

Урок №22 (15.12.2012)

Переход к волновой оптике. Три подхода к объяснению оптических явлений.

1. Геометрическая оптика.

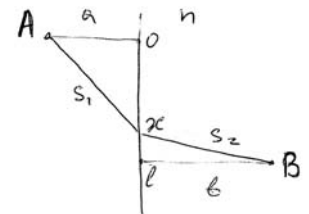
Самым древним подходом является уже изученная нами *геометрическая оптика*.

Основные постулаты:

- Прямолинейное распространение света – свет распространяется прямолинейно, образуя *лучи*.
- Закон независимого распространения света – световые лучи не зависят друг от друга, при пересечении лучей свет в каждом луче не меняет никаких своих характеристик.
- Принцип Ферма (1662 г) – из всех возможных путей распространения свет выбирает такой путь, длина которого минимальна.
- Оптическая длина – в прозрачной среде есть коэффициент преломления n , «удлиняющий» длину пути, проходимого светом; поэтому различают геометрическую и оптическую длину пути (оптическая в n раз больше).
- Закон обратимости светового луча – если луч света распространяется по определённой траектории, то, будучи пущенным в обратном направлении, он повторит ту же траекторию.

Из этих принципов можно вывести законы отражения и преломления света. Для закона отражения света всё совсем просто, а вот для преломления проделаем этот вывод.

Итак, предположим для простоты, что свет распространяется в плоскости, перпендикулярной границе раздела сред из точки A в точку B . Пусть точка A расположена на расстоянии a от границы областей и пусть оптическая длина в этой области равна геометрической ($n=1$). Точка B лежит в области с показателем преломления n на расстоянии b от границы. Допустим, свет движется так, как показано на рисунке, т.е. пересекает границу на расстоянии x от точки O , при этом пусть по вертикали точка B лежит на расстоянии l от точки A (которая лежит по вертикали на одном уровне с точкой O).



Тогда оптическая длина пути между точками A и B равна $S(x) = S_1 + S_2$, где

$$S_1 = \sqrt{a^2 + x^2}, \text{ а } S_2 = \sqrt{b^2 + (l-x)^2}.$$

Для того, чтобы найти минимум функции $S(x)$, надо решить уравнение $S'(x) = 0$.

Найдём $S'(x)$: $S'(x) = \frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} + \frac{n(x-l)}{\sqrt{b^2 + (l-x)^2}}$. Из равенства нулю этой функции

следует что $\frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} = n \cdot \frac{l-x}{\sqrt{b^2 + (l-x)^2}}$. Но левая часть – это синус угла падения

луча, а правая – n умноженная на синус угла преломления! Получаем: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$.

Геометрическая оптика хорошо описывает «крупный план» – как ведёт себя свет на больших расстояниях при отсутствии малых препятствий. Она не могла объяснить некоторых явлений, которые наблюдались с глубокой древности, например, радужные разводы мыльного пузыря.

2. Волновая оптика.

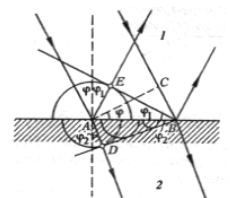
В волновой оптике предполагается, что свет является *электро-магнитной волной*. Мы уже обсуждали этот подход, когда рассматривали опыты Герца. В этом приближении свет ведёт себя подобно механической волне. Основополагающим в этой теории является принцип Гюйгенса (1678 г), дополненный в 1815 году Огюстеном Жаном Френелем: «Каждый элемент волнового фронта можно рассматривать, как центр вторичного возмущения, порождающего вторичные сферические волны, а результирующее световое поле в каждой точке пространства будет определяться интерференцией этих волн.»

Кроме принципа Гюйгенса-Френеля для волновой оптики исключительно важным понятием является *когерентность*: в двух словах когерентность – это согласованность волны самой себе в пространстве и времени. Две волны являются когерентными, если в разных точках их разности фаз не меняются. В идеале, если свет представить бесконечной монохроматической волной, когерентность выполняется. Но на практике получить две когерентные волны из разных источников очень сложно (только с помощью лазера). Однако, можно один тонкий световой луч разделить с помощью призмы или зеркала и получить как бы два когерентных источника. Этим «фокусом» пользовался Френель при изучении волновых свойств света.

