

Интерференция

Интерференция — явление взаимного наложения двух или более когерентных световых волн. Сопровождается чередованием максимумов (пучностей) и минимумов (узлов) интенсивности в пространстве. Устойчивая интерференционная картина может наблюдаться только в случае, если волны имеют одинаковую частоту, а колебания не ортогональны. Интерференция может быть стационарной (при полностью когерентных волнах) и нестационарной.

Волны делятся на два основных типа:

- Поперечные волны — колебания в них перпендикулярны направлению распространения (световые волны)
- Продольные волны — колебания в них параллельны направлению распространения (звуковые волны)

Характеристики световой волны

Световая волна характеризуется:

1. Частотой — количеством колебаний в секунду. Измеряется в герцах

(Гц) $f = \frac{c}{\lambda}$, где c — скорость света в вакууме, λ — длина волны в метрах

2. Длиной волны — расстояние между двумя ближайшими точками в пространстве, в которых происходят одинаковые по фазе колебания
3. Амплитуда — максимальное значение смещения от среднего значения. Определяет интенсивность света.
4. Фаза — описывает состояние колебаний в определенной точке.

Механизм выпуска света

Свет испускается атомами при переходе электронов между энергетическими уровнями. Возбуждаемые ими узлы и пучности налагаются друг на друга, образуя световую волну. Плоскость колебаний при этом ориентирована случайным образом. Следовательно в результирующей волне колебаний различных направлений равновероятны. Процесс излучения света возбужденным атомом длится $\approx 10^{-8}$ с. Излучение света происходит периодически, причём каждый раз излучение происходит с новой начальной фазой.

Частота испущенного света определяется разностью энергетических уровней:

$$h\nu = E_2 - E_1,$$

где h — Постоянная Планка.

Способы получения когерентных световых волн

Для получения когерентных световых волн с помощью обычных (нелазерных) источников применяют метод разделения света от одного источника на две или несколько систем волн (световых пучков). В каждой из них представлено излучение одних и тех же атомов источника, так что эти волны когерентны между собой и интерферируют при наложении. Разделение света на когерентные пучки можно осуществить с помощью зеркал и экранов.

Кроме того, получение когерентных волн возможно с помощью разделения амплитуды световой волны. Для этого используются интерферометры, пленки и пластины.

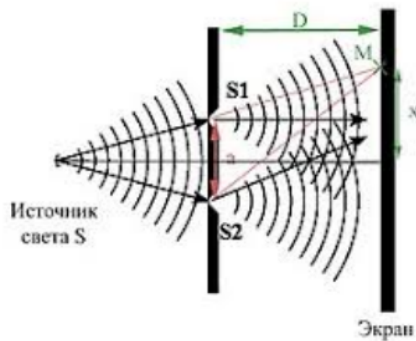
Метод Юнга

Юнг впервые продемонстрировал интерференцию света в опыте с двумя щелями в 1803 году. В опыте пучок монохроматического света направляется на непрозрачный экран с двумя параллельными щелями, позади которого расположен проекционный экран. Ширина

прорезей максимально близка к длине волны. В результате на проекционном экране получается целый ряд чередующихся интерференционных (светлых и тёмных) полос. Интерференционный максимум может быть вычислен по формуле:

