

Тема 5.2. Волновые свойства света

Содержание темы: Интерференция света. Когерентность световых лучей. Интерференция в тонких плёнках. Кольца Ньютона. Использование интерференции в науке и технике.

Интерференция света.

Интерференция света — перераспределение интенсивности света в результате наложения (суперпозиции) нескольких световых волн. Это явление обычно характеризуется чередующимися в пространстве максимумами и минимумами интенсивности света. ru.wiki.ruru.wikipedia.org*



История открытия

Впервые явление интерференции было независимо обнаружено учёными Робертом Бойлем и Робертом Гуком в конце XVII века. Они наблюдали возникновение разноцветной окраски тонких плёнок, подобных масляным или бензиновым пятнам на поверхности воды. ru.wiki.ruvk.com

Томас Юнг в 1801 году дал детальное объяснение этому явлению и ввёл термин «интерференция». Он также провёл первый демонстрационный эксперимент по наблюдению интерференции света, получив картину от двух щелевых источников. ru.wiki.ruvk.comm-focus.ru

Механизм явления

При интерференции происходит **перераспределение энергии** по волновому фронту. Среднее значение энергии во всех точках равно сумме энергий, приносимых обеими волнами. videouroki.net

Условия максимумов и минимумов интерференции:

- Если разность хода волн равна целому числу длин волн, колебания, возбуждаемые в некоторой точке обеими волнами, находятся в одинаковых фазах и усиливают друг друга.
- Если разность хода равна нечётному числу длин полуволн, колебания, возбуждаемые в той же точке обеими волнами, находятся в противофазе и ослабляют друг друга.

videouroki.net

Примеры интерференции

- **Радужное окрашивание** масляных пятен на воде, мыльных пузырей, крыльев насекомых, оксидных плёнок на металлах. old.bigenc.ruportal.tpu.ru

- **Кольца Ньютона** — интерференционная картина в виде концентрических колец, возникающая в воздушном зазоре между соприкасающимися поверхностями линзы и стекла. ege-study.ruportal.tpu.ru

Где можно наблюдать

Интерференцию света можно наблюдать в разных ситуациях, например:

- **В тонких плёнках** — при освещении протяжённым источником света картина интерференционных полос воспринимается на поверхности плёнки.
- **В воздушных прослойках** — например, при освещении линзы монохроматическим светом образуется тёмное пятно, окружённое чередующимися тёмными и светлыми концентрическими кольцами.

old.bigenc.ruru.wikipedia.org*

Когерентность световых лучей.

Когерентность световых лучей — это свойство, при котором их фаза в различных точках пространства и времени связана определённым образом. Когерентные лучи способны интерферировать, то есть накладываться друг на друга с образованием устойчивой интерференционной картины. ru.ruwiki.ru

Причины когерентности

Когерентность возникает, когда источник испускает волны **одинаковой частоты (монохроматические) с постоянной во времени разностью фаз**. geeksforgeeks.org/ru.ruwiki.ru

В реальных источниках свет обычно некогерентен, так как состоит из колебаний различных частот, которые хаотически меняются во времени. Для наблюдения интерференции когерентные лучи получают с помощью специальных устройств. physics.spbstu.ruatom.tpu.rustudwork.ruru.ruwiki.ru

Виды когерентности

Различают **временную и пространственную когерентность**:

- **Временная когерентность** связана с разбросом частот. Характеризуется **временем когерентности** — минимальным временем, за которое изменение разности фаз волн достигает значения, при котором ещё наблюдается интерференция. online.mephi.rufn.bmstu.ru
- **Пространственная когерентность** возникает, если волны испускаются различными участками протяжённого источника. Характеризуется **площадью когерентности** — максимальным расстоянием между когерентными вторичными источниками света поперёк луча. online.mephi.rufn.bmstu.ruphys.spbu.ru

Примеры когерентных источников

- **Лазеры** — источники света с высокой степенью когерентности, испускающие монохроматический свет с постоянной разностью фаз.
- **Опыт Юнга** — классический эксперимент, где один источник света разделяется на два когерентных пучка с помощью двух щелей.
- **Бипризма Френеля** — устройство, которое создаёт два когерентных мнимых источника из одного реального: свет от точечного источника проходит через бипризму, которая преломляет пучки так, что они кажутся исходящими из двух мнимых источников.

geeksforgeeks.org/ru.ruwiki.ru

Измерение когерентности

Когерентность световых лучей измеряют с помощью **интерферометров** — приборов, которые регистрируют интерференционную картину. Например, в интерферометре Юнга степень когерентности определяют по контрасту интерференционной картины, которая зависит от расстояния между щелями и разности времён распространения света. online.mephi.ru/optics.sinp.msu.ru/old.bigenc.rufn.bmstu.ru

Интерференция в тонких плёнках.

