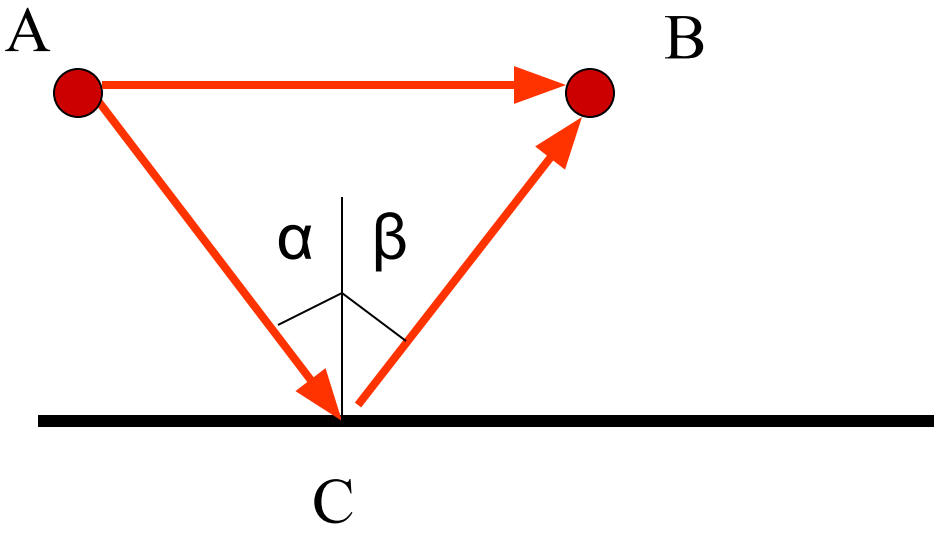
Геометрическая оптика рассматривает свет как пучок световых лучей, исходящих от источника света

Основные принципы геометрической оптики:

- **в однородной среде лучи света распространяются от точки к точке по кратчайшему пути (прямая линия)**
- **в *оптически неоднородной* среде лучи света распространяются от точки к к точке по пути, имеющему минимальную *оптическую длину* (принцип Ферма)**

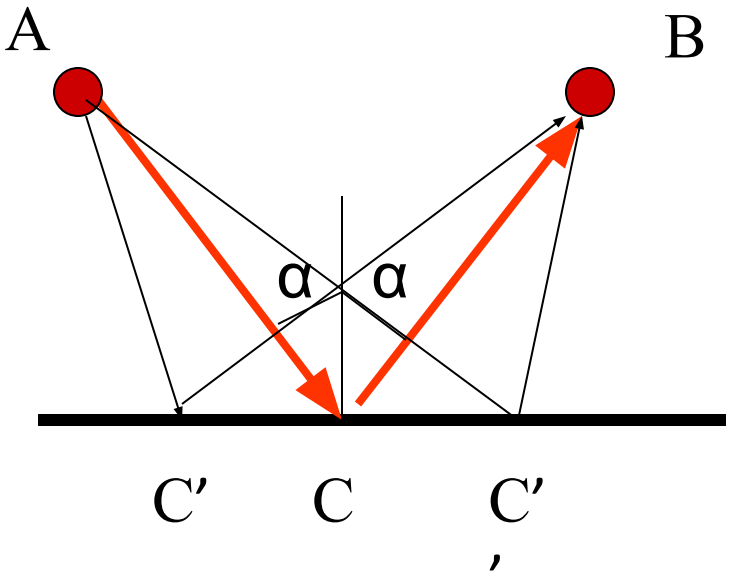
Следствие основных принципов геометрической оптики - законы отражения и преломления света.

Отражение: свойство световых лучей изменять направление распространения при взаимодействии с отражающими поверхностями (зеркалами)



Отражение: свойство световых лучей изменять направление распространения при взаимодействии с отражающими поверхностями (зеркалами)

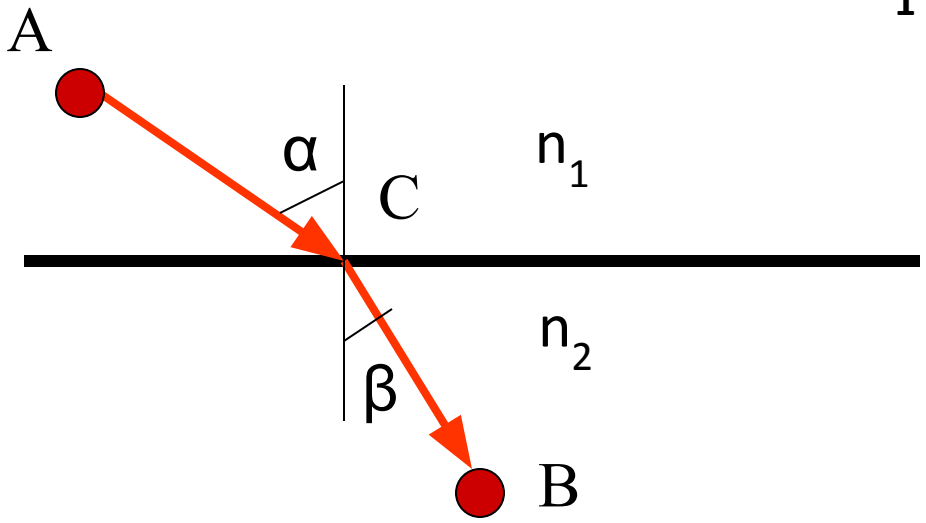
Закон отражения: угол падения луча на отражающую поверхность α равен углу его отражения β.



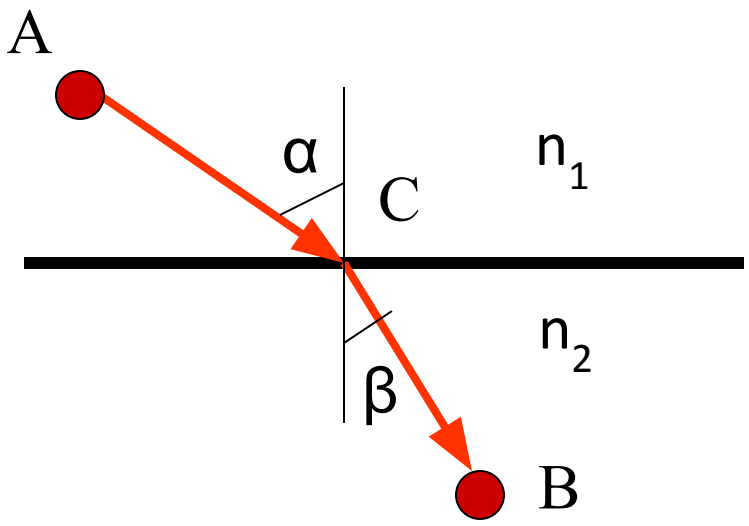
Именно при этом условии длина линии A-C-B оказывается наименьшей из длин всех ломаных линий с точками излома, расположенными на зеркале.

Следствие основных принципов геометрической оптики - законы отражения и преломления света.

Преломление: свойство световых лучей изменять направление распространения при прохождении через границу раздела двух сред с разными оптическими плотностями n_1 и n_2.



Оптическая плотность n:
безразмерная величина, характеризующая оптические свойства среды и равная отношению скорости распространения света в вакууме c к скорости распространения света в данной среде V: $n = c/V > 1$



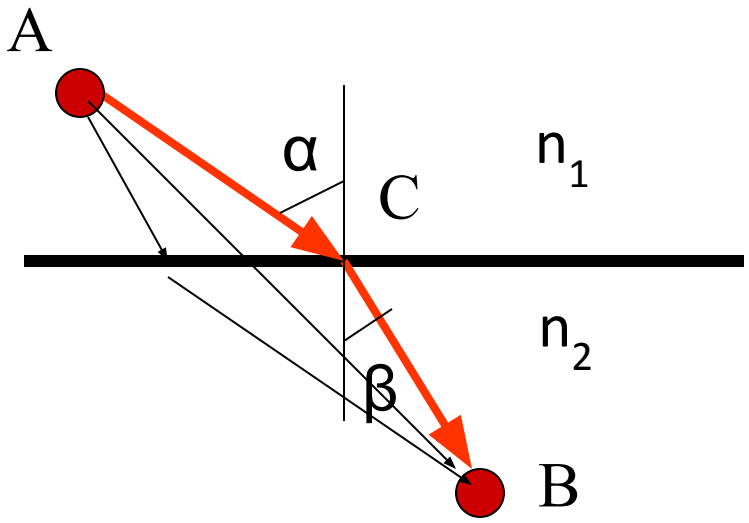
Оптическая длина: сумма произведений длин отрезков, которые проходит луч света в разных средах, на оптическую плотность этих сред.

$L_{опт} = ACn_1 + CBn_2$

Закон преломления световых лучей:

угол падения луча на преломляющую поверхность α и угол его распространения после преломления β связаны соотношением:

$n_1 \sin\alpha = n_2 \sin\beta$, или $\sin\alpha/\sin\beta = n_2/n_1 = n$ - коэффициент преломления света на границе двух сред

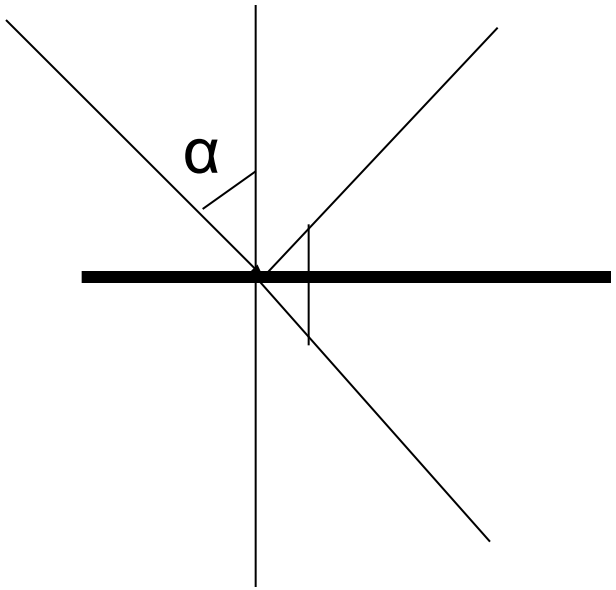


Именно при этом условии оптическая длина луча A-C-B оказывается наименьшей из всех длин ломаных линий A - B с точками излома на преломляющей поверхности.

Луч света падает на плоское зеркало под углом α. Чему равен угол между отраженным лучом и продолжением падающего луча.

1) 2 α 2) $2\alpha - 90^0$ 3) $180^0 - 2\alpha$

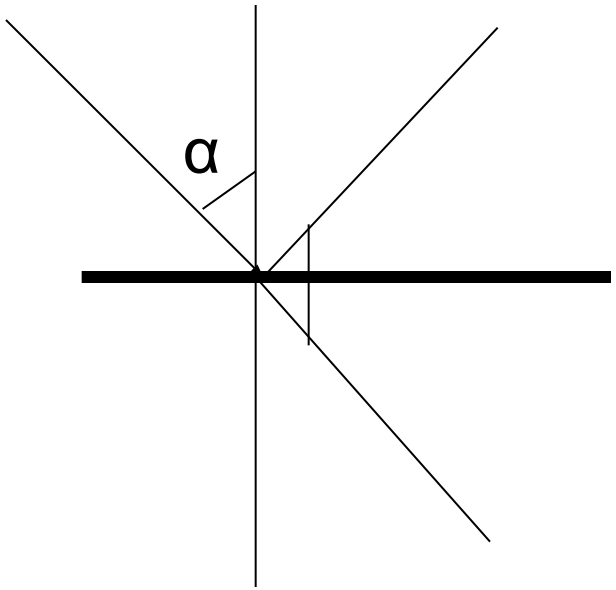
4) Все ответы неправильные



Луч света падает на плоское зеркало под углом α. Чему равен угол между отраженным лучом и продолжением падающего луча.

1) 2 α 2) 2 α – 90^0 3) 180^0 – 2α

4) Все ответы неправильные



Световые лучи падают из вакуума (воздуха) на поверхность алмаза и стекла перпендикулярно поверхности. Показатель преломления стекла меньше, чем показатель преломления алмаза. В каком случае лучи сильнее преломляются?

1) На границе воздух – алмаз
2) На границе воздух – стекло
3) На обеих границах одинаково
4) Все ответы неправильные

Световые лучи падают из вакуума (воздуха) на поверхность алмаза и стекла перпендикулярно поверхности. Показатель преломления стекла меньше, чем показатель преломления алмаза. В каком случае лучи сильнее преломляются?

