

18 Волновая (физическая) оптика

18.1 Введение

Мы рассматривали оптику с позиции построения хода лучей. Теперь пришло время углубиться в изучение этой науки. Свет как волна.

Некоторые вопросы мы уже рассмотрели: отражение, преломление, когда идеей вывода был принцип Гюйгенса-Френеля. Какие еще свойства волн вы помните?

Интерференция, дифракция. Что еще может послужить доказательством того, что свет можно представить как электромагнитную волну?

Измерение с различными способами и совпадением этих значений с предсказаниями Максвелла, а также поляризация света показывает поперечность волны – важнейшие аргументы в пользу такого представления о свете.

Из электромагнитной теории следует, что свет – высокочастотные электромагнитные колебания от $4 \cdot 10^{14}$ до $7,5 \cdot 10^{14}$ Гц.

Вибраторами, способными излучать такие колебания могут являться только атомы вещества.

Как вы считаете, когда атом может излучать электромагнитную волну?

Излучение имеет место в результате определенных изменений в движении электронов в атомах. Такое изменение может вызвать столкновения атомов в результате их теплового движения, химической реакции, электрическим полем и т.д.

Наш глаз является приемником электромагнитных волн именно таких частот. Свет вызывает раздражение клеток сетчатки и зрительного нерва, информация об этом раздражении передается в мозг. Атомы излучают и другие частоты, но глаз реагирует на э/м волны именно в этих пределах частоты.

Например, ощущение белого света возникает при возбуждении глаза колебаниями всех световых частот.

Энергия света воспринимается нами как освещенность или яркость. Чувствительность глаза очень велика ($\sim 10^{-18}$), хотя глаз имеет различную чувствительность для света разных цветов.

Например, при равной мощности зрительное ощущение от зеленого света в 100 раз сильнее, чем от красного.

18.2 Скорость света

В чем затруднение в экспериментальном определении скорости света?

Величина очень большая, раньше казалась бесконечной.

Один из первых кто задумался об измерении скорости света был Галилей. Он высказал идею об оптическом "затворе" которая потом широко использовалась.

Эйнштейн писал об этом в "Эволюции физики". *"Галилей сформулировал проблему определения скорости света, но не разрешил ее. Формулировка проблемы часто более существенна, чем ее разрешение, которое может быть делом математического или экспериментального искусства."*

Около 1607 года Галилей высказывает такую идею прямого измерения скорости света: Два наблюдателя с фонарями стоят на небольшом расстоянии. Первый, открыв свой фонарь, следит за фонарем другого. Второй, увидев свет, открывает свой. Первый наблюдатель замечает

промежуток времени, когда он открыл свет фонаря второго наблюдателя.

Опыт не получился! В чем причина?

Малое расстояние—очень малое время, человеческий фактор, с которым и в Италии, судя по всему, проблемы.

Чтобы время было ощутимым, Галилей предложил увеличить расстояние (наблюдатели располагались на вершинах холмов, расстояние между которыми было менее одной мили). Если бы время запаздывания было заметно больше, то можно было бы говорить о конечности скорости света

Галилей поставил вопрос о конечности скорости света и, одновременно, предложил идею светового "затвора".

Чтобы получить удовлетворительный результат необходимо либо сильно увеличить расстояние, либо повысить точность измерений малых промежутков времени.

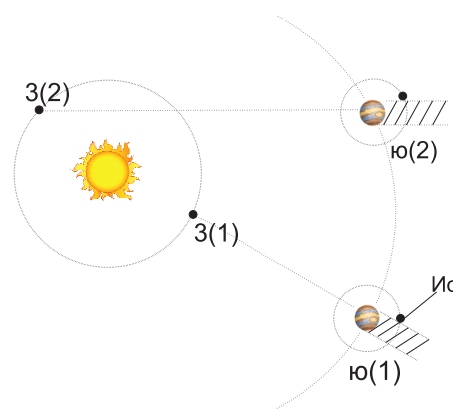
Впервые скорость света определил(оценил) датский астроном **Олаф Кристенсен Рёмер** (1676г). Рёмер использовал огромные астрономические расстояния. Он наблюдал затмения спутников Юпитера (Ио). Он составил таблицы значений времени попадания или выхода из тени спутника Юпитера. Период обращения спутника $1\frac{3}{4}$ суток. Рёмер установил, что наблюдение затмений не вполне регулярно.

Период обращения Юпитера вокруг Солнца в 12 раз больше Земли. За один полный оборот Земли Юпитер проходит $\frac{1}{2}$ своей орбиты. Когда Земля пройдет $\frac{1}{2}$ своего пути вокруг Солнца, оказывается, что выход из тени Ио запаздывает против ожидаемого на 1300с. Однако те же вычисления дают верный результат если произвести измерения в положении (1). Во втором случае свету понадобилось время, чтобы пройти расстояние приблизительно равное диаметру Земной ≈ 300 млн км \Rightarrow

$$v = \frac{D}{\Delta t} = 215000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

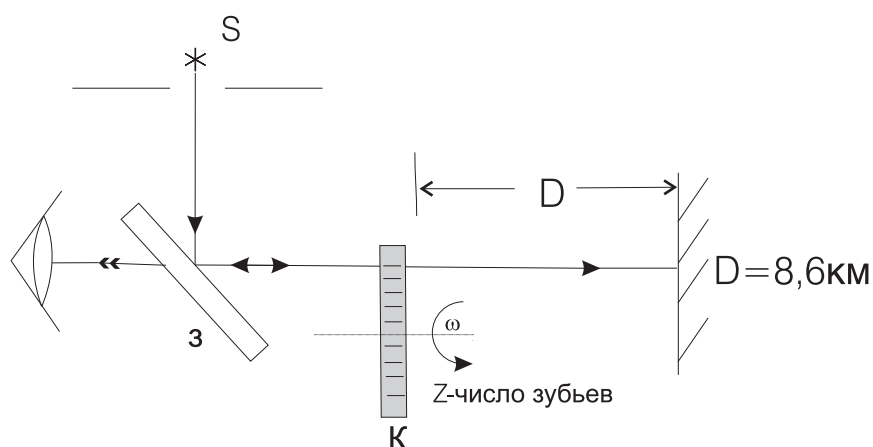
Рёмер первый доказал, что скорость света хоть велика, но конечна.

