

Лекция 3. Волновая оптика: интерференция света.

Цель лекции представить студентам обширные концепции волновой оптики, сфокусировавшись на явлении интерференции света.

Результаты обучения:

По завершении лекции студенты смогут:

- Понимать волновую природу света.
- Описывать интерференцию света.
- Применять математические модели интерференции.
- Рассматривать примеры интерференции.
- Оценивать техническое применение интерференции.

I. Введение в волновую оптику

1.1 Определение волновой оптики

Волновая оптика представляет собой раздел физики, который описывает свет как электромагнитную волну, взаимодействующую с материей и пространством. Она уделяет особое внимание поведению света как волнового явления и является одним из ключевых аспектов изучения света.

Основные точки волновой оптики:

- Свет как электромагнитная волна: Эта теория объясняет свет как электромагнитную волну, имеющую как электрические, так и магнитные поля, распространяющуюся через пространство.
- Волновые характеристики: Волновая оптика описывает поведение света с использованием характеристик волн, таких как длина волны, частота, амплитуда и фаза.
- Интерференция и дифракция: Волновая оптика объясняет интерференцию (наложение волн) и дифракцию (изгибание волнами вокруг преград), что позволяет понимать множество оптических явлений.
- Оптические явления: Она помогает понимать и объяснять явления, такие как отражение, преломление, поляризация света, и, в частности, интерференция.

Волновая оптика важна для понимания света как волны и применяется в различных областях, от физики и инженерии до медицины и технологий. Этот подход позволяет углубленно изучать поведение света и используется для создания новых методов анализа и оптических технологий..

1.2 Основные концепции волновой оптики

Основные концепции волновой оптики охватывают различные аспекты поведения света как волны и их взаимодействие с материей. Вот основные концепции:

- Интерференция: Это явление, при котором волны наложены друг на друга, что приводит к усилению (конструктивная интерференция) или ослаблению (деструктивная интерференция) света. Оно приводит к образованию интерференционных узоров.
- Дифракция: Это изгибание световых волн вокруг препятствий или через узкие отверстия. Дифракция возникает, когда волны преодолевают преграду и огибают ее.
- Когерентность и монохроматичность: Когерентность относится к фазовой связи между волнами, необходимой для интерференции. Монохроматичность означает, что свет содержит только одну длину волны, что также важно для интерференции.
- Фаза и разность фаз: Фаза световой волны определяет ее состояние в определенный момент времени. Разность фаз - различие в фазах между двумя световыми волнами, определяющее их взаимодействие.

- Поляризация: Оптическая поляризация света относится к направлению колебаний электрического поля в электромагнитной волне. Поляризованный свет может взаимодействовать с поляризованными фильтрами и материалами.

- Преломление и отражение: Основные законы преломления и отражения света описывают, как свет изменяет свое направление при переходе из одной среды в другую или при отражении от поверхности.

Эти концепции волновой оптики являются основой для понимания свойств света и используются в широком спектре областей, от создания оптических устройств до исследований в фундаментальной физике и инженерии..

II. Интерференция света

2.1 Определение интерференции

Интерференция — это явление волновой оптики, которое возникает при наложении двух или нескольких световых волн в одной точке пространства. При интерференции волны могут складываться либо усиливать друг друга (конструктивная интерференция), либо ослаблять или полностью уничтожать друг друга (деструктивная интерференция).

Ключевой момент в интерференции — это разность фаз между волнами. Если фазы волн совпадают или отличаются на целое число длин волн, происходит конструктивная интерференция, и амплитуда результирующей волны увеличивается. В случае, когда разность фаз составляет половину длины волны или нечетное количество половин длины волны, происходит деструктивная интерференция, и амплитуды волн могут уничтожить друг друга.

Интерференция является важным явлением, используемым в различных областях, таких как физика, инженерия, медицина и технологии. Она позволяет ученым изучать свойства света, создавать оптические устройства, а также применяться в инструментах для измерения малых расстояний и структур.

Конструктивная и деструктивная интерференция - это два основных типа взаимодействия между волнами, которые могут быть объяснены с точки зрения математики через понятие разности фаз между волнами.

Конструктивная интерференция происходит, когда две или более волны находятся в фазе друг с другом. Это приводит к усилению или увеличению амплитуды интерферирующих волн. В математическом аспекте конструктивная интерференция происходит, когда разность фаз между волнами соответствует целому числу длин волн, то есть когда разность фаз δ равна $m\lambda$, где m - целое число, а λ - длина волны.