1) На границе воздух – алмаз
2) На границе воздух – стекло
3) На обеих границах одинаково
4) Все ответы неправильные

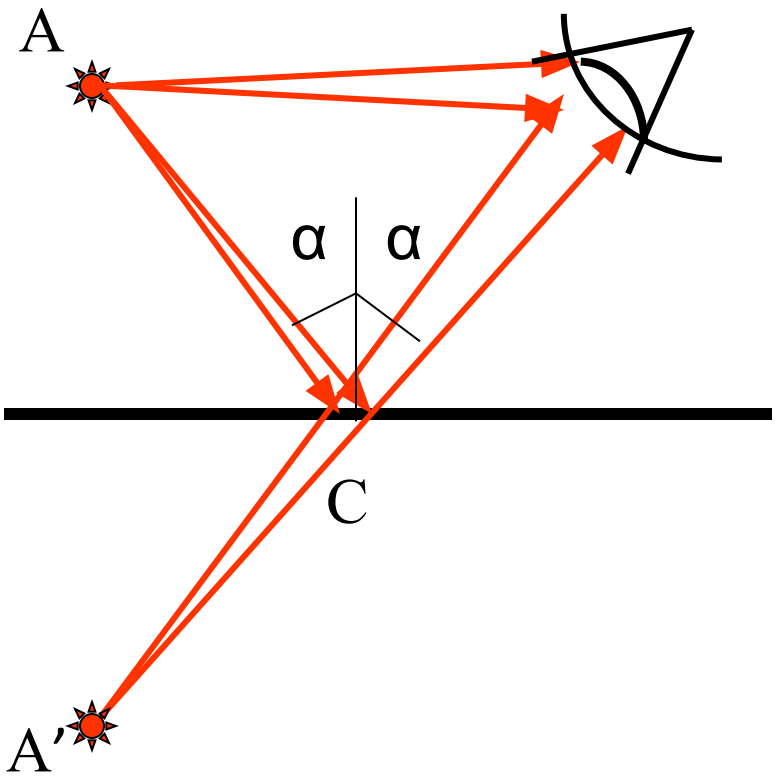
Скорость распространения света в некоторой прозрачной среде составляет половину от скорости света в вакууме. Чему равен показатель преломления этой среды?

1) 2 2) 1,41 3)4 4)правильного ответа дать нельзя

Скорость распространения света в некоторой прозрачной среде составляет половину от скорости света в вакууме. Чему равен показатель преломления этой среды?

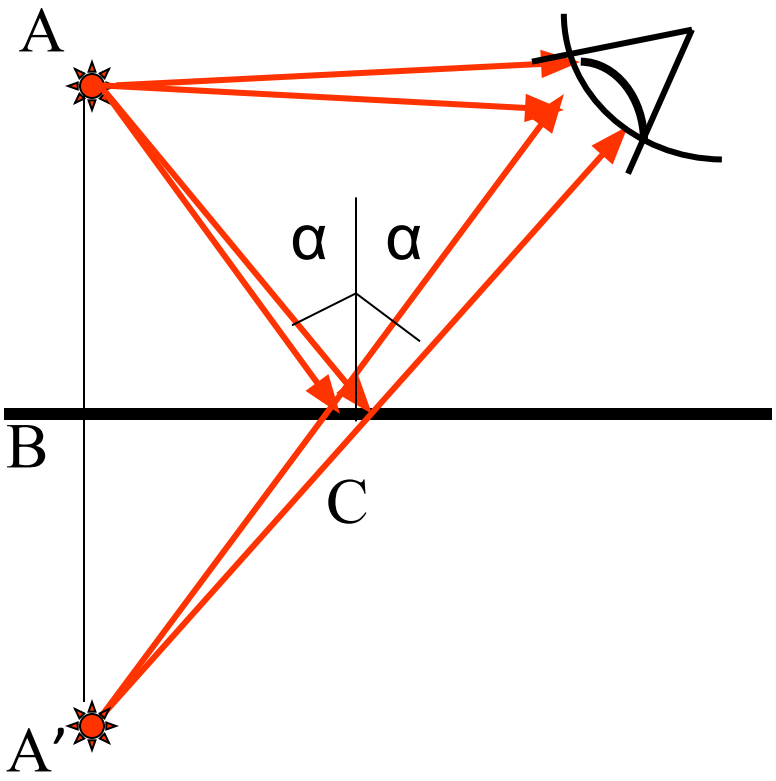
1) 2 2) 1,41 3)4 4)правильного ответа дать нельзя

Изображение: кажущееся наблюдателю местонахождение источника света.



ВАЖНО: понять, как образуется изображение и почему наблюдателю может казаться, что источник света находится совсем не там, где он находится реально, можно только рассматривая не отдельные лучи, а пучки (группы) лучей света с некоторым углом расхождения.

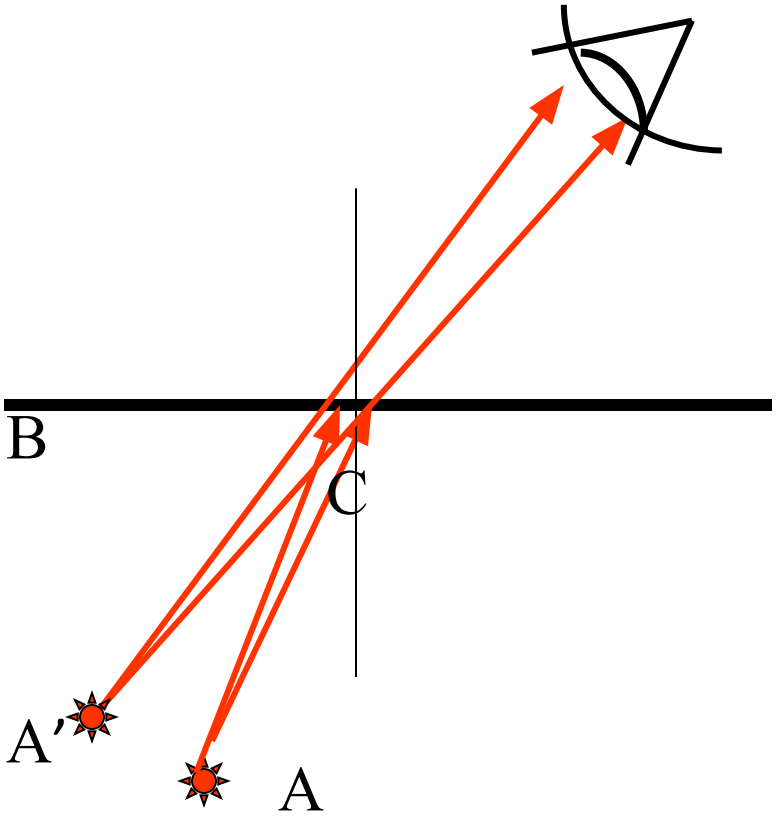
Изображение источника света (предмета), отражающегося в зеркале:



находится в воображаемой точке под поверхностью зеркала, симметричной реальному местонахождения источника света относительно поверхности зеркала

$AB = A'B$

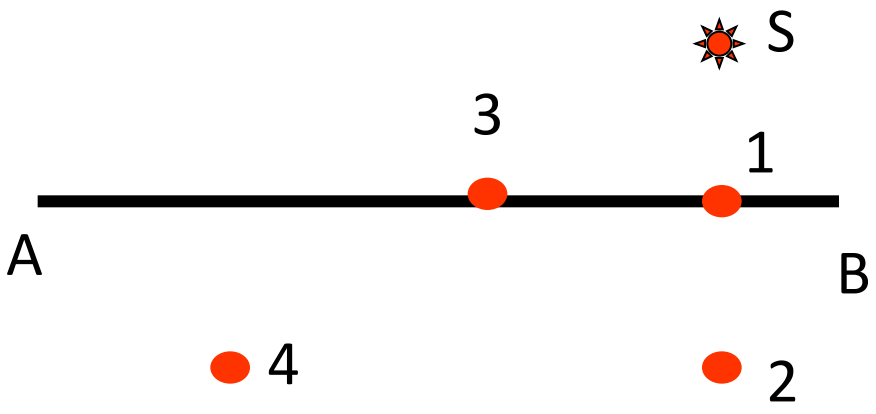
Изображение источника света (предмета), находящегося за преломляющей поверхностью (за границей раздела двух разных сред):



находится в точке, откуда наблюдателю кажется расходящимся пучок световых лучей. Эта точка будет тем сильнее смещена относительно реального месторасположения источника света, чем больше коэффициент преломления n для данной границы раздела двух сред.

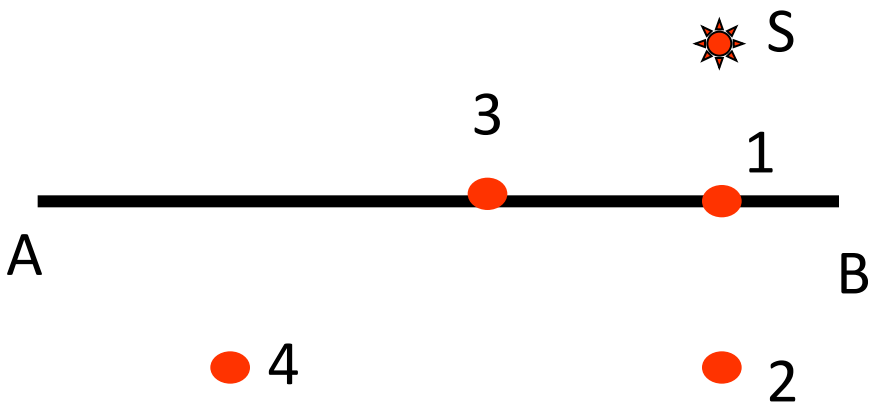
Изображение точечного источника света S в плоском зеркале АВ находится в точке

1) 1 2) 2 3)3 4)4



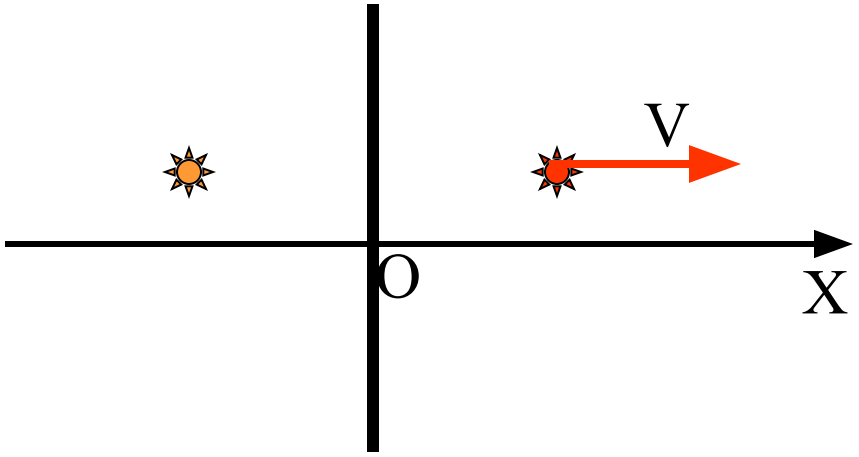
Изображение точечного источника света S в плоском зеркале АВ находится в точке

1) 1 2) 2 3)3 4)4

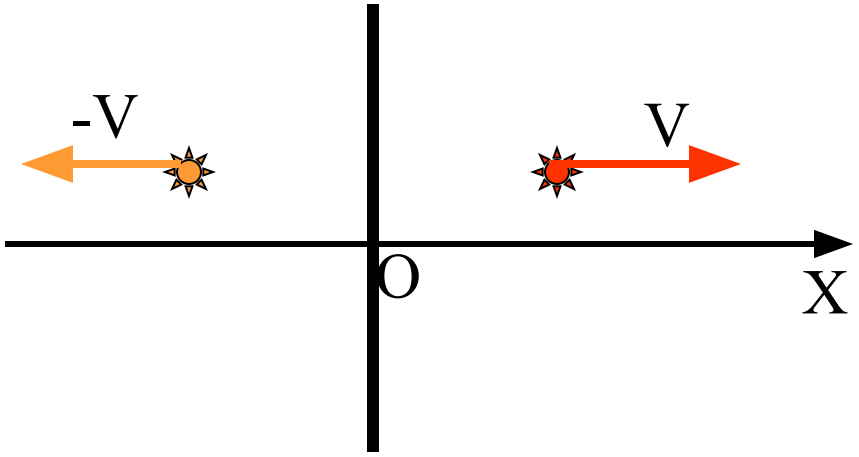


Предмет удаляется от зеркала вдоль оси OX (точка O находится на поверхности зеркала) со скоростью V. Чему равна проекция скорости движения изображения предмета на ось OX?

1. V
2. 2V
3. -V
4. -2V



Предмет удаляется от зеркала вдоль оси OX (точка O находится на поверхности зеркала) со скоростью V. Чему равна проекция скорости движения изображения предмета на ось OX?