У данного опыта был еще один вывод. Т.к. при выходе спутника из тени не было обнаружено эффектов, связанных с изменением цвета, то *В вакууме свет распространяется со скоростью, не зависящей от частоты.*



18.2.1 Лабораторные методы измерения скорости света

1. Опыт Армана Физо(французский физик)(1849 год)—первый измерил скорость света в земных условиях. Характерной особенностью является автоматическая регистрация моментов пуска и возвращения сигнала. Схема опыта:



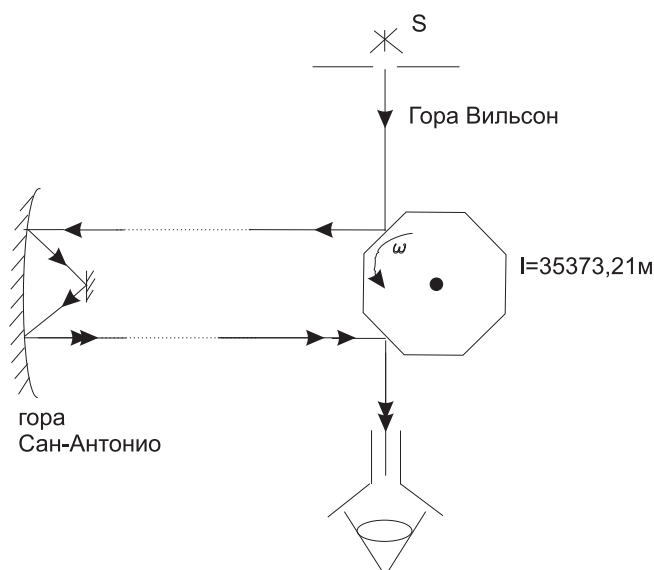
Свет от источника S при помощи полупрозрачного зеркала (z) попадает на зубчатое колесо (K), которое вращается. Если за то время, пока свет идет расстояние D и возвращается обратно на место прорези встанет зубчик—наблюдатель свет не увидит. Если встанет следующая (или какая-то другая прорезь)—то увидит. Увеличивая ω можно "поймать" подходящий момент. Зная D, число зубьев Z, угловую скорость вращения ω можно определить скорость света.

Сами вывод:

$$c = 2Dz\nu$$

$$c = 313000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

2. Фуко по идеям Араго (вращающееся зеркало) смог измерить скорость света в воде. она оказалась меньше, чем в воздухе.
3. В опыте американского физика Альберта Майкельсона (1926г) восьмигранная призма играет ту же роль, что и зубчатое колесо у Физо.



Когда зеркало приходит во вращение, наблюдатель будет видеть свет, только если на место предыдущей грани встанет следующая, т.е. колесо повернется на угол $\varphi = \frac{2\pi}{8}$. За это время свет успеет пройти $2l$.

$$\left. \begin{aligned} c &= \frac{2l}{t} \\ t &= \frac{\varphi}{\omega} = \frac{2\pi}{8\omega} \end{aligned} \right\} \Rightarrow c = \frac{8l\omega}{\pi}, \text{ если следующая грань}$$

Рассмотрим $n = 526 \frac{\text{км}}{\text{с}} \Rightarrow$ считают сами.

Майкельсон писал: *"То, что скорость света является категорией, недоступной человеческому воображению, и что, с другой стороны, ее можно измерить с необыкновенной точностью, делают ее определение одной из самых увлекательных проблем, с которой может столкнуться исследователь."*

18.2.2 Современные методы (с 1972 года)

Основаны на независимом измерении частоты и длины волны: $c = \lambda\nu$. Такие измерения дают: $c = (299792456, 2 \pm 0, 8) \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Скорость света — одна из важнейших физических констант.

Из механики известно, что скорость света зависит от СО $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}$

Для света это не подходит.

Скорость света — величина абсолютная. Она не зависит от СО. Такие величины в физике называют инвариантными. Скоростью света в вакууме являются предельной величиной из всех возможных скоростей движений тел и частиц. Все тела движутся со скоростями меньшими c .

Это привело к пересмотру пространственно-временных представлений (см ТО) $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

m_0 — масса покоя в ИСО $v \rightarrow c \Rightarrow \frac{v^2}{c^2} \rightarrow 1 \Rightarrow m \rightarrow \infty$

В синхрофазатронах протоны разгоняются до таких скоростей, что их масса увеличивается в 11,7 раза. Если частицу разогнать до $v = 0,99999999$, то масса возросла бы в 7143 раза, т.е. для разгона до c необходима бесконечная сила, а следовательно энергия.

Со скоростью света движутся фотоны и нейтроны (не меняют m_0).

Любые взаимодействия распространяются с конечной скоростью. Скорость распространения взаимодействий между телами или их частицами равна скорости света в вакууме. Это фундаментальный закон природы.

Скорость света в веществе: $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \Rightarrow v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}}$

18.3 Интерференция света. Закон независимости световых пучков

Включив две лампы вместо одной вы увидите только увеличение освещенности. Имеет ли смысл вообще говорить об интерференции света, т.к. если это явление присутствует, мы должны были бы увидеть интерференционную картину, кстати что это для света?

