

Волновая и квантовая оптика

готовимся к ЕГЭ 11 класс

Смирнова С.Г.

учитель физики

МОУ «Луховский лицей»

Двойственная природа света

Свет – электромагнитная волна.

Свет – поток частиц (корпускул или квантов).



Принцип дополнительности Н. Бора.

В 1927 году **Бор** сформулировал принципиальное положение квантовой механики – **принцип дополнительности**, согласно которому получение экспериментальной информации об одних физических величинах, описывающих микрообъект (элементарную частицу, атом, молекулу), неизбежно связано с потерей информации о некоторых других величинах, дополнительных к первым. Такими взаимно дополнительными величинами являются, например, координата частицы и ее импульс (или скорость), потенциальная и кинетическая энергии и др.

Квантовый объект – это не частица и не волна, и даже не то и другое одновременно. Квантовый объект – это нечто третье, не равное простой сумме свойств волны и частицы (точно так же, как мелодия – больше, чем сумма составляющих ее звуков). Это квантовое «нечто» не дано нам в ощущение, тем не менее оно, безусловно, реально. У нас нет органов чувств, чтобы вполне представить себе свойства этой реальности. Однако сила нашего интеллекта, опираясь на опыт, позволяет все-таки ее познать.

Волновая оптика

Явления:

- 1. Интерференция света**
- 2. Дифракция света**
- 3. Поляризация света**

Интерференция света – это явление наложения волн с образованием устойчивой во времени картины максимумов и минимумов амплитуды колебаний.

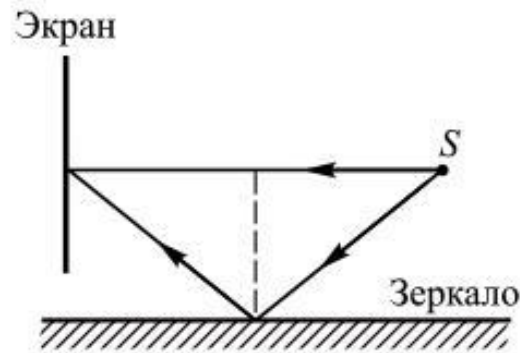
Когерентные волны вызывают в данной точке пространства колебания, разность фаз которых остается постоянной во времени и зависит только от расстояния от источников до точки, а также от длины волны.

Когерентность световых волн

Тепловые источники не могут быть когерентны.

Время в возбужденном состоянии $\sim 10^{-8}$ с, период колебаний, возбуждаемых световой волной, $\sim 10^{-15}$ с.

(Исключение – лазеры, так как все возбужденные атомы излучают синхронно волны с одинаковой частотой и начальной фазой).



Разность хода волн не должна превышать 3 м.

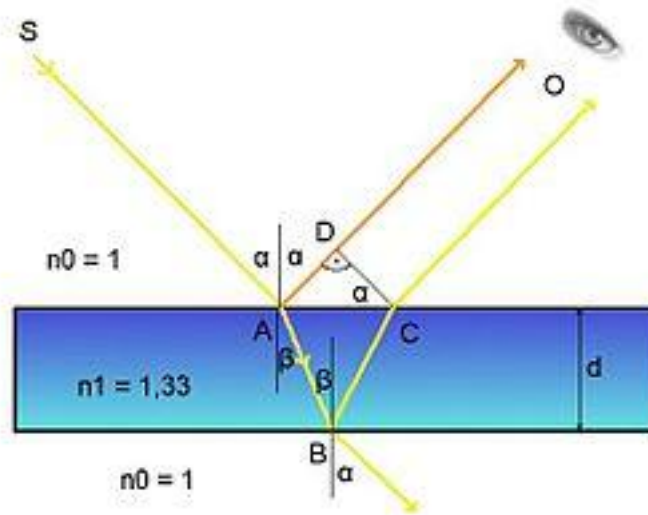
Если $\Delta > 3$ м, то в точке *A* встречаются волны, излученные разными атомами, так как за время 10^{-8} с одним атомом излучается цуг волн длиной $l = ct = 3$ м, где c – скорость света, равная $3 \cdot 10^8$ м/с.