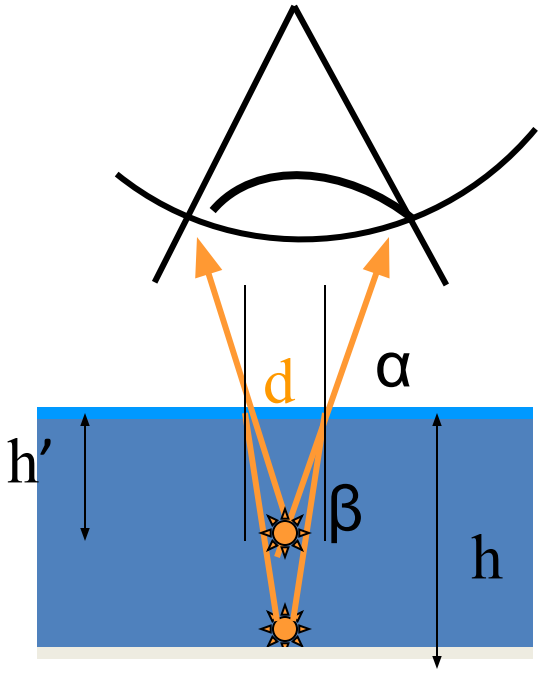
1. V
2. 2V
3. -V
4. -2V

Наблюдатель смотрит вертикально вниз и видит монетку на дне водоема, глубиной 1 метр. На какой глубине будет казаться ему она находится, если показатель преломления воды относительно воздуха равен n = 1,33 ?

1. 100 см 2. 75 см 3. 66 см 4. 150 см

Наблюдатель смотрит вертикально вниз и видит монетку на дне водоема, глубиной h = 1 метр. На какой глубине h’ будет казаться ему она находится, если показатель преломления воды относительно воздуха равен n = 1,33 ?

1. 100 см 2. 75 см 3. 66 см 4. 150 см



Пусть ширина пучка лучей у поверхности воды, попадающих в итоге в «глаз наблюдателя», равна $d \ll h, h'$.Тогда

$$d/2 = h \operatorname{tg} \beta = h' \operatorname{tg} \alpha$$

Для малых углов значения их тангенсов и синусов примерно совпадают. Следовательно

$$h' / h = \operatorname{tg} \beta / \operatorname{tg} \alpha = \sin \beta / \sin \alpha = 1 / n$$

$$h' = h / n = 75 \text{ см}$$

Школа РОСАТОМА

Полное внутреннее отражение

Закон преломления: $\sin\alpha/\sin\beta = n_2/n_1 = n$ - коэффициент преломления света на границе двух сред

Если свет идет из более оптически плотной среды идет в менее плотную (например, из под воды в воздух), то $n < 1$.

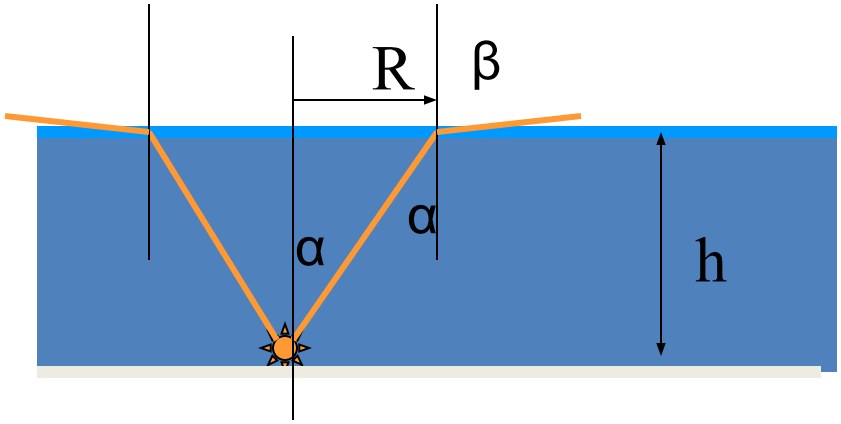
Соответственно, $\sin\beta = \sin\alpha/n$ будет <1 (как положено в математике) только если $\sin\alpha < n$.

Следствие: лучи света, исходящие от источника под большими углами не будут выходить из оптически более плотной среды, а будут полностью отражаться от границы раздела сред

На дне бассейна глубины h = 2 м расположена лампа, создающая освещенный круг на поверхности воды. Каков диаметр этого круга, если коэффициент преломления воды относительно воздуха n =1,33 ?

На дне бассейна глубины h = 2 м расположена лампа, создающая освещенный круг на поверхности воды. Каков диаметр этого круга, если коэффициент преломления воды относительно воздуха n =1,33 ?

Коэффициент преломления воздуха относительно воды будет равен 1/n = 0,75



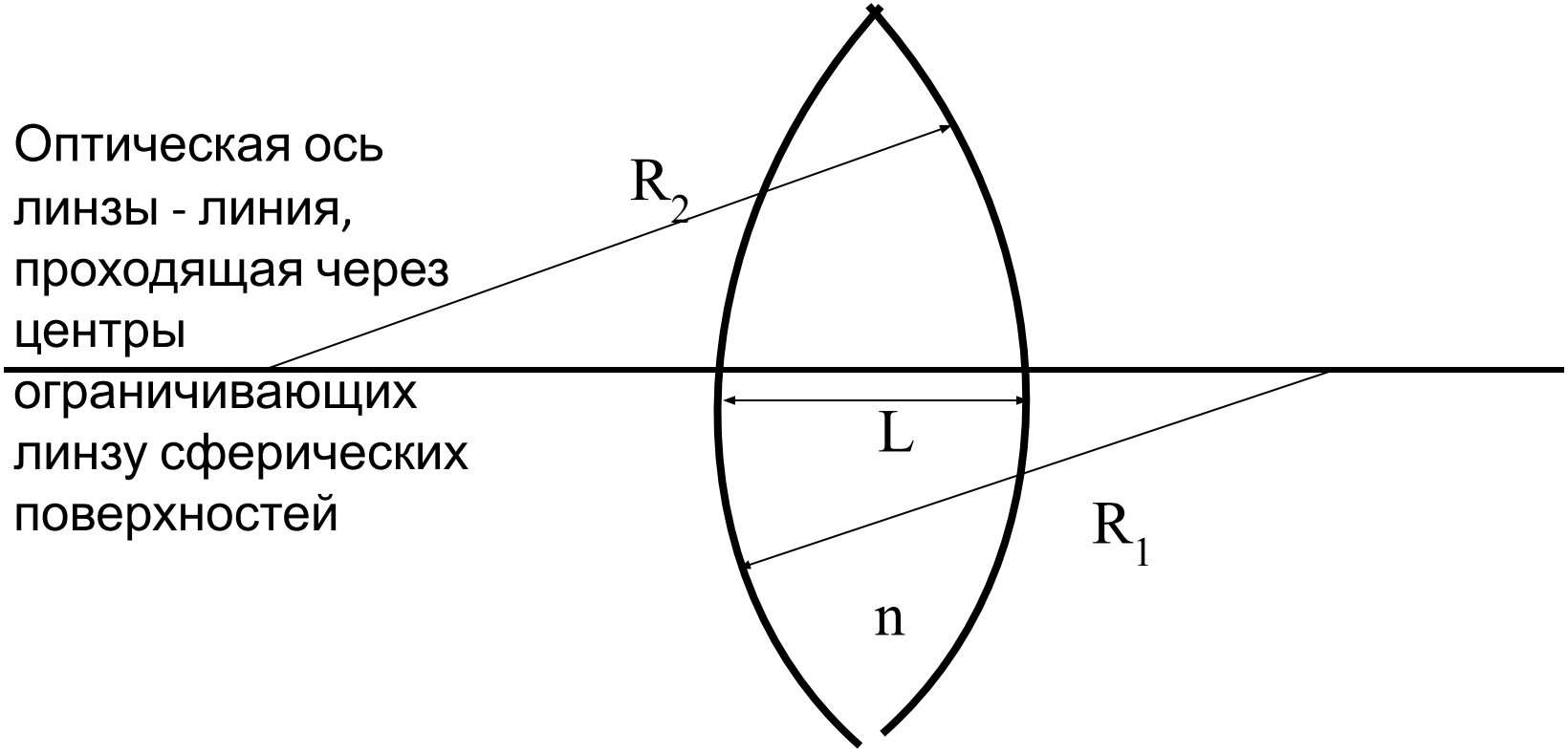
Из под поверхности воды выйдут только те лучи, для которых **sinα< 0,75.**

Следствие: R = h tg α =

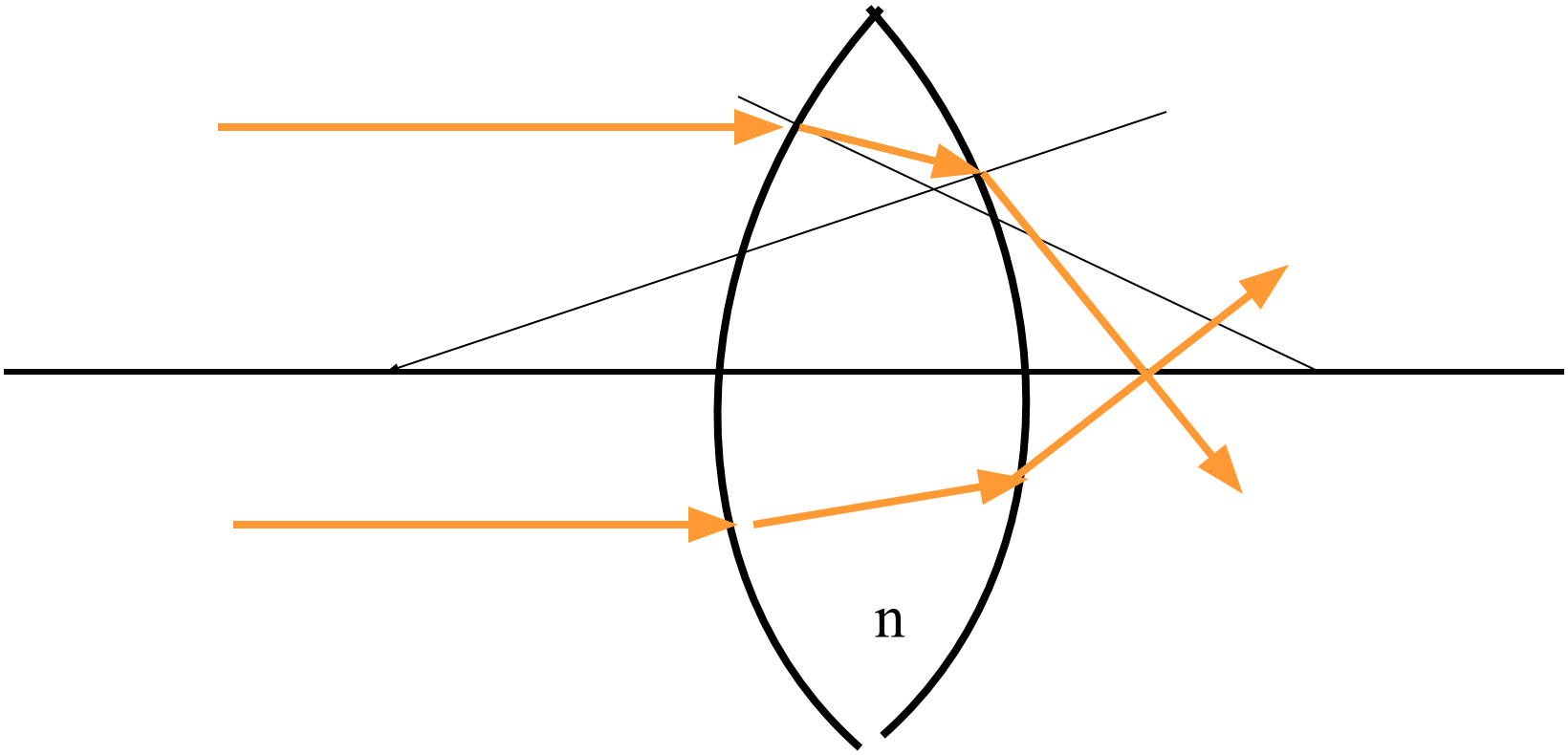
= h sin α /(1 - $\sin^2\alpha)^{1/2}$ ~ 2,6 м

Линза: объект, изготовленный из прозрачного вещества с оптической плотностью, отличной от оптической плотности окружающей среды, ограниченный двумя сферическими поверхностями.