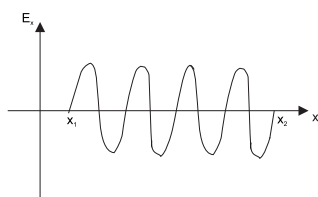
Чередующиеся темные и светлые полосы. Так есть интерференция или нет? Почему мы наблюдаем это явление? Какое условие существования интерференции не выполнено?

Нет когерентности!!!

Причина невозможности получения световых когерентных волн кроется в самом механизме излучения. Свет излучается атомами или молекулами в-ва при переходе из возбужденного состояния в нормальное. Процесс перехода длится около $\tau = 10^{-8} \text{ с}$, в это же время атом излучает.

$$|x_2 - x_1| = l = c\tau$$

Такой "кусочек" волны называется волновой цуг. Соответственно излучение таких цугов происходит хаотично и беспорядочно. Какое условие когерентности не выполнено?



В источнике света, состоящем из огромного числа атомов начальные фазы колебаний возбужденных атомов, а значит и излучаемых ими волн различны и меняются неупорядоченно.

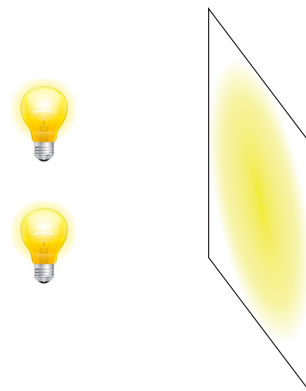
Вспомните, когда выполняются условия когерентности: важно $\Delta\varphi_0 = const$
Если атомы в-ва одинаковы, то они излучают свет определенных частот. Невозможность когерентности определяется спонтанностью излучения.

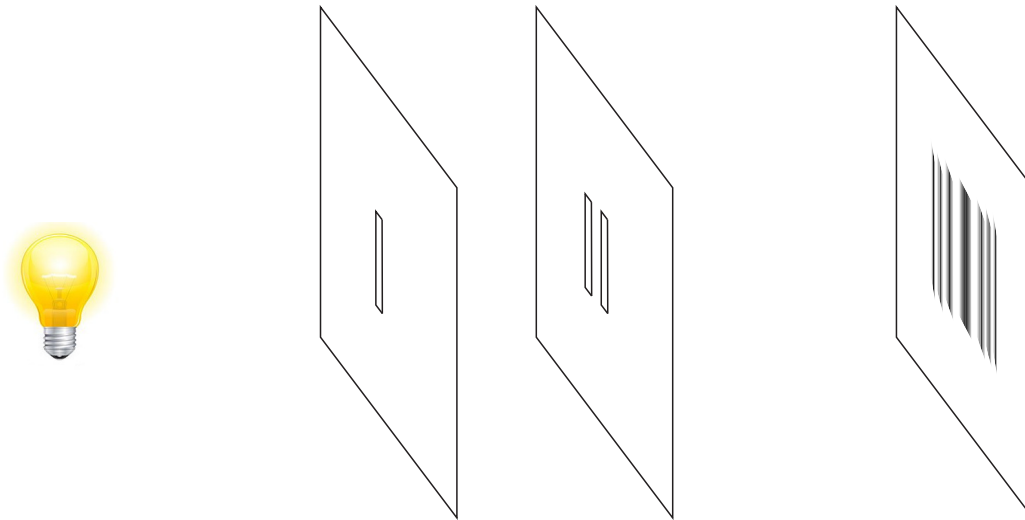
Для изучения волновой оптики удобно ввести идеализацию.

Монохроматическое излучение—идеализация, удобная для объяснения световых явлений.

Под монохроматичным понимают излучение одной какой-либо частоты с непостоянной амплитудой.
Белый свет—бесконечный набор монохромат. излучения.

Тем не менее интерференцию света можно пронаблюдать. Впервые это сделал Томас Юнг в 1802 году. Свет направлялся на экраны, стоящие друг за другом. В первом экране была сделана щель, а во втором симметрично относительно первой еще две щели. В результате на третьем экране Юнг наблюдал интерференционную картину.





Сейчас для наблюдения интерференции света можно использовать специальные монохроматические источники света с высокой степенью когерентности внутри пучка света. Это лазеры.

Если же использовать тепловые источники света, то основной идеей для получения когерентных волн, является разделение света от источника на два пучка. Что и было проделано Томасом Юнгом.

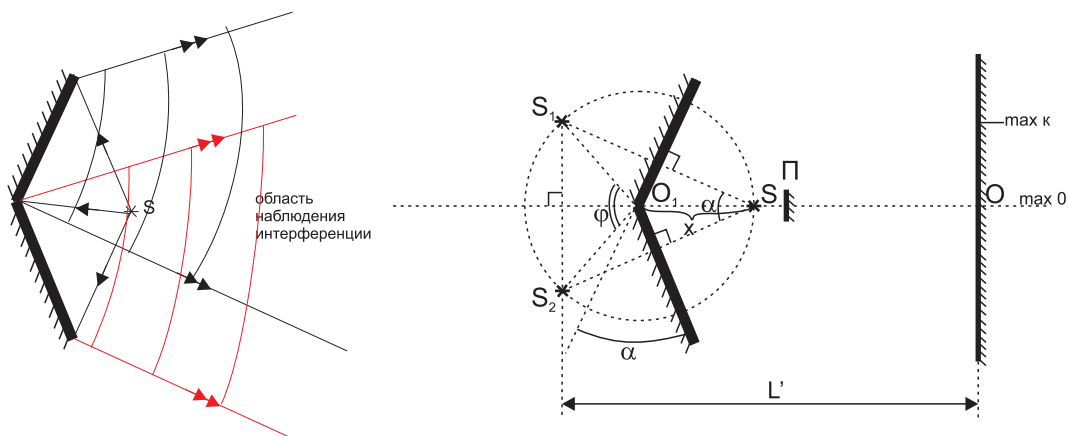
Свет от отверстия в первом экране падает на второй экран одновременно на две щели, в результате отверстия во втором экране, становятся источниками когерентных световых волн и можно наблюдать интерференцию.