Оптическая разность хода

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{c}{n\nu} = \frac{cT}{n} = \frac{\lambda_0}{n}$$

λ_0 – длина волны в вакууме.

$$\Delta = n_1 l_1 - n_2 l_2.$$

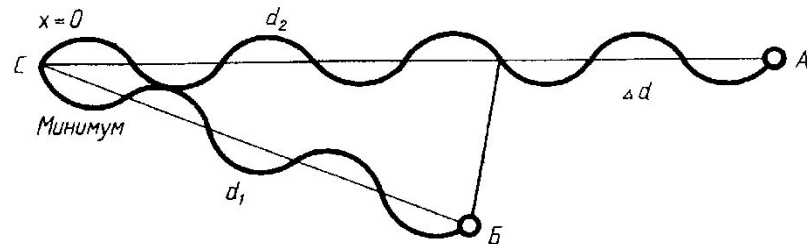
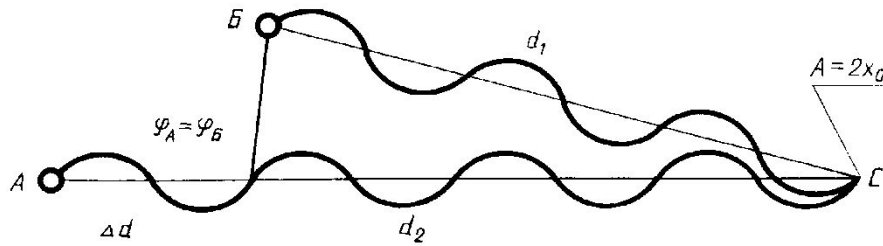


Условия наблюдения интерференционных минимумов и максимумов

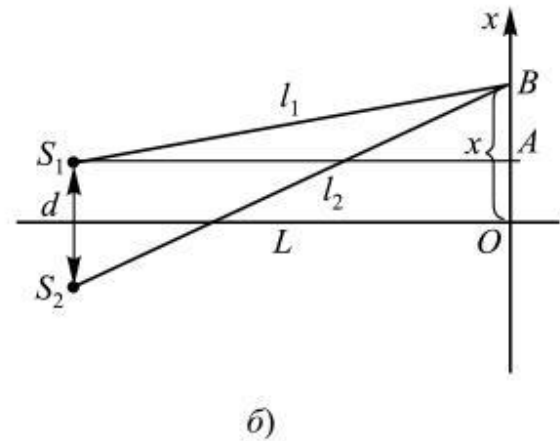
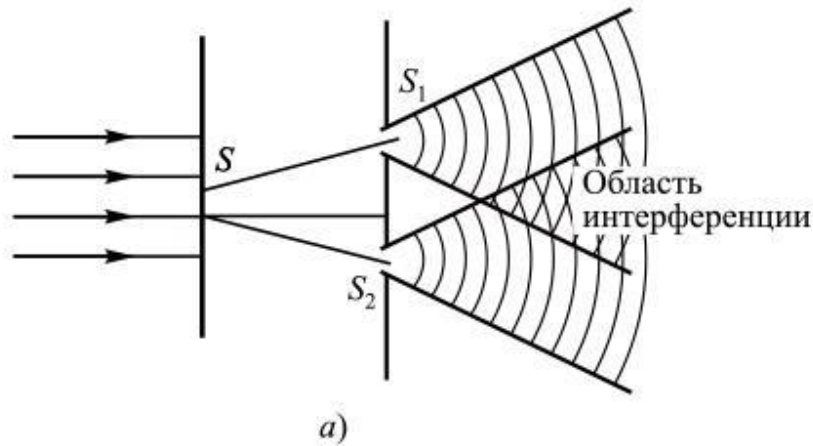
$$\Delta = \pm k\lambda - \text{max}$$

$$\Delta = \pm(2k + 1)\lambda/2 - \text{min}$$

$k = 0, 1, 2, \dots, k$ – целое число.



Опыт Юнга (1801 год)



$$l_1^2 = L^2 + (x - d/2)^2$$

$$l_2^2 = L^2 + (x + d/2)^2$$

$$l_2^2 - l_1^2 = 2dx$$

$$(l_1 + l_2)(l_2 - l_1) = 2xd$$

$$l_1 + l_2 \approx 2L, l_2 - l_1 = \Delta,$$

$$\Delta = \frac{xd}{L}$$

Условие наблюдения интерференционного максимума:

$$\Delta = \pm k\lambda \quad (k = 0, 1, 2, \dots),$$

$$\frac{xd}{L} = \pm kl.$$

Координаты интерференционных максимумов на экране определяется формулой:

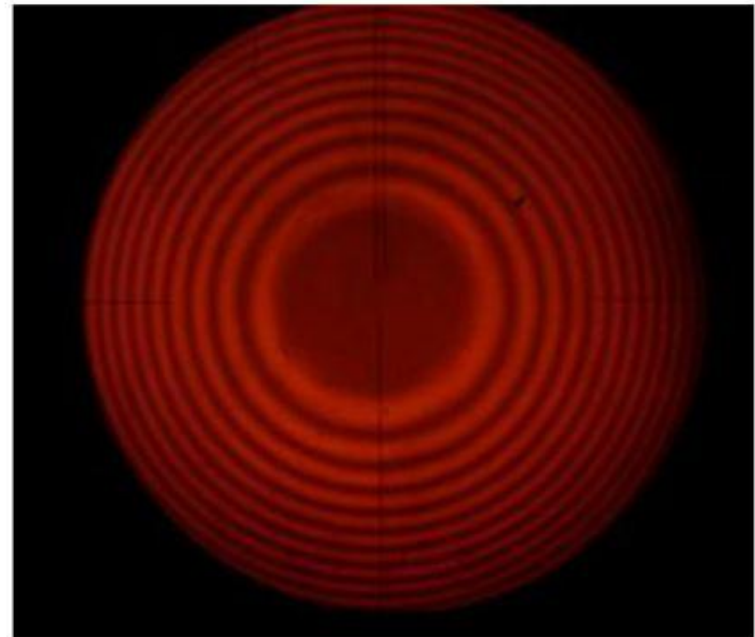
$$x_k = \pm k \frac{\lambda L}{d}$$

$$\frac{xd}{L} = \pm(2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

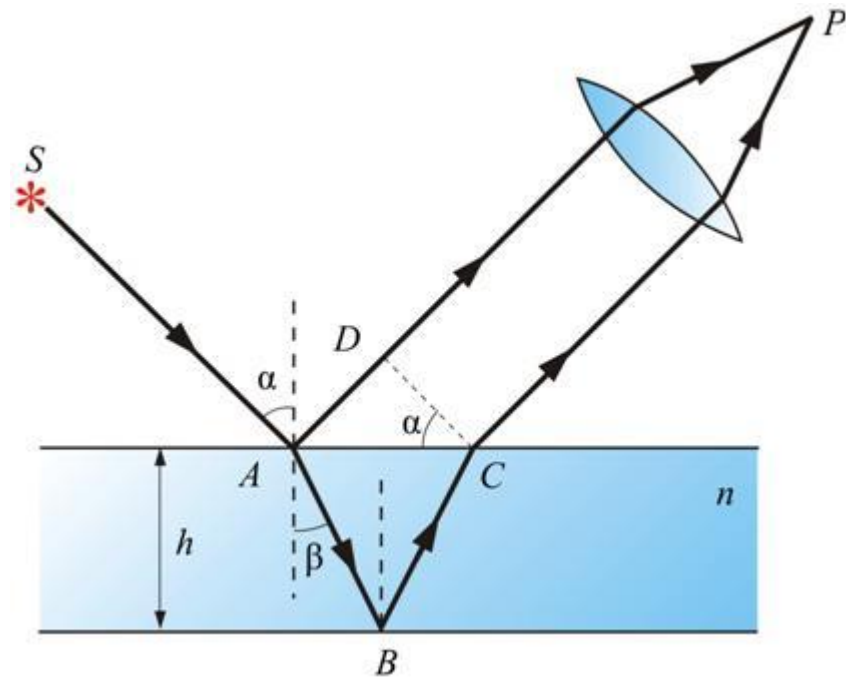
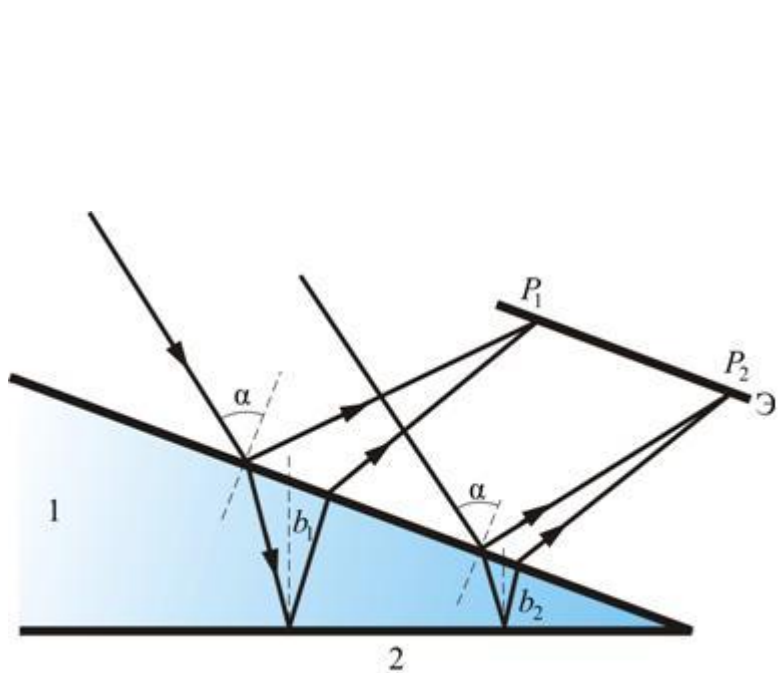
$$x_k = \pm(2k + 1) \frac{\lambda L}{2d}$$