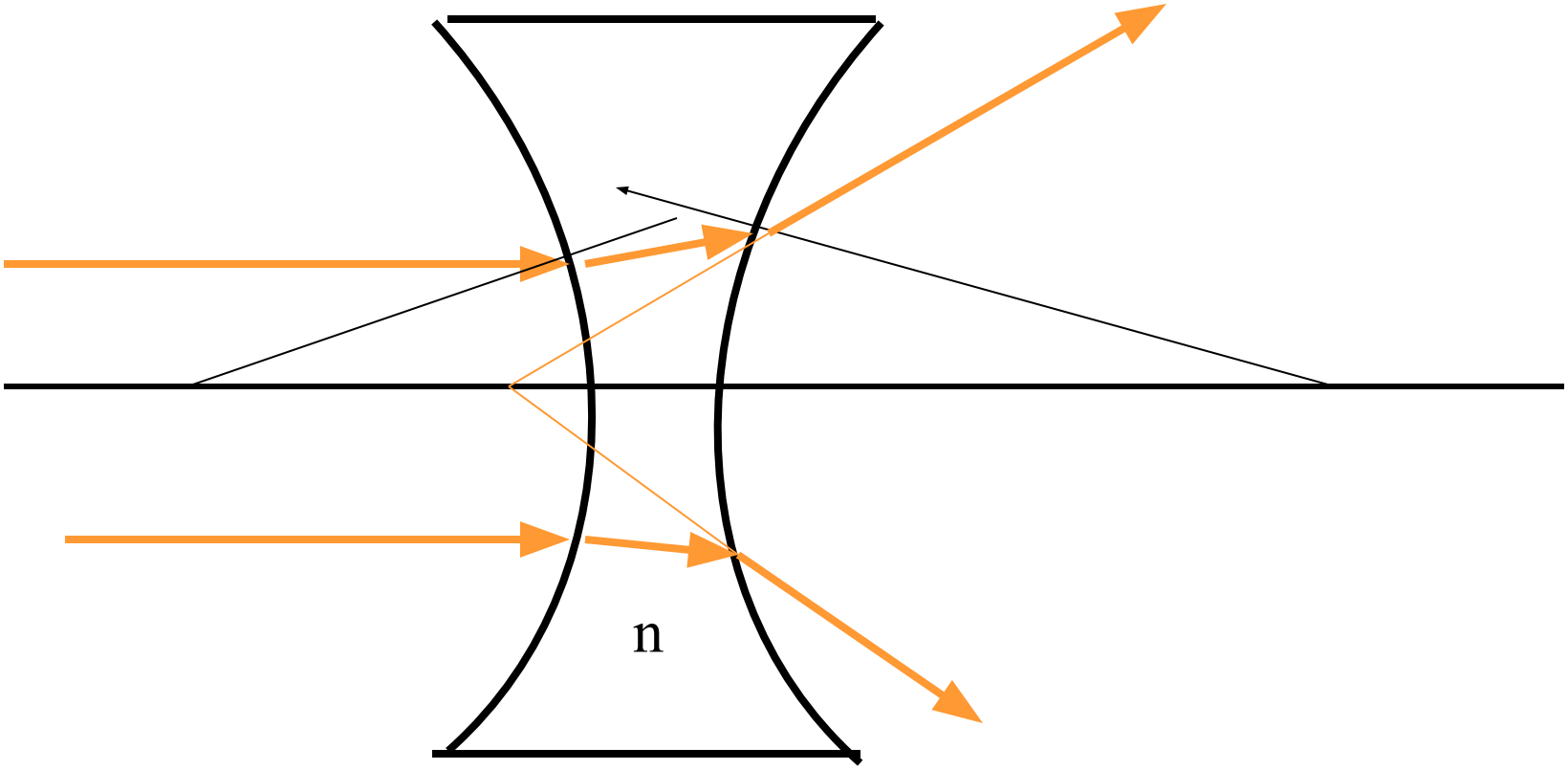
Оптическая ось линзы - линия, проходящая через центры ограничивающих линзу сферических поверхностей



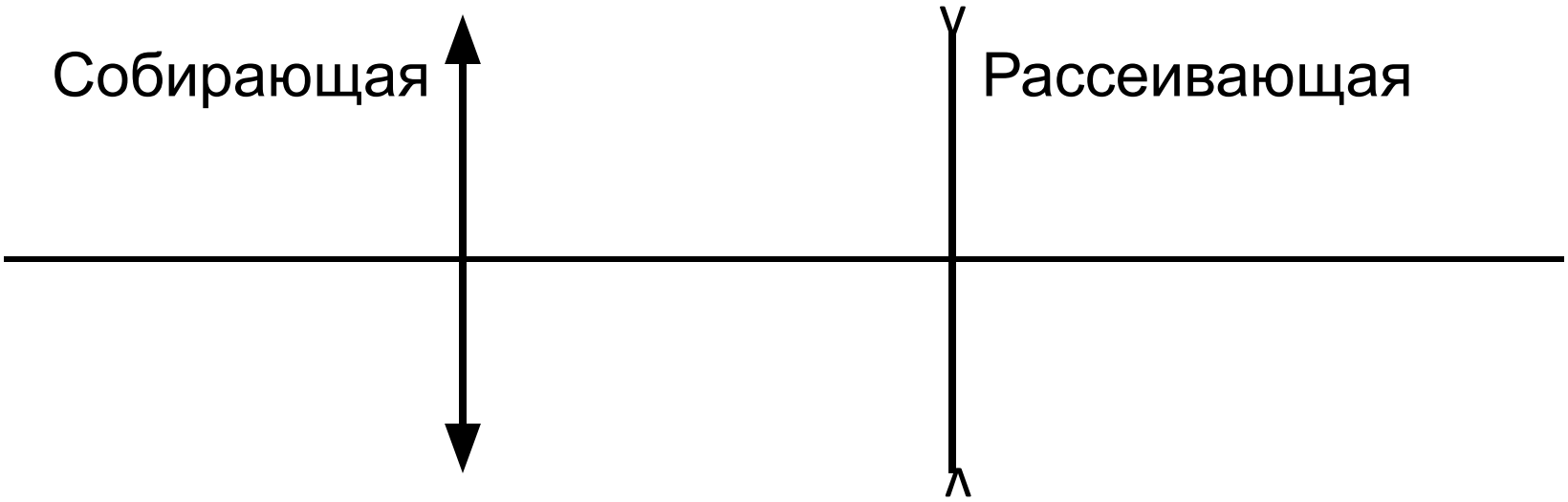
Линзы обладают свойством отклонять световые лучи.
Собирающие линзы - фокусируют пучки световых лучей.



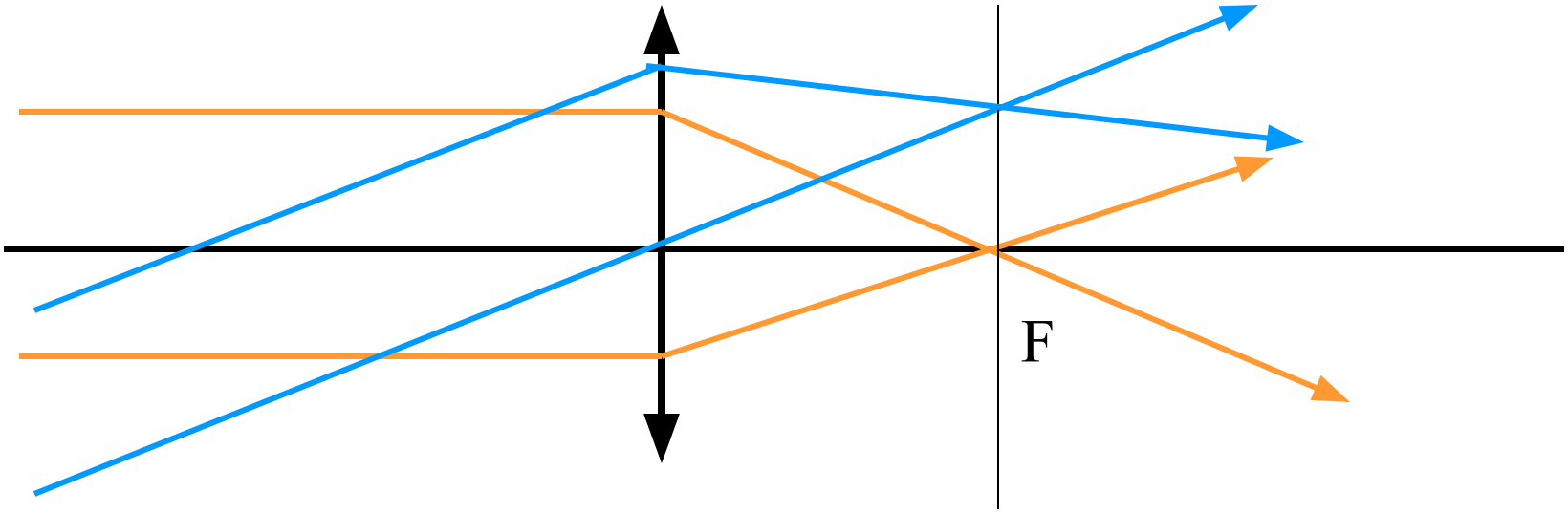
Линзы обладают свойством отклонять световые лучи,
Рассеивающие линзы - рассеивают пучки световых лучей.



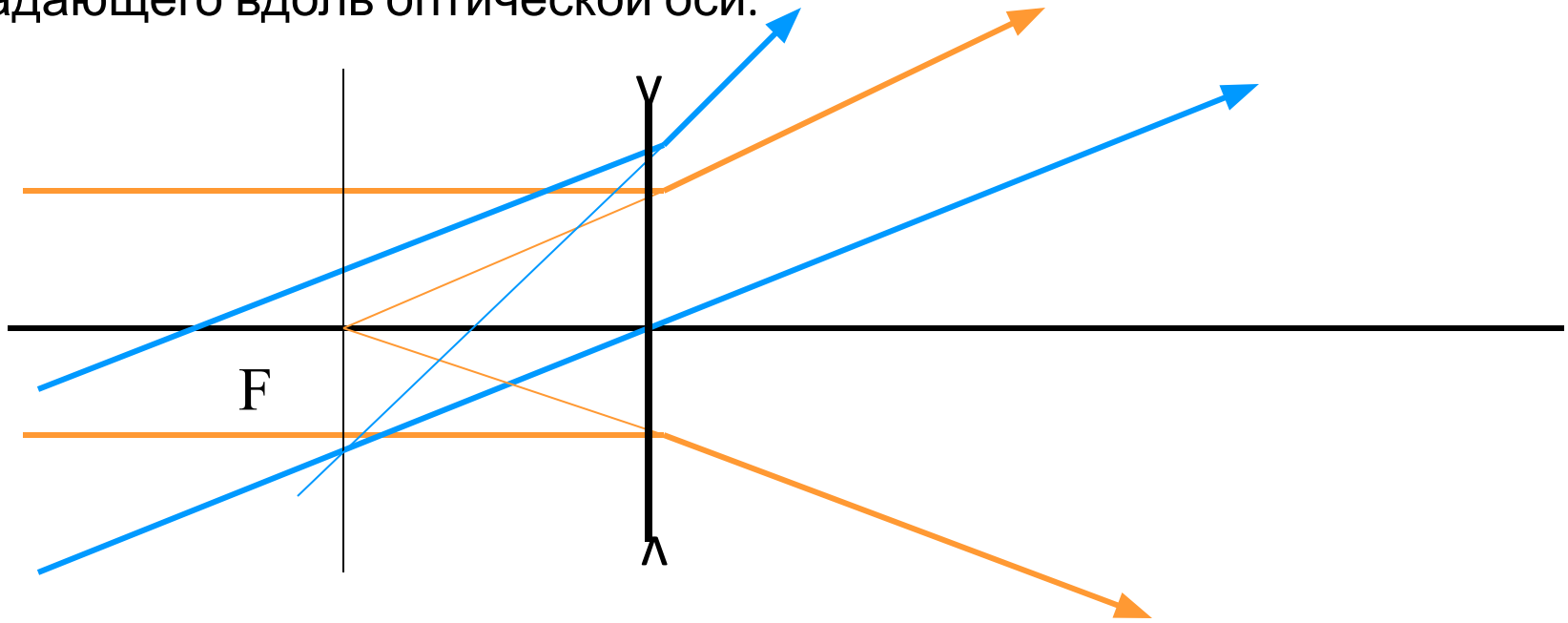
Если толщина линзы $L << R_1, R_2$ - такая линза называется тонкой и изображается на оптических схемах двусторонней стрелкой