Два когерентных световых пучка можно получить, если излучение каждого отдельно взятого атома разделить на два пучка. Это можно сделать с использованием отражения и преломления света.

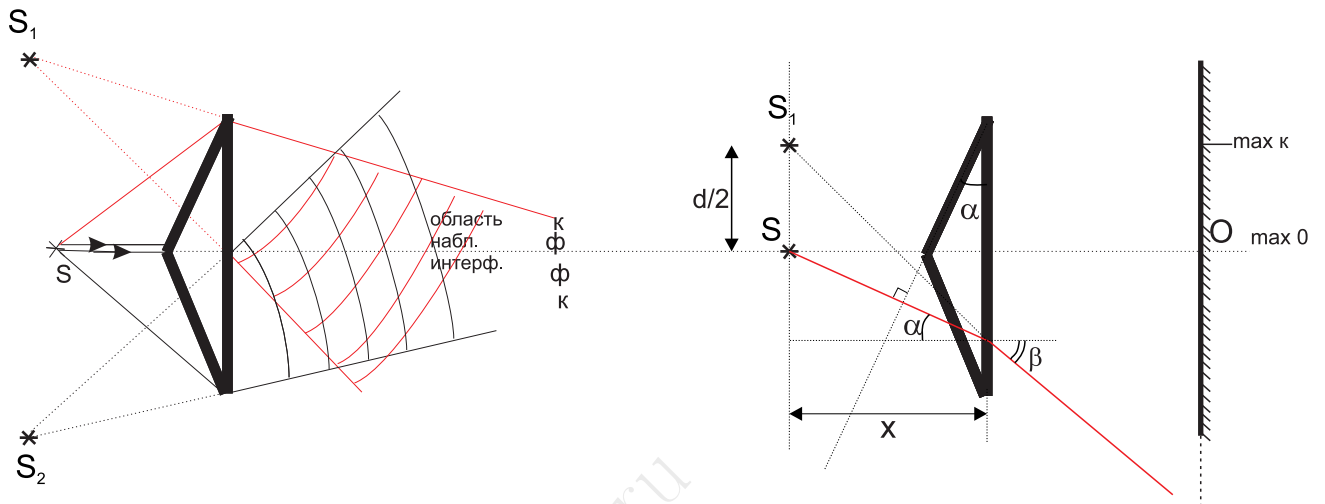
Идеи Френеля:

Пучки монохроматического света расщеплялись на два при отражении или преломлении. Потом их надо было свести вместе, заставив свет пройти пути разной длины.

а) бизеркала Френеля:



б) бипризма Френеля:



(если свет белый, то в p -те интерференции максимумы получались окрашенные)

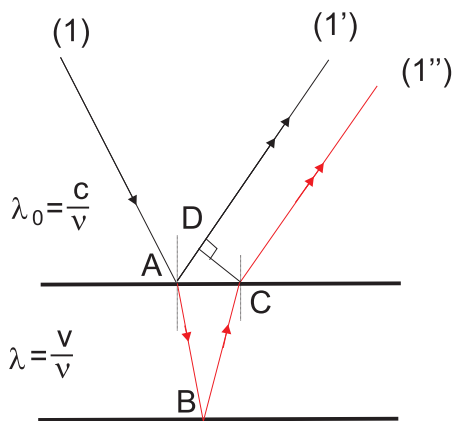
Удивительным при интерференции является то, что в области ист можно сказать свет+свет=тьма.

Итак: *Интерференция света—наложение когерентных световых пучков, в рез-те которого получается устойчивая во времени картина чередующихся темных и светлых полос. При интерференции происходит перераспределение энергии. В области темных полос свет "не попадает но в световых полосах интенсивность света от двух пучков увеличивается не в два, а в четыре раза. Таким образом общая энергия света двух пучков до интерференции и после в p -те интерференции остается неизменной.*

18.4 Применение интерференции

18.4.1 Цвета тонких пленок

Мы часто наблюдаем, как переливаются различными цветами мыльные пузыри, пленки масла на поверхности луж и т.д. В чем здесь дело? Давайте разберемся.



Пусть на поверхность пленки падает свет (луч 1). Свет частично отражается (луч 1') и преломляется в пленку. там он распространяется с меньшей скоростью, и следовательно, длиной волны. После отражения на второй поверхности свет опять распределяется в пленке и выходит в воздух.

При отражении света в (·)A от оптически более плотной среды происходит обращение фазы колебаний на π , т.е. имеет место потеря полу волны. Согласно э/м теории света, это значит, что при отражении вектор \vec{E} изменяет направление на противоположное.

Сложность в том, что в различных средах у света разная длина волны.

Здесь удобно ввести такие обозначения:

$a = \frac{|AB+BC|}{\lambda}$ — кол-во длин волн укладываемых на световом пути в пленке

$b = \frac{|AD|}{\lambda_0}$ — кол-во длин волн, укладываемых на пути света в воздухе (вакууме)

Тогда

$$\Delta_{\text{прив}} = \frac{|AB| + |BC|}{\lambda} - \left(\frac{|AD|}{\lambda_0} - \frac{1}{2} \right) = a - b + \frac{1}{2}$$

$\Delta_{\text{прив}} = 1, 2, 3 \dots$ — усиление

$\Delta = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}$ — ослабление

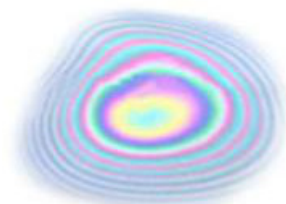
Т.О. для данной λ (цвета) max будет наблюдаться под определенным углом зрения.

