



ЛЕКЦИЯ № 1



Оптика – раздел физики, изучающий природу света, закономерности его испускания, распространения и взаимодействия с веществом.

Доцент кафедры физики СибГУТИ
ПИНЕГИНА ТАТЬЯНА ЮРЬЕВНА
Ст. преп. кафедры физики СибГУТИ
ЛУБСКИЙ ВИТАЛИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

В презентации, которая по волновой оптике состоит из 4 тем, излагаются основные понятия, формулировки законов, их математическая запись в виде уравнений и формул, показаны возможности и границы применения этих законов.

Учебно-методическая разработка (презентация) выполнена для оказания помощи студентам в работе над курсом физики для ВУЗов и для формирования компетенций ПК-2-17;ОПК-2-6 и т.д. Последовательное изложение теоретического материала может быть полезен студентам в их самостоятельной работе над теоретическим материалом курса физики и при выполнении индивидуальных заданий, а также поможет правильно ориентироваться студентам при выполнении лабораторных работ по данной тематике. Работа в основном предназначена для студентов 1 – 2 курсов технических специальностей дневной и заочной форм обучения.

Работа содержит 59 слайдов (по теме «Интерференция»). При использовании какой-либо информации из интернета указаны источники.

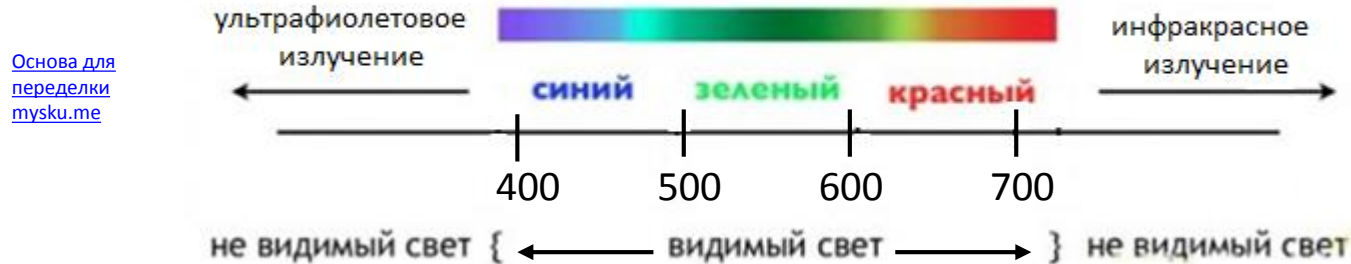
Кафедра физики СибГУТИ.

Авторы: к.т.н., доцент Пинегина Т.Ю., ст. преп. кафедры физики СибГУТИ Лубский В.В.,

Новосибирск, 2018 г.

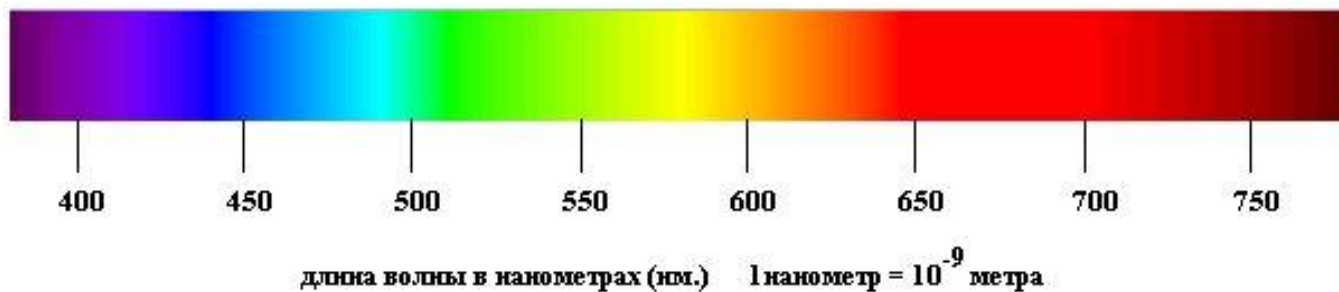
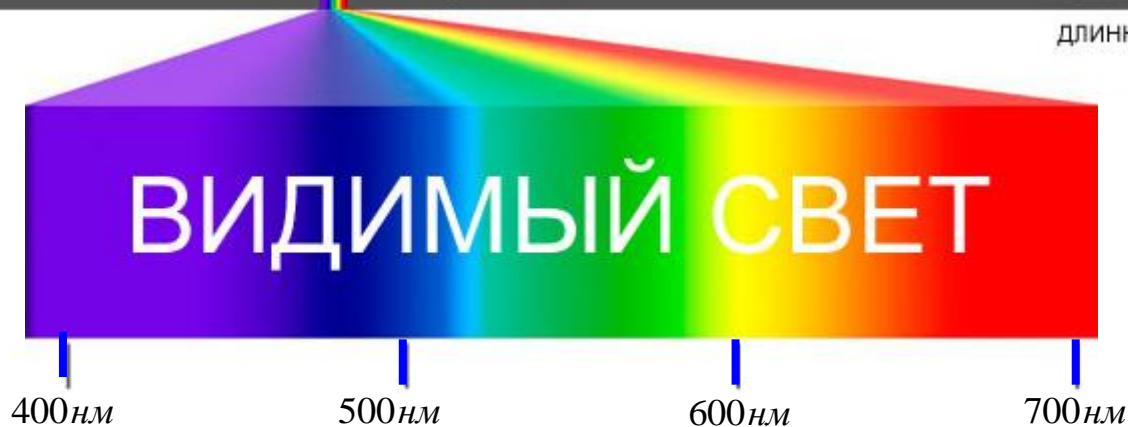
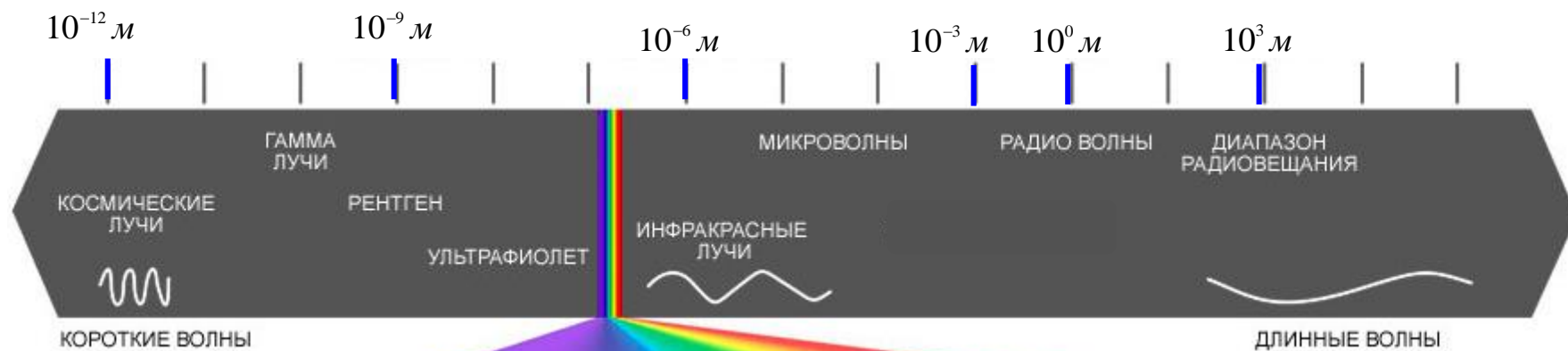
Из теории Максвелла следует, что свет – электромагнитная волна. *Особенность электромагнитных волн с длинами от 380 до 760 нм состоит в том, что они воспринимаются глазом человека.*

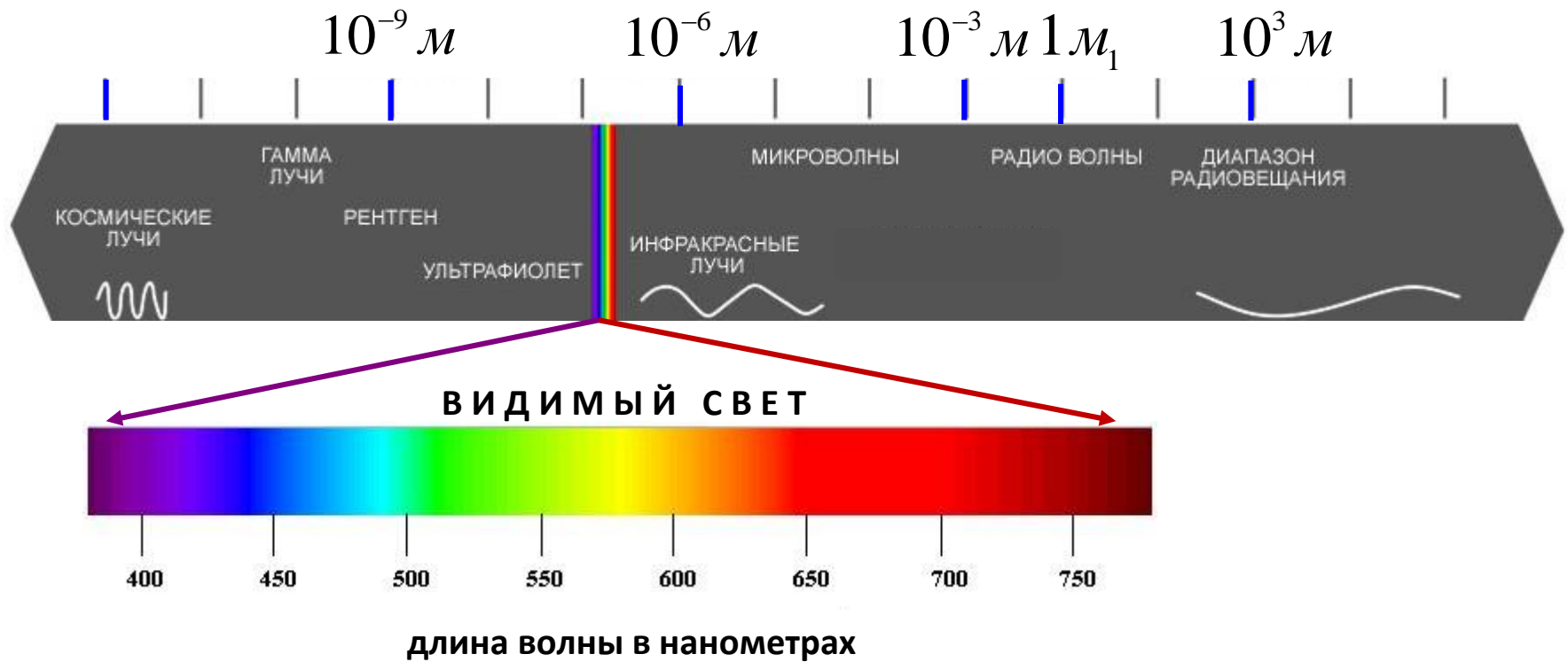
световой спектр в нанометрах



Инфракрасные и ультрафиолетовые лучи, которые не воспринимаются «на взгляд», подчиняются тем же законам, что и видимый свет. Их отличие состоит в том, что инфракрасное излучение оказывает на вещество сильное тепловое действие. А ультрафиолетовые лучи в малых дозах полезны для человека, кроме того они оказывают бактерицидное действие на микроорганизмы. Большие дозы пагубны для человеческого организма, особенно вредят они иммунной системе.

Раздел физики, изучающий световые электромагнитные волны, называется оптикой. К данной области воспринимаемых длин волн примыкают процессы с инфракрасным и ультрафиолетовым излучением.





Источники света – объекты, излучающие энергию, которая воспринимается зрительной системой человека.

Источники света

естественные
созданы природой

Солнце, звёзды, атмосферные разряды, светящиеся объекты растительного и животного мира (гнилушки; светлячки; морские рыбы; морские микроорганизмы и т.д.)

искусственные
созданы человеком

Экраны телевизоров, различные лампы, технические устройства, предназначенных для получения светового излучения.

Кроме того все излучения (и природные, и искусственные) можно разделить на:

тепловые - излучение за счет внутренней энергии движения атомов и молекул вещества

люминесцирующие – излучения под влиянием внешних воздействий (химических реакций, облучений и т.д.)



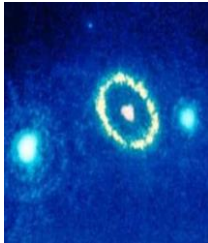
fashionblogsw.info

ИСТОЧНИКИ СВЕТА

естественные



ppt4web.ru



900igr.net



boombob.ru



ppt4web.ru



vilingstore.net



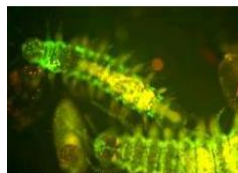
infourok.ru



dok.opredelim.com



ppt4web.ru



ppt4web.ru



mkrf.ru



spletnik.ru



her-consulting.com



infourok.ru



infourok.ru



hippt.net



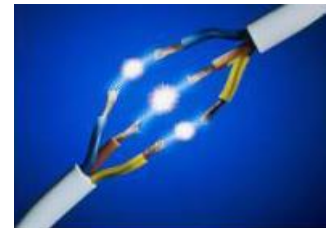
aaquisaasked.do.am



hron.com.ua



tes73.ru



ppt4web.ru



uslide.ru



ppt4web.ru



dok.opredelim.com



allyslide.com

ОПТИКА

В зависимости от рассматриваемых явлений оптика может быть разделена на 3 части

геометрическая оптика

Основа – экспериментальные данные и закон прямолинейного распространения света. Не рассматривается природа света. Размеры объекта много больше длины волны света. Используется понятие о световых лучах. Наиболее важное значение геометрическая оптика имеет для конструирования и расчетов оптических приборов: линз, фотоаппаратов, микроскопов, телескопов и т.д.