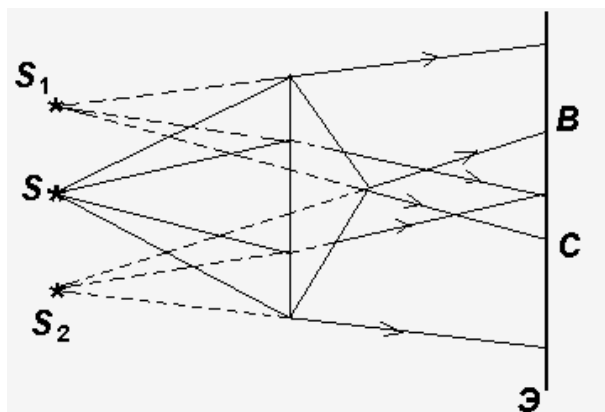
$$d \sin \Theta = m\lambda,$$

где d — расстояние между щелями, Θ — угол отклонения, m — порядок максимума



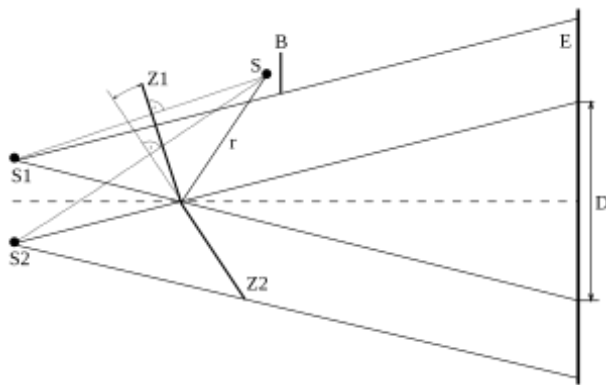
Бипризма Френеля

Она состоит из двух одинаковых сложенных основаниями призм. Свет от источника S преломляется в обеих призмах, в результате чего за призмой распространяются лучи, как бы исходящие от мнимых источников S1 и S2, являющихся когерентными. Таким образом, на экране Э (область BC) наблюдается интерференционная картина.



Зеркала Френеля

Два плоских зеркала (Z1, Z2 на рис.) образуют двугранный угол, минимально отличающийся от 180°. При освещении зеркал от источника S отраженные от зеркал пучки лучей можно рассматривать как исходящие из когерентных источников S1 и S2, являющихся мнимыми изображениями S. В пространстве, где пучки перекрываются, возникает интерференция. Если источник S линейен (щель) и параллелен вершине двугранного угла, образованного зеркалами, то при освещении зеркал монохроматическим светом на экране E, который может быть установлен в любом месте в области перекрытия пучков, наблюдается интерференционная картина в виде равноотстоящих тёмных и светлых полос, параллельных щели. По расстоянию между полосами и величине двугранного угла можно определить длину волны света.



Интерференция в тонких плёнках

Тонкая пленка (например, мыльная) вызывает интерференцию за счет отражения света от её верхней и нижней границ. Луч света длиной волны λ , распространяющийся в воздушной среде с показателем преломления $n_1 = 1$, при падении на поверхность плёнки с показателем преломления $n_2 > n_1$ разделится на два луча. Часть отражается на верхней поверхности, а часть преломляется. Преломлённый луч достигает нижней границы, затем отражается от неё и, снова преломившись, выходит в воздушную среду когерентным с первым лучом.

Интерферометры

Интерферометром называется измерительный прибор, который используется для измерения разности хода двух волн. Когда свет попадает на интерферометр, он разделяется на два луча, которые проходят через разные пути. Один луч проходит через зеркало и возвращается обратно к источнику света, а другой луч проходит через другое зеркало и так же возвращается к источнику.

На экране интерферометра происходит интерференция этих двух лучей, и результат отображается в виде интерференционной картины. В зависимости от разности хода между двумя лучами, интерференционная картина может быть как четкой, так и размытой.

Приборы используются в различных областях науки и техники, таких как оптика, лазерная физика, астрономия и т.д. Они позволяют измерять длину волн света, изучать свойства материалов и даже исследовать свойства гравитационного поля. Основными видами интерферометров являются:

- Интерферометр Майкельсона. Состоит из двух зеркал и двух призм на

фиксированном расстоянии

- Интерферометр Маха-Цендера.
- Интерферометр Жамена.
- Интерферометр Фабри-Перо

Дифракция света

Основные понятия

Дифракция света — это явление, при котором световые волны отклоняются от прямолинейного распространения при прохождении мимо препятствий или через узкие отверстия. Это приводит к образованию характерных паттернов на экране, расположенном за препятствием, таких как чередующиеся светлые и темные полосы.

