

Оптика.

Закон распространения света:

- В прозрачной однородной среде свет распространяется прямолинейно.

Луч – линия, вдоль которой распространяется свет.

Свойство световых лучей:

- Световые лучи обратимы.

Отражение – явление изменения направления света на границе раздела двух сред, такое, что свет остается в первой среде.

Угол падения (α) – угол между падающим лучом и перпендикуляром, восстановленным в точку падения к границе раздела сред.

Угол отражения (γ) – угол между отраженным лучом и перпендикуляром, восстановленным в точку падения к границе раздела сред.

Законы отражения света:

- Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр, восстановленный в точку падения к границе раздела сред, лежат в одной плоскости.
- Угол отражения равен углу падения. $\alpha = \gamma$.

Преломление – явление изменения направления света на границе раздела двух сред, такое, что свет переходит из первой среды во вторую.

Угол преломления (β) – угол между преломленным лучом и перпендикуляром, восстановленным в точку падения к границе раздела сред.

Показатель преломления второй среды относительно первой ($n_{2,1}$) – скалярная физическая величина, показывающая, во сколько раз скорость света в первой среде превосходит скорость света во

второй среде.

$$n_{2,1} = \frac{v_1}{v_2}$$

Показатель преломления второй среды называется абсолютным, если первая среда – вакуум. Скорость света в вакууме максимальная из возможных в природе и равна $c=3 \cdot 10^8$ м/с.

$$n = \frac{c}{v_2}$$

Законы преломления:

- Луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, восстановленный в точку падения к границе раздела сред, лежат в одной плоскости.
- Синус угла падения относится к синусу угла преломления как показатель преломления второй среды относительно первой среды.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{2,1}$$

Линза – прозрачное для света тело, ограниченное двумя, обычно сферическими, поверхностями.

Главная оптическая ось линзы – прямая, соединяющая центры сферических поверхностей, ограничивающих линзу.

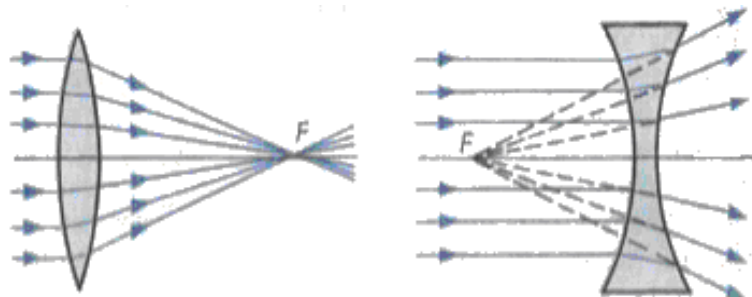
Оптический центр линзы – точка, находящаяся на главной оптической оси на равных расстояниях от поверхностей линзы.

Лучи, проходящие через оптический центр линзы, не преломляются. Каждый такой луч является побочной оптической осью.

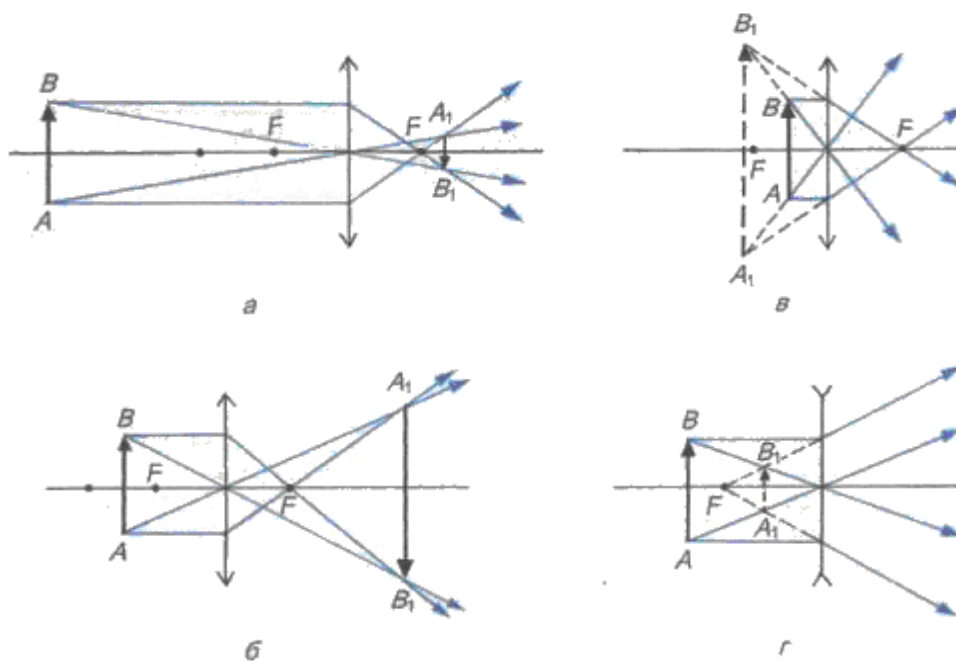
Главный фокус линзы – точка на главной оптической оси, в которой пересекаются все лучи (линза собирающая) или их