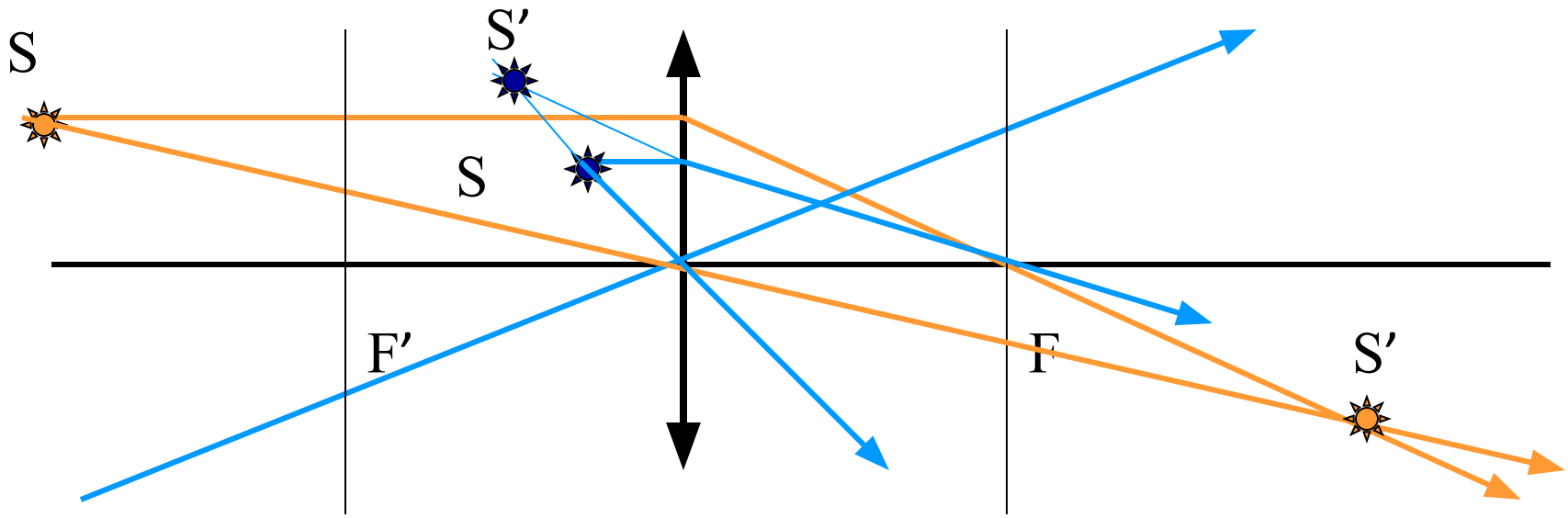
Параллельные пучки лучей собирающая линза превращает в сходящиеся. Точка пересечения сходящегося пучка лежит в плоскости главного фокуса линзы. Главный фокус собирающей линзы - точка на главной оптической оси, где сходятся лучи от параллельного пучка, падающего вдоль оптической оси.



Параллельные пучки лучей рассеивающая линза превращает в расходящиеся. Точка, откуда кажутся исходящими лучи расходящегося пучка лежит в плоскости главного фокуса линзы. Главный фокус рассеивающей линзы - точка на главной оптической оси, откуда кажутся расходящимися лучи от параллельного пучка, падающего вдоль оптической оси.



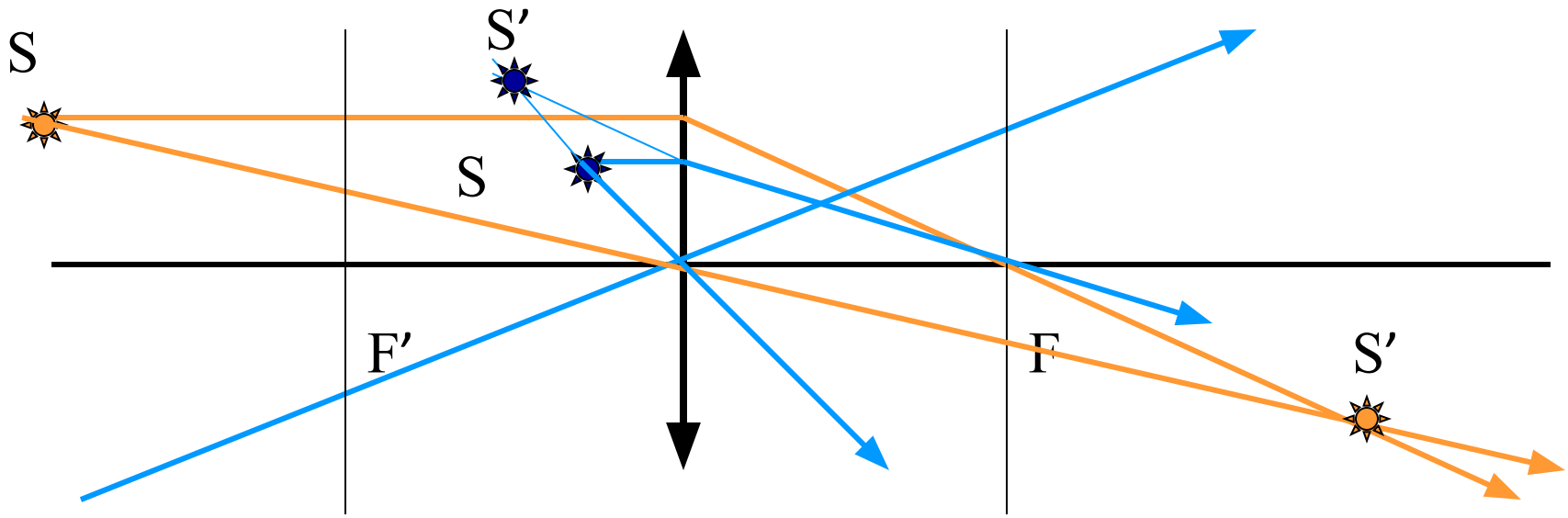
Пучки лучей, исходящие из точечного источника света, собирающая линза превращает либо в сходящиеся, либо уменьшает их угол расходимости. Точка, откуда будут казаться исходящими лучи, называется изображением источника света. Если источник находится в плоскости переднего фокуса собирающей линзы - линза превращает пучок лучей в параллельный.



Главные лучи, используемые для построения изображений:

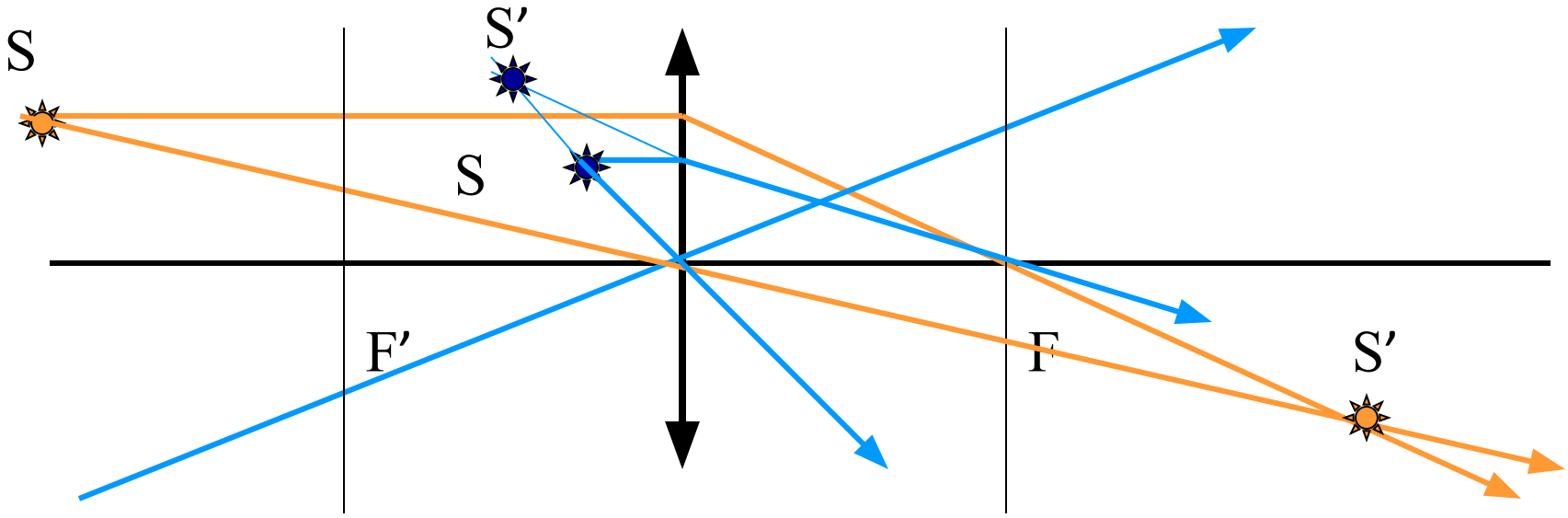
- луч через центр линзы - он не преломляется!
- луч, параллельный оптической оси - он, преломившись, пройдет через главный фокус собирающей линзы.

Изображение находится на пересечении преломленных лучей или их продолжений.



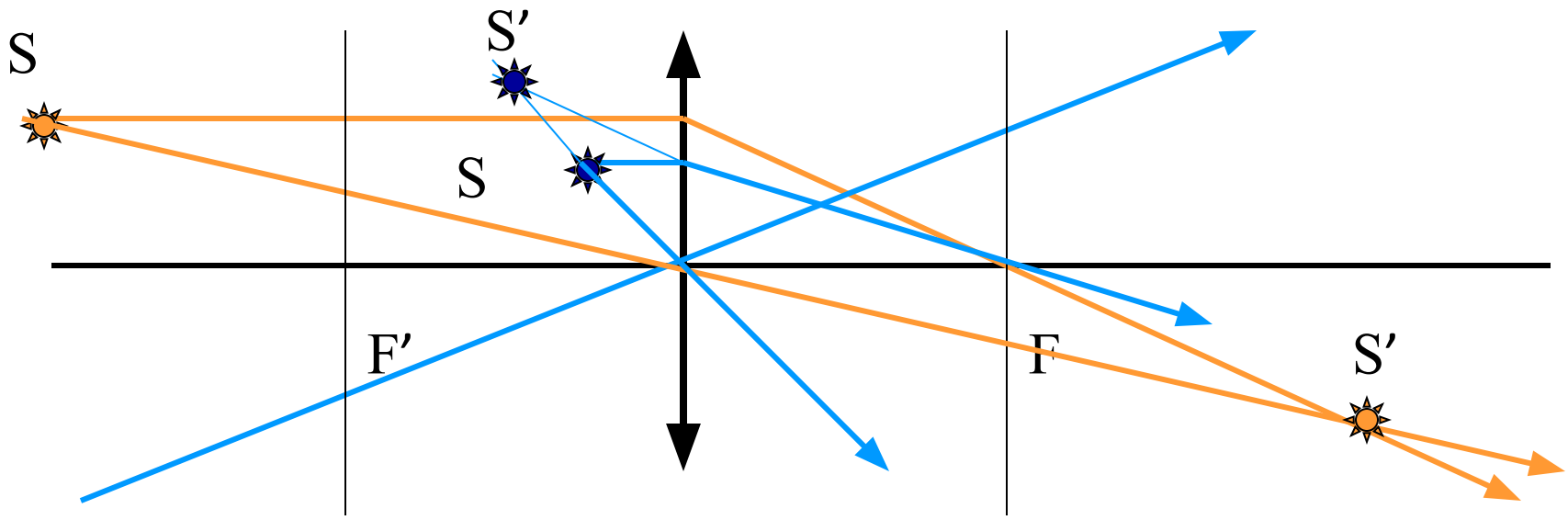
Изображение называется:

- **увеличенным** - если находится дальше от оптической оси, чем реальный источник света
- **уменьшенным** - если находится ближе к оптической оси, чем реальный источник света
- **прямым** - если находится с той же стороны от оптической оси, что и реальный источник света
- **перевернутым** - если находится с другой стороны от оптической оси, чем реальный источник света

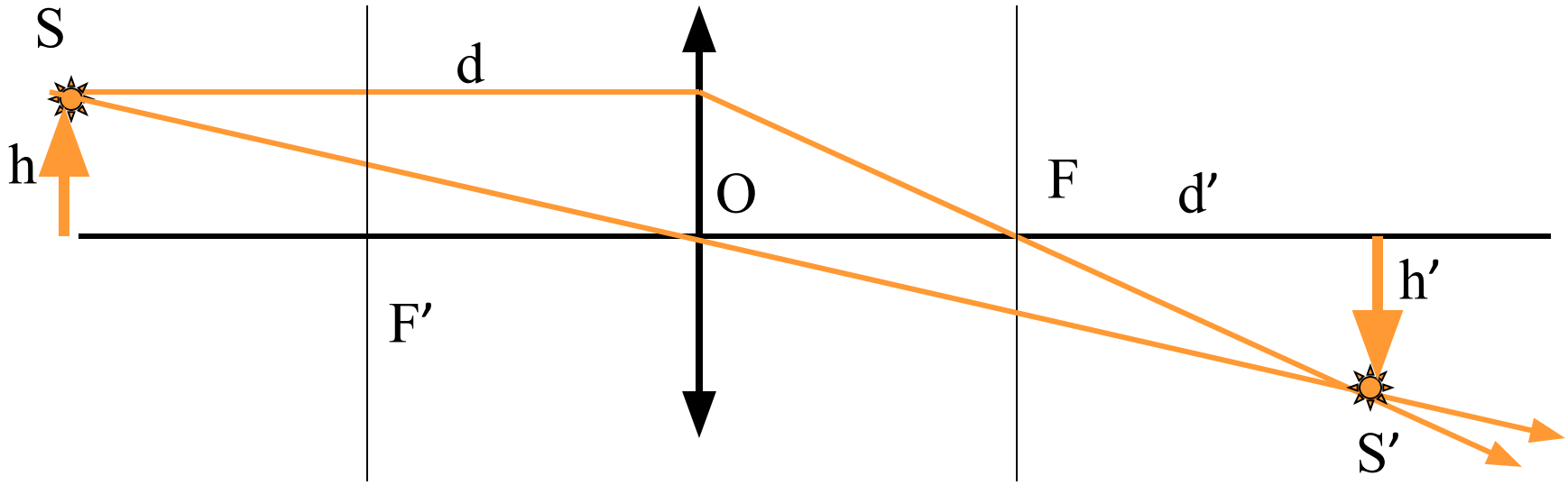


Изображение называется:

- **действительным** - если находится с другой стороны линзы, чем реальный источник света
- **мнимым** - если находится с той же стороны линзы, что и реальный источник света



Формула линзы: позволяет определить размер и положение изображения предмета в линзе.