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = (k + 1) \frac{\lambda L}{d} - k \frac{\lambda L}{d} = \frac{\lambda L}{d}$$

Интерференционная картина в белом свете выглядит, как чередование цветных полос, в монохроматическом – чередование светлых и темных полос.



Полосы равной толщины и полосы равного наклона.

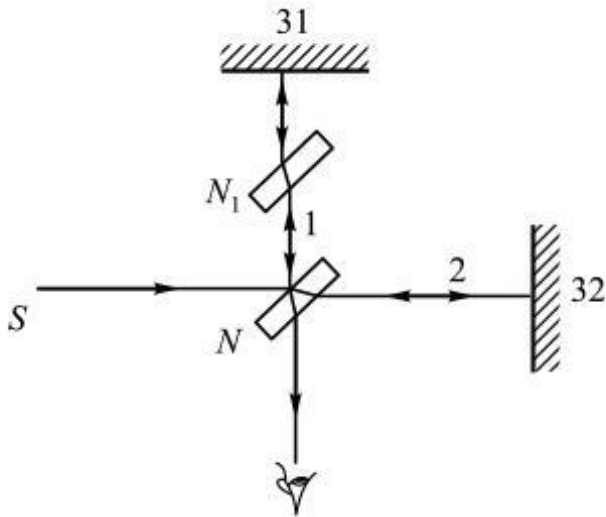


Применение интерференции

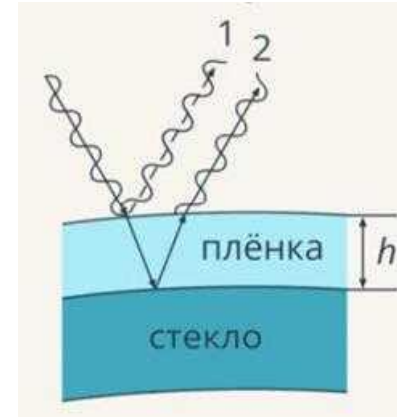
1. Интерферометры

2. Просветление оптики.