Интерференция в тонких плёнках — явление, при котором **световые волны, отражённые от верхней и нижней границ тонкой плёнки, интерферируют друг с другом**. Это приводит к усилению отражения на одних длинах волн и ослаблению — на других. ru.wikipedia.org*en.wikipedia.org



Теория явления

Луч света, падающий на поверхность плёнки, разделяется на две волны: часть отражается от верхней поверхности, часть преломляется. Преломлённый луч достигает нижней границы, затем отражается от неё и, снова преломившись, выходит в воздушную среду когерентным с первым лучом. ru.wikipedia.org*edu.tsu.ru

Результат интерференции зависит от **разности хода волн**, которая зависит от толщины плёнки, показателя преломления и угла падения света. Если разность хода равна целому числу длин волн, наблюдается максимум интерференции, если полуцелому — минимум. edu.tsu.rulib.sgugit.ru

Примеры

- **Окраска тонких плёнок.** Например, радужная окраска мыльных пузырей, плёнок масла или нефти на поверхности воды, оксидных плёнок на закалённых стальных деталях. ru.wikipedia.org*q.yandex.ru
- **Интерференционные полосы.** Если толщина плёнки переменна (например, в форме клина), то при освещении монохроматическим светом в разных её местах образуются либо тёмные, либо светлые полосы — линии равной толщины. fn.bmstu.ru/edu.tsu.ru

Применение

Явление интерференции в тонких плёнках используется в различных областях, например:

- **Просветление оптики.** На поверхность линз наносят тонкую плёнку, толщина и показатель преломления которой подбираются так, чтобы в отражённом свете был интерференционный

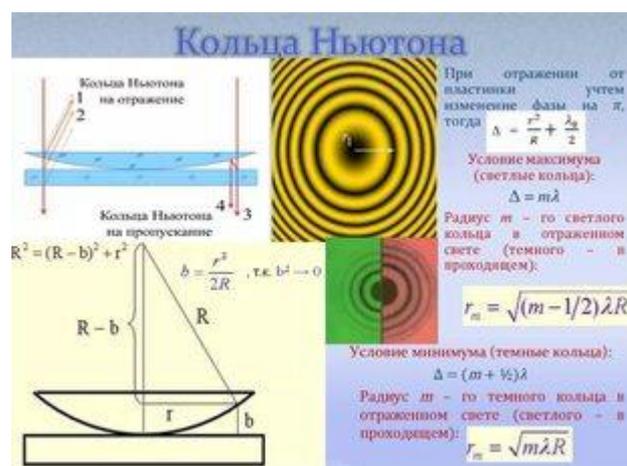
минимум. В результате через объектив проходит больше света, и изображение становится более ярким.

- **Контроль качества шлифовки поверхностей.** Между контролируемой и эталонной поверхностями создают тонкую клиновидную прослойку воздуха. Волны, отражаясь от верхней и нижней поверхностей, образуют интерференционную картину — светлые и тёмные полосы. Ровные полосы указывают на идеальную гладкость поверхностей.

app.OnlineSchool-1.ruprofil.adu.by

Кольца Ньютона.

Кольца Ньютона — это кольцеобразные интерференционные максимумы и минимумы, которые появляются вокруг точки касания выпуклой линзы и плоскопараллельной пластины при прохождении света сквозь линзу и пластину. ru.wikipedia.org*ru.ruwiki.ru



История открытия

Явление колец Ньютона впервые было описано **И. Ньютоном** в 1675 году. Учёный установил связь между размерами колец и кривизной линзы, но удовлетворительно объяснить причины их образования смог лишь значительно позже Томас

Юнг. ru.wikipedia.org*bigenc.ruru.ruwiki.ru

Механизм образования

Кольца Ньютона возникают из-за **интерференции световых волн**, отражённых от границ тонкого воздушного зазора между линзой и пластиной. infourok.ruWika.TutorOnline.ru

Когда на систему падает монохроматический свет, часть волн отражается от верхней поверхности зазора (нижней поверхности линзы), а другая — от нижней (верхней поверхности стеклянной пластины). Эти волны когерентны (имеют одинаковую частоту и постоянную разность фаз) и могут интерферировать друг с другом. dzen.ru

Тёмные кольца появляются, когда разность хода между волнами равна целому числу длин волн (или полуцелому с учётом потери полуволны при отражении от оптически более плотной среды). В этих точках волны гасят друг друга, приводя к минимуму интенсивности света. dzen.ru

Светлые кольца возникают, когда разность хода между волнами равна полуцелому числу длин волн. В этих точках волны усиливают друг друга, создавая максимум интенсивности света. dzen.ru