продолжения (линза рассеивающая), если лучи до линзы шли параллельно главной оптической оси. Фокусов у линзы два, располагаются по разные стороны от линзы.

Фокусное расстояние (F) – расстояние между оптическим центром и главным фокусом.



В зависимости от расположения предмета и линзы, она может давать различные по характеру изображения:



Если предмет располагается перед фокусом собирающей линзы, то изображение мнимое, прямое, увеличенное.

Если предмет располагается между фокусом и двойным фокусом собирающей линзы, то изображение действительное, обратное, увеличенное.

Если предмет располагается за двойным фокусом собирающей линзы, то изображение действительное, обратное, уменьшенное.

Рассеивающие линзы дают всегда мнимые, прямые, уменьшенные

изображения.

Оптическая сила линзы (D) – скалярная физическая величина, обратная фокусному расстоянию.

Измеряется в диоптриях. $[D]=\text{м}^{-1}=\text{дптр}$.

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

Для собирающих линз считается $F > 0$ и $D > 0$. Для рассеивающих линз считается $F < 0$ и $D < 0$.

Если диаметр линзы значительно превышает ее толщину, то линза считается тонкой. Оптическая сила системы двух тонких линз равна алгебраической сумме оптических сил каждой линзы. $D = D_1 + D_2$. Для тонкой линзы справедлива формула:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$$

a – расстояние от предмета до линзы ($a > 0$, если предмет действительный и $a < 0$, если предмет мнимый). b – расстояние от линзы до изображения ($b > 0$, если изображение действительное и $b < 0$, если изображение мнимое).

Увеличение, даваемое линзой, можно вычислить как $\Gamma = \frac{b}{a}$.

Дисперсией света называется зависимость показателя преломления среды от длины волны (или частоты) света, проходящего сквозь эту среду.

Интерференция – сложение волн в пространстве, при котором образуется постоянное во времени распределение амплитуд результирующих колебаний. Четкость интерференционной картины зависит от когерентности источников (одинаковые частоты и постоянная разность фаз). Когерентными могут быть две волны, полученные от одного и того же источника.

Условие интерференционного максимума – оптическая разность хода волн равна целому числу длин волн. $\Delta d = k \cdot \lambda$.

Условие интерференционного минимума – оптическая разность хода волн равна нечетному числу длин полуволн. $\Delta d = (2 \cdot k + 1) \cdot \lambda / 2$.

λ – длина волны [λ]=м, Δd – оптическая разность хода волн, равная произведению показателя преломления среды на геометрическую разность расстояний, пройденных волнами [Δd]=м, $k=0,1,2,\dots$ – целое число.

Интерференция применяется при проверке качества шлифовки поверхностей, а также при подборе толщины пленок для просветления или тонирования оптики.

Дифракция – отклонение волны от прямолинейного распространения при огибании волнами препятствий, соизмеримых с длиной волны.

Дифракционная решетка – система большого числа щелей, разделенных непрозрачными для волн промежутками.

Для решетки определено условие дифракционного максимума: $d \cdot \sin \varphi = k \cdot \lambda$, где d - период (постоянная) решетки (число щелей на единицу длины решетки) [d]=м⁻¹, φ – угол дифракции (угол на который отклоняются лучи от прямолинейного распространения), $k=0,1,2,\dots$ – целое число, λ – длина волны [λ]=м.

Дуализм света.