Математически это выражается формулой:

$$\delta = m \cdot \lambda$$

Здесь δ - разность фаз между волнами, а m - целое число (например, 0, 1, 2, и т.д.), указывающее количество длин волн, на которое отличаются фазы волн.

Деструктивная интерференция происходит, когда две или более волны находятся в противоположной фазе, что приводит к уменьшению или полному уничтожению амплитуды в результате интерференции. Математически, это происходит, когда разность фаз между волнами соответствует половине длины волны $\frac{\lambda}{2}$:

$$\delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$$

Здесь δ - разность фаз между волнами, а m - целое число. Когда разность фаз соответствует $\frac{\lambda}{2}$, волны находятся в противоположной фазе, и их амплитуды будут полностью уничтожать друг друга.

Таким образом, через понятие разности фаз математика объясняет, как интерференция может усиливать или ослаблять волны при их взаимодействии.

2.2 Условия интерференции

Для наблюдения интерференции света необходимо соблюсти несколько условий, которые обеспечивают соответствующие фазовые соотношения между волнами. Основные условия включают:

- Когерентность источников: Источники света должны быть когерентными, то есть иметь постоянную разность фаз между собой. Для интерференции необходимо, чтобы фазы волн, излучаемых различными источниками, были постоянными или по меньшей мере постоянно менялись с известным законом.
- Монохроматичность света: Интерференция лучше всего наблюдается при использовании монохроматического света, то есть света определенной частоты (одной длины волны). Это позволяет создать волну с постоянной частотой и фазой.
- Совпадение направлений источников света: Волны от разных источников должны распространяться в одном направлении и налегаться друг на друга в одной точке пространства.

Эти условия необходимы для наблюдения четких интерференционных узоров, которые проявляются в виде изменений яркости или темноты в зависимости от смещения фаз между волнами. Если эти условия не выполняются, то интерференция может быть менее очевидной или вовсе не наблюдаться..

III. Математические основы интерференции

3.1 Уравнение интерференции

Формула интерференции:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} * \cos(\delta)$$

где I - интенсивность, I_1 и I_2 интенсивности волн, δ - разность фаз.

3.2 Применение уравнения

Применение формулы интерференции для расчета интенсивности интерференционных полос и изменения яркости в интерференционных узорах.

Интенсивность интерференционной картины зависит от значения $\cos(\delta)$. Если $\delta = 2\pi n$ (где n - целое число), то $\cos(\delta) = 1$, что соответствует конструктивной интерференции. Если $\delta = (2n + 1)\pi$ (где n - целое число), то $\cos(\delta) = -1$, что соответствует деструктивной интерференции.

Расчеты по этой формуле позволяют определить, где на интерференционной карте будут светлые и темные полосы в зависимости от разности фаз между интерферирующими волнами. Увеличение интенсивности света соответствует светлым полосам, а уменьшение - темным.

IV. Практическое применение интерференции

4.1 Интерференция в природе

Примеры интерференции в природе: тонкие пленки, зебровые полосы на мыльных пузырях, радуги и т.д.

Методы наблюдения интерференции:

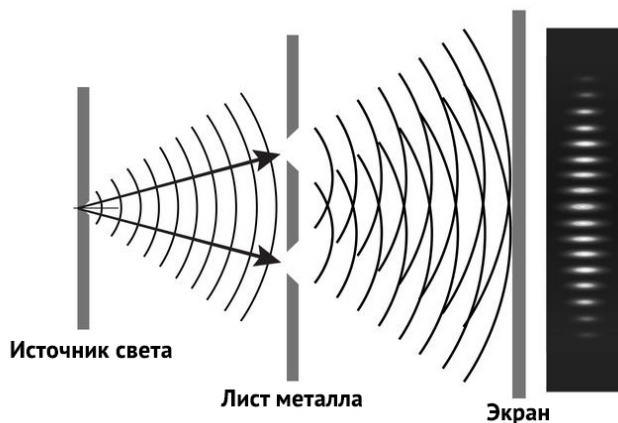
Опыт Юнга - это классический опыт, проведенный Томасом Юнгом в 1801 году, который впервые доказал волновую природу света и продемонстрировал интерференцию света. Он представляет собой классический эксперимент, подтверждающий волновую теорию света.

Опыт Юнга включает использование монохроматического источника света (обычно лазерного), который проходит через узкое отверстие и падает на экран с двумя параллельными узкими щелями. Свет от этих щелей интерферирует друг с другом на экране, создавая интерференционные полосы.