Применение

Кольца Ньютона используются для решения различных задач, например:

- **Измерение радиуса кривизны линз.** По размеру колец можно вычислить радиус кривизны линзы или линзовых поверхностей. reshka.feniks.helpdzen.ru
- **Исследование оптических поверхностей.** Кольца Ньютона помогают контролировать качество линз — если равномерность колец нарушена, это может указывать на дефекты на поверхности оптических элементов. reshka.feniks.help
- **Определение длины волны света.** Если известны радиусы колец, можно вычислить длину волны используемого света. [dzen.ru/Wika.TutorOnline.ru](http://dzen.ru/Wika/TutorOnline.ru)

Где можно наблюдать

Кольца Ньютона наблюдаются **и в проходящем, и (более отчётливо) в отражённом свете.** bigenc.ru

Для наблюдения обычно используют плосковыпуклую линзу с большой кривизной, положенную выпуклой стороной на стеклянную пластину. dzen.ruege-study.ru

Использование интерференции в науке и технике.

Интерференция широко используется в науке и технике в различных областях, таких как оптика, акустика и радиотехника. m-focus.rupro-prosveshenie.rudic.academic.ru

Применение в оптике

- **Просветление оптики.** На поверхности оптических компонентов (линз, призм, зеркал) наносят тонкие плёнки, которые гасят отражённые волны, усиливая интенсивность проходящего света. videouroki.netspravochnick.ru
- **Контроль качества обработки поверхностей.** Неровности исследуемой поверхности вызывают заметные искривления интерференционных полос, образующихся при отражении света. videouroki.netinfourok.ru
- **Анализ химического состава и физических характеристик газов.** Интерферометры используют для изучения газов и других пропускающих свет веществ. spravochnick.ru

Интерференционные фильтры

Интерференция в тонких плёнках
если тонкая плёнка в воздухе ($n > 1$, $n_0 = n_2 = 1$), то для отражённых лучей оптическая разность хода:
 $\Delta = 2nd \cos(\theta) + \lambda/2$ или $\Delta = 2nd \cos^2(\theta) + \lambda/2$
максимумы интерференции при $2nd \cos(\theta) + \lambda/2 = m \lambda$

Интерференция для тонкого слоя
для коэф. отражения R и пропускания T: $R + T = 1$
амплитуда прошедшей волны: $E_2 = E_{20} + E_{22} + \dots + E_{2N}$
сдвиг фаз между волнами: $\delta = 4nd \cos \theta$
в итоге: $E_2 = TE_0(1 + Re^{-i\delta} + \dots + R^{N-1}e^{-i(N-1)\delta})$
интенсивность прошедшей волны:
 $I = \frac{E_2 E_2^*}{2} = I_0 \frac{T^2}{(1 - R^2 + 4R \cos^2 \frac{\delta}{2})}$ (формула Шюве)
• в максимуме $I_2 = I_0$ (волна проходит без потерь)
• в минимуме пропускание зависит от коэффициента отражения
 $I_{\min} = I_0 \frac{(1 - R)^2}{(1 + R)^2}$
→ требуются высокие коэффициенты отражения

Применение в акустике

- **Создание звуковых эффектов.** Например, интерференция звуковых волн используется в музыкальных инструментах и системах звукоусиления для создания сложных звуковых эффектов.

- **Системы шумоподавления.** В наушниках, уменьшающих уровень окружающего шума, воспроизводят вторую звуковую волну, сдвинутую по фазе на полупериод, что создаёт ослабляющую интерференцию.

m-focus.ruaudiomania.ru

Применение в радиотехнике

- **Создание антенн с улучшенными характеристиками.** Интерференция радиоволн используется для оптимизации работы радиосервисов, например, за счёт адаптации антенн под многолучевое распространение сигналов и минимизации потерь сигнала.
- **Измерение расстояний и скорости радиоволн.** Исследуя интерференционную структуру поля двух передатчиков, можно измерять расстояние между ними, а зная это расстояние, — с высокой степенью точности определять скорость распространения радиоволн.

begemot.aidic.academic.ru

Примеры приборов, основанных на интерференции

- **Интерферометр Майкельсона.** Оптический прибор для измерения разности хода между двумя световыми волнами. Состоит из двух зеркал и двух призм, расположенных на определённом расстоянии друг от друга. focus-msk.rukopilkaurokov.ru
- **Интерферометр Жамена.** Состоит из двух параллельных пластин, между которыми находится тонкий слой прозрачного материала, который преломляет свет и создаёт интерференционную картину. focus-msk.ru
- **Интерферометр Фабри-Перо.** Многолучевой интерферометр, который используется для исследования тонкой структуры спектра оптического излучения. fn.bmstu.rukopilkaurokov.ru