Свет обладает двойственностью свойств. При взаимодействии с веществом свет представляется как поток особых частиц – фотонов. При распространении свет ведет себя как поперечная электромагнитная волна, в которой нет приоритетного направления колебаний векторов напряженности электрического и индукции магнитного полей.

При прохождении сквозь некоторые вещества (поляроиды)

такой приоритет появляется, прочие волны отражаются либо поглощаются веществом. Поляризация – выборка волн с одинаковым направлением колебаний векторов поля.

Шкала электромагнитных излучений:

- Низкочастотные колебания
- Радиоволны
- Инфракрасное излучение
- Видимый свет
- Ультрафиолетовое излучение
- Рентгеновское излучение
- Гамма-излучение

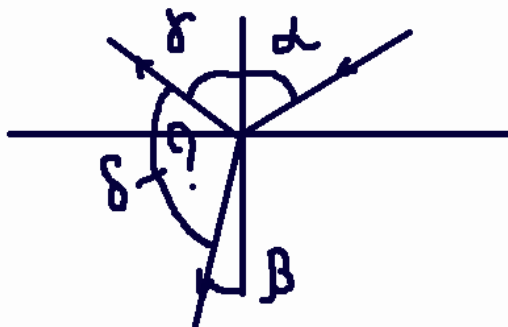
ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ «ОПТИКА»

Пример №1. Найти угол между преломленным и отраженным от стекла лучами, если показатель преломления стекла 1,5, а угол падения 30° ? Ответ: 131°

Дано:

$n = 1,5$
 $\alpha = 30^\circ$
 Найти:
 $\delta = ?$

Решение:



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n \Rightarrow \sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}; \gamma = \alpha; \delta = \pi - \gamma - \beta$$

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n} = \frac{\sin 30^\circ}{1,5} = \frac{1}{3} \Rightarrow \beta \approx 19^\circ; \gamma = 30^\circ;$$

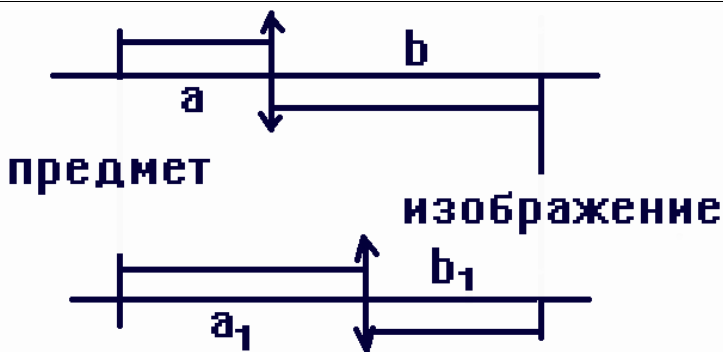
$$\delta = 180 - 30 - 19 = 131^\circ$$

Пример №2. Линза с фокусным расстоянием 16 см дает резкие изображения предмета на экране при двух положениях, расстояние между которыми 60 см. Найти расстояние от предмета до экрана.
 Ответ: 1 м.

Дано:

Решение:

$F = 16 \text{ см}$
 $a_1 - a = 60 \text{ см}$
 $b - b_1 = 60 \text{ см}$
 Найти:
 $a + b = ?$



Для собирающих линз и действительных изображений: $\frac{1}{F} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$; $\frac{1}{F} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{b_1}$, тогда:
 $\frac{1}{16} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$ и $\frac{1}{16} = \frac{1}{a+60} + \frac{1}{b-60}$. Решая систему двух уравнений, вычислим, что:
 $a = 20 \text{ см}, b = 80 \text{ см},$ значит, $a+b = 1 \text{ м}.$

Пример №3. Вычислите угол дифракции в первом порядке спектра световой волны длиной 550 нм, дифрагирующей на решетке со 50 прозрачными для света участками, приходящимися на 1 мм ее поверхности.

Дано:

Решение:

$k = 1$
 $\lambda = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$

Вычислим период решетки: $d = \frac{1 \text{ мм}}{50} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$
 Формула дифракционной решетки:

| | |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | $\frac{AB}{AH} = \frac{CD}{CF} \rightarrow CD = \frac{AB \cdot CF}{AH}, \text{ и } \lambda = 2 \cdot CD = \frac{2 \cdot AB \cdot CF}{AH}.$ $\lambda = 2 \cdot 2 \cdot 10^{-5}(\text{м}) \cdot 3 \cdot 10^{-3}(\text{м}) / 2 \cdot 10^{-1}(\text{м}) = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$ |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Элементы теории относительности.