На экране можно наблюдать яркие и темные полосы (интерференционные полосы), которые объясняются взаимодействием волн от двух щелей. Когда разность фаз между двумя волнами, прошедшими через две щели, соответствует целому числу длин волн (конструктивная интерференция), формируются яркие полосы. Если разность фаз соответствует половине длины волны или кратным этой величине (деструктивная интерференция), образуются темные полосы.

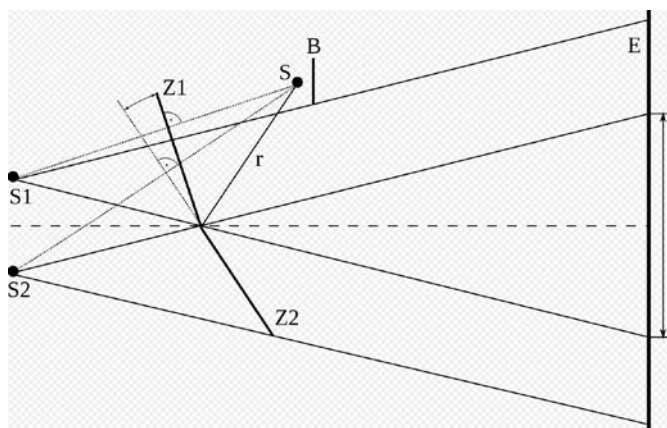
Методы наблюдения интерференции света.

Опыт Юнга и результаты, которые он продемонстрировал, подтверждают волновую природу света и позволяют убедиться в существовании интерференции света, что является ключевым доказательством теории волновой оптики.



Опыт Юнга

Зеркала Френеля - это система параллельных плоских зеркал, расположенных под углом друг к другу. Они используются для изучения интерференции и дифракции света. Зеркала Френеля могут создавать интерференционные полосы, отражая свет от своих поверхностей. Важно отметить, что зеркала Френеля похожи на бипризму Френеля, но вместо двух призм используются зеркала.



Формулы, связанные с зеркалами Френеля, включают:

Разность хода между отраженными лучами от параллельных зеркал Френеля задается формулой:

$$\Delta = d \cdot \sin(\theta)$$

где:

Δ - разность хода,

d - расстояние между параллельными зеркалами,

θ - угол падения света на зеркала.

Условие максимума (*конструктивной интерференции*) или минимума (*деструктивной интерференции*) интерференционных полос, создаваемых зеркалами Френеля, выражается формулой:

$$\Delta = m \cdot \lambda$$

где:

m - порядок интерференции (целое число),

λ - длина волны света.

Расстояние между интерференционными полосами на экране связано с разностью хода и длиной волны света:

$$x = \frac{\Delta}{\lambda} * L$$

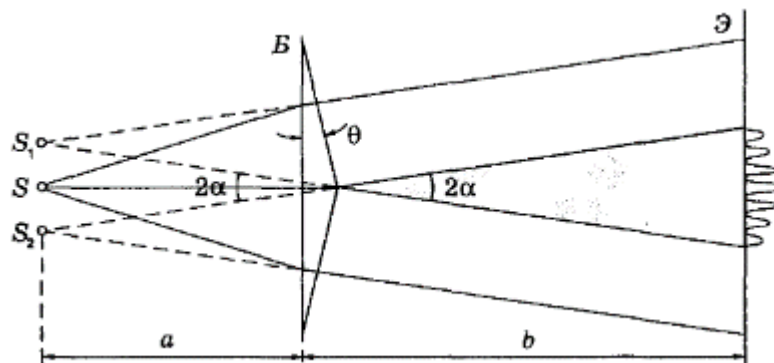
где:

x - расстояние между полосами на экране,

L - расстояние от зеркал до экрана.

Эти формулы позволяют определить условия интерференции света при использовании зеркал Френеля и предсказать характер интерференционной картины в зависимости от параметров, таких как расстояние между зеркалами, угол падения света и длина волны света.

Бипризма Френеля - это оптическое устройство, используемое для изучения интерференции света. Она состоит из двух призм, расположенных так, что их грани прилегают друг к другу, образуя угол. Этот угол позволяет изгибать лучи света и создавать интерференцию между ними.



Формулы, связанные с бипризмой Френеля, включают:

Разность хода между двумя лучами, прошедшими через бипризму Френеля, определяется следующей формулой:

$$\Delta = d \cdot (\mu - 1) \cdot (\alpha + \beta)$$

где:

Δ - разность хода,

d - толщина бипризмы,

μ - коэффициент преломления материала бипризмы,

α и β - углы, определяющие пути лучей через бипризму.

