

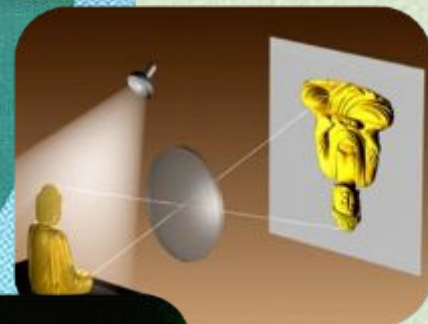
ФИЗИКА

11

Дифракция

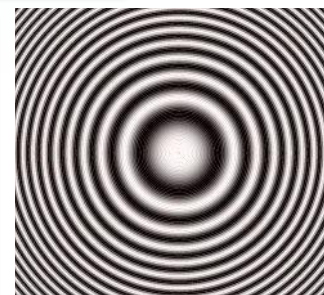
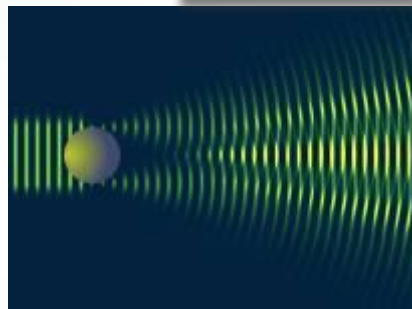
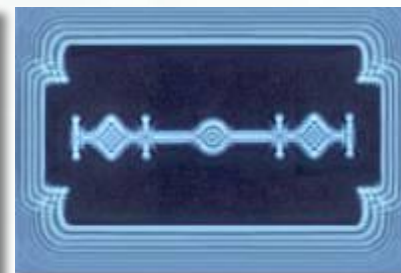
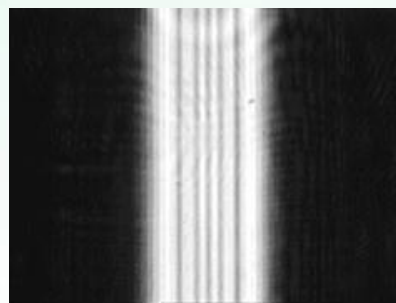
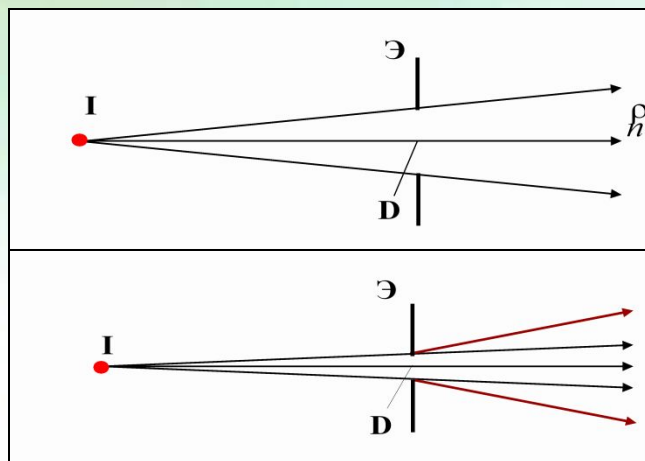
Подготовка к ЕГЭ

