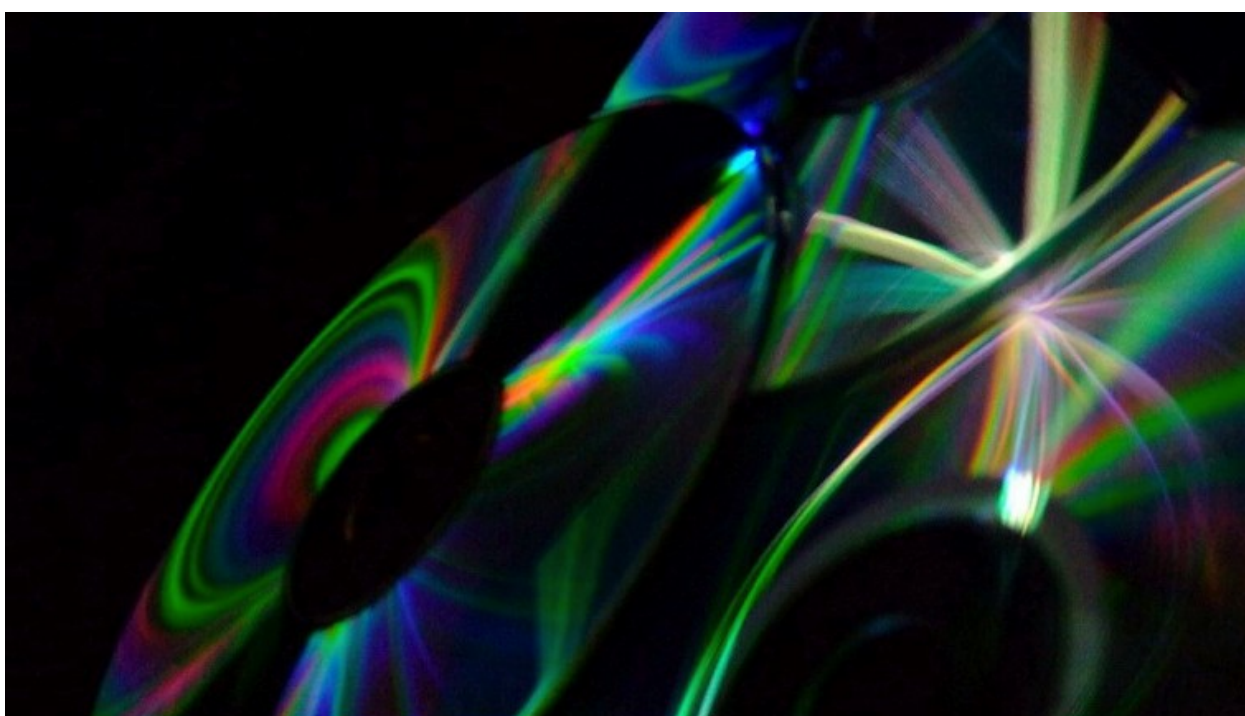


Областное государственное автономное
общеобразовательное учреждение
«Центр образования «Ступени»

Исследовательская ученическая работа
Тема: «Интерференция света»



Выполнил: Чешев Александр,
обучающийся 11 класса

Руководитель: Бередух С.В.,
учитель физики

г. Биробиджан, 2013 г

Если монохроматические световые волны имеют постоянную во времени разность фаз и колебания их световых векторов происходят в одной плоскости, то они называются когерентными (от греч. *cohereus* - согласованный). Такие согласованные когерентные волны при наложении их друг на друга могут создать в пространстве картину, заключающуюся в чередовании светлых и темных областей. Данное явление перераспределения интенсивности световой волны в пространстве при наложении двух или нескольких когерентных волн называется интерференцией света.

Любое светящееся тело состоит из огромного количества светящихся атомов, каждый из которых излучает лишь очень короткое время $\tau =$ и затем «потухает». За это время атом испускает кусок волны около 3 м, который называют волновым цугом. Затем возбуждение атома повторяется, но излучаемый волновой цуг будет иметь другую начальную фазу, которая задается случайным образом. Цуги одного атома, а тем более цуги разных атомов, принадлежащих одному источнику, будут некогерентными. В результате наложения световых волн от двух независимых источников (например, двух электрических ламп накаливания) явление интерференции никогда не наблюдается.