3. Холодные зеркала



4. Дефектоскопия



$$\lambda_{пл} = \lambda / n_{пл}$$

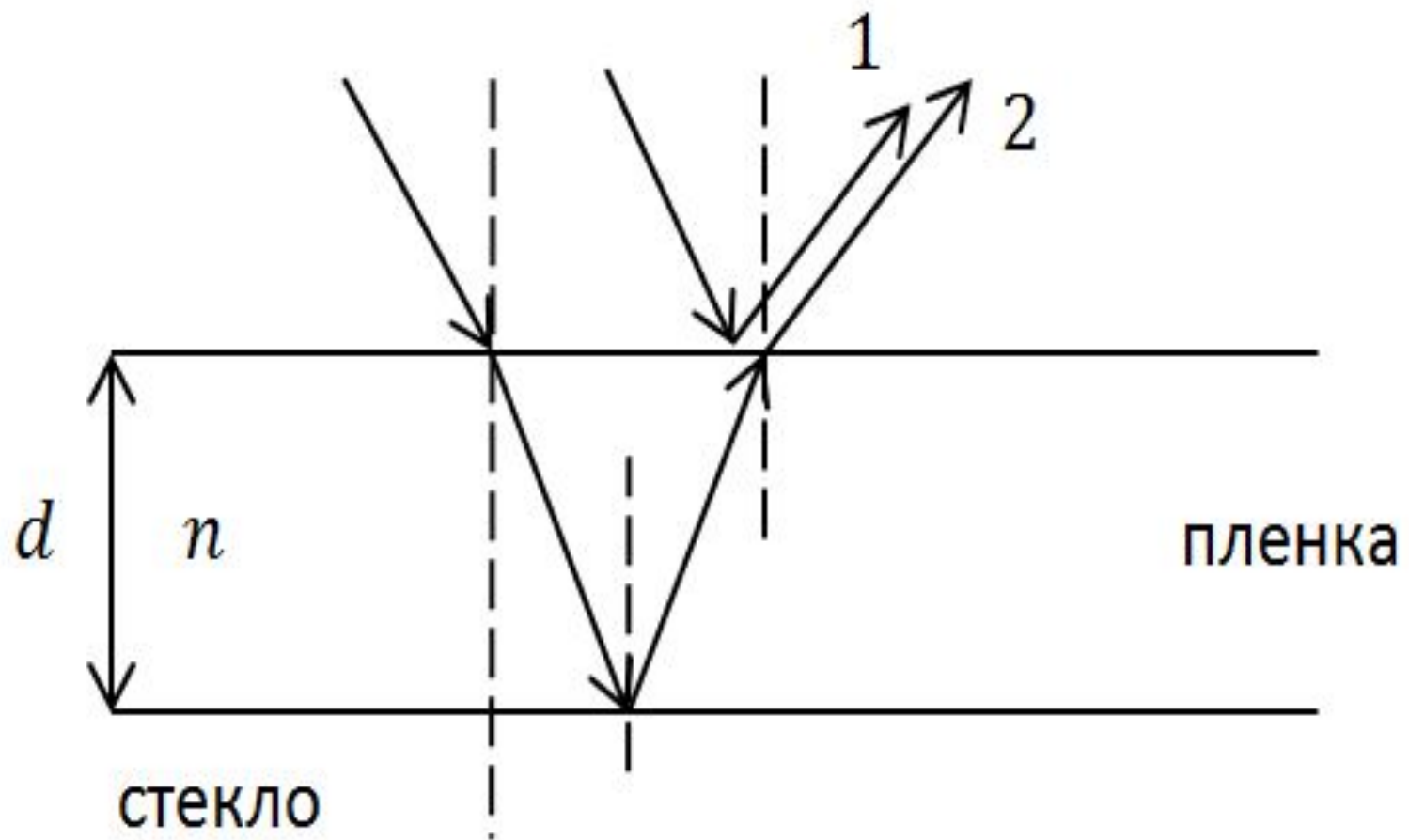
$$2h = \lambda / 2n_{пл}$$

$$h = \lambda / 4n_{пл}$$

$$n_{пл} = \sqrt{n_{ст}}$$

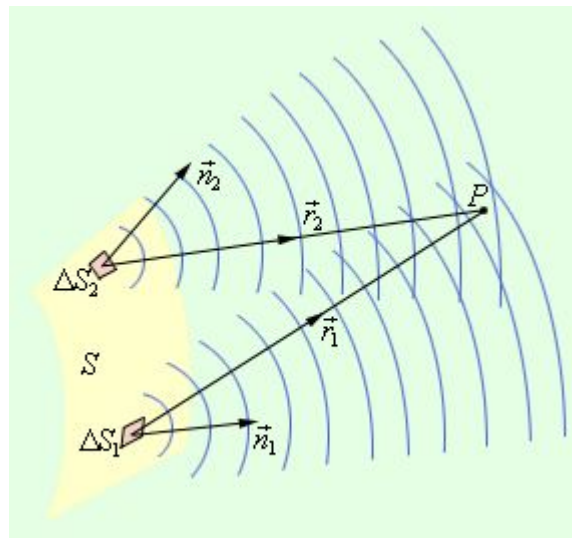
Просветление оптики

Просветлѐние óптики — это нанесение на поверхность линз, граничащих с воздухом, тончайшей пленки или нескольких слоёв плѐнок один поверх другого. Это позволяет увеличить светопропускание оптической системы и повысить контрастность изображения за счёт подавления бликов. Величины показателей преломления чередуются по величине и подбираются таким образом, чтобы за счёт интерференции уменьшить (или совсем устранить) нежелательное отражение.



Дифракция света

Дифракцией света называется явление отклонения **света** от прямолинейного направления распространения при прохождении вблизи препятствий. Как показывает опыт, **свет** при определенных условиях может заходить в область геометрической тени.