К Л А С С



Дифракция света

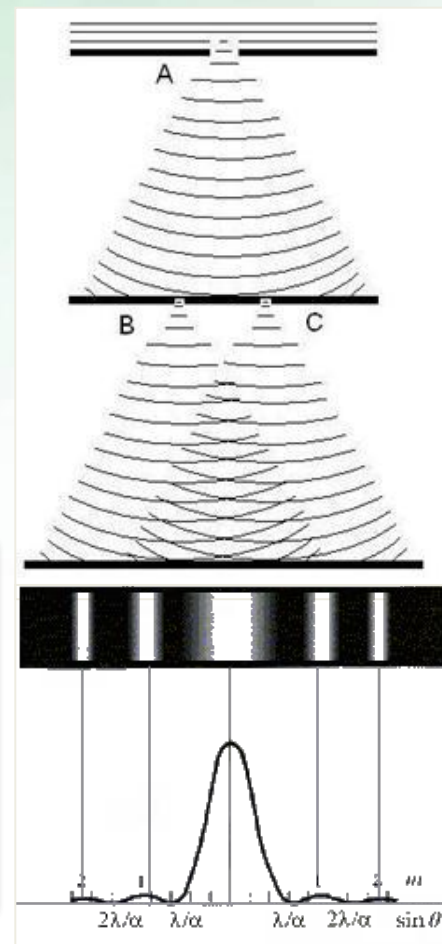
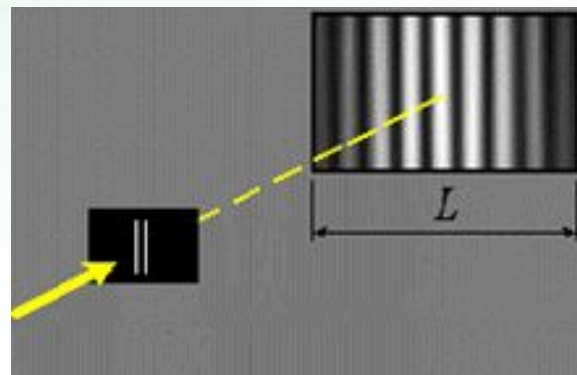
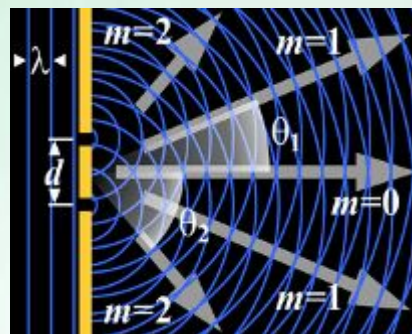
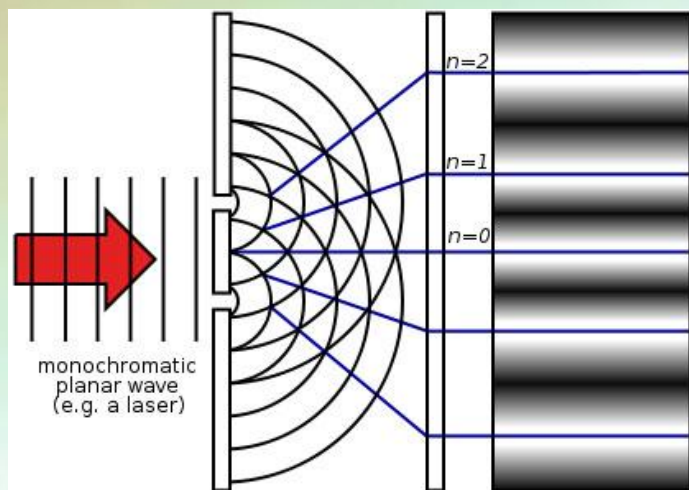
Дифракция света - явление отклонения световых лучей в область геометрической тени при прохождении мимо краев препятствий или сквозь отверстия, размеры которых сравнимы с длиной световой волны



Свет заходит за края препятствия!

Дифракция света

Опыт Юнга по дифракции

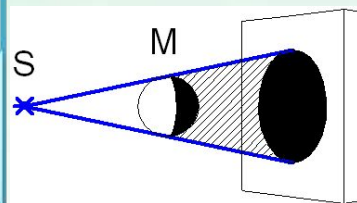


Дифракция проявляется в нарушении прямолинейности распространения света!

Дифракция света

Виды дифракции

Геометрическая
оптика!



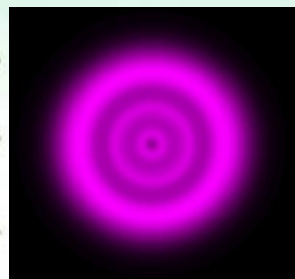
Дифракция
Френеля

$$L \ll \frac{b^2}{\lambda}$$

Дифракция
Фраунгофера

$$L \geq \frac{b^2}{\lambda}$$

$$L \gg \frac{b^2}{\lambda}$$

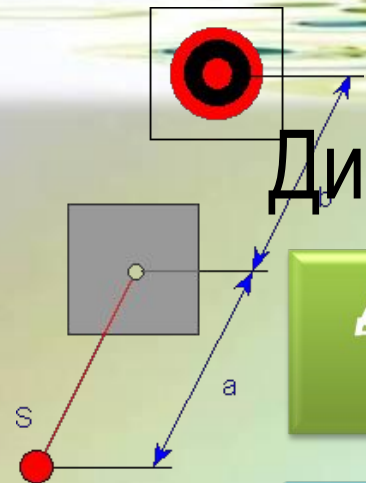


Закон прямолинейного распространения света выполняется достаточно точно в том случае, когда размеры щели на пути распространения света много больше длины световой волны!