1. Расчет интерференционной картины

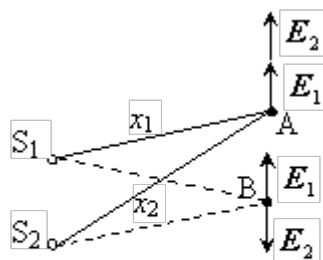


Рис. 2.1
Интерференция света

Если в некоторую точку А одновременно приходят две световые волны от когерентных источников света S_1 и S_2 , световые векторы которых колеблются в одной плоскости (рис. 1). Пусть источники начинают излучать одновременно, начальные фазы волн равны нулю и амплитуды одинаковы. Тогда уравнения волн можно записать следующим образом:

$$E_1 = E_0 \sin(\omega t - kx_1) = E_0 \sin\left(\omega t - \frac{x_1}{c}\right),$$

$$\text{поскольку } k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi\nu}{c} = \frac{\omega}{c};$$

$$E_2 = E_0 \sin(\omega t - kx_2) = E_0 \sin\left(\omega t - \frac{x_2}{c}\right).$$

Складывая эти выражения, можно получить что результирующая величина E в точке А будет равна:

$$E = E_1 + E_2 = 2E_0 \cos \omega \frac{x_2 - x_1}{2c} \sin \omega\left(t - \frac{x_1 + x_2}{2c}\right).$$

Величина $E_0 \cos$ не зависит от времени и является амплитудой суммарного колебания в точке А. Амплитуда может принимать нулевое значение, если

$\cos \omega \frac{x_2 - x_1}{2c}$, это выполняется если аргумент косинуса равен нечетному числу

. При этом происходит взаимное «гашение» волн и мы наблюдаем ослабление интенсивности суммарной волны, то есть интерференционный минимум. Определим положение в пространстве таких точек:

$$\omega \frac{x_2 - x_1}{2c} = \frac{2\pi c}{\lambda} \frac{(x_2 - x_1)}{2c} = \frac{\pi}{\lambda} (x_2 - x_1) = (2m + 1) \frac{\pi}{2}, \quad \text{откуда } x_2 - x_1 = (2m + 1) \frac{\lambda}{2},$$

где $m = 0, 1, 2, \dots$ - любое целое число, которое называется порядком интерференции.

Запись $(2k+1)\lambda/2$ означает нечетное число. x_1 и x_2 – геометрические пути световых волн от источников света S_1 и S_2 соответственно, до произвольной точки A (рис. 1).

Разность $x_2 - x_1 = \Delta$ называется геометрической разностью хода волн. Если свет распространяется в среде с показателем преломления n , необходимо рассматривать оптический путь волн. Если световые волны проходят в разных средах, их оптические пути будут $l_1 = x_1 n_1$ и $l_2 = x_2 n_2$ и оптическая разность хода $\Delta = l_2 - l_1$. Если в произвольной точке пространства оптическая разность хода накладываемых волн равна нечетному числу полуволн, то в ней наблюдается минимум интерференции.

2. Метод Юнга. Получение интерференционной картины

Когерентных источников света в природе не существует. Однако когерентные световые волны можно получить, если свет, идущий от одного источника, разделить на две (или более) части и затем заставить их встретиться. В силу общности своего происхождения полученные лучи должны быть когерентными и при наложении интерферировать. Такое разделение может быть осуществлено с помощью экранов и щелей (метод Юнга), зеркал (зеркала Френеля) и преломляющих тел (бипризма Френеля).

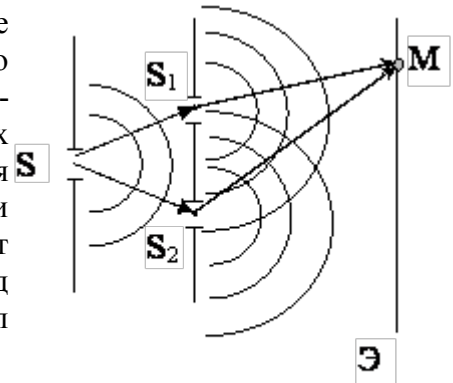


Рис. 2.2 Метод Юнга

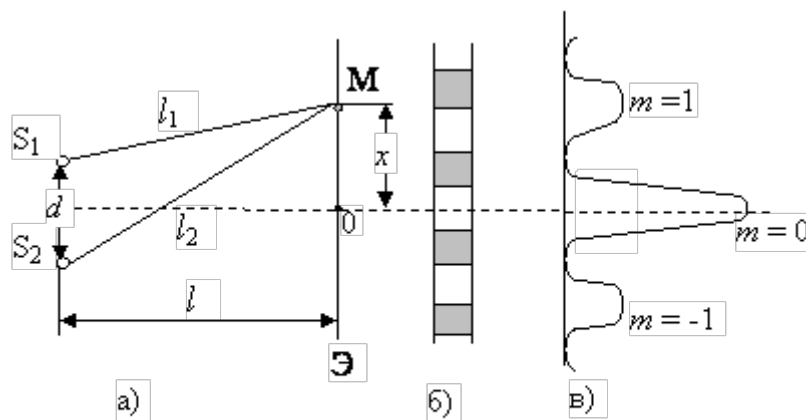


Рис. 2.3 Схема расчета интерференционной картины

В 1803г. английский физик Т.Юнг с помощью двух щелей получил на экране интерференционную картину. Его опыт заключался в следующем: источником света служила ярко освещенная щель S , от которой световая волна падала на две узкие равноудаленные щели S_1 и S_2 , параллельные S (рис. 3а). Щели S_1 и S_2 можно считать когерентными источниками света, а все три упомянутые