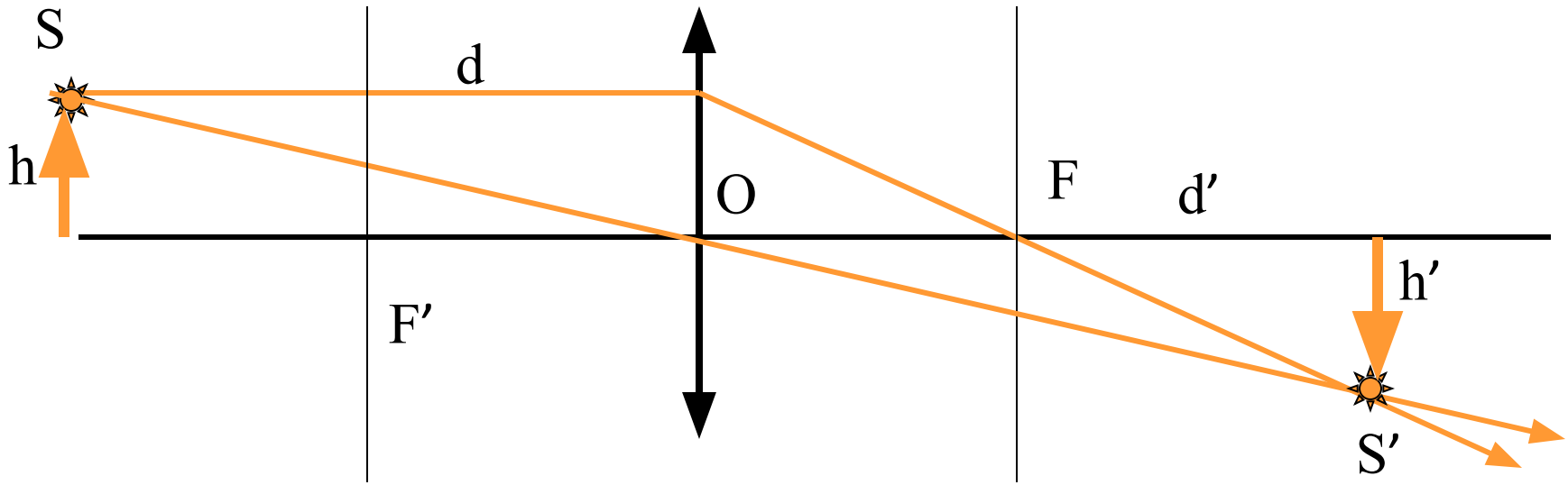
h - размер предмета (расстояние от крайне его точки до оптической оси)

h’ - размер изображения (расстояние от крайне его точки до оптической оси)

d - расстояние от предмета до центра линзы

d’ - расстояние от изображения до центра линзы

Формула линзы: **1/f = 1/d +1/d’ ; h’/ h = - d’/ d**



h - размер предмета (расстояние от крайне его точки до оптической оси)

h’ - размер изображения (расстояние от крайне его точки до оптической оси)

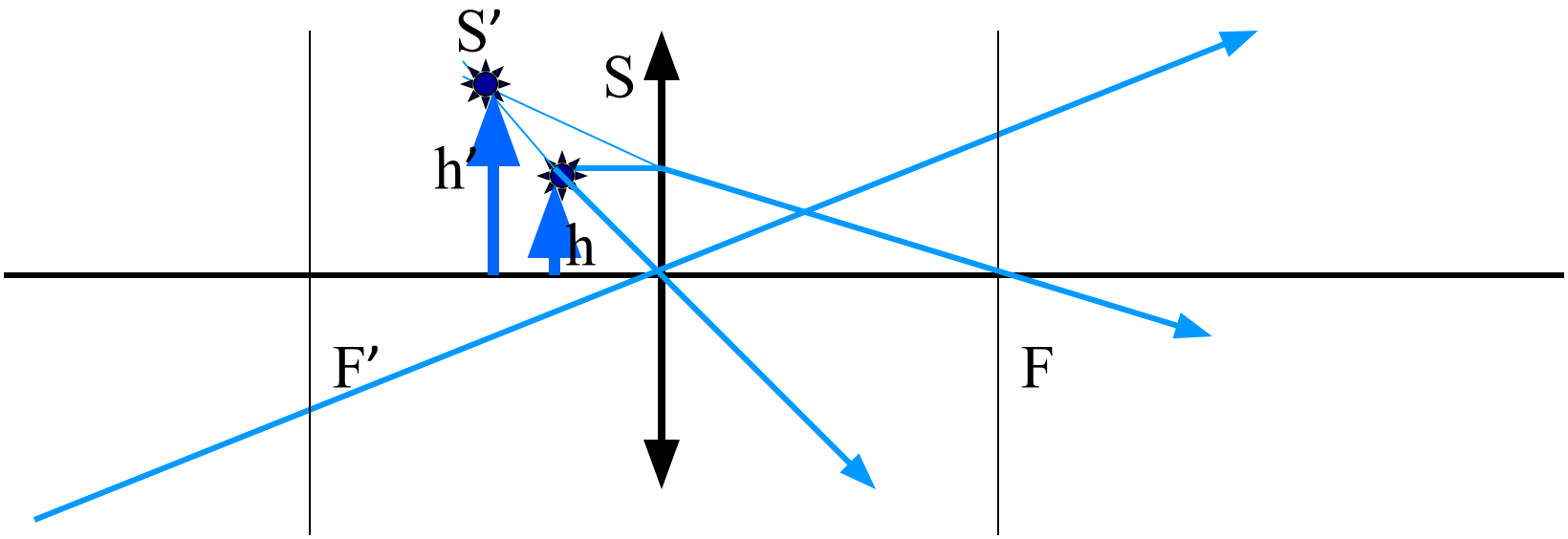
(h’<0, если изображение перевернутое!!)

d - расстояние от предмета до центра линзы

d’ - расстояние от изображения до центра линзы

f - фокусное расстояние линзы

Формула линзы: **1/f = 1/d +1/d’ ; h’/ h = - d’/ d**



h - размер предмета (расстояние от крайне его точки до оптической оси)

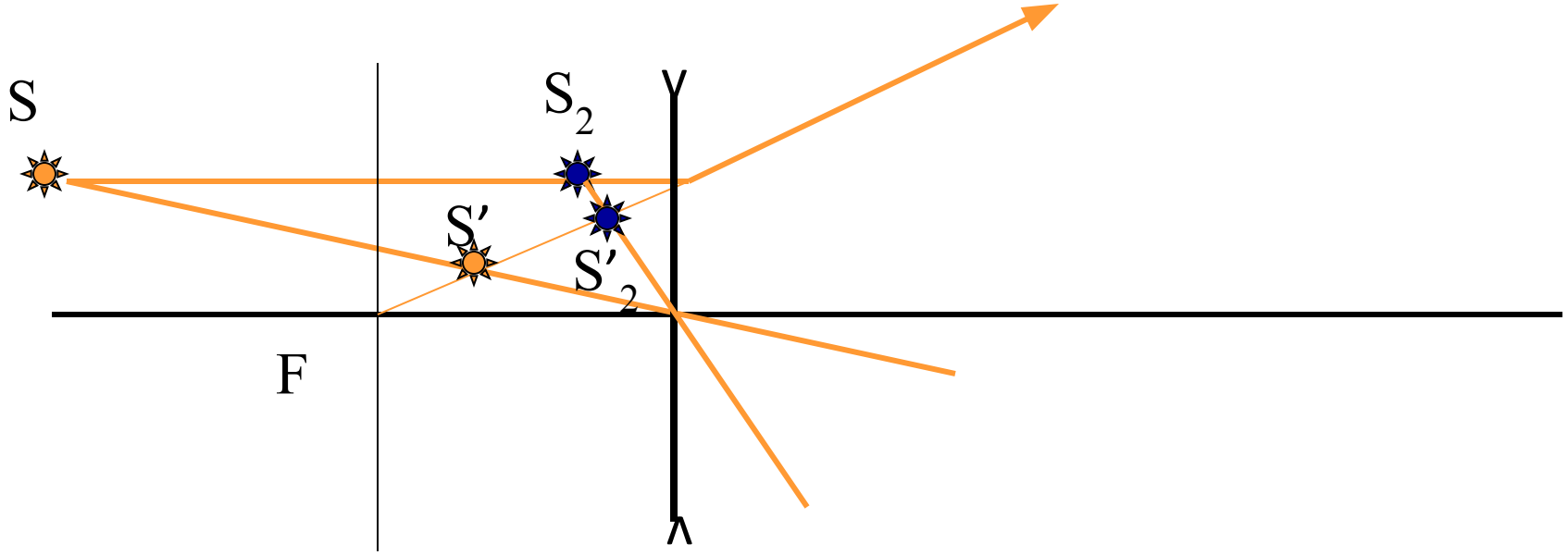
h’ - размер изображения (расстояние от крайне его точки до оптической оси)

d - расстояние от предмета до центра линзы

d’ - расстояние от изображения до центра линзы **(d’<0, если изображение мнимое!!)**

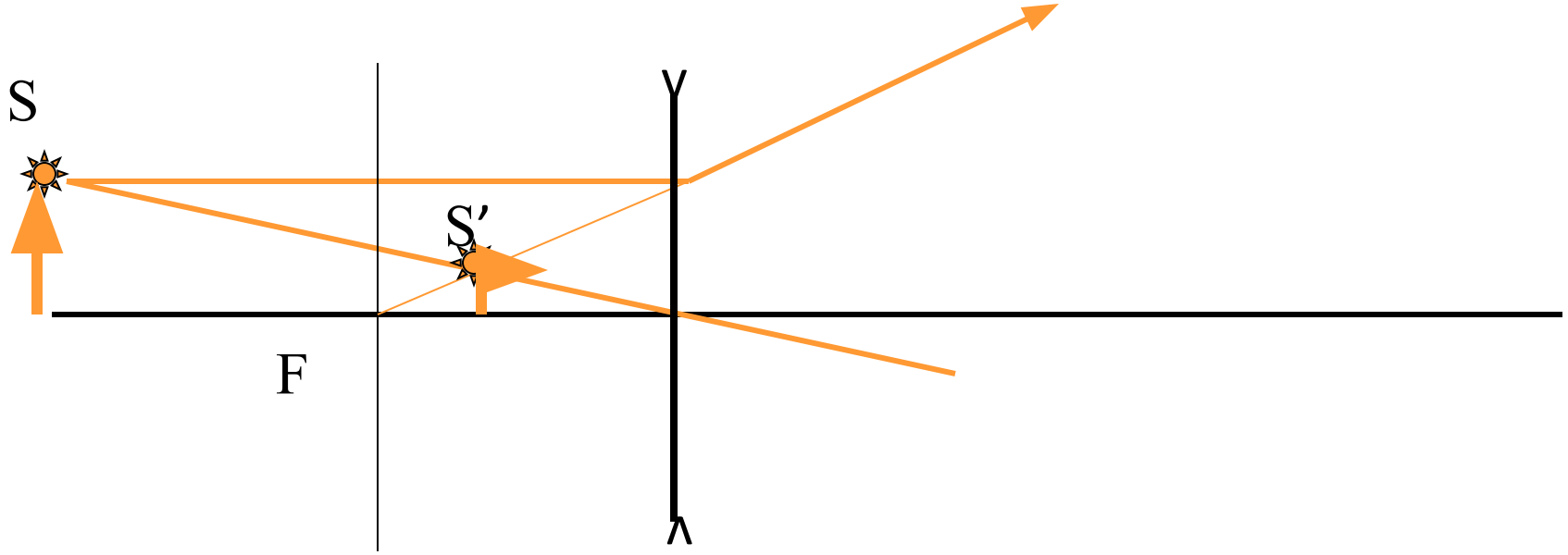
f - фокусное расстояние линзы

Рассеивающая линза увеличивает угол расходимости пучков света, исходящих из точечных источников. Точка, откуда будут казаться исходящими лучи, называется изображением источника света.