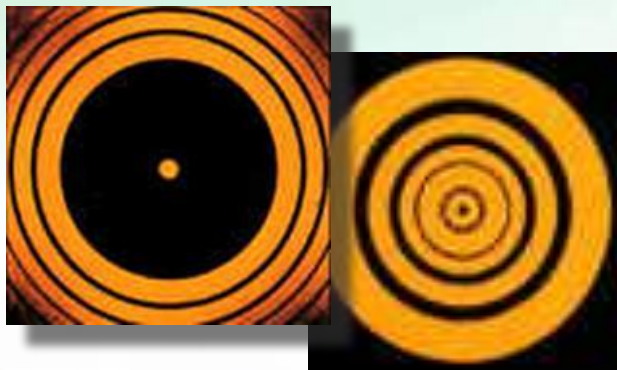


Дифракция света

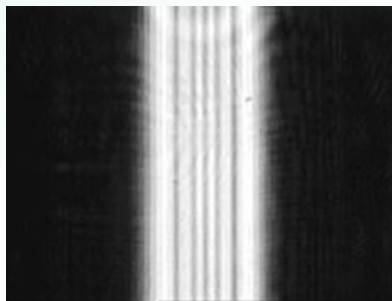
Дифракция Френеля на простых объектах



Дифракция на малом отверстии

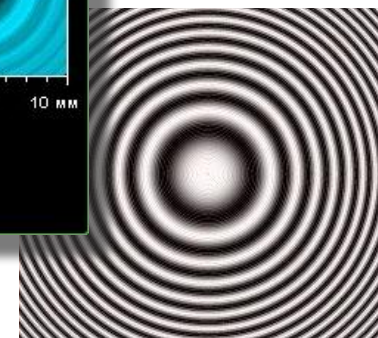
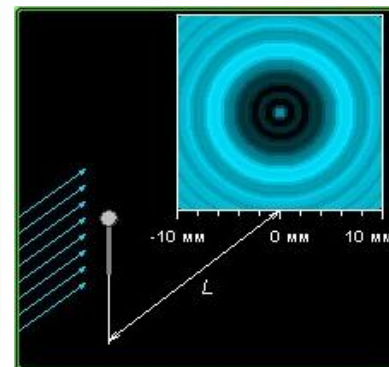


Дифракция на нити



$$b \ll \lambda$$

Дифракция на круглом экране



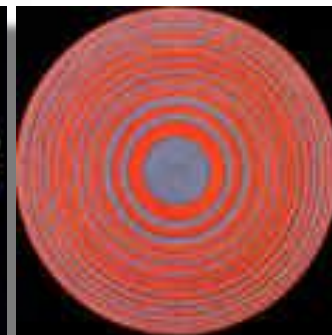
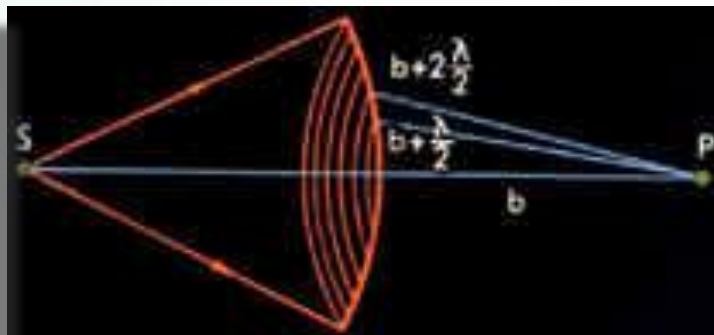
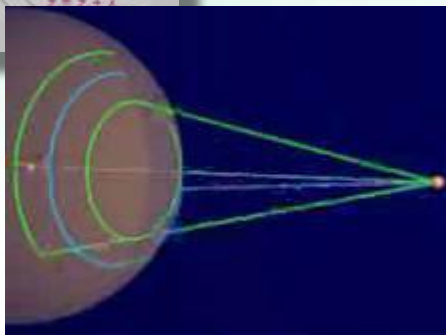
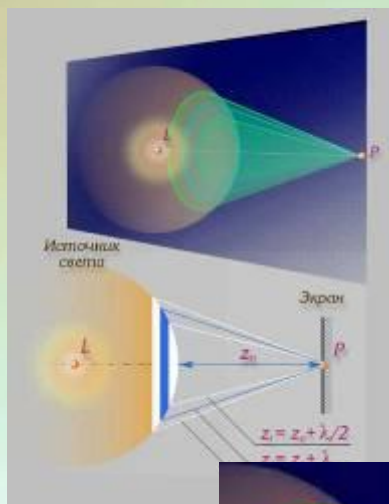
Щель играет роль точечного источника волн!