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

Свет – электромагнитная волна (основа - теория Максвелла). Волновая оптика изучает волновые свойства света: **интерференцию, дифракцию, поляризацию, дисперсию**

КВАНТОВАЯ ОПТИКА

Изучает взаимодействие света с веществом, при котором проявляются корпускулярные свойства света (основа – теория Планка).



§ 8.1. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Интерференцией волн называется наложение двух и более когерентных волн, при котором в зависимости от соотношения между фазами этих волн происходит устойчивое во времени их **взаимное усиление** в одних точках пространства и **ослабление** в других.

НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

Устойчивая интерференционная картина возникает только при наложении *когерентных волн*, которые имеют **постоянную, не изменяющуюся от времени, разность фаз в каждой конкретной точке пространства.**

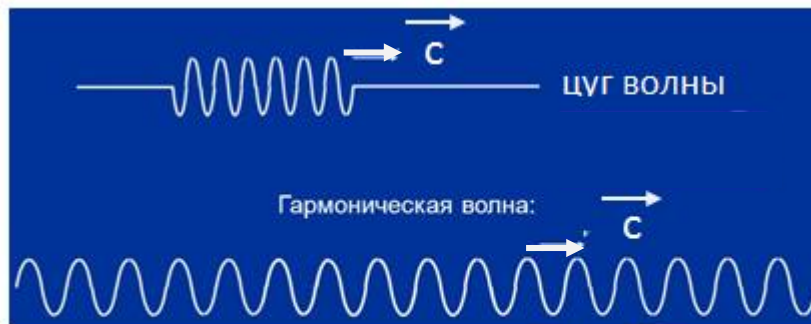
Необходимое условие интерференции волн их когерентность – согласованное протекание **во времени** и в **пространстве** нескольких волновых процессов.

Этому условию удовлетворяют **монохроматические волны** — неограниченные (бесконечные по протяженности) в пространстве, одной определенной амплитуды и строго постоянной длины волны (или частоты). Но от реальных источников нельзя получить такие волны.



Излучение отдельного атома не может быть монохроматическим, потому что возбужденный атом излучает конечный промежуток времени порядка

$\tau \sim 10^{-8} \text{ с}$, а затем атом переходит в нормальное состояние и излучение прекращается. Излучаемые короткие импульсы называются **волновым цугом**, длина которого равна $\ell = c \cdot \tau = 3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-8} = 3 \text{ м}$



Если рассматривать излучение от двух самостоятельных источников, то если их атомы находятся в возбужденном состоянии, то они излучают волны независимо друг от друга. Процессы излучения продолжается в течение короткого промежутка времени, после которого атом возвращается в нормальное состояние и излучение прекращается. Затем после возбуждения атом снова излучает световую волну, но уже с новой начальной фазой. Так как разность фаз между излучением двух таких независимых атомов изменяется при каждом новом акте испускания, то излучаемые даже одним атомом волны являются некогерентными. Их можно считать когерентными только в пределах одного цуга волны.

Фаза колебаний в определенной точке пространства сохраняется только в течение времени излучения цуга, это время называется **временем когерентности** τ . За это время волна распространяется в вакууме на расстояние, равное длине цуга $\ell = c\tau$, которая называется **длиной когерентности**. Таким образом, длина когерентности есть расстояние, после прохождения которого две или несколько волн утрачивают когерентность.

Если детализировать требования к когерентности волн от различных источников, то следует отметить следующее:

1) **Согласованность волн**, приходящих от разных источников в данную точку пространства, заключается в том, что разность фаз остается неизменной с течением времени для любой точки пространства. Это называется **временной когерентностью**.

2) **Согласованность волн**, которая заключается в том, что разность фаз остается постоянной в разных точках волновой поверхности, называется **пространственной когерентностью**.

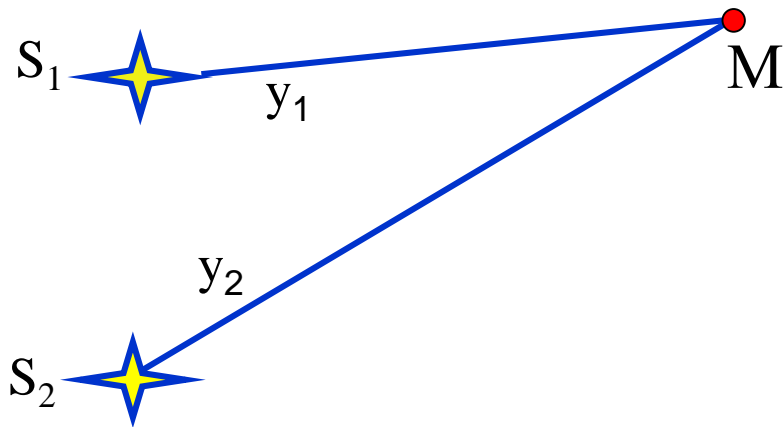


! *Требование пространственной когерентности накладывает условие на размеры источников.*

3) Условие когерентности складываемых волн является **необходимым**, но **недостаточным**, т.к. любая электромагнитная волна является волной поперечной.

Для получения интерференции необходимо, чтобы интерферирующие волны были поляризованы в одной плоскости, т.е. чтобы колебания векторов \vec{E} электромагнитных полей интерферирующих волн совершались вдоль одного и того же направления (**сложение сонаправленных колебаний**).

Рассмотрим интерференцию
от двух когерентных источников
 S_1 и S_2 в точке пространства
 M



y_1 , y_2 - расстояния от источников
до точки M

Волны, пришедшие в точку М от источников S_1 и S_2 описываются уравнениями:

$$E_1 = E_{01} \cos \left(\omega t - \frac{2\pi y_1}{\lambda} \right)$$

$$E_2 = E_{02} \cos \left(\omega t - \frac{2\pi y_2}{\lambda} \right)$$

При наложении двух волн в точке М имеем

$$\vec{E}_M = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

Напоминание: При сложении сонаправленных колебаний удобнее всего использовать векторную диаграмму.

Амплитуда результирующего колебания в точке М равна:

$$E_M = \sqrt{E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02} \cos \left(\frac{2\pi y_2}{\lambda} - \frac{2\pi y_1}{\lambda} \right)}$$

разность фаз двух
складываемых волн
в точке М

§ 8.1.1. УСЛОВИЕ МАКСИМУМА И МИНИМУМА ПРИ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

Результат наложения двух волн в любой точке зависит от разности фаз, возникшей между ними в результате прохождения разных путей от источников до рассматриваемой точки (разности хода). Основопологающая формула для интерференции – это формула связи **разности фаз** и **разности хода** (см. формулу).

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi(y_2 - y_1)}{\lambda} = k \Delta y$$

$\Delta\varphi$ – разность фаз

Δy – разность хода

$$k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}$$

- волновое число

**Условия максимума
при интерференции**

для разности фаз

$$\Delta\varphi = 2m\pi$$

для разности хода

$$\Delta y = y_2 - y_1 = 2m \frac{\lambda}{2}$$

$$m = 0, 1, 2, \dots$$

При интерференции волн в точке пространства наблюдается максимум результирующей амплитуды, а значит и интенсивности волн, если разность хода волн равна четному числу полуволн.

для разности фаз

$$\Delta\varphi = (2m + 1)\pi$$

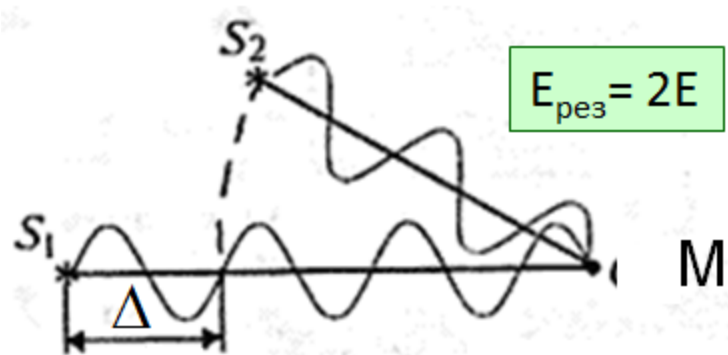
**Условия минимума
при интерференции**

для разности хода

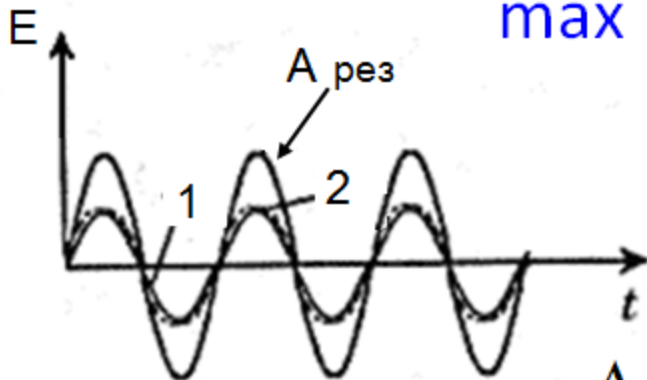
$$\Delta y = y_2 - y_1 = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}$$

$$m = 0, 1, 2, \dots$$

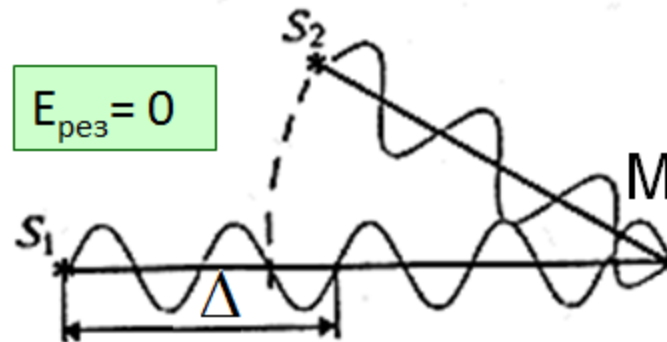
При интерференции волн в данной точке пространства наблюдается минимум амплитуды (и интенсивности) волны, если разность хода волн равна нечетному числу полуволн.



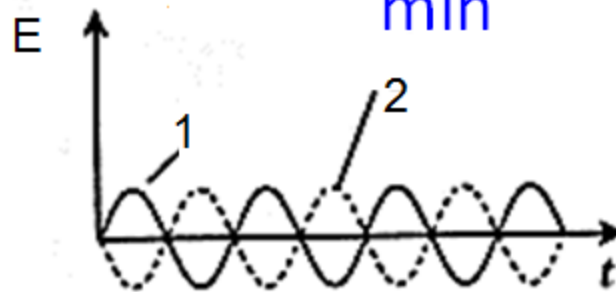
max



Δ - разность хода



min



Результат интерференции зависит в точке M от разности числа длин волн, укладывающихся на расстояниях, пройденных волнами от источников до точки наблюдения M .

ДЛЯ РАСЧЕТА ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ КАРТИНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НАДО УЧИТЫВАТЬ ЕЩЁ ДВА ФАКТА:

1) Изменение фазы волны при ее отражении

Для электромагнитной волны при отражении от оптически более плотной среды (т.е. среды с большим показателем преломления) *фаза волны скачком изменяется на угол, равный π радиан*, что приводит согласно связи разности фаз и разности хода, к добавочной разности хода в $\frac{\lambda}{2}$

2) Оптическая разность хода

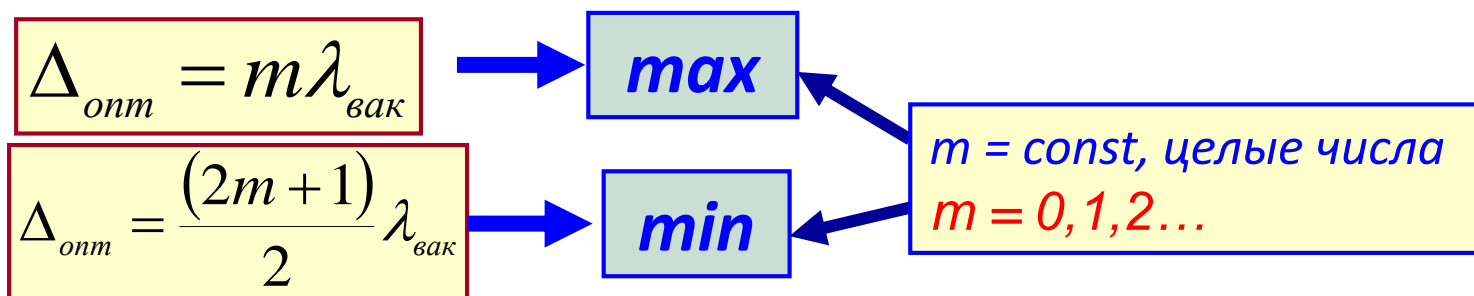
При прохождении света в разных средах различны скорости волн, а значит и длины волн света $\lambda_{\text{в среде}} = \frac{\lambda_{\text{вак}}}{n}$, n - показатель преломления среды.

Чтобы использовать одни и те же длины волн в условиях интерференции (взятые из таблицы) для всех путей, если они проходятся в разных средах, надо использовать понятия **оптических путей** волн.

Оптическая длина пути

Произведение расстояния, пройденного световой волной в пространстве, на показатель преломления среды n называется **оптической длиной пути** или оптическим ходом волны $l_{\text{опт}} = l_{\text{геом}} n$, где $l_{\text{геом}}$ – геометрический путь.