Дифракция наиболее заметна, когда размеры препятствий или отверстий сопоставимы с длиной волны света. Если размеры значительно превышают длину волны, свет просто проходит мимо без заметных изменений

Принцип Гюйгенса, Гюйгенса-Френеля

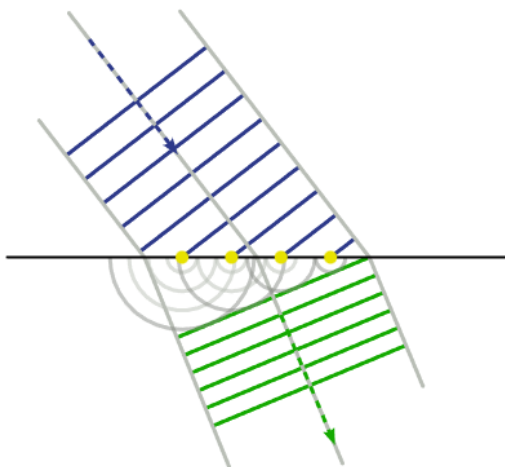
Дифракция объясняется с помощью принципа Гюйгенса: каждая точка, до которой доходит волна, служит центром вторичных волн, а огибающая этих волн задает положение волнового фронта в следующий момент времени, т.е. волна заходит в область геометрической тени.

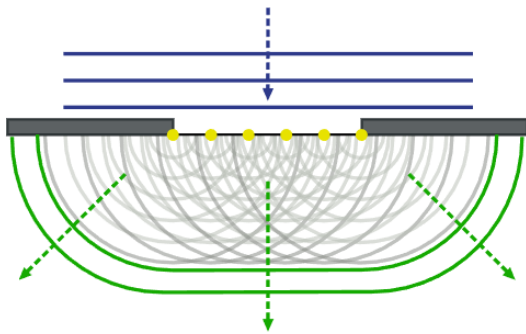
Принцип Гюйгенса не объясняет того, что свет не попадает в область геометрической тени (предметы, освещенные светом, дают резкую тень).

Принцип Гюйгенса-Френеля — это дополненный Френелем принцип Гюйгенса. Он является основным постулатом волновой теории, который объясняет механизм распространения волн, в частности, света. Его суть сводится к тому, что 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

Огюстен Френель в 1815 году расширил принцип Гюйгенса, введя понятие когерентности и интерференции. Он предложил, что результирующее колебание в любой точке пространства является результатом интерференции вторичных волн, что позволяет более точно описывать явления, такие как дифракция света. Световая волна, возбуждаемая источником света, может быть представлена как результат суперпозиции когерентных вторичных волн, «излучаемых» фиктивными источниками (бесконечно малыми элементами любой замкнутой поверхности, охватывающей источник света). Если эта поверхность – волновая поверхность, то все фиктивные источники действуют синфазно. Следовательно, волны, распространяющиеся от источника света, являются результатом интерференции всех когерентных вторичных волн, т.е. учет амплитуд и фаз вторичных волн позволяет найти амплитуду результирующей волны в любой точке пространства.

Преломление и дифракция по Гюйгенсу выглядят так:





Метод зон Френеля

Метод зон Френеля используется для анализа дифракции света. Он основан на разбиении волнового фронта на кольцевые зоны, что позволяет упростить расчеты амплитуды и интенсивности света в точке наблюдения. Этот метод был предложен Огюстеном Френелем и также является приложением принципа Гюйгенса.