В пленке различной толщины области max и min устойчивы, т.е. даже при одном угле зрения мы увидим спектр в белом свете.

18.4.2 Кольца Ньютона

Если взять две стеклянные пластины, одна из которых будет плоской, а вторая выпуклой и соединить их, то они будут соприкасаться в одной точке. Вокруг этой точки в отраженном и в проходящем свете будет наблюдаться система колец. Если освещать эту систему белым светом, то кольца будут переливаться всеми цветами радуги.

В 1663 году английский физик Роберт Бойль (открывший закон описывающий изотермический процесс), первым обнаружил кольца

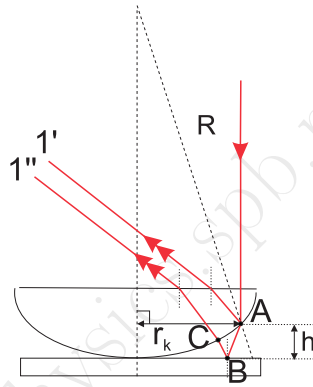
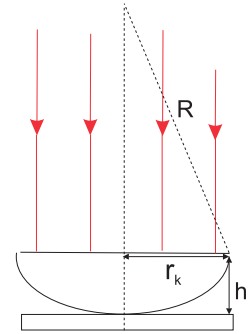


Ньютона. Через два года опыт и открытие были независимо повторены другим английским физиком Робертом Гуком. Ньютон подробно исследовал это явление, обнаружил закономерности в расположении и окраске колец, а также объяснил их на основе корпускулярной теории света. Поэтому кольца были названы в честь Ньютона, а не первооткрывателей.

- R–радиус кривизны линзы
- r–радиус кольца(темного или светлого)
- k–порядок кольца
- h–толщина воздушного слоя над кольцом

Т.к. в точке отражение идет от оптически более плотной среды, то разность хода волн будет: $\Delta = 2h + \frac{\lambda}{2}$

а) условие усиления (светлое кольцо) $\Delta = 2h + \frac{\lambda}{2} = 2k\frac{\lambda}{2}, \quad k \in \mathbf{N}$



$$R^2 = r^2 + (R - h)^2$$

$$R^2 = r^2 + R^2 - 2 \cdot R \cdot h + h^2$$

$$h \ll R$$

$$h = \frac{r^2}{2 \cdot R} \Rightarrow \Delta = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2} = 2k\frac{\lambda}{2}, k \in \mathbf{N}$$

$$\frac{r^2}{R} = (2k - 1)\frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = \frac{2 \cdot r^2}{R(2k - 1)}, k \in \mathbf{N} \quad (1)$$

б) темное кольцо(условие минимума)

$$\Delta = 2h + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}, \quad k \in N_0$$

$$\frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2} = 2k\frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = \frac{r^2}{kR}, k \in \mathbf{N} \quad (2)$$

–по темному кольцу

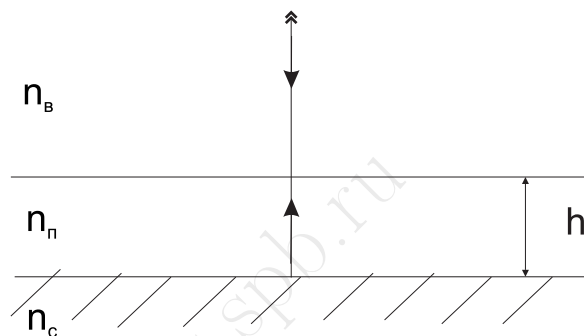
18.4.3 Интерферометры

Интерферометр – самый точный способ определить расстояния (см. теорию относительности)

18.4.4 Просветление оптики

Скорее всего Вы замечаете, что объективы хороших оптических приборов имеют сине-фиолетовую окраску. Почему?! Для чего?!

Дело в том, что даже при нормальном падении лучей линза пропускает (90-92)% энергии. То есть отраженная энергия в системе линз может достигать 50%. Если объектив покрыть тонкой пленкой, такой что:



$$\Delta = 2h = \frac{\lambda_{\text{пл}}}{2} \text{ — гашение блика.}$$

$$\lambda_0 = cT = \frac{c}{\nu}$$

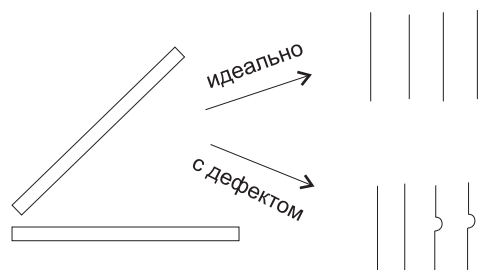
$$\lambda_{\text{пл}} = \frac{v_{\text{пл}}}{\nu}$$

$$h_{\text{пл}} = \frac{c}{v_{\text{пл}}} = \frac{\lambda_0 \nu}{\lambda_{\text{пл}} \nu} \Rightarrow \lambda_{\text{пл}} = \frac{\lambda_0}{n_{\text{пл}}}$$

$$\Rightarrow 2h = \frac{\lambda_0}{2n_{\text{пл}}} \Rightarrow \boxed{h = \frac{\lambda_0}{4n_{\text{пл}}}} \quad (3)$$

Так как газ менее чувствителен к фиолетовой области спектра, его обычно не гасят, так как погасить можно только определенные блики (определенная длина волны)

18.4.5 Проверка качества покрытий.



18.5 Дифракция света. Дифракционная решетка.