С введением понятия оптической длины пути и оптической разности хода переформулируем условия максимума и минимума при интерференции двух волн:



Способы получения когерентных волн

Получение когерентных волн для реализации интерференции осуществляется следующими способами:

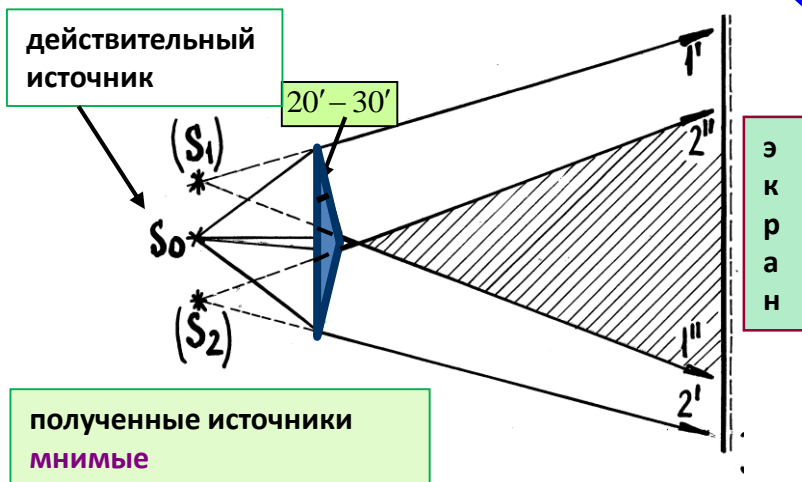
- 1) Надо свет от одного источника разделить на два пучка и, заставив их пройти различные пути, свести вместе. Разделение можно провести двумя способами: ● делением волны при прохождении дополнительных устройств, приводящее к формированию двух источников света; ● делением волны в пределах цуга.
- 2) От нескольких независимых источников света высокой степени монохроматичности (а значит, и когерентности), какими являются лазеры, получаются когерентные волны.

Способы получения когерентных волн

Во втором случае получение когерентных волн происходит делением волны в пределах цуга на две волны.

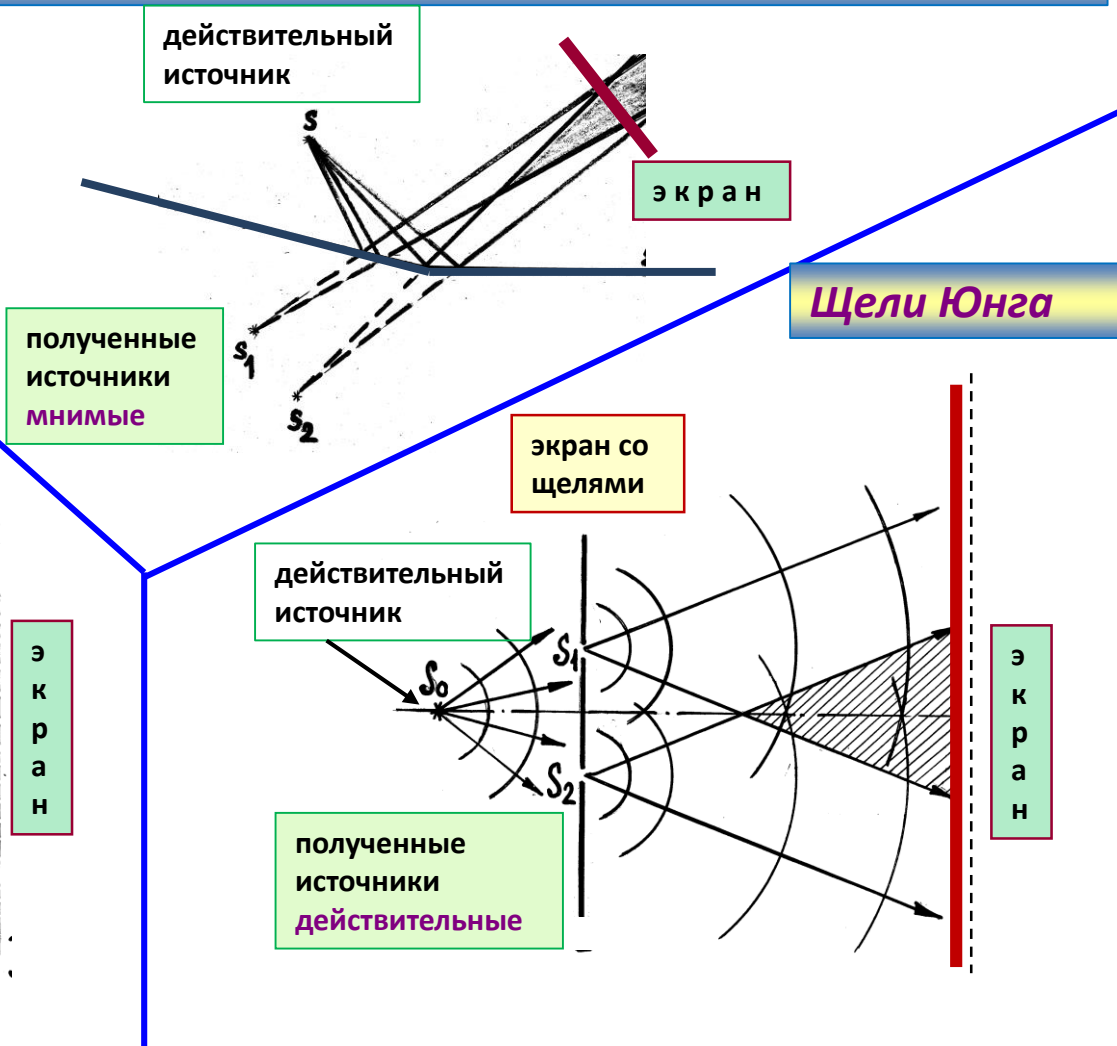
Оба способа разделения приводят к получению когерентных волн

Получения когерентных источников с помощью :
бипризмы Френеля
(лаб. работа 7.1)



Схемы получения когерентных волн в первом случае основаны на получении двух источников, которые являются двумя изображениями данного единого излучающего центра, или делением волнового потока на два. (Схемы Юнга).

Зеркала Френеля (расположены под углом, близким к 180°)



§ 8.1.2. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА ОТ ДВУХ КОГЕРЕНТНЫХ ИСТОЧНИКОВ МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО СВЕТА (*схема Юнга*)

Постановка задачи

- 1) Два когерентных источника S_1 и S_2 **монохроматического** света ($\lambda = \text{const}$), расстояние между которыми d . На расстоянии L от источников находится экран наблюдений.
 - 2) $d \ll L$ (источники точечные, размеры расстояний между источниками много меньше расстояний до точек на экране наблюдений)
-

Рассмотреть интерференционную картину на экране наблюдений.

Экспериментальная установка

Основные соотношения

Интерференционная картина на экране зависит от разности хода волн от двух источников. Если в точке М будет максимум, то $\Delta = m\lambda$.

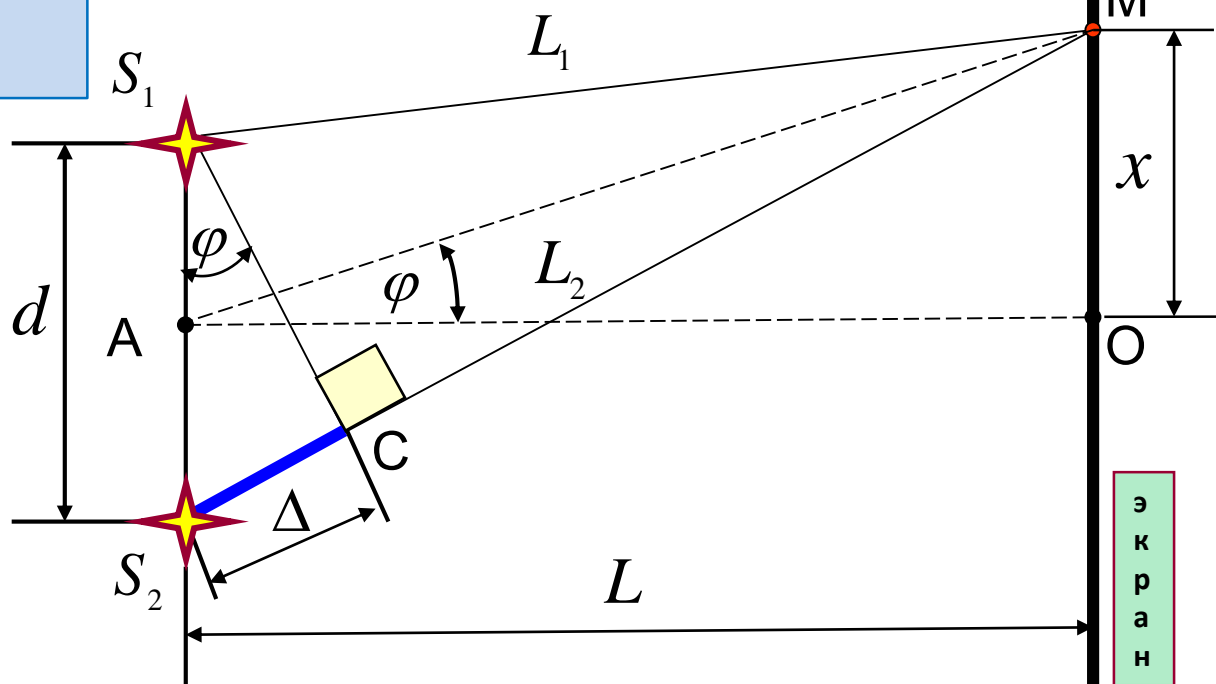
Треугольники ΔAMO и ΔS_2S_1C – подобные, в обоих случаях углы при вершинах равны φ (доказательство см. в курсе физики Трофимовой)

Из ΔS_2S_1C имеем $\Delta = d \cdot \sin \varphi$, а из ΔAMO $x = L \cdot \tan \varphi$.

Из условия задачи $d \ll L$, углы φ - малы, тогда $\sin \varphi \approx \tan \varphi$ и будет

выполняться соотношение

$$\frac{\Delta}{d} \approx \frac{x}{L}$$



Δ – разность хода; расстояние S_2C
 \bar{d} – расстояние между источниками;
 L – расстояние от источников до экрана наблюдения;
 x – координата точки М на экране наблюдений (ОМ)

Условия max при интерференции в схеме Юнга.
Координаты максимумов

max
m-го
порядка

$$\Delta = \pm m\lambda = \frac{x_m d}{L}$$

Координаты
максимумов
на экране

$$x_{mmax} = \pm \frac{m \lambda L}{d}$$

m — номер максимума
 $m = 0, 1, 2, 3, \dots$

Условия min при интерференции в схеме Юнга.
Координаты минимумов.

min
m-го
порядка

$$\Delta = \pm \frac{(2m+1)\lambda}{2} = \frac{x_m d}{L}$$

$m = 0, 1, 2, 3, \dots$

Координаты минимумов на экране

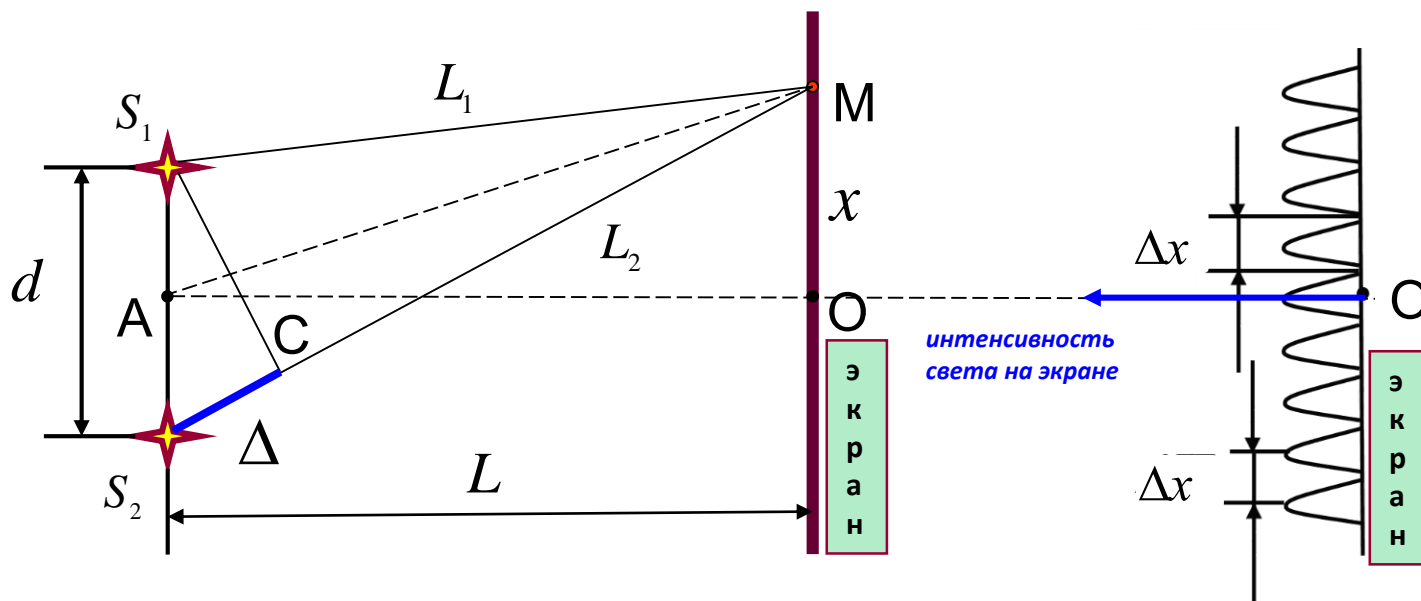
$$x_{mmin} = \frac{(2m+1)\lambda L}{2d}$$

Анализируя формулы, получим, что расстояние между соседними минимумами, а также между соседними максимумами одинаково.