Условие конструктивной интерференции (максимума) или деструктивной интерференции (минимума) световых волн в бипризме Френеля задается формулой:

$$\Delta = m \cdot \lambda$$

где:

m - порядок интерференции (целое число),

λ - длина волны света.

Сдвиг интерференционной картины:

Смещение интерференционной картины на экране связано с разностью хода и длиной волны следующим образом:

$$x = \frac{\Delta}{\lambda} * f$$

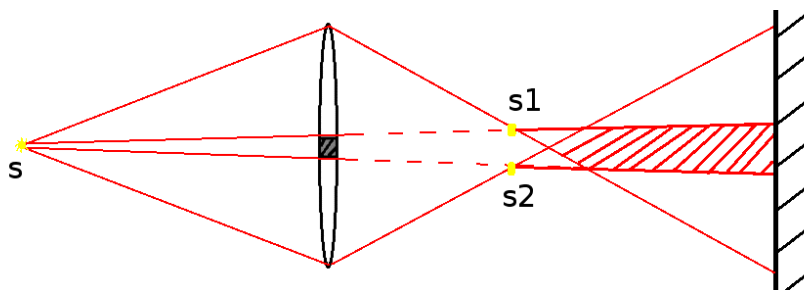
где:

x - смещение на экране,

f - фокусное расстояние линзы или объектива, используемого для наблюдения.

Эти формулы позволяют определить характер интерференции света, создаваемой бипризмой Френеля, и изучить изменения интерференционной картины в зависимости от параметров, таких как толщина бипризмы, углы её составляющих частей и длина волны света.

Билинза Бийе (или Билье) представляет собой устройство, состоящее из двух симметричных линз, имеющих различные фокусные расстояния. Она используется для изучения интерференции волн света и определения их длин волн.



Формулы, связанные с билинзой Бийе, включают:

Разность хода между лучами света, прошедшими через билинзу Бийе, определяется формулой:

$$\Delta = d * \left(\frac{n_2}{f_2} - \frac{n_1}{f_1} \right)$$

где:

Δ - разность хода,

d - толщина билинзы (расстояние между линзами),

n_1 и n_2 - показатели преломления линз,

f_1 и f_2 - фокусные расстояния линз.

Условие максимума (*конструктивной интерференции*) или минимума (*деструктивной интерференции*) интерференционных полос в билинзе Бийе задается формулой:

$$\Delta = m \cdot \lambda$$

где:

m - порядок интерференции (целое число),

λ - длина волны света.

Длина волны света:

При использовании билинзы Бийе можно определить длину волны света по формуле:

$$\lambda = \frac{\Delta}{m}$$

где:

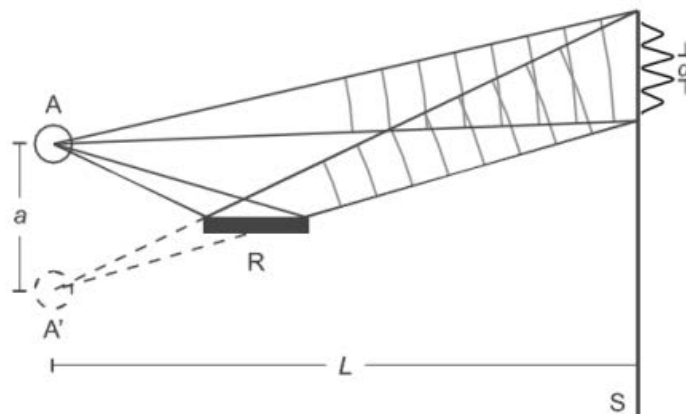
λ - длина волны света,

Δ - разность хода,

m - порядок интерференции.

Эти формулы позволяют изучать интерференцию волн света с использованием билинзы Бийе и определять параметры света, такие как длина волны, используя метод интерференции и анализ интерференционной картины, создаваемой этой системой линз.

Зеркало Ллойда - это устройство, используемое для измерения длин волн света путем создания интерференционной картины. Оно состоит из стеклянной пластины с тонким серебряным покрытием. При известной толщине покрытия на стекле возникают интерференционные полосы при отражении света от верхней и нижней поверхностей покрытия.



Формулы, связанные с зеркалом Ллойда, включают:

Разность хода между отраженными лучами от верхней и нижней поверхностей покрытия задается формулой:

$$\Delta = 2 \cdot n \cdot d$$

где:

Δ - разность хода,

n - показатель преломления стекла,

d - толщина покрытия.