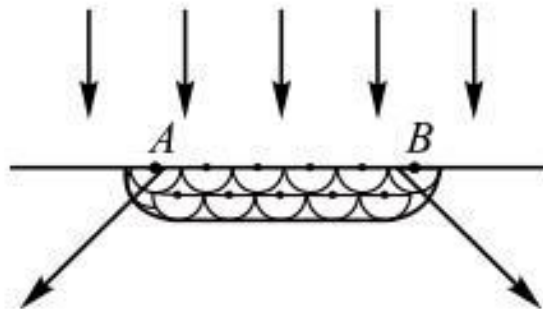


Дифракция света

Принцип Гюйгенса-Френеля: каждая точка волнового фронта является источником вторичных волн, причем все эти вторичные источники когерентны. Огибающая волн к фронтам волн от вторичных источников дает положение нового фронта волны.

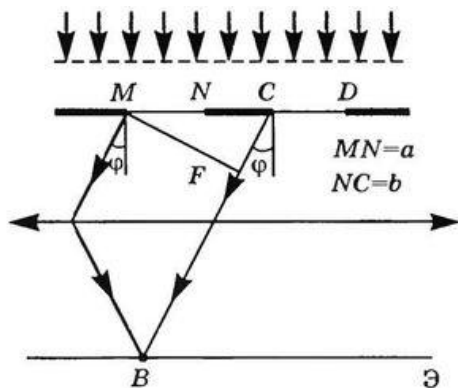
Все вторичные источники когерентны, и распределение интенсивности есть результат интерференции волн, излучаемых вторичными источниками

$$\lambda \sim d.$$



Дифракционная решетка

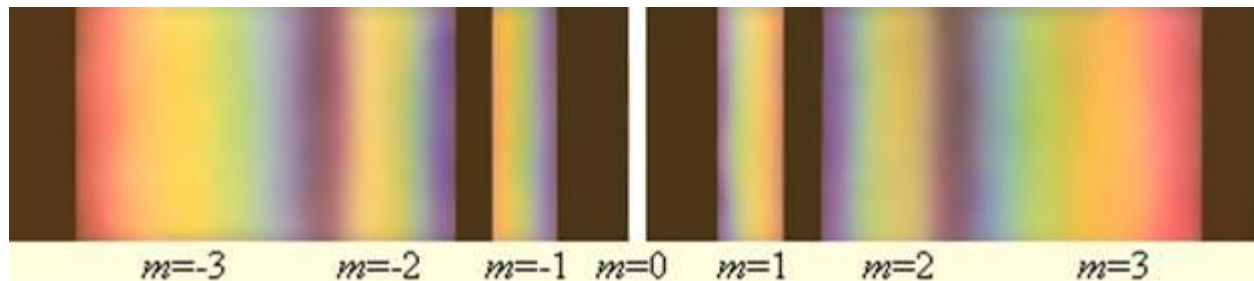
Дифракционная решетка состоит из чередующихся прозрачных и непрозрачных полос. Суммарная ширина прозрачной и непрозрачной полос мала и называется периодом дифракционной решетки d .



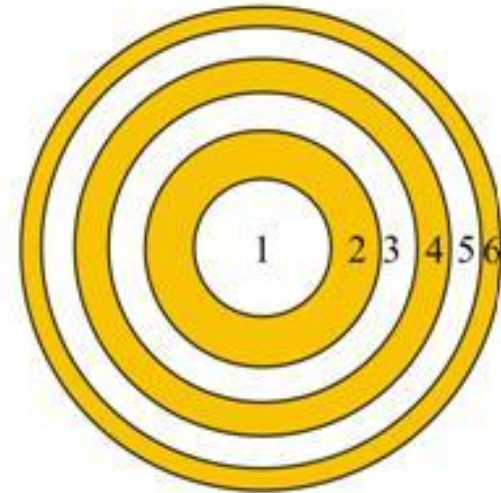
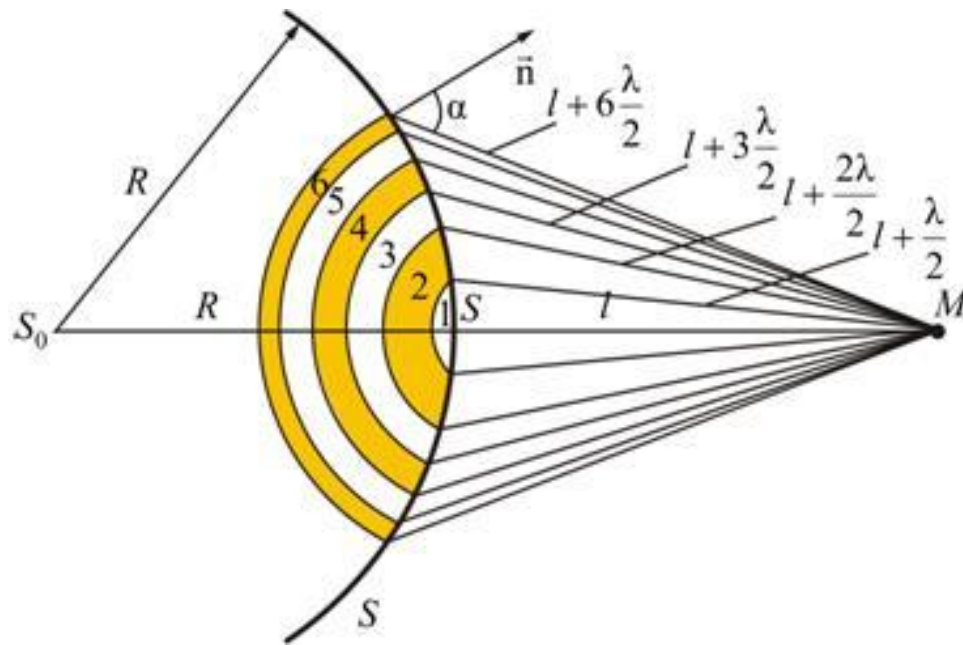
$$-\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$$