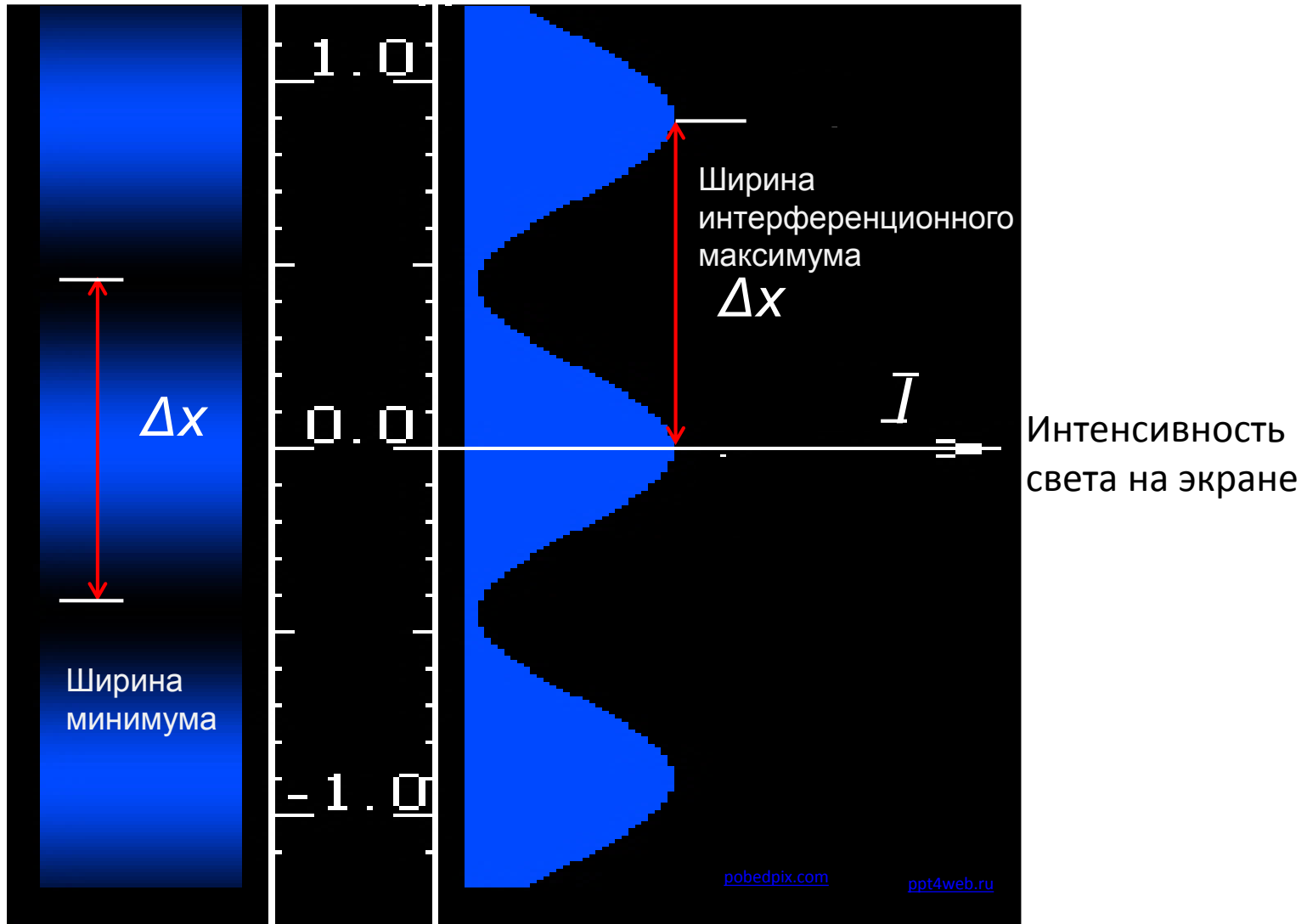
Оно называется **шириной интерференционной полосы**:

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

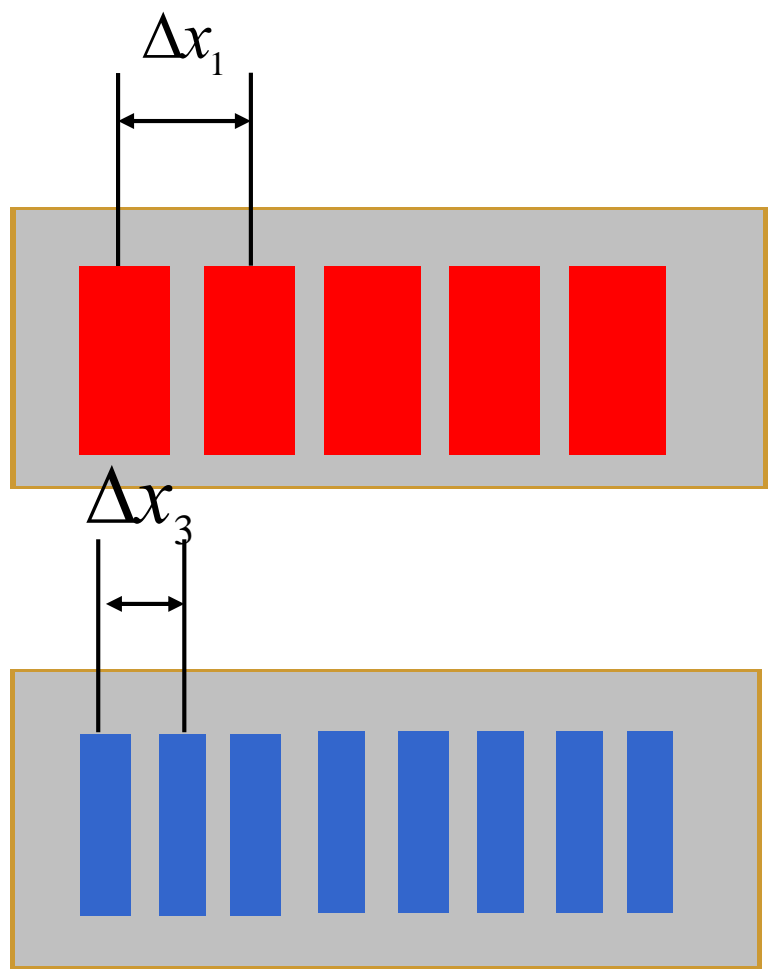
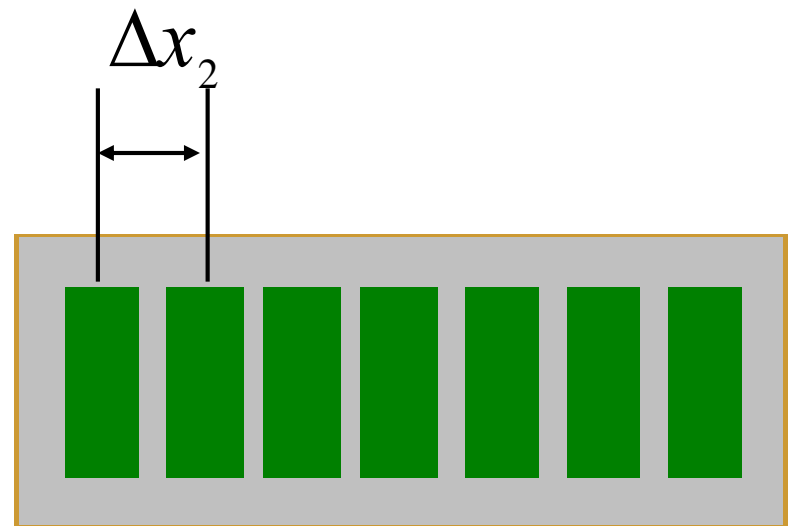
Интерференционная картина



Интенсивность – энергия волны в единицу времени, приходящаяся на единицу площади.



Докажите правильность этих интерференционных картин для разных длин волн .



Ответ

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

→

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$$

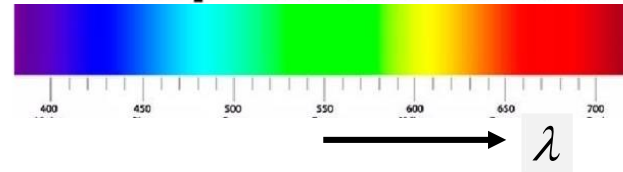
→

$$\Delta x_1 > \Delta x_2 > \Delta x_3$$

Интерференционная картина белого света в схеме Юнга

Белый свет состоит из 7 цветов КОЖЗГСФ

Спектр белого света



Разность хода для всех длин волн белого света, (т.е. для всех цветов) для точки О в центре экрана наблюдений равна нулю. Поэтому в точке О центральный максимум – всегда белый.

Если двигаться по экрану (вверх или вниз от точки О) разность хода будет возрастать и первое условие максимума выполнится для фиолетового цвета, затем – для синего и т.д. – до красного цвета включительно. Таким образом максимум первого порядка распадается на семь максимумов для семи цветов, из которых состоит белый свет. Максимум первого порядка называется в этом случае спектром первого порядка (от фиолета до красного света) и т.д.

Максимум первого порядка с $m = 1$ (как и других максимумы) распадется на семь максимумов согласно условиям:

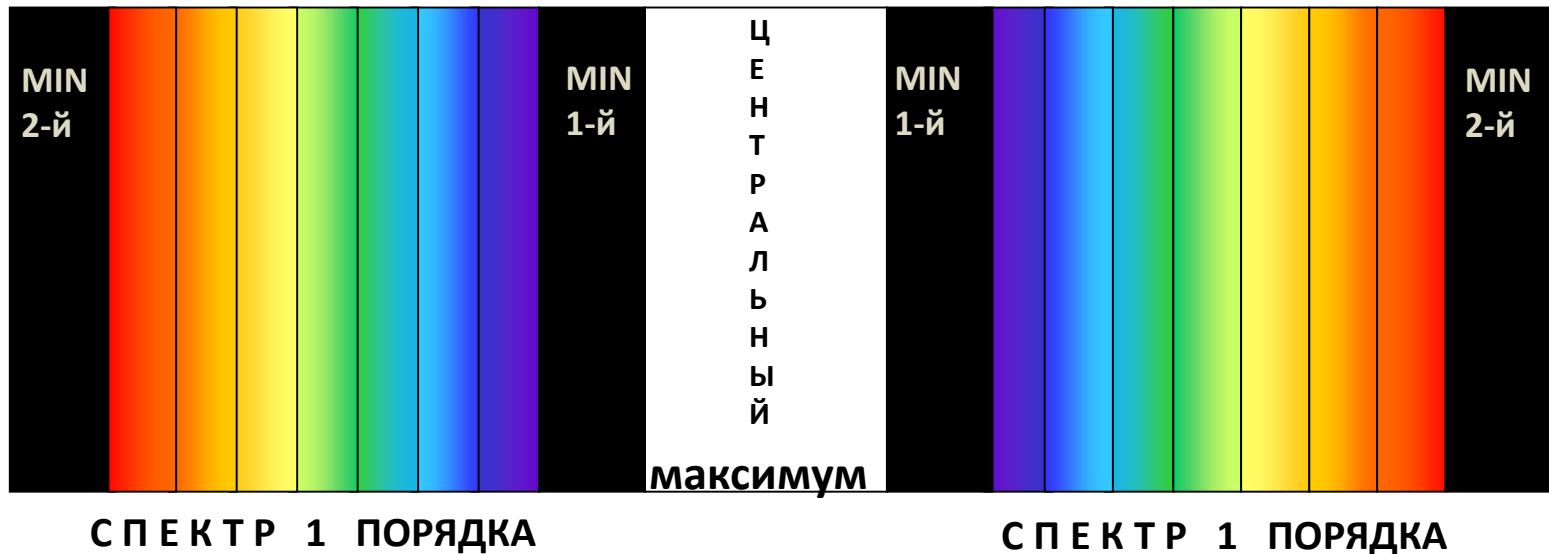
разности
хода

$$\begin{aligned} & \rightarrow (\Delta_{1max})_1 = \lambda_{\text{фиолет}}; \\ & \rightarrow (\Delta_{1max})_2 = \lambda_{\text{синей}}; \\ & \dots\dots\dots \\ & \rightarrow (\Delta_{1max})_7 = \lambda_{\text{красный}} \end{aligned}$$