Мы уже выводили законы отражения и преломления из принципа Гюйгенса-Френеля для механических волн. Для световых (заметим, что и для радио- тоже!) волн вывод аналогичный.

Отражение волн.

Пусть плоская волна распространяется в упругой среде 1 и падает под углом φ на более плотную среду 2 (термин «более плотная» в данном случае означает лишь, что скорость распространения волны во второй среде отличается от скорости в первой среде).



Пусть в начальный момент времени фронт AC (см. рис.) коснулся границы сред в точке A . Пусть через некоторое время t фронт волны достиг точки B на границе сред. Очевидно, что $|CB| = v \cdot t$, где v – скорость распространения волны в среде 1.

За время t от точки A в соответствии с принципом Гюйгенса успела распространиться сферическая волна, радиусом $|AE| = v \cdot t$. Таким образом, опять же согласно принципу Гюйгенса, фронт волны в момент времени t есть огибающая всех

фронтов волн вторичных источников, в т.ч. источников, расположенных в точках A и B на рисунке. При этом фронт волны остаётся при отражении плоским, так как среда однородна, а в однородной среде плоская волна остаётся плоской (примем без доказательства, хотя доказать очень просто).

Итак, фронт новой волны должен быть прямой, проходящей через точку B (в ней в этот момент появился вторичный источник) и касающейся сферы радиуса $v \cdot t$ с центром в точке A . На рисунке это прямая BE . Так как $|AE| = |BC|$, прямоугольные треугольники AEB и ACB равны. Следовательно, углы φ и φ_1 – равны. Из чего следует, что угол падения волны φ равен углу отражения φ_1 .

Преломление волн.

Пусть плоская волна распространяется в среде 1 со скоростью v , а в среде 2 – со скоростью u . Пусть при этом волна подходит к границе сред под углом φ (см. рис.). Пусть также в начальный момент времени волна коснулась границы сред в точке A .

Посмотрим, что мы увидим через некоторое время t . Пусть в этот момент времени наша волна касается границы в точке B . При этом от точки A за это время (в соответствии с принципом Гюйгенса ставшей источником новой сферической волны) в среде 2 волна распространится до границ сферы, радиусом $|AD| = u \cdot t$.

Проводя рассуждения, аналогичные случаю с отражением, мы можем сказать, что фронт волны в этот момент времени будет прямой AD .

Рассмотрим прямоугольные треугольники ACB и ADB . У них равная гипотенуза, а малые катеты соответственно равны $|BC| = v \cdot t$ и $|AD| = u \cdot t$. Заметим, что

$$\sin \varphi = \frac{|BC|}{|AB|}, \text{ а } \sin \varphi_2 = \frac{|AD|}{|AB|}. \text{ Тогда } \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi} = \frac{|AD|}{|BC|} = \frac{u}{v}.$$

Итак, мы получили закон преломления:

$$\frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi} = \frac{u}{v}.$$

Волновая оптика объясняет удивительные вещи. Например, явления дифракции. Но некоторые эффекты с помощью волновой оптики объяснить не удаётся, например, излучение отдельного фотона, дифракцию фотонов или работу лазера.

3. Квантовая оптика (квантовая электродинамика).

Тут будет много разных слов... Сначала надо рассказать, как получить очень слабый источник света. Потом дальше делаем мысленный эксперимент: размещаем вдали от этого источника экран с двумя отверстиями, располагаем за отверстиями фотоумножители и видим, что свет не пролетает одновременно через оба отверстия: срабатывает либо один, либо другой фотоумножитель. Далее убираем фотоумножители, а на некотором расстоянии от нашего экрана (за ним) располагаем фотопластинку. Через некоторое время облучения, убеждаемся, что на фотопластинке образовалась интерференционная картина. Итого: с одной стороны свет (фотон) всегда проходит либо через отверстие 1, либо через отверстие 2. Далее он долетает до фотопластинки, поглощается ей и оставляет на ней тёмную точку. Далее – когда времени пройдёт много, мы увидим, что эти

*отдельные точки образуют интерференционную картину, т.е. разные фотоны «знали», что отверстий два, не смотря на то, что пролетали строго сквозь одно!
Как???*

Как-нибудь позже ответим...