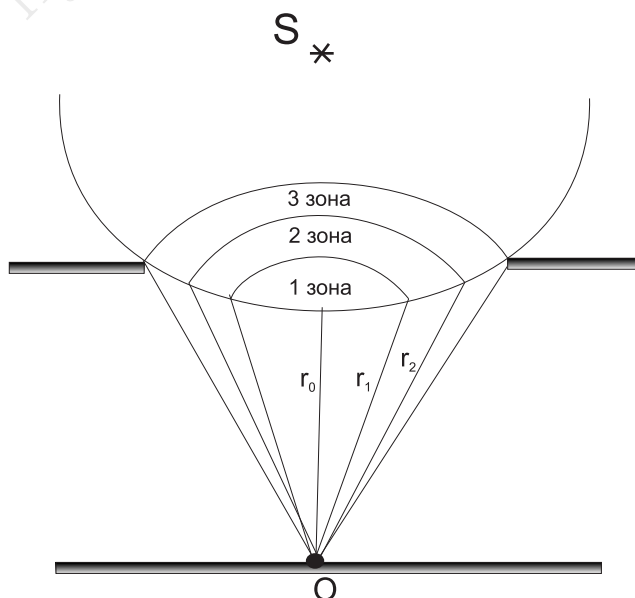
Классу: Определить расстояние между источниками, если на экране, расположенном на расстоянии 2,6 м от источников крайняя красная и крайняя фиолетовая линии первого порядка отстоят друг от друга на 5,6 мм.

$\lambda_{кр} = 760$ нм, $\lambda_{ф} = 400$ нм. Ответ: 0,17 мм

Вместе вспоминаем дифракцию механических волн. План:

1. Определение дифракции.
2. Хорошее наблюдение дифракции возможно, когда:
 $d \ll \lambda$, $4 \cdot 10^{-7} \text{ м} \leq \lambda \leq 8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$
 -следствие- обнаружить дифракцию света достаточно трудно.
3. Опыт Юнга с двумя щелями.
 Идея: получение когерентных источников.
4. Объяснение дифракции — принцип Гюйгенса-Франца.
 - а Вторичные сферические волны, исходящие от точек одного и того же волнового фронта — когерентны.
 - б Являясь когерентными — они интерферируют. *Распределение энергии в области дифракции есть результат сложения колебаний пришедших в данную точку пространства от всех вторичных волн.*

Зоны Френеля — объяснение дифракции на отверстии.



S – источник монохромного излучения. Пусть свет успел рассеяться на расстоянии $R = c \cdot t$

$(\cdot)O$ – наблюдение дифракции.

Рассмотрим области:

$$r_1 = r_0 + \frac{\lambda}{2}$$

$$r_2 = r_1 + \frac{\lambda}{2} = r_0 + \lambda$$

$$r_3 = r_2 + \frac{\lambda}{2} = r_0 + \frac{3\lambda}{2}$$

E_{m0} - амплитуда колебаний вектора напряженности в точке O.

$$E_{m0}^1 > E_{m0}^2 > E_{m0}^3 > \dots$$

$$E_m \sim \frac{1}{r^2}$$

Это доказательство равенства площадей зон Френеля (см. Пинский)

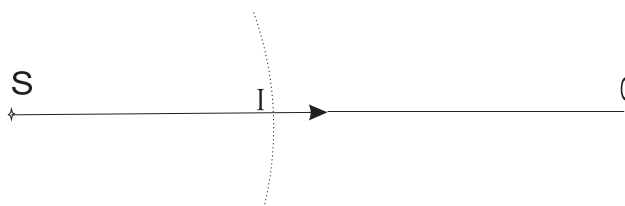
Разность хода света от двух соседних зон $\frac{\lambda}{2} \Rightarrow$ колебания в точке от соседних зон пытаются гасить друг друга.

В 1815 году французский инженер Огюст Френель за участие в военных действиях против Наполеона, после его возвращения с острова Эльба был уволен с работы, удалился в местечко Маби и занялся естествонаучными исследованиями. Его привлекли опыты Юнга по интерференции света. Он пошел дальше. Уже в 1818 году Френель представил обширный труд по дифракции на конкурс Парижской академии наук. Теория Френеля была строга математически. Но Пуассон написал Френелю о очевидном противоречии в его труде: если между экраном и источником света поместить шарик, то на экране (при определенном расстоянии) может быть за шариком светлое пятно. Френель проделал предложенный опыт. Получил светлое пятно. Это было доказательством волновой теории света.

Н/О

Самая большая амплитуда возникает под действием первой зоны, т.к. она ближе всего. Поэтому постепенно увеличивая размер отверстия, Френель увидел: сначала свет (открыта первая зона), тьма (открыта первая и вторая), свет (открыты первая, вторая и третья) и т.д.

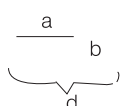
Отсюда прямолинейность распространения объясняется тем, что отверстия нет, а значит работают все зоны Френеля. Следовательно, как результат интерференции при сложении этих волн мы получим \dots , но ширина зон уменьшается, расстояние, проходимое светом от каждой следующей становится меньше; и вообще можно говорить, что на излучение в точке O влияет только первая зона.



5. Дифракция от различных препятствий.
6. Разрешающая способность оптических приборов ограничена волновой природой света. Это разрешающая способность.

18.5.1 Дифракционная решетка

Дифракционная решетка представляет собой ряд узких параллельных щелей, разделенных непрозрачными промежутками. Лучшие решетки — 1000 штрихов на 1 мм.