Постулаты специальной теории относительности:

- Все природные процессы протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчета.
- Скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит ни от скорости источника, ни от скорости наблюдателя и является максимально возможной из всех скоростей в природе $c=3 \cdot 10^8$ м/с.

Следствия специальной теории относительности:

- Эффект замедления времени
- Эффект сокращения продольных размеров
- Эффект роста массы

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

τ_0, l_0, m_0 - интервал между двумя событиями, продольный размер, масса в инерциальной системе отсчета (ИСО).

τ, l, m - интервал между двумя событиями, продольный размер, масса в системе отсчета, движущейся со скоростью v , относительно ИСО.

Релятивистская динамика. Закон сложения скоростей:

v - скорость тела в ИСО,

v_1 - скорость системы в ИСО

v_2 - скорость тела в системе

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 \cdot v_2}{c^2}}$$

Формула связи массы и энергии:

$E = m \cdot c^2$, E – энергия [E]=Дж, m – масса [m]=кг.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Пример №5. Найдите скорость движения объекта продольные размеры которого уменьшаются в 2 раза.

| | |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Дано: | Решение: |
| $\frac{l}{l_0} = \frac{1}{2}$ | Эффект сокращения продольных размеров: $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ |
| Найти: v - ? | Преобразуем формулу: $\frac{l}{l_0} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, и далее: $\left(\frac{l}{l_0}\right)^2 = 1 - \frac{v^2}{c^2} \quad \rightarrow \quad \frac{v^2}{c^2} = 1 - \left(\frac{l}{l_0}\right)^2 \quad \rightarrow$ $\frac{v}{c} = \sqrt{1 - \left(\frac{l}{l_0}\right)^2} \quad \rightarrow \quad v = c \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{l}{l_0}\right)^2}$ После вычислений: $v = 0,86 \cdot c$. |

Пример №6. В поезде, движущимся со скоростью 72 км/ч, пассажир зажигает спичку. Какова скорость световой волны от пламени спички относительно Земли.

| | |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Дано: | Решение: |
| $v_1 = 20 \text{ м/с}$ $v_2 = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ | v - скорость световой волны от пламени спички относительно Земли. v_1 – скорость поезда относительно Земли. |
| Найти: v - ? | v_2 – скорость световой волны от пламени спички относительно поезда. Закон сложения скоростей в релятивистской |

| | |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | динамике: $v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 \cdot v_2}{c^2}} \rightarrow v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1}{c}} \rightarrow$ |
| | $\rightarrow v = \frac{v_1 + c}{1 + \frac{v_1}{c}} = c$. Итак, $v = c$. |

Пример №7. Энергетическая светимость (мощность) Солнца составляет $3,75 \cdot 10^{26}$ Вт. Какую массу каждую секунду теряет Солнце на излучение энергии?

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Дано: $P = 3,75 \cdot 10^{26}$ Вт $t = 1$ с $c = 3 \cdot 10^8$ м/с Найти: m -? | Решение: Чтобы рассчитать энергию, зная мощность и время нужно: $E = P \cdot t$. Формула связи массы и энергии: $E = m \cdot c^2$. Приравняем правые части равенств: $m \cdot c^2 = P \cdot t$. Тогда: $m = P \cdot t / c^2$. $m = 3,75 \cdot 10^{26}$ Вт \cdot 1 с / $(3 \cdot 10^8$ м/с) $^2 = 4,16 \cdot 10^9$ кг. $= 4,16$ Мт (мегатонны). |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ.

ОПТИКА.

1. В дно пруда вертикально вбита свая высотой 2,5 м так, что ее вершина находится на уровне поверхности воды. Определить длину тени от сваи на дне, зная, что угол падения лучей на поверхность воды 60° . Дно пруда считать горизонтальным.

2. Линза дает действительное изображение предмета, расположенного на расстоянии 12 см от нее. Расстояние от линзы до изображения на 6 см больше расстояния от линзы до предмета.