В рассеивающей линзе изображения источников света (предметов) всегда уменьшенные, прямые и мнимые.

Формула линзы: **1/f = 1/d +1/d’ ; h’/ h = d’/ d**



h - размер предмета (расстояние от крайне его точки до оптической оси)

h’ - размер изображения (расстояние от крайне его точки до оптической оси)

d - расстояние от предмета до центра линзы

d’ - расстояние от изображения до центра линзы **(d’<0, если изображение мнимое!!)**

f - фокусное расстояние линзы **(f<0, если линза рассеивающая!!)**

Формула линзы: $\mathbf{1/f = 1/d + 1/d'}$; $\mathbf{h'/h = -d'/d}$

h - размер предмета (расстояние от крайне его точки до оптической оси)

h' - размер изображения (расстояние от крайне его точки до оптической оси)

(h'<0, если изображение перевернутое!!)

d - расстояние от предмета до центра линзы

d' - расстояние от изображения до центра линзы

(d'<0, если изображение мнимое!!)

f - фокусное расстояние линзы **(f<0, если линза рассеивающая!!)**

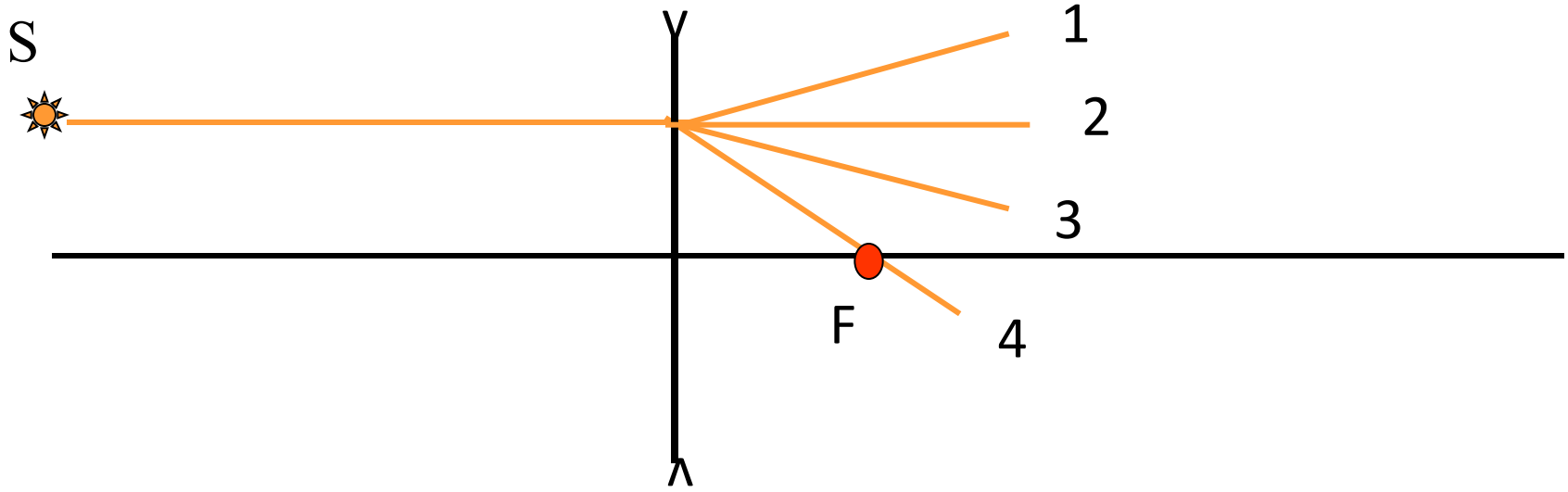
Формула линзы: $\mathbf{|h'/h| = |d'/d|}$

Собирающая линза. d > f $\mathbf{|1/f| = |1/d| + |1/d'|}$

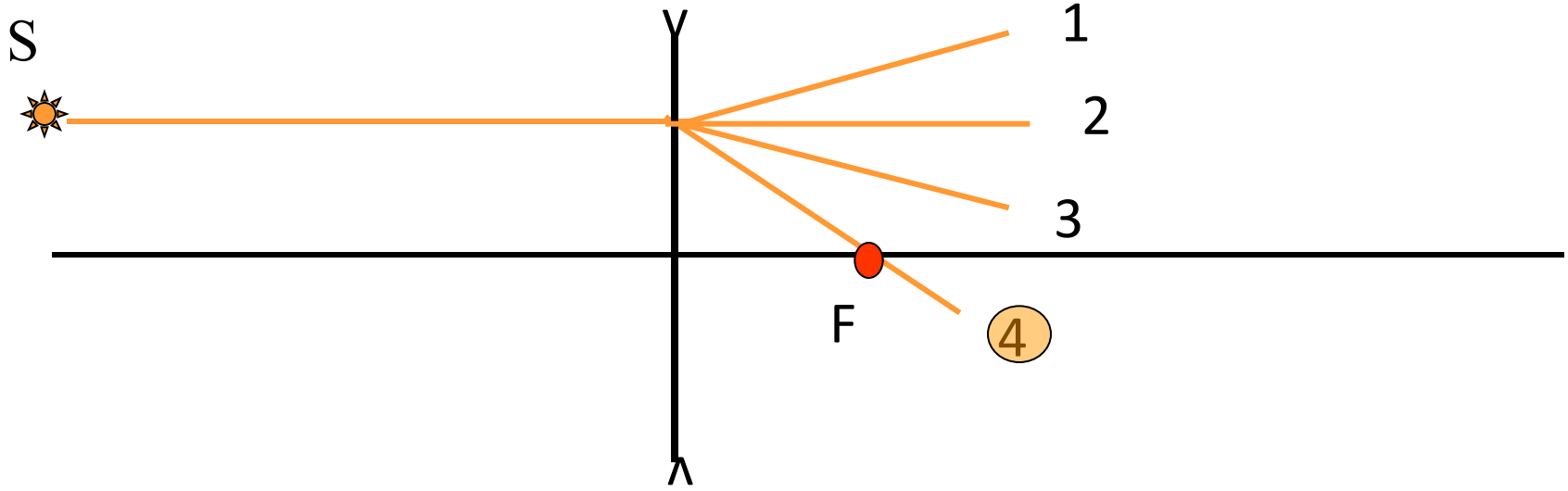
Собирающая линза. d < f $\mathbf{|1/f| = |1/d| - |1/d'|}$

Рассеивающая линза. $\mathbf{|1/f| = |1/d'| - |1/d|}$

Луч света падает на тонкую рассеивающую линзу. Каким лучом изображается ход этого луча после прохождения линзы?



Луч света падает на тонкую рассеивающую линзу. Каким лучом изображается ход этого луча после прохождения линзы?

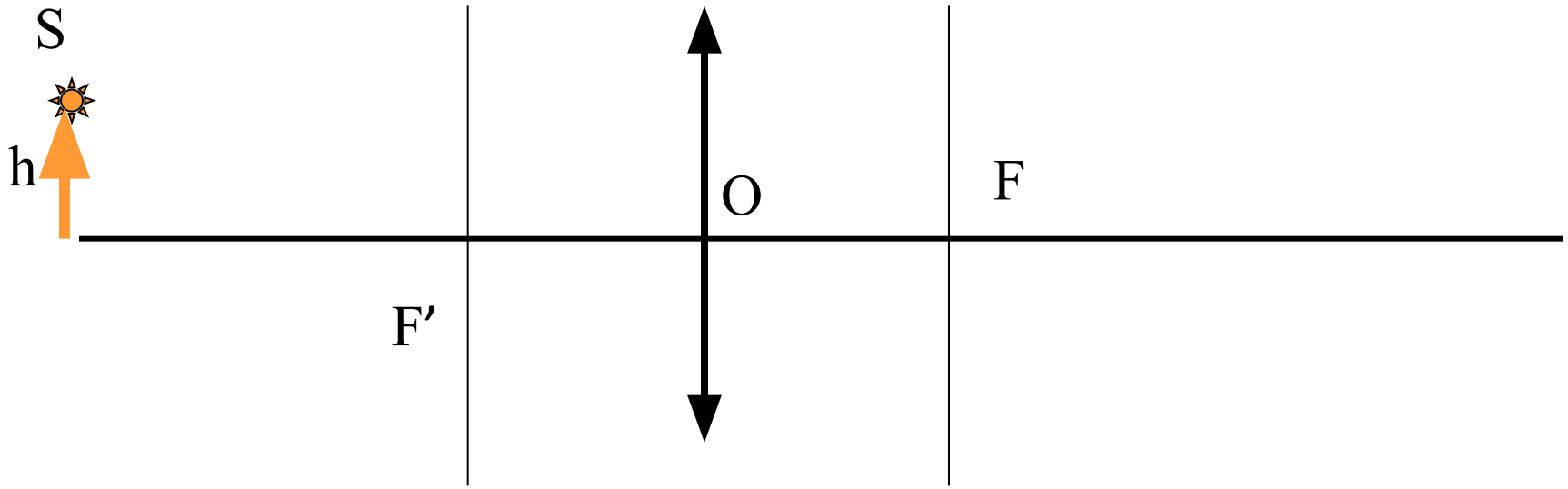


Предмет находится на расстоянии 3F до линзы.

Чему равно расстояние от изображения до линзы?

Каким будет изображение?

1) Перевернутым и увеличенным
2) Прямым и уменьшенным
3) Прямым и увеличенным
4) Перевернутым и уменьшенным

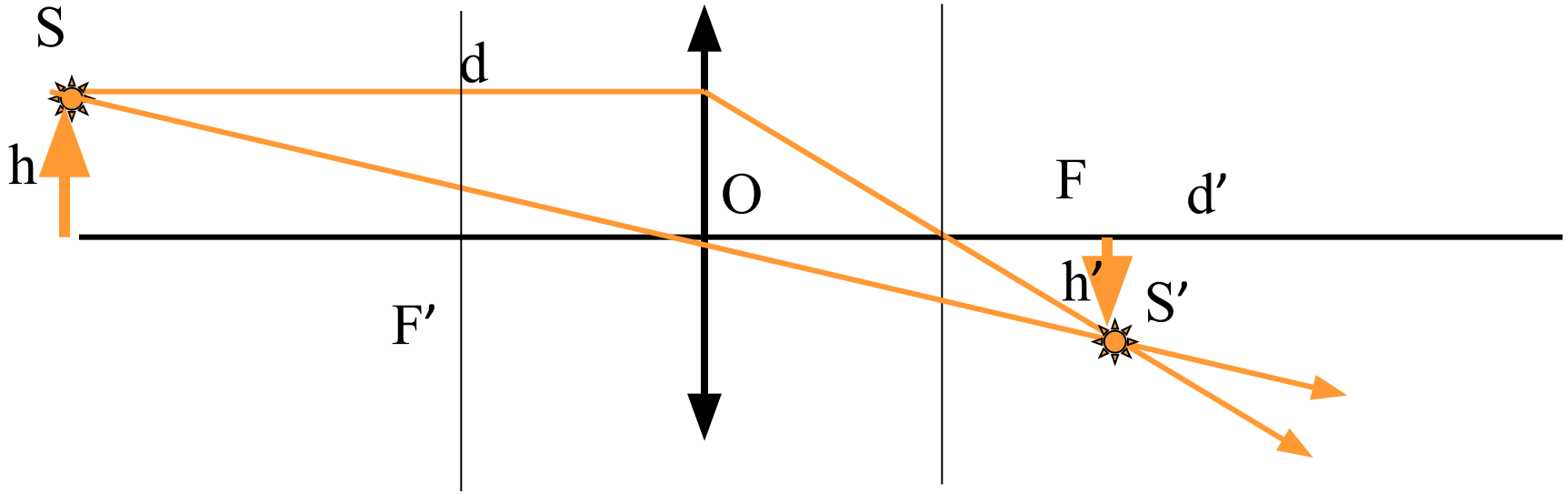


Предмет находится на расстоянии 3F до линзы.