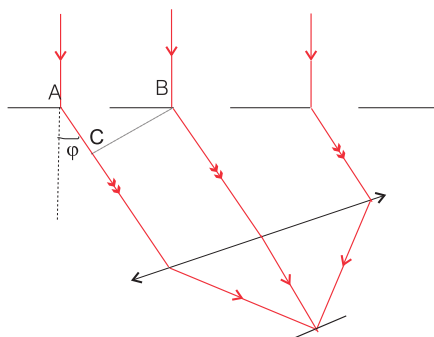


$d = a + b$ – период решетки.

$$\Delta = |AC| = |AB| \cdot \sin \varphi = d \cdot \sin \varphi$$

$\Delta = n \cdot \lambda$ - усиление длины волны \Rightarrow

$$n \cdot \lambda = d \cdot \sin \varphi$$

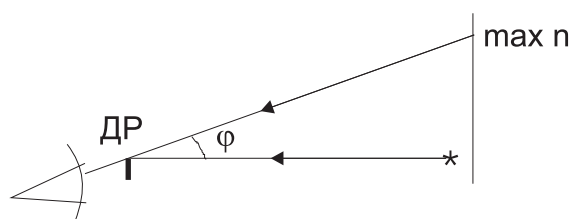


18.6 Лабораторная работа

"Определение длины световой волны"

Оборудование: дифракционная решетка, источник света, линейка, рулетка.

1. Получить спектр.
2. Измерить расстояние до источника l .
3. Измерить расстояние до максимума n порядка (выбираем сами), делаем несколько измерений (D)
4. Определить период решетки: $d=0,01 \text{ мм} = 10^{-5} \text{ м}$



$$\Rightarrow \sin \varphi \approx \tan \varphi \approx \frac{D}{l} \Rightarrow \lambda = \frac{d \cdot \sin \varphi}{n} = \frac{d \cdot D}{n \cdot l}$$

Закрепление. Если успею: спектр какого порядка можно увидеть с помощью этой решетки?

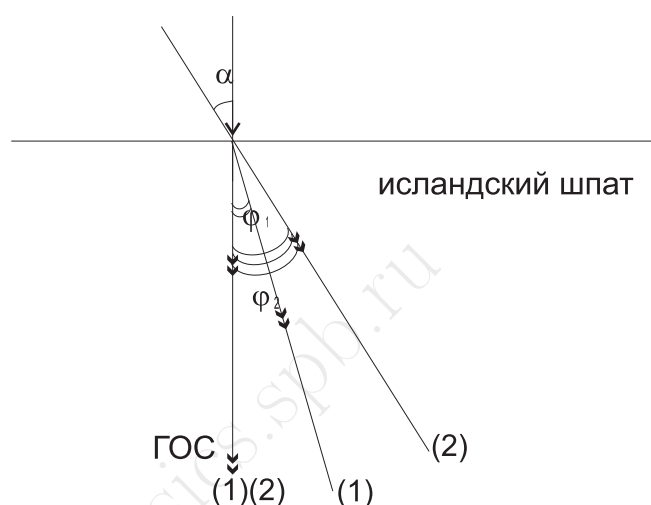
$$n \cdot \lambda = d \cdot \sin \varphi = d \cdot 1 \Rightarrow n = \frac{d}{\lambda} = \frac{10^{-5}}{\lambda_{\text{кр}}} = 13$$

18.7 Поляризация света

Демонстрация: лазер, неполяризованный свет, поляроиды.

Свет — электромагнитная волна, поэтому для нее характерна поляризация, т.е. свет — поперечная волна. *Естественный свет не поляризован.*

Практически все вещества изотропны. Но в 1690 году Гюйгенс, экспериментируя с исландским шпатом, обнаружил, что свет в нем разделяется на два луча. В 1816 году Френель обнаружил, что они не интерферируют, являясь когерентными. Он предположил, что они поляризованы по-разному.



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma_1} = n = \text{const}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma_2} = n(\alpha)$$

(1) — обыкновенный луч

(2) — необыкновенный луч

В анизотропных веществах обыкновенный и необыкновенный лучи поляризованы во взаимноперпендикулярных направлениях.

Что такое поляризация света?

САМИ: Выделение из всевозможных направлений одно направление колебаний вектора \vec{E} и \vec{B}

Интересное свойство, связанное с поляризацией света, обнаруживает молекула сахара. Если кювету с раствором сахара осветить поляризованным светом, то при входе свет окажется поляризованным в другой плоскости. Сахар вращает плоскость поляризации. На сколько повернется эта плоскость зависит от концентрации раствора и длины кювета.

Интересно еще одно свойство. Опрещенный??? сахар (естественный) вращает плоскость поляризации вправо. Искусственно полученная глюкоза не вращает плоскость поляризации. Т.о. в естественном сахаре до 95 % молекул "правовращающих". Биологами обнаружено, что организмы усваивают правовращающий сахар. На искусственный сахар сажали муравьев. Потом его растворяли. Оказалось, что плоскость поляризации вращается влево. Т.е. живые организмы уничтожают только "правовращающий сахар".

Что принять за плоскость поляризации? Плоскость, где меняется \vec{E} или \vec{B} . Найдем силу, с которой электрическое и магнитное поле действует на частицу.

$$F_{\text{эл}} = q \cdot E$$

$$F_{\text{магн}} = q \cdot v \cdot B$$

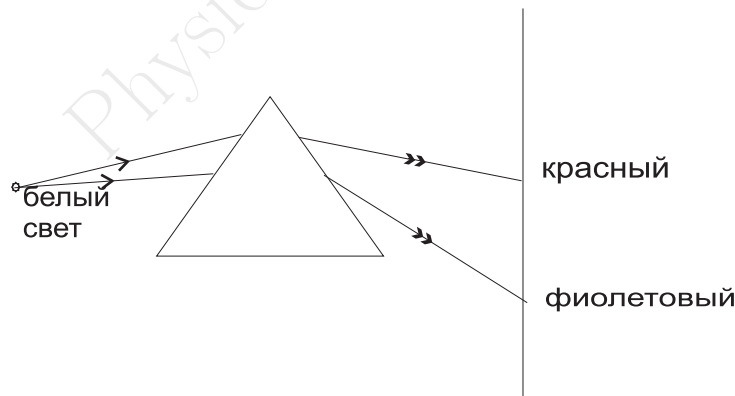
$$\frac{F_{\text{эл}}}{F_{\text{магн}}} = \frac{E}{v \cdot B} = \frac{1}{v} \cdot \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} = \frac{c}{v} \gg 1, \text{ т.к. } v \ll c \text{ всегда}$$

$$\frac{\varepsilon_0 \cdot E^2}{2} = \frac{B^2}{2 \cdot \mu_0} \Rightarrow \frac{E}{B} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}}$$

За плоскость поляризации принимаем плоскость, в которой лежит вектор \vec{E} электромагнитной волны.