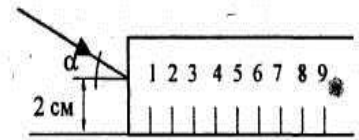
Чему равно увеличение линзы?

3. На расстоянии 0,5 м от собирающей линзы помещен предмет. На каком расстоянии от линзы находится действительное изображение этого предмета, если фокусное расстояние линзы 10 см?

4. Определить скорость света в стекле с показателем преломления 1,5.

5. Предмет расположен на расстоянии 15 см от собирающей линзы с фокусным расстоянием 13 см. Определить увеличение, даваемое линзой.

6. Луч лазера направили в торец плоской прозрачной линейки под углом 30° к нормали, как показано на рисунке. Луч вышел из линейки на отметке 6 см.



Определить показатель преломления материала линейки.

7. Луч света падает на поверхность плоскопараллельной стеклянной пластинки под углом, синус которого равен 0,75. Нижняя поверхность пластинки посеребрена. На каком расстоянии от точки падения луч выйдет из пластинки? Толщина пластинки 2 см, показатель преломления стекла 1,5.

8. Квадратный плот со стороной 4 м плавает на поверхности водоема со стоячей водой. На какую максимальную глубину можно погрузить в воду источник света, чтобы плот не пропускал свет в воздух? Центр плота находится над источником.

9. Расположить граммофонную пластинку так, чтобы смотреть почти параллельно ее поверхности и видеть отраженный свет от электрической лампы. Объяснить, почему наблюдаются радужные блики на пластинке.

10. Для изготовления искусственных перламутровых пуговиц на их поверхности нарезают мельчайшую штриховку. Почему после этого пуговица приобретает радужную окраску?
11. При помощи дифракционной решетки с периодом 0,02 мм на экране, находящемся на расстоянии 1,8 м от решетки, получена дифракционная картина, у которой первый боковой максимум находится на расстоянии 3,6 см от центрального. Найти длину световой волны.
12. Найти период решетки, если дифракционный максимум первого порядка получен на расстоянии 2,43 см от центрального, а расстояние от решетки до экрана 1 м. Решетка была освещена светом с длиной волны 486 нм.
13. Существует ли явление поляризации для звуковых волн в воздухе?
14. Дно пруда не видно из-за блеска отраженного света. Как можно погасить отраженный свет и увидеть дно?
15. Частота света $7,5 \cdot 10^{14}$ Гц. Чему равна длина волны в воздухе, соответствующая этой частоте, и какова окраска света этой частоты?
16. Длина волны красного света в воздухе 800 нм. Какова длина волны этого света в воде? Изменился ли цвет этого света при переходе из воздуха в воду?
17. Две когерентные световые волны достигают некоторой точки с оптической разностью хода 2 мкм. Каков результат их интерференции, если длины волн а) 760 нм? б) 400 нм?
18. Пучок белого света падает по нормали к поверхности стеклянной пластинки толщиной 0,4 мкм. Показатель преломления стекла 1,5. Какие длины волн видимого диапазона света усиливаются в отраженном свете?

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

19. С какой скоростью должен двигаться космический корабль относительно Земли, чтобы часы на нем шли в 2 раза медленнее, чем на Земле?
20. В некоторой движущейся системе отсчета длина стержня меньше его собственной длины. Означает ли это, что стержень деформирован?
21. Длина линейки, неподвижной относительно земного наблюдателя, 1 м. Какова ее длина для того же наблюдателя, если линейка движется относительно него со скоростью $0,6 \cdot c$, направленной вдоль линейки?
22. Самолет летит над поверхностью Земли со скоростью 250 м/с и зажигает сигнальные огни. С какой скоростью распространяется сигнал относительно наблюдателя на Земле?
23. Какова масса протона в системе отсчета, относительно которой он движется со скоростью $0,8 \cdot c$?
24. До какой скорости нужно разогнать электрон, чтобы его масса была в 2 раза больше массы покоя?
25. На сколько граммов увеличивается масса воды в озере объемом 10^6 м^3 при ее нагревании на 22°C ?
26. На сколько увеличится масса воды при плавлении 1 кг льда?
27. На сколько увеличится масса паров при сгорании 1 кг спирта?