Условие максимума (*конструктивной интерференции*) или минимума (*деструктивной интерференции*) интерференционных полос на зеркале Ллойда задается формулой:

$$\Delta = m \cdot \lambda$$

где:

m - порядок интерференции (целое число),

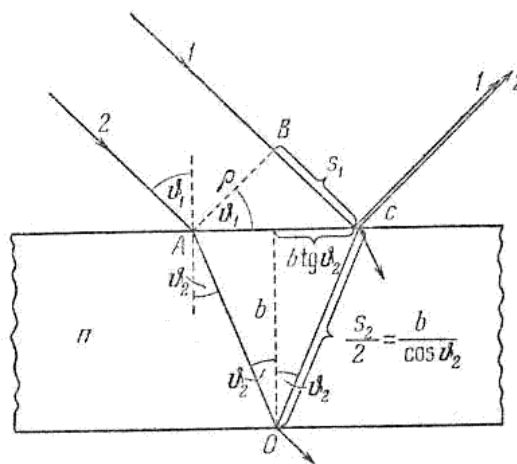
λ - длина волны света.

Длина волны света может быть вычислена, используя разность хода и порядок интерференции:

$$\lambda = \frac{\Delta}{m}$$

Эти формулы позволяют определить длину волны света, создавая интерференционные полосы на зеркале Ллойда и используя известные параметры, такие как показатель преломления стекла и толщина покрытия, для анализа интерференционной картины.

Интерференция в тонких пленках происходит при взаимодействии света с двумя поверхностями различных сред, например, воздуха и пленки или двух разных слоев материала. Это может создавать интерференционные полосы из-за отражения и преломления света на этих поверхностях.



Формулы, связанные с интерференцией в тонких пленках, включают:

Разность хода между отраженными и преломленными лучами света в тонкой пленке задается формулой:

$$\Delta = 2 \cdot n \cdot d$$

где:

Δ - разность хода,

n - показатель преломления материала пленки,

d - толщина пленки.

Условие максимума (*конструктивной интерференции*) или минимума (*деструктивной интерференции*) интерференционных полос в тонкой пленке задается формулой:

$$\Delta = m \cdot \lambda$$

где:

m - порядок интерференции (целое число),

λ - длина волны света.

Цветные полосы:

Для тонких пленок различной толщины, цвета, наблюдаемые в интерференционной картины, связаны с разностью хода. Полосы определенной длины волны создают цветные оттенки в зависимости от толщины пленки.

Формула Рэлея:

Для пленок, в которых есть два материала с разными показателями преломления, можно использовать формулу Рэлея для определения разности хода:

$$\Delta = 2 \cdot n \cdot d \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \cdot \sin^2(\theta)}$$

где:

n_1 и n_2 - показатели преломления материалов, θ - угол падения света на пленку.

Эти формулы помогают описать интерференцию в тонких пленках, предсказать видимые цвета и интерференционные полосы, а также понять зависимость цвета от толщины пленки и свойств материала.

4.2 Техническое использование интерференции

Применение интерференции в технологии: использование в интерферометрах для измерения малых расстояний и поверхностей.

Интерферометры - это приборы, используемые для измерения разности фаз или длины волн света путем наблюдения интерференции. Они могут использоваться для измерения длины волн света, толщины объектов, определения индекса преломления и других параметров. Существует несколько типов интерферометров, вот некоторые из них:

Майкельсона-Морли: Один из наиболее известных исторических интерферометров, который был использован для измерения эффекта эфира и проверки гипотезы о стационарности эфирного вещества.

Творчества-Хола: Используется для измерения длины волн, спектрального разрешения и для создания голограмм.

Мичельсона: Обычно используется для измерения разности фаз волн, а также в оптических телекоммуникациях.

Интерферометр Фабри-Перо: Этот интерферометр позволяет создавать высококачественные интерференционные кольца и измерять длину волн света.

Санкт-Венана: Используется для измерения индекса преломления газов и жидкостей.

Фундаментальные формулы и концепции, связанные с интерферометрами, зависят от конкретного типа интерферометра. Однако, общие концепции интерференции, такие как условия интерференции (максимума и минимума), разность хода и длина волны света, широко используются для описания и анализа данных, получаемых через интерферометры.

Интерферометры широко применяются в научных исследованиях, в промышленности (например, для измерения и контроля качества), в медицинских приборах и других областях, где требуется точное измерение различных параметров света и волновых характеристик.

Заключение

Эта лекция предоставляет студентам углубленное понимание волновой оптики и интерференции света. Понимание этих концепций позволяет студентам анализировать и предсказывать поведение света как волны, а также применять эти знания в различных областях, от фундаментальных научных исследований до технологических разработок.