первая линия максимума 1-ого порядка – фиолетовая,

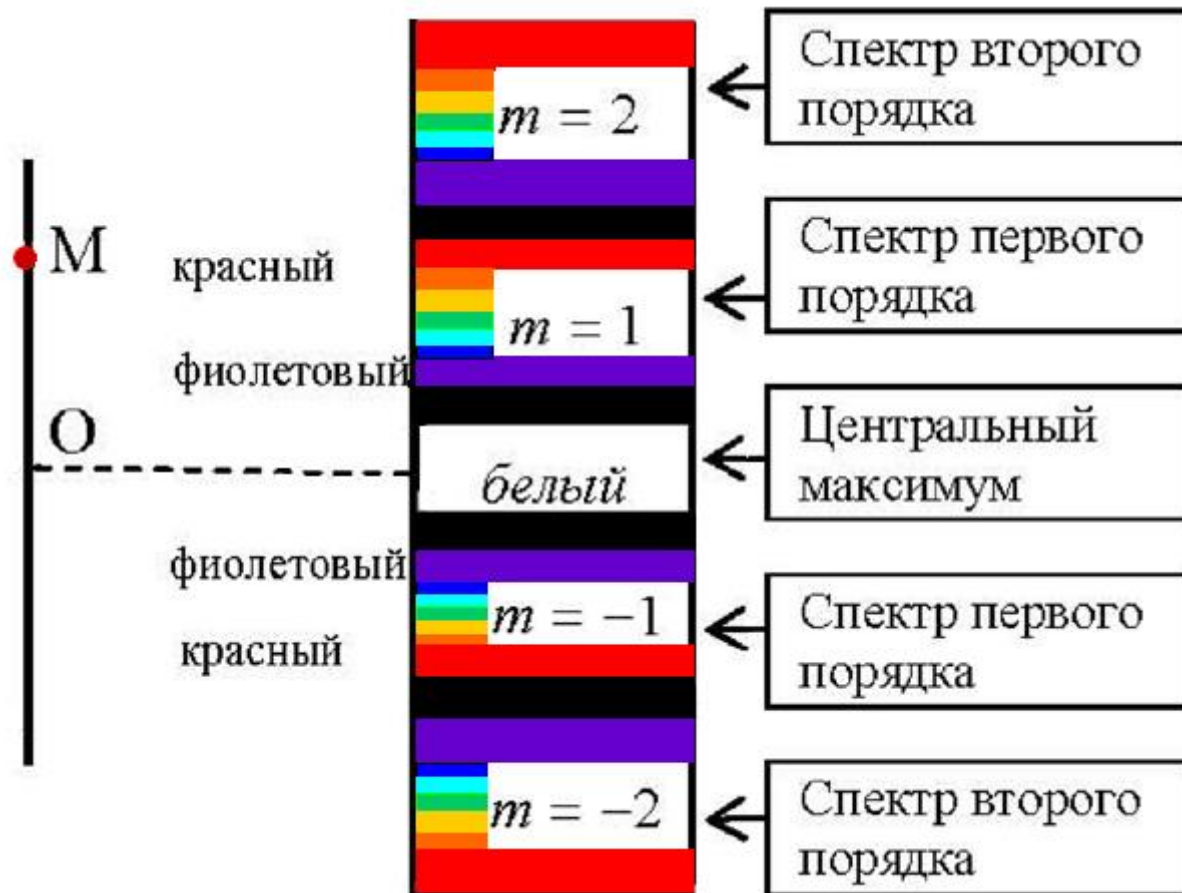
вторая линия – синяя,

седьмая линия - красная



Все максимумы, кроме центрального, распадаются на 7 цветов и называются **спектрами** соответствующего порядка

Интерференционная картина останется одинаковой для спектров любого порядка: и первого, и высшего порядка. Ширина спектров также постоянная: и в центре экрана наблюдений, и вверх, и вниз от центрального максимума.



§ 8.1.3. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНУЮ ПЛАСТИНУ (ИЛИ ТОНКУЮ ПЛЁНКУ). ПОЛОСЫ РАВНОГО НАКЛОНА.

В этих случаях получение когерентных волн происходит в результате деления одной волны в пределах цуга на две когерентные волны.

На тонкую пленку падает плоская волна (фронт волны - плоскость).

Отражаясь от верхней (наружной) и нижней (внутренней) поверхностей пленки и преломляясь в пластине, цуг падающей волны делится на две когерентные волны. И отраженная, и преломленная волны – плоские (фронты волн - плоскости).

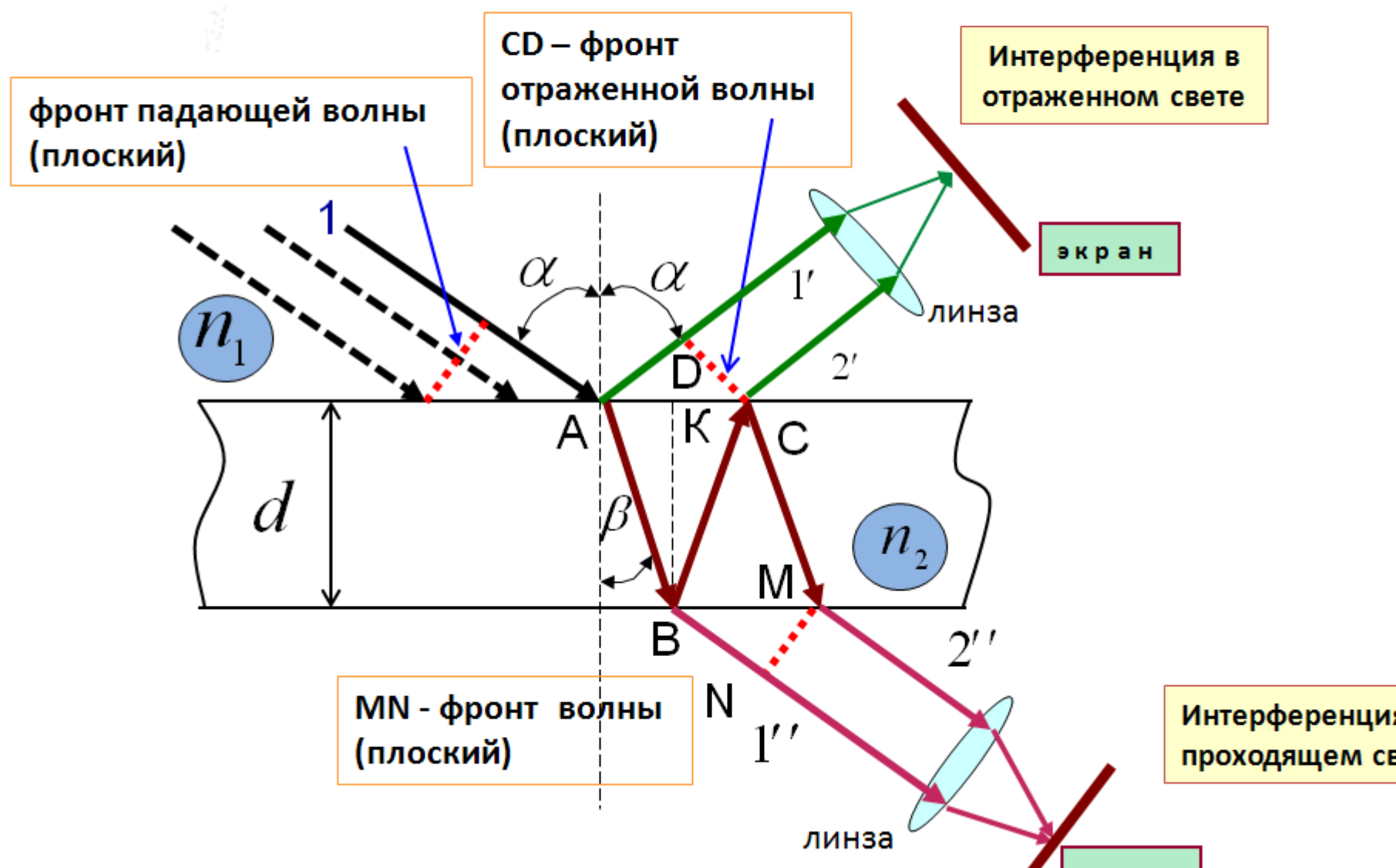
Постановка задачи

Из среды с показателем n_1 падает плоская волна (волновой фронт – плоскость) на тонкую пленку толщиной d и показателем преломления n_2 .
Выполняется соотношение $n_2 > n_1$ - вторая среда оптически более плотная.

Угол падения α , угол преломления β .

Рассчитать интерференционную картину в 1) отраженном, 2) проходящем свете.

Интерференция света, которая наблюдается, если смотреть на пленку сверху, т.е. на верхнюю поверхность плёнки, называется **интерференцией в отраженном свете**, а, если наблюдать результат интерференции на нижней поверхности плёнки, то картина называется **интерференцией в проходящем свете**.



§ 8.1.3 а. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНУЮ ПЛАСТИНУ.

При интерференции в отраженном свете учитывается разность хода от точки А до плоского фронта отраженной волны CD.

В точке А происходит отражение волны от оптически более плотной среды (пластины), а в точке В от оптически менее плотной среды

При отражении волны от оптически более плотной среды, происходит изменение ее фазы на величину π , что соответствует прибавлению в ход волны или вычитанию из хода волны величины $\pm \lambda/2$. (Это для точки А)

При отражении волны от оптически менее плотной среды, не происходит изменение ее фазы на величину π , и прибавление в ход волны или вычитание из хода волны величины $\lambda/2$ также не происходит. (Это для точки В). Вычисление прохождения волны в веществе пластины должно выполняться с учетом оптического хода.

При интерференции в отраженном свете интерферируют лучи 1' и 2' (см. рисунок). Для расчета оптической разности хода этих лучей (волн) запишем их пути этих волн от точки А до фронта CD.

Лишний ход луча 1' по сравнению с 2'

$$l_{opt1} = AD n_1 \pm \frac{\lambda}{2}$$

$\pm \frac{\lambda}{2}$ появляется в ходе луча 1' за счет отражения в точке А

Лишний ход луча 2' по сравнению с 1'

учитываем оптический ход луча 2' в пластине

$$l_{opt2} = AB n_2 + BC n_2 = (AB + BC) n_2$$

разность хода лучей 1' и 2'

$$\Delta_{отр} = (AB + BC) n_2 - \left(AD n_1 \pm \frac{\lambda}{2} \right)$$

Для вывода окончательной формулы для разности хода используем законы оптики и математические соотношения:

● Закон отражения: угол падения равен углу отражения α

● Закон преломления $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$

● Из треугольников $\triangle ABK$ и $\triangle CDK$ $AC = 2d \cdot \operatorname{tg} \beta$;

● $\triangle ACD$: $AD = AC \sin \alpha$

● $AB = BC = \frac{d}{\cos \beta}$;

$$\Delta_{\text{отп}} = 2d \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \alpha} \pm \frac{\lambda}{2} = 2d n_2 \cos \beta \pm \frac{\lambda}{2}$$

$\frac{\lambda}{2}$ за счет смены фазы в точке А может прибавляться или вычитаться в ход волны 1'

Расчет толщины плёнки, при которой в отраженном свете наблюдается максимум интерференции, т.е. глядя на поверхность пленки, мы видим её окрашенной в цвет падающего света.

$$\boxed{\text{max}} \rightarrow \boxed{\Delta_{\text{онм}} = 2m \frac{\lambda}{2}} \rightarrow \boxed{(d_{\text{окр}})_{\text{отр}} = \frac{(2m \pm 1)\lambda}{4\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \alpha}}}$$

Если брать знак плюс в формуле, то нумерация будет $m = 0, 1, 2, 3, \dots$

Если брать знак минус, то $m = 1, 2, 3, \dots$

Условие минимума означает, что пленка будет черная при толщине пленки:

$$\boxed{\text{min}} \rightarrow \boxed{\Delta_{\text{онм}} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}} \rightarrow \boxed{(d_{\text{темн}})_{\text{отр}} = \frac{m\lambda}{2\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \alpha}}}$$

Если падающий свет белый, то пленка при интерференции будет иметь окраску, совпадающую с цветом составляющей белого света, для которой выполнилось условие максимума.

Если пленка имеет переменную толщину, а падающий свет белый, то окраска пленки в разных местах будет различной.

§ 8.1.3 б. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА В ПРОХОДЯЩЕМ СВЕТЕ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНУЮ ПЛАСТИНУ.

При интерференции в проходящем свете интерферируют лучи 1'' и 2'' (см. рисунок). Для расчета оптической разности хода этих лучей (волн) запишем их пути этих волн от точки А до фронта MN.

Лишний ход луча 1''
по сравнению с 2''

$$l_{\text{онм } 1''} = AB \cdot n_2 + BN \cdot n_1$$

луч 1'' нигде не
отражается

Лишний ход луча 2'' по сравнению с 1'', учитываем оптический ход лучей в пластине, в точках отражения В и С смена фазы не происходит

$$l_{\text{онм } 2''} = (AB + BC + BM) \cdot n_2$$

разность хода лучей 1'' и 2''

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{проход}} &= (AB + BC + CM) \cdot n_2 - (AB \cdot n_2 + BN \cdot n_1) = \\ &= (BC + CM) \cdot n_2 - BN \cdot n_1 \end{aligned}$$

Если выразить разность хода интерферирующих лучей в проходящем свете через данные условия задачи, то получим выражение:

$$\Delta_{\text{проход}} = 2d \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \alpha} = 2d n_2 \cos \beta$$

Если сравнить разность хода лучей, которые дают интерференцию в проходящем и отраженном свете, то видно, что различаются они на величину $\frac{\lambda}{2}$

$$\Delta_{\text{отр}} = 2d \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \alpha} \pm \frac{\lambda}{2} = 2d n_2 \cos \beta \pm \frac{\lambda}{2}$$

Это означает, что если для падающего монохроматического света в отраженной картине выполняется условие максимума, то в то же время для интерференционной картины в проходящем свете будет верно условие минимума.

Если падающий свет белый, то пленка при интерференции будет иметь окраску, совпадающую с цветом составляющей белого света, для которой выполнилось условие максимума.

Если пленка имеет переменную толщину, а падающий свет белый, то окраска пленки в разных местах будет различной.