щели можно рассматривать как точечные источники, свет от которых распространяется во всех направлениях. Волны, идущие от S_1 и S_2 , накладываясь друг на друга, интерферируют. Интерференционная картина наблюдается на экране Э (рис. 3а).

При освещении щелей белым светом интерференционные максимумы становятся радужными. Это происходит из-за того, что положение интерференционного максимума зависит от длины волны падающего света, а белый свет содержит в себе все цвета спектра.

Максимумы коротких длин волн (фиолетовых) будут располагаться ближе к центру экрана, за ними следуют максимумы синих длин волн и т.д. до самых длинных красных (рис. 3 в). В середине экрана при $m = 0$ максимумы всех волн совпадут из-за отсутствия разности хода и получится белая полоса.

В настоящее время высокая степень когерентности световых лучей достигается с помощью лазеров.

3. Интерференция света в тонких пленках

В природе мы неоднократно наблюдали радужную окраску мыльных пузырей, тонких пленок нефти и масла на поверхности воды и оксидных пленок на поверхности металлов. Эти явления обусловлены интерференцией света в тонких пленках, возникающей при наложении когерентных световых волн, отраженных от верхней и нижней поверхностей пленки.

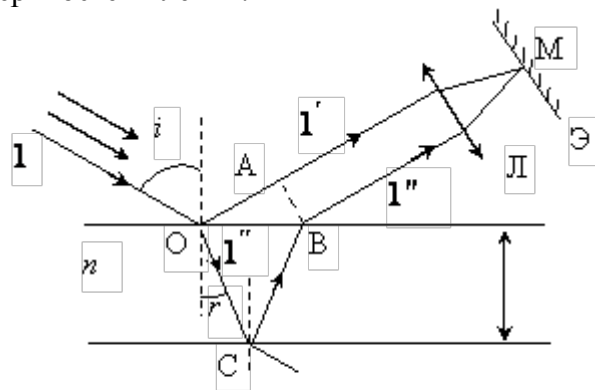


Рис. 2.4 Интерференция света в плоскопараллельной пленке

Пусть на плоскопараллельную прозрачную пластину с показателем преломления n и толщиной d под углом i падает плоская монохроматическая волна (рис. 4). Рассмотрим луч 1, который, коснувшись поверхности в точке O , разделится на два когерентных луча: отраженный от верхней поверхности пленки $1'$ и преломленный $1''$. Луч $1''$ пройдет пленку, частично отразится от нижней ее поверхности в точке C , дойдет до точки B и, преломившись, выйдет из пленки. Проведем прямую AB , перпендикулярную лучам $1'$ и $1''$. Путь, который оба луча пройдут от этой прямой до экрана, будет одинаковым, но от точки O до AB путь, пройденный лучами, будет различным. Найдем эту разность хода лучей Δ . С учетом показателя преломления пластинки n : $\Delta = (OC + CB) \cdot n - OA$, или, как дает математический расчет, $\Delta = 2dn \cdot \cos r = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i}$. Известно, что в процессе отражения от оптически более плотной среды, световой луч теряет половину длины волны $\lambda/2$. Если пластинка находится в воздухе, то $\lambda/2$ теряет луч $1'$ в точке O и выражение для разности хода приобретает вид:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}$$

Если на пути лучей поставить собирающую линзу, а в ее фокальной плоскости – экран, то лучи $1'$ и $1''$ соберутся в точке M . Освещенность точки экрана будет максимальной, если разность хода Δ составит целое число длин волн и минимальной, если Δ составит нечетное число полуволен.

Разберем вариант интерференции света в тонких пленках.

Если свет падает на клиновидную пластинку нормально (рис. 5), то полосы равной толщины локализованы на верхней поверхности клина. При освещении клина снизу, т.е. при наблюдении интерференции в проходящем свете, светлые и темные полосы на экране поменяются местами. Это происходит из-за того, что в данном случае нет потери полуволны. Ширина полос будет тем больше, чем меньше угол наклона α у клина. Если на клин падает белый свет, то интерференционные максимумы будут всех цветов спектра (как, например, радужная окраска мыльных пузырей).