$$\Delta = d \sin \varphi$$

$$d \sin \varphi = \pm kl$$



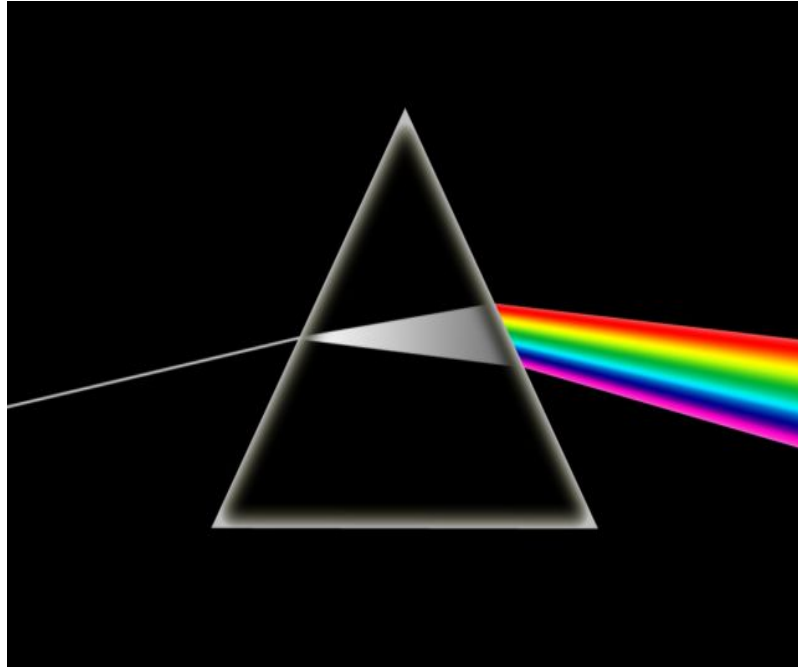
Дифракция Френеля



Дисперсия, поляризация, рассеяние света

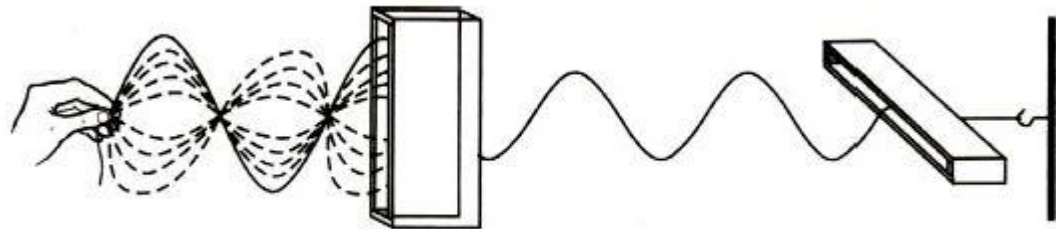
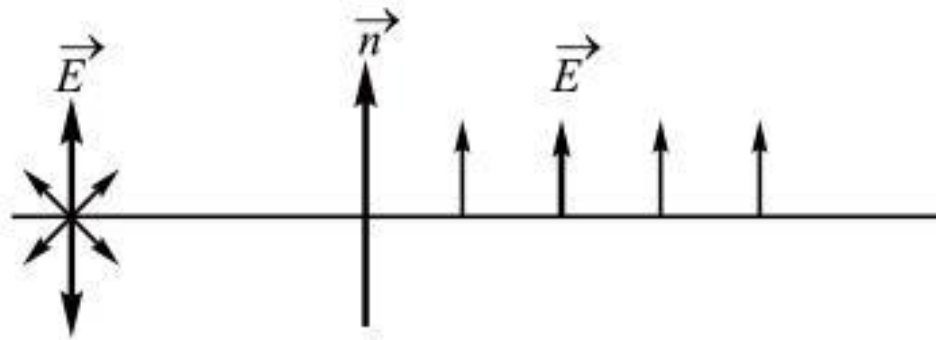
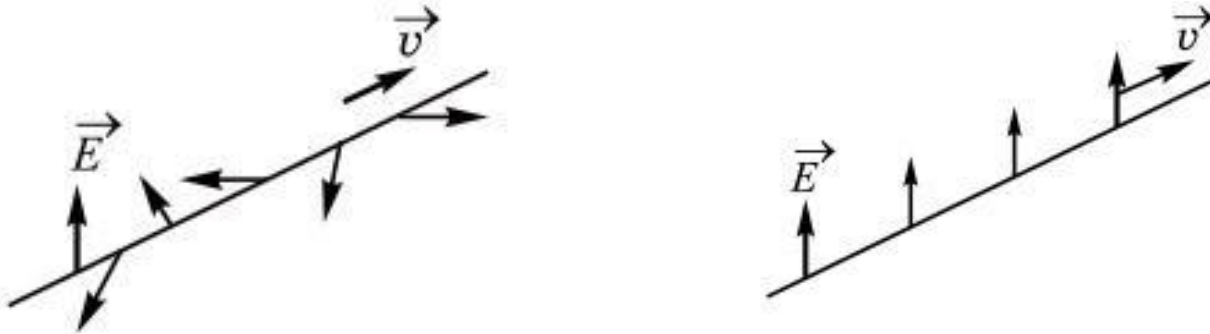
Дисперсией света называется зависимость показателя преломления n вещества от частоты ν (длины волн λ) света или зависимость фазовой скорости световых волн от их частоты.

Следствием дисперсии является разложение в спектр пучка белого света при прохождении его через призму

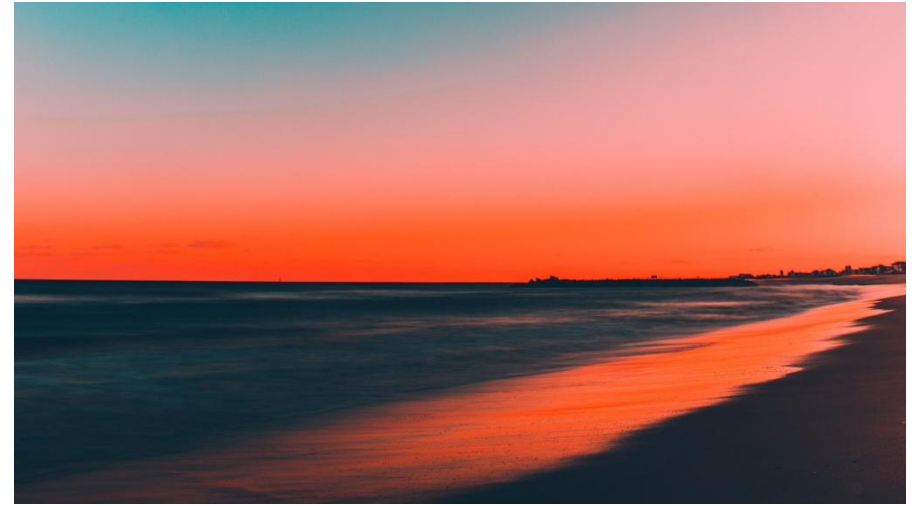


Поляризация света – процесс упорядочения колебаний вектора напряжённости электрического поля световой волны при прохождении света сквозь некоторые вещества (при преломлении) или при отражении светового потока.

Поляризация света



Рассеяние света



Частицы, размеры которых меньше длины волны, слабее рассеивают длинные волны, сильнее – короткие. С увеличением длины волны рассеяние ослабевает пропорционально $1/\lambda^4$. Следовательно, красный свет рассеивается слабее, чем голубой, поэтому днем небо выглядит голубым. На закате солнечные лучи проходят самый толстый слой атмосферы. Большая часть голубого излучения рассеивается. Поэтому небо на закате выглядит желто-красным.