Чему равно расстояние от изображения до линзы? – 3F/2

Каким будет изображение?

1) Перевернутым и увеличенным
2) Прямым и уменьшенным
3) Прямым и увеличенным
4) Перевернутым и уменьшенным



Школа РОСАТОМА

Источник света подвешен как маятник на нити, длины L. Амплитуда колебаний маятника A = 3 см. На d = 20 см ниже маятника находится рассеивающая линза с фокусным расстоянием f = 10 см. Оптическая ось вертикальна и проходит через точку подвеса маятника. Чему равна амплитуда колебаний изображения в линзе?

Источник света подвешен как маятник на нити, длины L. Амплитуда колебаний маятника A = 3 см. На d = 20 см ниже маятника находится рассеивающая линза с фокусным расстоянием f = 10 см. Оптическая ось вертикальна и проходит через точку подвеса маятника. Чему равна амплитуда колебаний изображения в линзе?

При максимальном отклонении маятника макимально отклонится от оптической оси и его изображение. Расстояние от предмета (маятника) до линзы d = 20 см. “Размер” предмета (отклонение маятника) A = 3 см. Далее просто применяем формулу рассеивающей линзы:

$$|1/f| = |1/d'| - |1/d| \Rightarrow |1/d'| = |1/f| + |1/d| \Rightarrow d' = df/(d+f)$$

$$|A'/A| = |d'/d| \Rightarrow A' = Ad'/d = Af/(d+f) = 1 \text{ см}$$

Волновая оптика.

Свет - это электромагнитные волны определенного диапазона длин волн, распространяющиеся не мгновенно, а с конечной скоростью.

Скорость света в вакууме - $c = 3 \cdot 10^8$ м/с

Скорость света в средах всегда меньше, чем c

$$V = c / n$$

где n - оптическая плотность среды, всегда большая единицы.

Волновая оптика.

Свет - это электромагнитные волны определенного диапазона длин волн, распространяющиеся не мгновенно, а с конечной скоростью.

Видимый свет, который мы (люди) можем воспринимать нашими органами чувств (глазами и мозгом), это электромагнитные волны с длинами

$$\sim 400 \text{ нм} < \lambda < \sim 700 \text{ нм}$$

Разные длины волн мы воспринимаем как свет разных цветов
- длинные волны ($\lambda > \sim 600$ нм) - красные и оранжевые,
- волны средней длины (~ 600 нм $> \lambda > \sim 500$ нм) - желтые, зеленые и голубые
- короткие волны ($\lambda < \sim 500$ нм) - синие и фиолетовые

Белый свет соответствует равномерной смеси световых волн всех возможных длин от минимальной до максимальной

Волновая оптика.

Свет - это электромагнитные волны определенного диапазона длин волн, распространяющиеся не мгновенно, а с конечной скоростью.

Связь частоты колебаний в волне ν,
ее длины λ
и скорости V

$$\nu = V / \lambda$$

Период колебаний в волне $T = \lambda / V$

Волновая оптика.

Свет отчетливо проявляет себя как волна во многих физических процессах, в частности это:

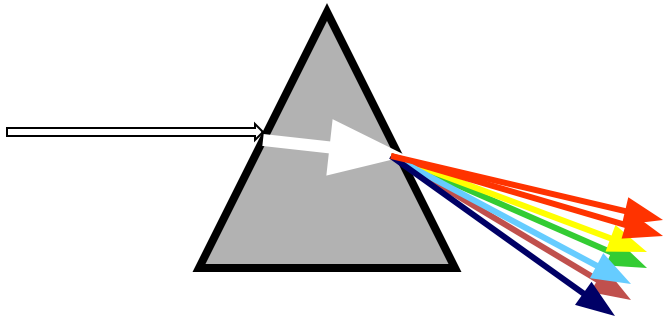
- **дисперсия** (зависимость оптической плотности сред и коэффициента преломления от длины волны)
- **дифракция** (отклонение света от прямолинейного распространения при прохождении мимо препятствий)
- **интерференция** (усиление или ослабление интенсивности сета при наложении световых волн от двух когерентных источников с одинаковой длиной волны)

Дисперсия

Зависимость оптической плотности сред (и коэффициента преломления на границе двух сред) от длины волны.

Как правило, чем меньше длина волны (или чем больше его частота) - тем больше коэффициент преломления.

Следствие: при прохождении границы раздела сред волны разной длины отклоняются на разные углы. Белый свет при прохождении границы раздела сред разлагается в спектр



Свету какого цвета отвечает наименьшая частота?

1) Красному 2) Желтому 3) Голубому 4) Фиолетовому

Свету какого цвета отвечает наименьшая частота?

1) Красному 2) Желтому 3) Голубому 4) Фиолетовому

При прохождении белого света через призму свет разлагается в спектр. Это происходит благодаря:

1) Зависимости оптической плотности среды от частоты света
2) Дифракции света на призме
3) Интерференции падающего и преломленного света
4) Различному поглощению света разных частот

При прохождении белого света через призму свет разлагается в спектр. Это происходит благодаря:

1) Зависимости оптической плотности среды от частоты света
2) Дифракции света на призме
3) Интерференции падающего и преломленного света
4) Различному поглощению света разных частот

Школа РОСАТОМА

Спасибо за внимание!

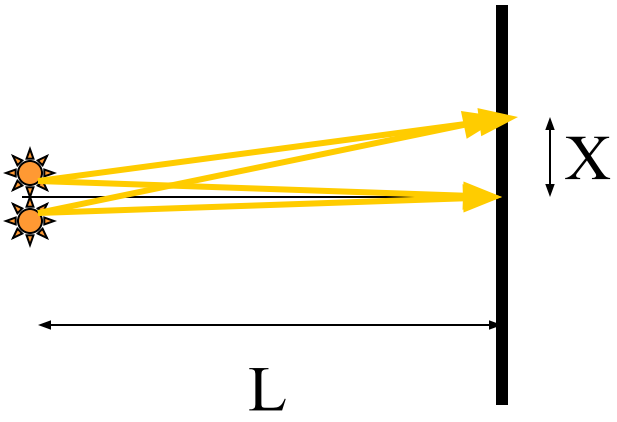
Интерференция - усиление или ослабление интенсивности света при наложении световых волн от двух когерентных источников с одинаковой длиной волны и постоянной разностью фаз.

Усиление интенсивности происходит в точках, где фазы приходящих волн совпадают (или различаются на величину, кратную 2π)
Ослабление интенсивности происходит в точках, куда волны приходят в противофазе (их фазы отличаются на π, 3 π, 5π и т.д.)

Разность фаз возникает от разности оптических длин хода волн от источника до точки, где мы измеряем интенсивность волны.

Интерференция - усиление или ослабление интенсивности сета при наложении световых волн от двух когерентных источников с одинаковой длиной волны и постоянной разностью фаз.

ПРИМЕР: Два точечных источника (расстояние между которыми d) испускают волны с одинаковыми длинами λ и одинаковыми начальными фазами. На экране, расположенном на расстоянии L>>d от источников наблюдаются интерференционные полосы. Найти расстояние X между полосами с максимальной интенсивностью света.



В середине экрана, куда приходят лучи равной длины, разность хода лучей и разность фаз равна нулю. Там будет максимум освещенности.

Соседний максимум будет там, где разность хода равна λ, а разность фаз 2π

$(L^2 + (X+d/2)^2)^{1/2} - (L^2 + (X-d/2)^2)^{1/2} = \lambda$

При условии, что L >> X >> d, получим:

$$X = \lambda L/d$$

Что такое интерференция световых волн?

1) Сложение волн
2) Разложение волн на спектр
3) Огибание волнами препятствий
4) Преломление волн

Что такое интерференция световых волн?

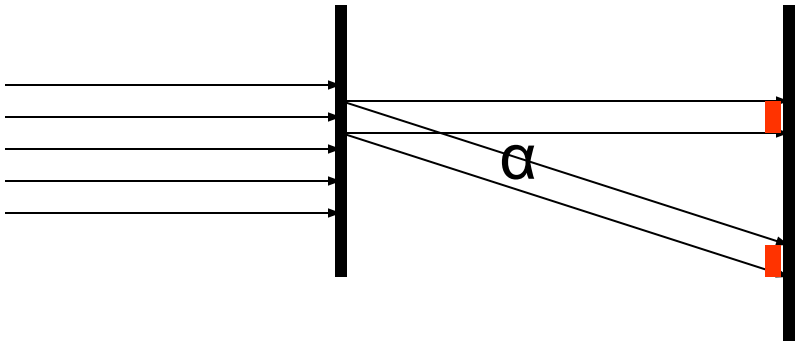
1) Сложение волн
2) Разложение волн на спектр
3) Огибание волнами препятствий
4) Преломление волн

Дифракция

отклонение света от прямолинейного распространения при прохождении мимо препятствий.

Дифракционная решетка - прозрачная пластина, на которой нанесены не пропускающие свет полоски. Период дифракционной решетки может составлять малые доли миллиметра.

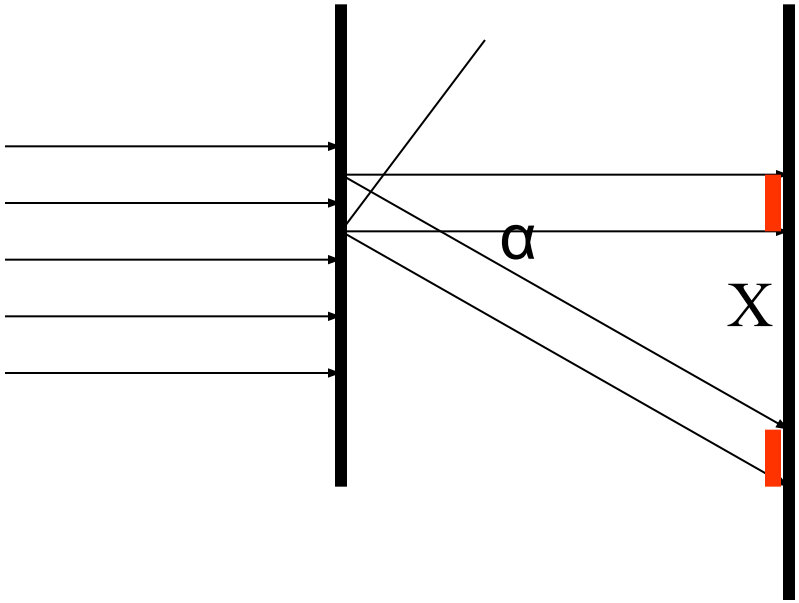
Каждая прозрачная щель дифракционной решетки выступает как точечный)линейный) источник когеррентных световых волн. В направлениях, где разность хода кратна их длине, будет наблюдаться интерферренционное усиление интенсивности света.



Дифракция

отклонение света от прямолинейного распространения при прохождении мимо препятствий.

Пример. Период дифракционной решетки d. Растояние от нее до экрана L >> d. Длина волны света λ. Найти расстояние X между соседними дифракционными максимумами.



Разность хода волн к нулевому максимуму равно нулю.
К первому максимуму
$\Delta L = d \sin \alpha = \lambda$
Расстояние от нулевого до первого максимума $X = L \sin \alpha = \lambda L/d$

Школа РОСАТОМА

Домашнее задание 1

Плоская монохроматическая волна с длиной 550 нм падает на непрозрачную пластину с двумя очень маленькими отверстиями перпендикулярно пластине. За пластиной расположен экран, на котором наблюдается интерференционная картина. В некоторой точке на экране разность хода лучей составляет 1100 нм. Что наблюдается в этой точке:

1) Интерференционный максимум
2) Интерференционный минимум
3) Промежуточное состояние между максимумом и минимумом
4) Правильного ответа нет

Школа РОСАТОМА

Домашнее задание 1

Плоская монохроматическая волна с длиной 550 нм падает на непрозрачную пластину с двумя очень маленькими отверстиями перпендикулярно пластине. За пластиной расположен экран, на котором наблюдается интерференционная картина. В некоторой точке на экране разность хода лучей составляет 1100 нм. Что наблюдается в этой точке:

1) Интерференционный максимум
2) Интерференционный минимум
3) Промежуточное состояние между максимумом и минимумом
4) Правильного ответа нет

Школа РОСАТОМА

СПАСИБО!

Следующая лекция №06

26 марта в 14:30 МСК