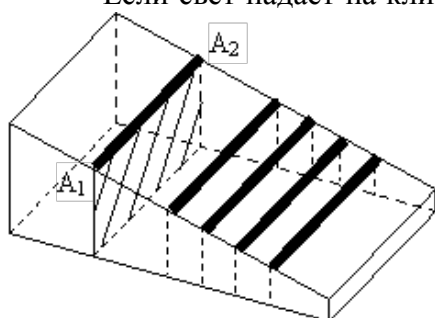


Рис. 2.7 Полосы равной толщины

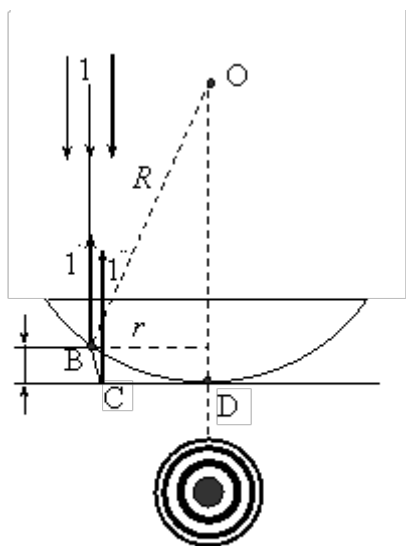


Рис. 2.8 Кольца Ньютона

Частным случаем полос равной толщины являются **кольца Ньютона (рис. 6)**. Их можно наблюдать с помощью оптической установки, схематически изображенной на рисунке. Плосковыпуклая линза большого радиуса кривизны лежит на плоской пластинке так, что между ними образуется воздушный клин переменной толщины d . Параллельный пучок света падает нормально на плоскую поверхность линзы и частично отражается от верхней (луч $1'$) и нижней (луч $1''$) поверхностей воздушного клина. Лучи $1'$ и $1''$ когерентные и имеют разность хода $\Delta = 2d - \lambda/2$. Такую же разность хода (а, значит, и одинаковое условие интерференции) будут иметь лучи, падающие на клин в местах одинаковой толщины d , а одинаковую толщину клин имеет по окружности. Поэтому интерференционная картина будет состоять из светлых и темных колец, называемых кольцами Ньютона. В центре картины находится темное пятно, которое обусловлено наложением лучей $1'$ и $1''$ в точке D, где $d = 0$, а разность хода $\Delta = \lambda/2$, что соответствует условию минимума. От точки D к краям линзы толщина клина неравномерно растет, поэтому ширина и интенсивность колец убывает по мере удаления их от центрального пятна. При наблюдении колец Ньютона в проходящем свете из-за отсутствия потери полуволны в центре картины будет наблюдаться светлое пятно, затем первое темное кольцо и так далее. Максимумы в проходящем свете соответствуют минимумам в отраженном. При наклонном падении света на линзу вместо колец на интерференционной картине получаются эллипсы. Если свет будет не монохроматическим, а белым, светлые кольца приобретают радужную окраску.

4. Применение интерференции

Перечислим важнейшие применения интерференции:

1. Измерение длин с очень большой точностью; это позволило дать легко воспроизводимое и достаточно точное определение единицы длины - метра, в зависимости от длины волны оранжевой линии криптона. Интерференционные компараторы позволяют сравнивать размеры до 1 метра с точностью до 0,05 мкм; меньшие размеры могут быть измерены с еще большей точностью. Такая высокая точность обусловлена тем, что изменение разности хода на десятую долю длины волны заметно смещает интерференционные полосы.

2. На явлении интерференции основано действие большого количества оптических приборов под общим названием интерферометры, которые используются для различных измерений. В оптикомеханической промышленности интерферометры используются для контроля качества оптических систем и контроля поверхности отдельных оптических деталей. В металлообрабатывающей промышленности – для контроля чистоты обработки металлических поверхностей. Изучение и контроль полировки зеркальных поверхностей

(для этого применяется так называемый интерферометр Линника) проводится с точностью до сотых долей длины волны.

3. С использованием явления интерференции проводится определение ряда важнейших величин, характеризующих вещества: коэффициента расширения твердых тел (дилатометры), показателя преломления газообразных, жидких и твердых тел (рефрактометры) и т.п. Интерференционные дилатометры позволяют зафиксировать удлинение образца на 0,02 мкм.

4. Широко распространены интерференционные спектрометры, применяемые для исследования спектрального состава излучения различных веществ.

5. Посредством интерференции поляризованных лучей проводится определение величин внутренних напряжений в различных деталях (метод фотоупругости).