Радужные цвета тонких пленок

dddeti.ru

uslide.ru

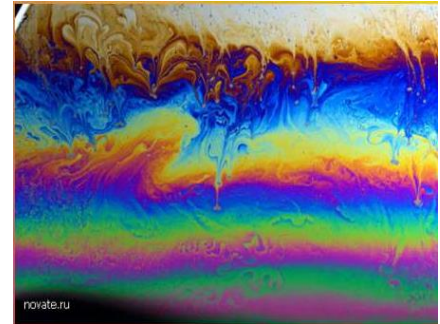
lifeiminerals.com

coretime.ru

infourok.ru

900igr.net

Окраска нефтяных, масляных, мыльных пленок

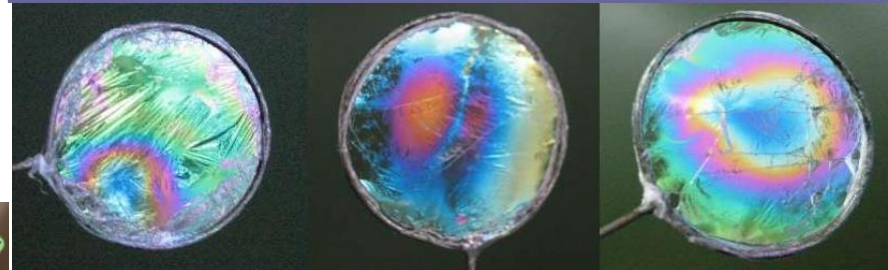


Интерференция света в природе

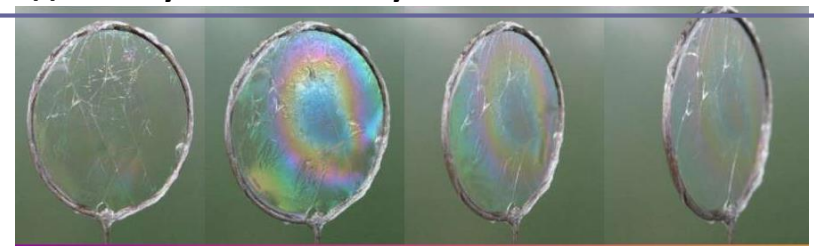
Радужная окраска крыльев и глаз насекомых



Интерференция на плёнке лака в воздухе



Зависимость интерференционной картины от угла падения лучей на пленку



Каждый участок крыла отражает свет по-разному, белый свет "раскладывается" в радужный спектр. Это интерференция.

§ 8.1.4. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА НА КЛИНЕ. ПОЛОСЫ РАВНОЙ ТОЛЩИНЫ).

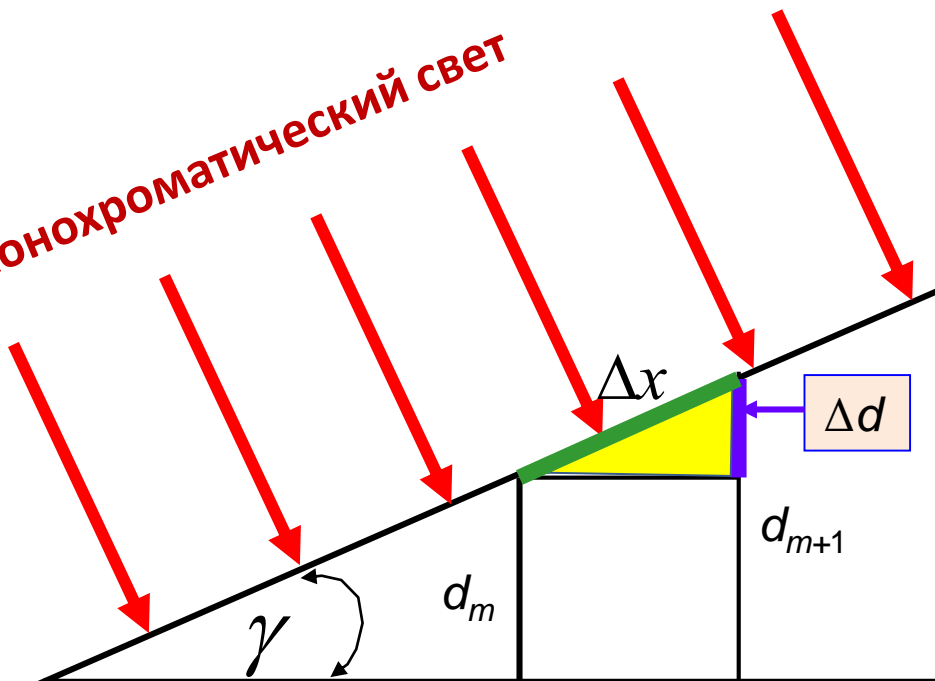
Постановка задачи

- Две поверхности, расположенные под **малым** углом γ , образуют клин. Показатель преломления вещества, из которого изготовлен клин, равен n
- На клин **нормально** (т.е. по перпендикуляру к поверхности) падает монохроматическая волна. На поверхности клина образуется интерференционная картина, состоящая из чередующихся темных и светлых (окрашенных) полос. Падающая волна монохроматическая.

Определить ширину интерференционной полосы.

Интерференцию рассматриваем в **отраженном свете**.

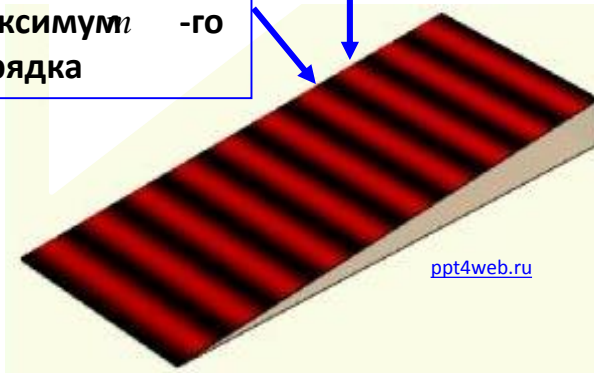
Монохроматический свет



Вид на клин
сбоку

Максимум $(m+1)$ -го
порядка

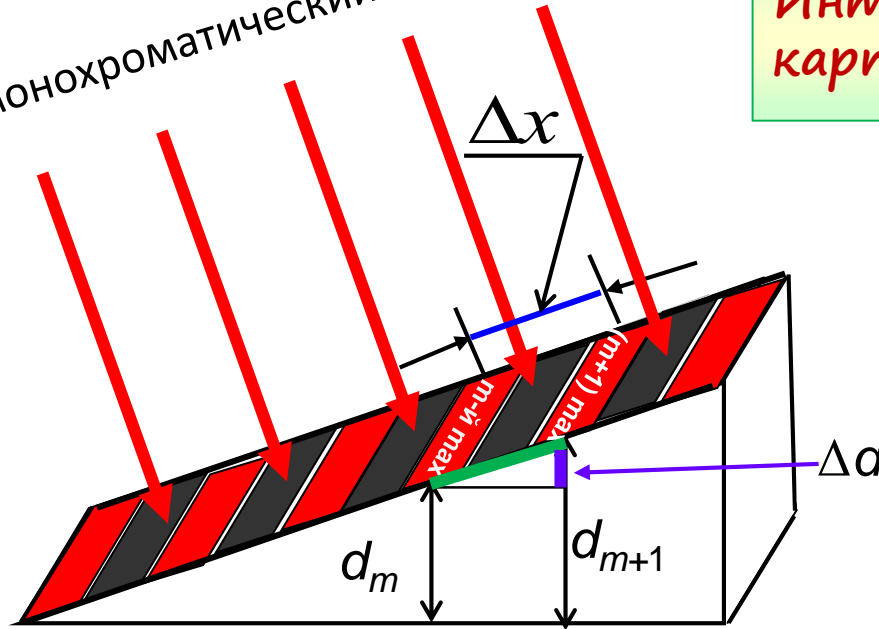
Максимум m -го
порядка



Вид на клин
сверху

монохроматический свет

Интерференционная
картина на клине



Δx - расстояние между максимумами на поверхности клина
(зеленая линия)

d_m и d_{m+1} - толщины клина, при которых на его поверхности
наблюдаются соответственно максимумы m и $m+1$ - го порядков

$$\Delta d = d_{m+1} - d_m$$

Для расчета, при какой толщине клина на его поверхности будет максимум m – го порядка (т.е. окрашенные в цвет падающего света полосы в отраженном свете) , используем формулу тонкой пленки и условие максимума при интерференции:

$$(d_{\text{окр}})_{\text{отр}} = \frac{(2m \pm 1)\lambda}{4\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \alpha}}$$

Условия наблюдения максимумов при толщинах клина d_m и d_{m+1} (при условии, что угол падения света на клин $\alpha = 0$, это соответствует нормальному падению света на клин):

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

$$2d_{m+1} n = \frac{(2m + 3)\lambda}{2}$$

Найдем разность толщин клина, на которых выполняются условия для соседних максимумов, которая непосредственно связана с шириной интерференционной полосы на поверхности клина (см. начальное построение рисунка –желтый треугольник).

$$\Delta d = d_{m+1} - d_m = \frac{\lambda}{2n} \rightarrow \Delta x = \frac{\Delta d}{\sin \gamma}$$

Если угол при вершине мал (а он мал, иначе не будет четкой картины), тогда $\sin \gamma \approx \gamma$

❗ Если при малом угле при вершине синус заменяется на величину угла, то он должен быть выражен в радианах.

Окончательно:

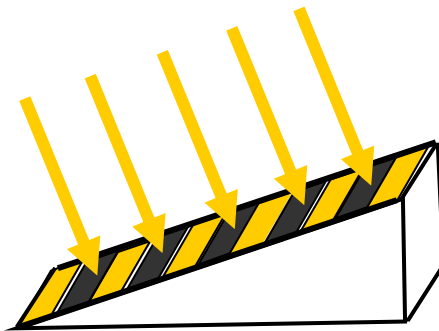
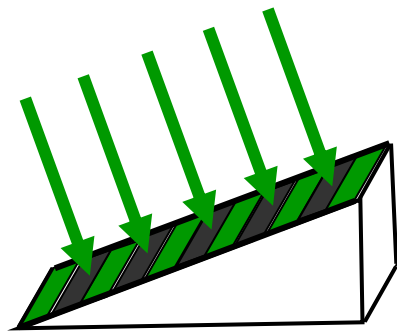
$$\Delta x \approx \frac{\lambda}{2n \gamma}$$

Такие же расчеты можно провести для ширины темных полос в интерференционной картине (m - ого минимума).

Для вывода используем формулу толщины клина, при которой будет при его толщине:

$$(d_{\text{темн}})_{\text{отр}} = \frac{m \lambda}{2 \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \alpha}}$$

ЗАДАЧА. Чем больше длина волны, тем шире интерференционные полосы. Пояснить.



$$\Delta x \approx \frac{\lambda}{2n \gamma}$$

Кольца Ньютона вставила новые. М.б. привести формулу радиуса темных колец, не останавливаясь на выводе, т.к. иначе надо менять знак перед $\lambda/2$, а не хотелось бы.

$$(r_{m, \text{темное}})_{\text{отраж}} = \sqrt{\frac{m \lambda R}{n}} \quad \leftarrow m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

§ 8.1.5. КОЛЬЦА НЬЮТОНА

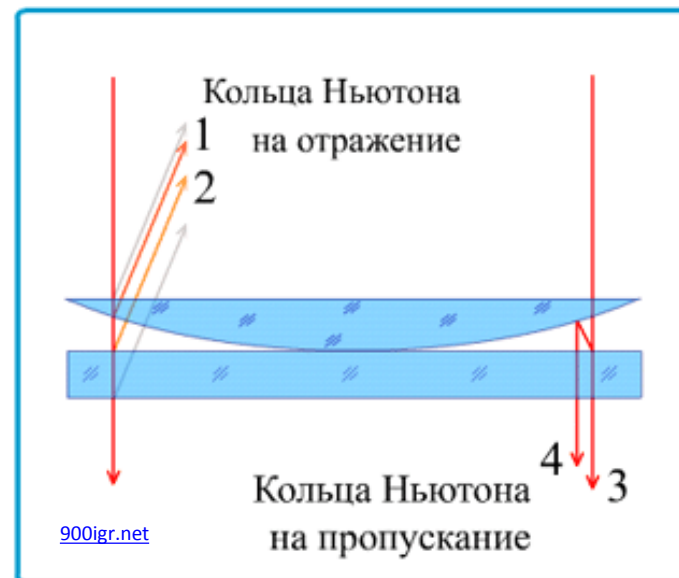
Постановка задачи

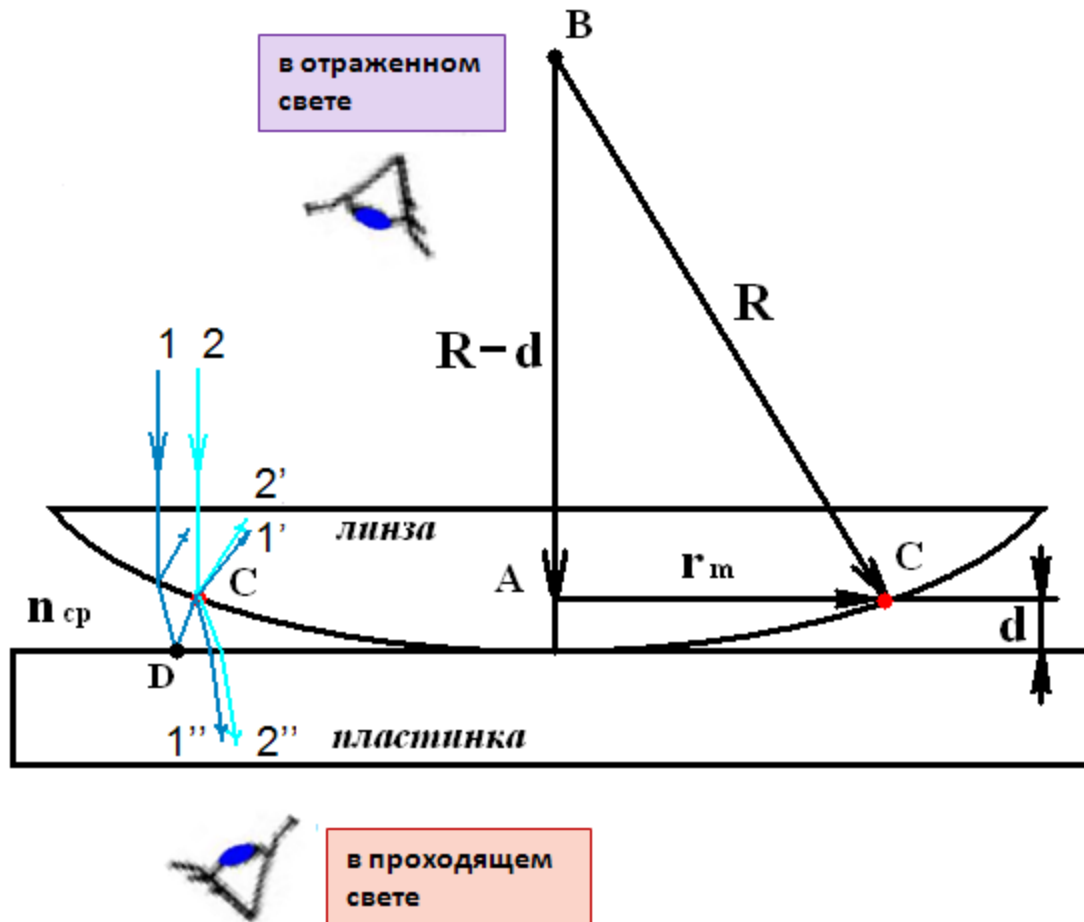
Плосковыпуклая линза (с **большим радиусом кривизны** R , (точка O – центр линзы)) выпуклой поверхностью лежит на плоской пластине и соприкасается с ней в точке B .