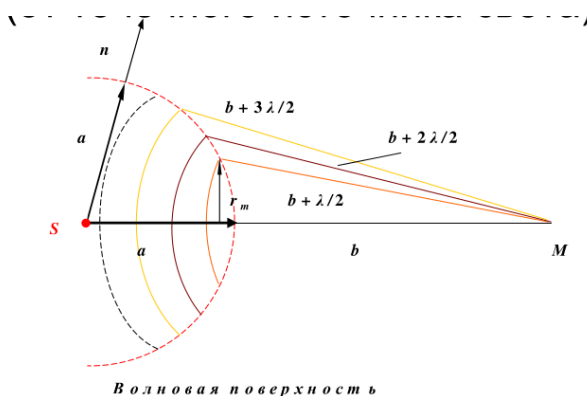
Зоны Френеля – кольцевые зоны на волновой поверхности, расстояния от краев которых до точки М, в которой определяется амплитуда световой волны от точечного источника S, отличается на $\frac{\lambda}{2}$.

Для соседних зон результирующее колебание, создаваемое каждой из зон, отличается по фазе на π . Следовательно, амплитуда результирующего светового колебания (от всех зон) в точке М:

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \dots$$

С ростом порядкового номера зоны (m), интенсивность излучения в направлении точки М уменьшается:

$$A_1 > A_2 > A_3 > A_4 > \dots$$



Т.к. количество зон велико, то амплитуду колебаний от зоны m можно записать так:

$$A_m = \frac{A_{m-1} + A_{m+1}}{2}$$

Получаем $A = \frac{A_1}{2} + \left(\frac{A_1}{2} - A_2 + \frac{A_3}{2} \right) + \left(\frac{A_2}{2} - A_4 + \frac{A_5}{2} \right) + \dots = \frac{A_1}{2}$, т.е. амплитуда результирующего колебания в произвольной точке М определяется действием только половины центральной зоны Френеля. Действие всей волновой поверхности сводится к действию её малого участка меньшего центральной зоны.

При конечном числе зон: $A = \frac{A_1}{2} \pm \frac{A_m}{2}$.

При небольшом количестве зон радиус внешней границы m зоны Френеля:

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b} m \gamma}$$

Для первой зоны $m = 1$ легко вычислить r_1 . Он оказывается малым: $a = b = 10$ см, $\gamma = 0,16$ мкм, $\Rightarrow r_1 = 0,16$ нм.

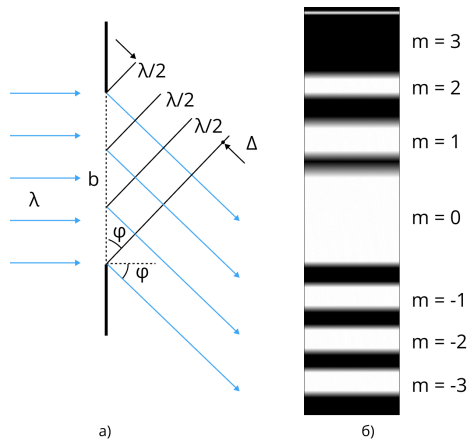
С учётом $A = \frac{A_1}{2}$ можно сказать, что распространение света от S к M происходит так, как будто световой поток амплитудой $\frac{A_1}{2}$ распространяется вдоль SM внутри узкого канала, другими словами, прямолинейно.

Дифракция Френеля

Дифракция Френеля Наблюдается, когда источник света и точка наблюдения находятся на конечном расстоянии от препятствия. При этом фронты волн не являются параллельными.

Рассмотрим прохождение плоской волны через небольшое круглое отверстие и воспользуемся методом Френеля. Построим набор концентрических сфер с центром в точке наблюдения B и радиусами:

$$r_n = b + \frac{n\gamma}{2}, n \in \mathbb{Z}$$



Тогда волновой фронт, проходящий через отверстие, разобьётся на несколько колец. Радиусы сфер выбраны неслучайно. Свет от чётной и нечётной зоны Френеля приходит в точку наблюдения в противофазе, поскольку расстояния различаются на $\frac{\lambda}{2}$, при этом амплитуда волн соседних колец почти не различается (так как расстояние от i -го и $i+1$ -го кольца до точки наблюдения почти одинаково), поэтому результирующая амплитуда будет нулевой. Обозначим амплитуду в точке B от i -й зоны Френеля A_i , тогда результирующая амплитуда в точке P вычисляется по формуле:

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - \dots - A_n = \frac{A_1}{2} + \left(\frac{A_1}{2} - A_2 + \frac{A_3}{2} \right) = \frac{A_1}{2} \pm \frac{A_n}{2}$$

Если число зон Френеля n , на которые делится отверстие, чётное, то A_n положительна и в точке B будет тёмное пятно; если нечётное, то A_n отрицательна и пятно — светлое

Дифракция Фраунгофера

Дифракция Фраунгофера Происходит, когда источник света и наблюдатель находятся на большом расстоянии от препятствия, что позволяет считать фронты волн практически плоскими

Рассмотрим дифракцию света на щели. Выберем направление наблюдения под углом φ , тогда границы зон Френеля определяются параллельными плоскостями (волновыми фронтами), расположенными на расстоянии $\frac{\lambda}{2}$ перпендикулярно направлению наблюдения. Оптическая разность хода лучей, проходящих у разных краёв щели, распространяющихся по направлению с углом, записывается:

$$\Delta = b \sin \varphi$$

Условие минимумов: $b \sin \varphi = \pm m \gamma, m \in \mathbb{Z}$

Условие максимумов: $b \sin \varphi = \pm (m + \frac{1}{2}) \gamma, m \in \mathbb{Z}$

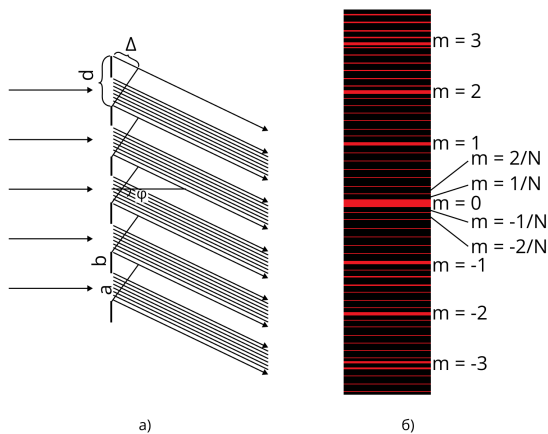
$m = 0 \Rightarrow$ максимум называется центральным, остальные максимумы называются максимумами порядка m .

Дифракция на дифракционной решётки

Точно таким же образом строятся зоны Френеля при прохождении плоского волнового фронта через дифракционную решётку — устройство, состоящее из чередующихся периодически расположенных прозрачных и непрозрачных полос. Периодом решётки (или постоянная дифракционной решётки) называется физическая величина

$$d = a + b,$$

где a — это ширина прозрачных полос, а b — это ширина непрозрачных полос. Каждый участок волнового фронта (параллельные плоскости), проходящего через прозрачную полосу, может быть рассмотрен как источник вторичных волн, которые могут интерферировать.



Главные максимумы будут наблюдаться под такими углами φ , что разность хода лучей от всех щелей Δ будет равна целому числу длин волн

$$\Delta = d \cdot \sin \varphi = \pm m \gamma, m \in \mathbb{Z},$$

где m — номер дифракционного максимума. Главными минимумами дифракционной решётки называются такие направления, где волновой фронт, проходящий через каждую щель, имеет чётное число зон Френеля:

$$b \cdot \sin \varphi = \pm m \gamma, m \in \mathbb{Z}$$

Дополнительными минимумами дифракционной решётки называются такие направления, где волны от разных щелей приходят в противофазе:

$$\Delta = d \sin \varphi = m' \lambda, m' = \pm \frac{1}{n}, \pm \frac{2}{n}, \dots,$$

где n — количество щелей. $m' \notin \{0\} \cup \mathbb{N}$, поскольку это положения главных максимумов.

Дифракция на пространственной решетки