18.8 Дисперсия света.

В XVII веке впервые было получено разложение белого света в спектр, т.е. поле преломленного луча белого света оказывалось окрашенным. Это получило название призматических цветов, т.к. преломление наблюдалось в призме.



В 1666 году Ньютон пытался объяснить это с точки зрения корпускулярной теории света. Если представить свет как волну, то из эксперимента следует, что $n = \frac{c}{v}$; или $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$

$n_{\text{кр}} < n_{\text{ф}}$, таким образом из опыта:

$$v = f(\nu) \Rightarrow n = f'(\nu) \text{ - дисперсия.}$$

Дисперсия света — зависимость показателя преломления от частоты падающего света. Дисперсия часто сопровождается спектральным разложением некогерентного света на составные.

В конце XIX - в начале XX века в огромном количестве опытных экспериментов было выяснено, чем больше частота э/м колебаний, тем с меньшей скоростью они распространяются в данной среде.

Хорошо видно на таблице:

λ	n	
	флинт	крон
1)Красный 6563 Å	1.6444	1.5145
2)Фиолетовый 4047 Å	1.6852	1.5318

$$\lambda_{\text{кр}} > \lambda_{\text{ф}} \Leftrightarrow \nu_{\text{кр}} < \nu_{\text{ф}}$$

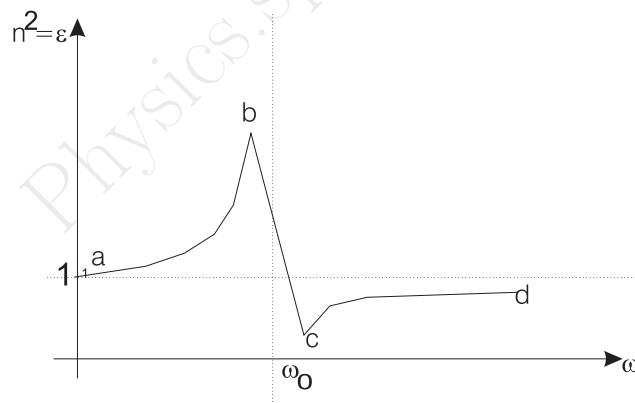
$$n_{\text{кр}} < n_{\text{ф}} \Rightarrow v = \frac{c}{n} \nu_{\text{кр}} > v_{\text{ф}}$$

Интересен еще один факт. Из уравнения Максвелла известно, что $v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}}$, т.к. практически все оптически прозрачные вещества не ферромагнетики, то $\mu \approx 1 \Rightarrow n = \frac{c}{v} = \sqrt{\varepsilon}$
 ?!?!ε - мы считали характеристикой среды. Так ли это??

Относительная диэлектрическая проницаемость есть величина постоянная только для электростатических полей.

К примеру: $n_{\text{в}} = 1.33$; $\varepsilon = 81 \Rightarrow n = \sqrt{81} = 9$, для электростатического поля.

Графически дисперсионную кривую (практически построенную Лоренцем) изображают так:



ω_0 – собственная частота колебаний электронов в атоме.

ab, cd - область нормальной дисперсии.

bc - область резонанса, область аномальной дисперсии – обнаружена Леру в 1862 году. В парах йода красный свет преломляется сильнее всего (связано с резонансом).

В заключении, хотелось бы отметить, что вблизи резонансной частоты ω_0 свет хорошо поглощается веществами. Объяснение может дать квантовая теория строения веществ.

(E_{m_0}) – амплитуда колебаний вектора напряженности в $(\cdot)O$

$$E_{m_0}^1 > E_{m_0}^2 > E_{m_0}^3 > \dots$$

$$E_m \sim \frac{1}{r^2}$$

Доказательство равенства площадей зон Френеля см. Пинский (хорошо)

Пояснения к графику

На вещество падает электромагнитная волна. $E = E_m \cdot \cos \omega t$ – вынуждающая сила для колебаний электронов (для света в атомах)

Тогда на электрон действуют две силы: квазиупругая (электростатическое взаимодействие) и внешняя квазиупругая возвращающая.

$$\vec{F}_{\text{к.у.}} + \vec{F}_{\text{эм}} = m \cdot \vec{a}$$

$$-kx + eE_m \cos \omega t = mx'', \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \Rightarrow k = \omega_0^2 m$$

$$-m\omega_0^2 x + eE_m \cos \omega t = mx''$$

$$x(t) = x_m \cos \omega t \text{ – вынужденные колебания} \Rightarrow -m\omega_0^2 x_m \cos \omega t + eE_m \cos \omega t = -m\omega^2 x_m \cos \omega t$$

$$x_m = \frac{eE}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}$$

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E} = 1 + \frac{N \cdot p}{\varepsilon_0 E}, N \text{ – число атомов}$$

$$E_0 = E + E_{\text{ат}}, E_{\text{ат}} = \frac{N \cdot p}{\varepsilon_0} \Rightarrow n^2 = \varepsilon = 1 + \frac{N \cdot e^2}{m \cdot \varepsilon_0 (\omega_0^2 - \omega^2)}$$

$$\omega < \omega_0 \Rightarrow \omega \uparrow \Rightarrow \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2} \uparrow \Rightarrow n^2 \uparrow$$

см. график

Вблизи $\omega_0 = \omega$ происходит поглощение света.