Между линзой и пластиной налита жидкость с показателем преломления n_{cp} .

Параллельный пучок *монохроматического* света (плоская волна) нормально падает на плоскую поверхность линзы.

Рассчитать интерференционную картину, которая называется «кольца Ньютона» монохроматического света отраженном свете (отраженном на поверхности линзы)





Кольца Ньютона – частный случай полос равной толщины. Клин, на котором происходит интерференция, располагается между линзой и пластиной (в данном случае это жидкостной клин) называется толщиной зазора.

Если жидкость не налита, то клин будет воздушный. И в том, и в другом случае $n_{cp} < n_{пл}$. Рассматривая интерференцию в отраженном свете (лучи 1' и 2') видно, что первый луч отражается в точке D от оптически более плотной среды, меняет скачком фазу на π . В точке C смены фазы не происходит.

Расчет интерференционной картины в отраженном свете. Радиусы светлых и темных колец.

Расчет интерференционной картины в отражённом свете.

Разность хода лучей 1' и 2'

$$\Delta = 2dn_{\text{ср}} \pm \frac{\lambda}{2},$$

$\pm \frac{\lambda}{2}$ добавляем с учетом отражения луча от оптически более плотной среды в точке (D).

Если выполняется условие **max (светлое кольцо)**

$$\Delta = m\lambda, \text{ то}$$

$2dn_{\text{ср}} \pm \frac{\lambda}{2} = m\lambda$, выбираем «минус» $-\frac{\lambda}{2}$, чтобы номер кольца начать от нуля, $m = 0, 1, 2, 3 \dots$, а не с единицы $m = 1, 2, 3 \dots$ получим,

$$2dn_{\text{ср}} = m\lambda + \frac{\lambda}{2}, \text{ или}$$

$$2dn_{\text{ср}} = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}, \text{ или } 2d = \frac{(2m+1)\lambda}{2n_{\text{ср}}} \quad (*)$$

Из треугольника ABC $R^2 = r^2 + (R - d)^2$, раскроем скобки

$r^2 = 2Rd - d^2$, пренебрегая d^2 вследствие малости, получим $r^2 = 2Rd$, подставим в (*)

$r = \sqrt{\frac{(2m+1)R\lambda}{2n_{\text{ср}}}}$ - Радиус светлого кольца в отражённом свете.

$$(r_{m, \text{светлов}})_{\text{отраж}} = \sqrt{\frac{(2m+1)\lambda R}{2n_{\text{ср}}}}$$

Если выполняется условие **min** (тёмное кольцо)

Разность хода лучей 1' и 2'

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \text{ то}$$

$$2dn_{\text{ср}} \pm \frac{\lambda}{2} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \text{ раскрыв скобки получим}$$

$2dn_{\text{ср}} \pm \frac{\lambda}{2} = 2m \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{2}$, выбираем «плюс» $+\frac{\lambda}{2}$, чтобы номер кольца начать от нуля, $m=0,1,2,3\dots$, а не с единицы $m=1,2,3\dots$ получим,

$$2dn_{\text{ср}} = m\lambda, \text{ или } 2d = \frac{m\lambda}{n_{\text{ср}}}, (*)$$

Из треугольника ABC $R^2 = r^2 + (R - d)^2$, раскроем скобки

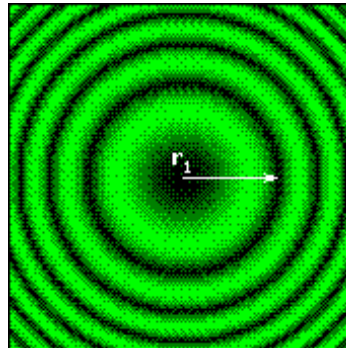
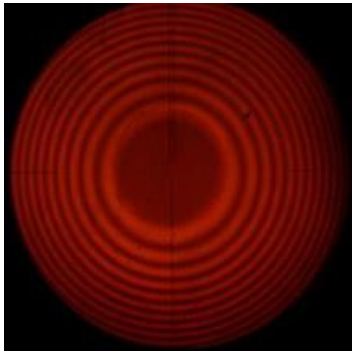
$r^2 = 2Rd - d^2$, пренебрегая d^2 вследствие малости, получим $r^2 = 2Rd$, подставим в (*)

$$r = \sqrt{\frac{mR\lambda}{n_{\text{ср}}}} - \text{Радиус темного кольца в отражённом свете.}$$

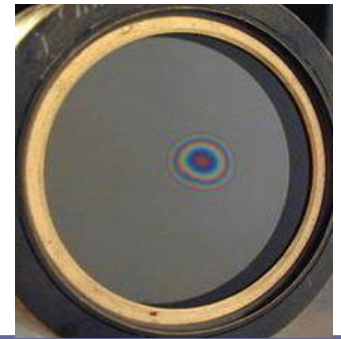
$$(r_{\text{т,темное}})_{\text{отраж}} = \sqrt{\frac{m\lambda R}{n_{\text{ср}}}}$$

Кольца Ньютона в отраженном свете

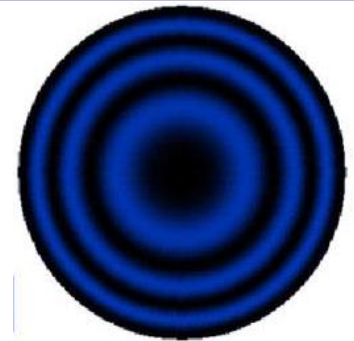
КОЛЬЦА НЬЮТОНА В ОТРАЖЕННОМ МОНОХРОМАТИЧЕСКОМ СВЕТЕ



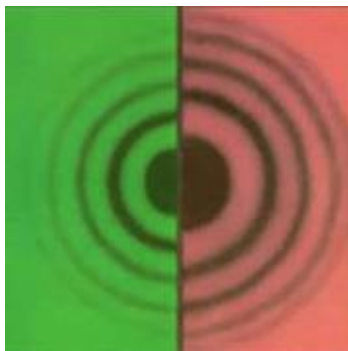
MyShfred



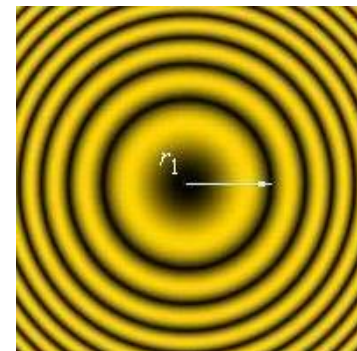
Деталь установки
лабораторной работы 7.2.
Интерференционная
картина в отраженном
белом свете.



allyslide.com



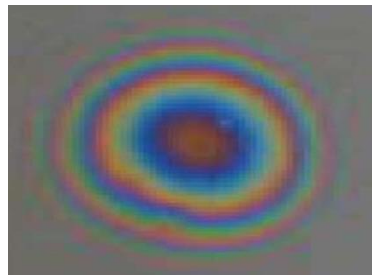
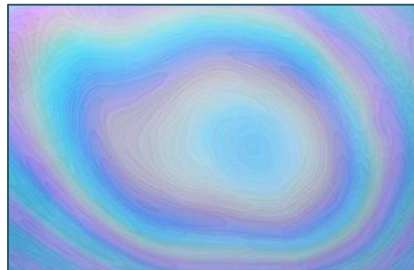
Кольца Ньютона в
красном, желтом,
зеленом, синем света



Расчет интерференционной картины (кольца Ньютона) в белом свете.

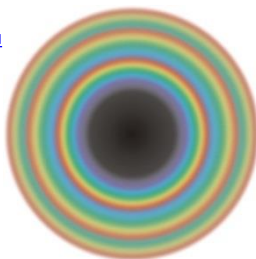
Из формулы *** следует, что чем больше толщина зазора, тем больше радиус кольца. Поэтому условие максимума для первого светлого кольца при отходе от точки касания линзы и пластины и роста толщины зазора d будет выполняться сначала для самой маленькой длины волны (фиолетовой), потом – голубой и т.д. до красной. И всё это для первого светлого кольца, потом темное кольцо, а дальше всё повторяется для второго кольца и т.д.

КОЛЬЦА НЬЮТОНА В ОТРАЖЕННОМ БЕЛОМ СВЕТЕ

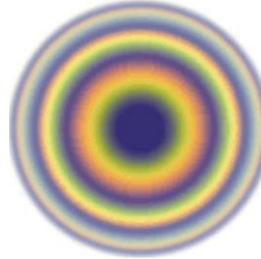


Вид интерференционной картины (кольца Ньютона) в отраженном свете (падающий свет белый)

fizikaklass.ru



900igr.net



ВЫВОД

Если свет, падающий на линзу белый, который состоит из семи цветов монохроматического излучения, то каждое кольцо Ньютона соответствующего номера в интерференционной картине распадается на семь колец (от фиолетового до красного).

Расчет интерференционной картины в проходящем свете. Радиусы светлых и темных колец.

Разность хода лучей 1'' и 2''

$$\Delta_{\text{прох}} = 2dn$$

$$(r_{m,\text{светлое}})_{\text{проход.}} = \sqrt{\frac{(m-1)\lambda R}{n}}$$

max

Если выполняется
условие максимума, то

$$\Delta_{\text{прох}} = 2dn = m\lambda \quad *$$

$m = 1, 2, 3, \dots$

min

Если выполняется
условие минимума, то

$$\Delta_{\text{прох}} = 2dn = \frac{(2m+1)\lambda}{2} \quad **$$

Геометрия системы не изменилась

$$*** \quad r_m^2 = 2Rd$$

Окончательно радиуса колец Ньютона
в проходящем свете:

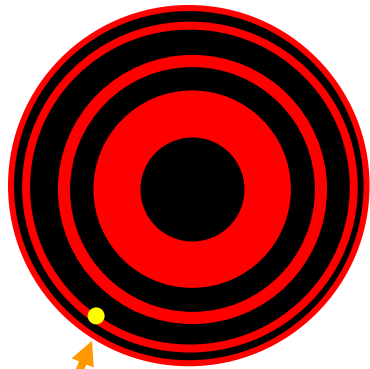
$$(r_{m,\text{светлое}})_{\text{проход.}} = \sqrt{\frac{m\lambda R}{n}}$$

$$(r_{m,\text{темнок}})_{\text{проход}} = \sqrt{\frac{(2m+1)\lambda R}{2n}}$$

В обоих случаях нумерация $m = 0, 1, 2, 3, \dots$

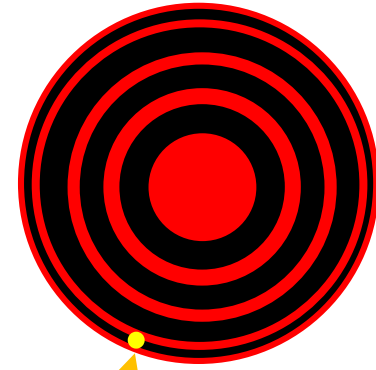
В проходящем свете в центре всегда светлое пятно (круг). Формулы радиусов приведены к одному виду для отраженного и проходящего света. Центральный круг – нулевой номер.

Кольца Ньютона (в отраженном свете)



m-ое светлое кольцо

Кольца Ньютона (в проходящем свете)

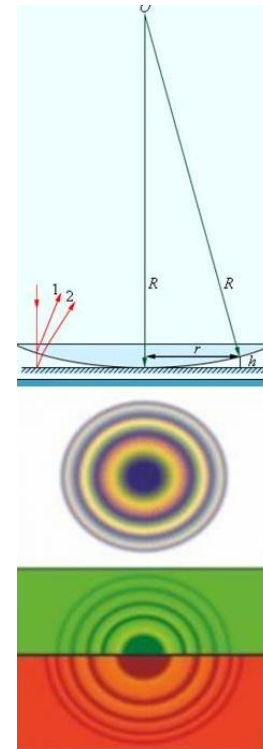


m-ое темное кольцо

В проходящем свете по отношению к картине в отраженном свете интерференционные максимумы и минимумы меняются местами. Все кольца, которые в отраженном свете были светлые (окрашенные), в проходящем будут темными и наоборот.

Т.к. радиусы колец зависят от $\sqrt{\lambda}$, где λ - длина волны падающего излучения, то чем больше длина волны, тем больше радиусы интерференционных колец (см. рисунок)

Кольца Ньютона в отраженном свете
а) для белого;
б) для монохроматического света.



§ 8.1.5. ПРОСВЕТЛЕНИЕ ОПТИКИ

Прием ослабления отраженного от поверхности света вследствие интерференции в тонких пленках называется просветлением оптики.

Свет падает на линзу, проходит через неё и отражается от передней и задней поверхностей. При этом теряется 8 – 10% энергии света. Чтобы этого избежать, на поверхность линзы наносят тонкую плёнку с определенным показателем преломления, подбирая её толщину так, чтобы для отраженного света выполнялся интерференционный минимум, а для проходящего света – интерференционный максимум. И тогда через линзу проходит больше света, чем при отсутствии пленки. Это и есть приём, называемый «просветлением оптики».

Если линза используется в фотоаппаратах, то избавляясь от отраженных лучей, мы избавляемся от «бликов» на фотографиях.

$$n_v < n_{пл} < n_{ст}$$

показатель
преломления воздуха

показатель
преломления пленки

показатель
преломления линзы

Коэффициент преломления пленки подбирается так, чтобы осуществлялось наиболее полное гашение отраженных световых волн от верхней и нижней поверхностей пленки. Это выполняется при условии :

$$n_{пл} = \sqrt{n_{ст}}$$

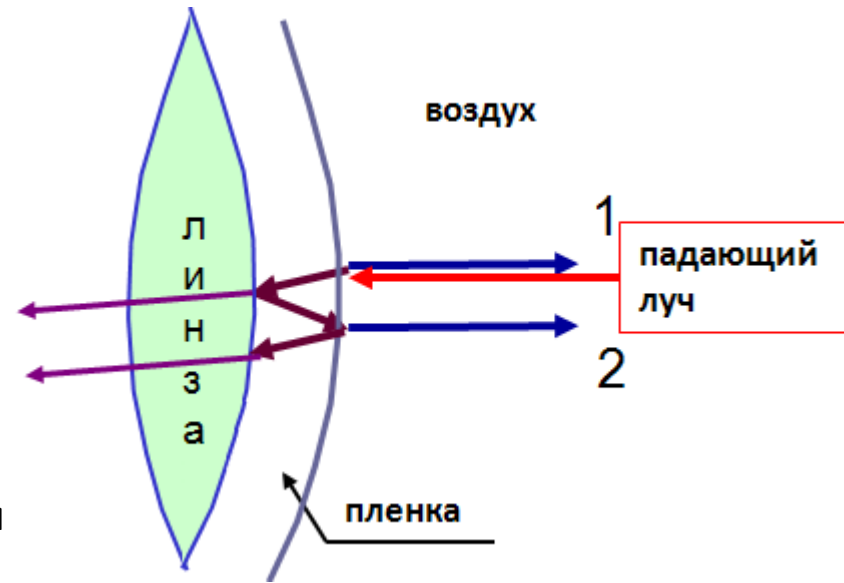
Толщина пленки подбирается так, чтобы осуществлялся **минимум** интерференции для отраженного света с длиной волны **550 нм**, соответствующей наибольшей чувствительности глаза.

Минимальная толщина пленки, при которой происходит просветление её поверхности

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

$$m = 0$$

$$d_{min} = \frac{\lambda}{4n_{пл}}$$



Разность хода отраженных от поверхности пленки лучей 1 и 2 равна

$$\Delta = 2d n_{пл}$$

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОСВЕТЛЕНИЯ ОПТИКИ

Область применения:

просветление объективов современных фотоаппаратов и кинопроекторов, перископов подводных лодок и др. оптических устройств, состоящих из большого числа оптических стекол



Так выглядит просветлённая линза фотоаппарата

Пленка подобрана для гашения зеленых длин волн падающего света. Отраженные красные и фиолетовые лучи не гасятся, поэтому объективы фотоаппаратов, биноклей и очков с напылением пленок имеют сиреневый цвет.

РАДУЖНАЯ ОКРАСКА

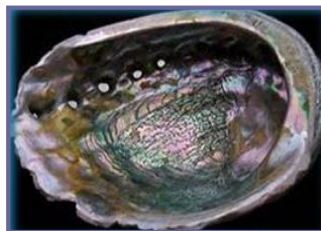


У многих насекомых тонкой пленкой служит просвечивающее крыло.



Сверкающая радужная, очень яркая окраска часто встречается в природе. Наблюдаемые цвета изменяются в зависимости от угла зрения.

Примером тонких пленок являются пластинчатые структуры рыб, раковин моллюсков.



§ 8.1.7. ИНТЕРФЕРОМЕТРЫ

Явление интерференции используется в ряде точных измерительных приборов, одни из которых являются *интерферометры*. Все интерферометры основаны на одном и том же принципе и различаются лишь конструктивно.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ

Пучок электромагнитного излучения (света, радиоволн и т. п.) с помощью того или иного устройства пространственно разделяется на два или большее количество **когерентных** пучков. Каждый из пучков проходит различные оптические пути и возвращается на экран, создавая интерференционную картину, по которой можно установить смещение фаз пучков.

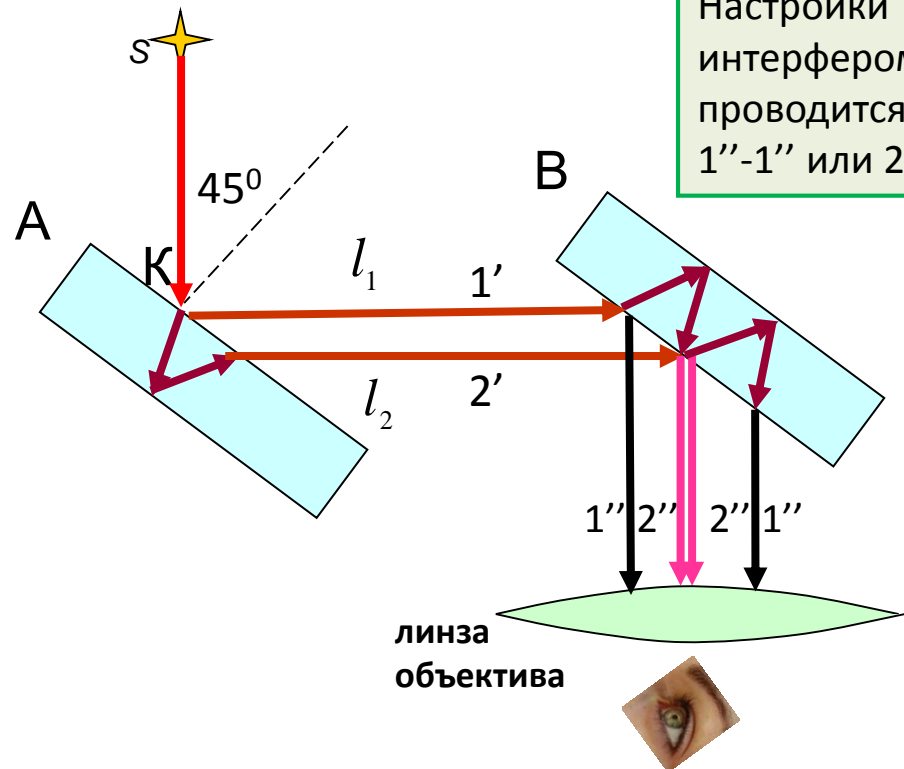
myshared.ru

Интерферометр Жамена 1856 год

Разность хода этих лучей равна

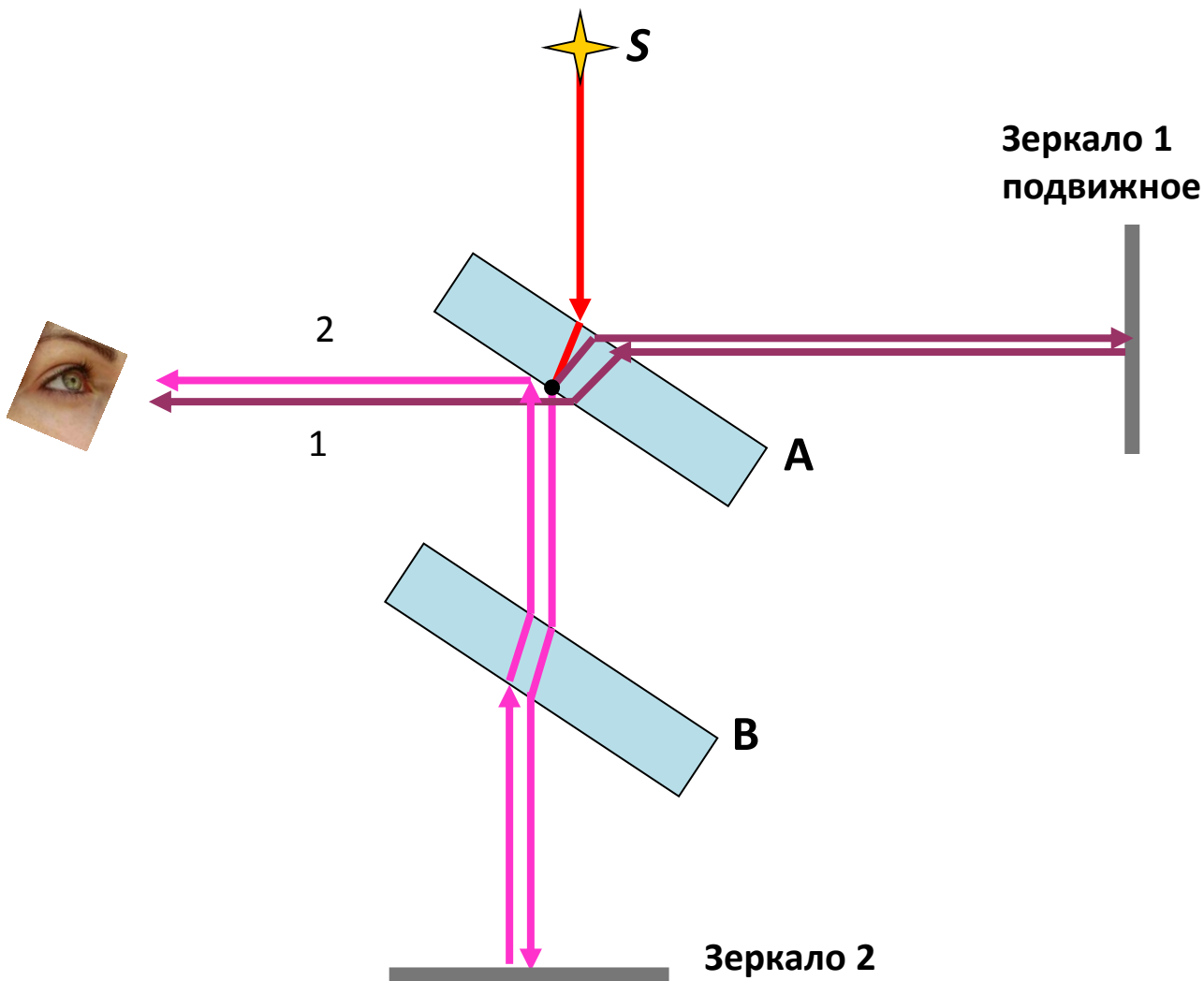
$$\Delta_1 = l_1 - l_2, \quad l_1, l_2$$

(l_1, l_2 – плечи интерферометра), пути лучей в пластинах одинаковы, и при определении разности хода вклада они не дают.



Настройки интерферометра проводится на лучи 1''-1'' или 2''-2''

Интерферометр Майкельсона



1852-1931, в 1907 г. получил **Нобелевскую премию** за изобретение интерферометра и прецизионные измерения скорости света (**первый американский лауреат Нобелевской премии по физике**)

Лучи 1 и 2 являются когерентными и могут давать интерференционную картину. Оптическая разность хода этих лучей определяется удвоенной разностью длины плеч l_1, l_2 интерферометра: $\Delta = 2(l_1 - l_2)$

Прецизионные измерения показателя преломления газов, отличающихся от показателя преломления воздуха в третьем порядке после запятой или высокоточные измерения показателя преломления вещества прозрачного изделия

Если в одно из плеч или в оба плеча интерферометра Майкельсона поставить кювету с газом или прозрачное для света изделие, то это приведет к изменению разности хода лучей 1 и 2 и к смещению интерференционной картины относительно ее центра на экране наблюдений. Вернуть прежнее положение картины на экране можно, передвигая с помощью микровинта зеркало 1, а по его перемещению можно определить изменение разности хода интерферирующих лучей, а, следовательно, и рассчитать в зависимости от постановки задачи либо показатель преломления газа, заполняющего кювету, либо длину прозрачных изделий.

Интерферометры применяются для:

- *Измерения длин волн спектральных линий*
- *Изучения их структуры*
- *Измерения неоднородностей показателя преломления прозрачных сред*
- *Измерения угловых размеров звёзд*
- *Измерения скорости света*
- *Определения качества шлифовки поверхностей*
- *Измерения показателей преломления газов.*