Дифракция света

Метод зон Френеля

Для нахождения **результата интерференции** колебаний от вторичных источников Френель предложил метод разбиения волнового фронта на зоны



Зоны Френеля – множество когерентных источников вторичных волн, максимальная разность хода между которыми равна $\lambda/2$

Дифракция света

Условие минимума

Когда на отверстии укладывается **четное ЧИСЛО ЗОН**, то в точке наблюдения возникнет минимум (темное пятно)

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 \approx 0$$

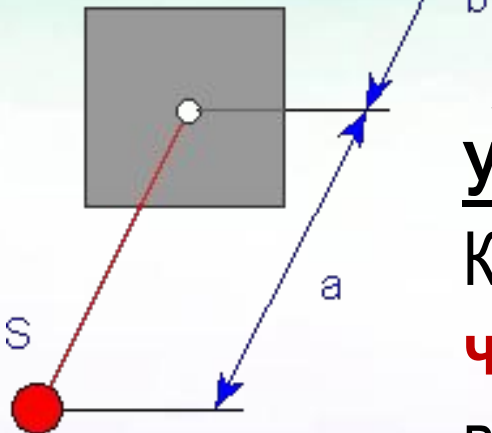


**Дифракция
на малом отверстии**

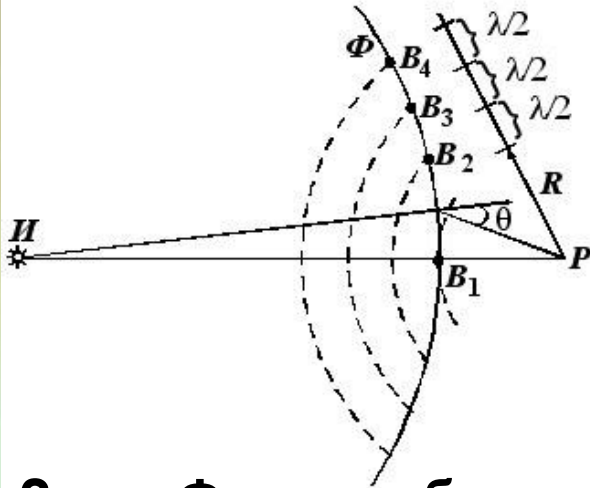
$$A = A_1 - A_2 + A_3 \approx A_1$$

Условие максимума

Когда на отверстии укладывается **нечетное ЧИСЛО ЗОН**, то в точке наблюдения возникнет максимум (светлое пятно)

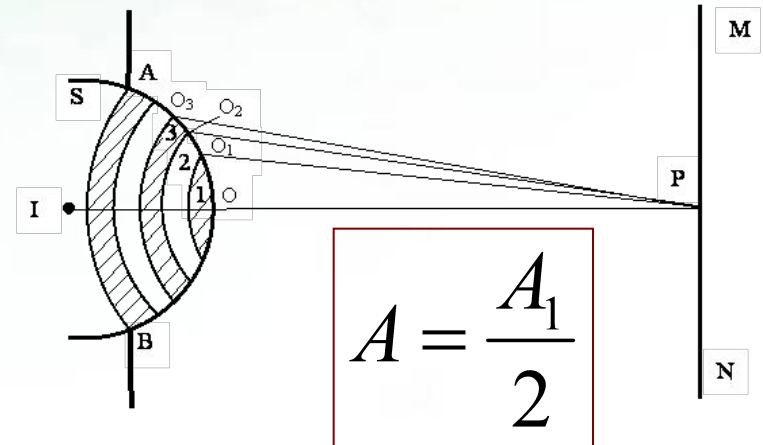


Дифракция света



Амплитуда колебаний в точке наблюдения монотонно убывает по мере увеличения угла между нормалью к поверхности и направлением на точку наблюдения

Зоны Френеля больших номеров вносят малый вклад в интенсивность из-за большого угла наклона зон!

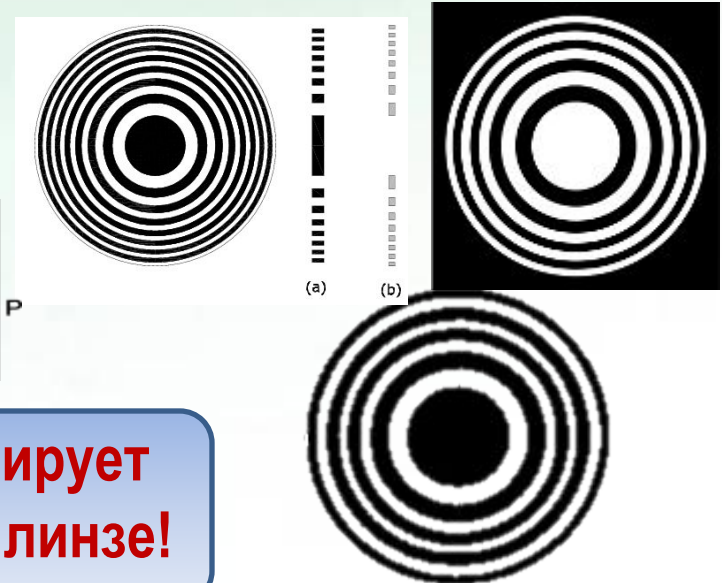
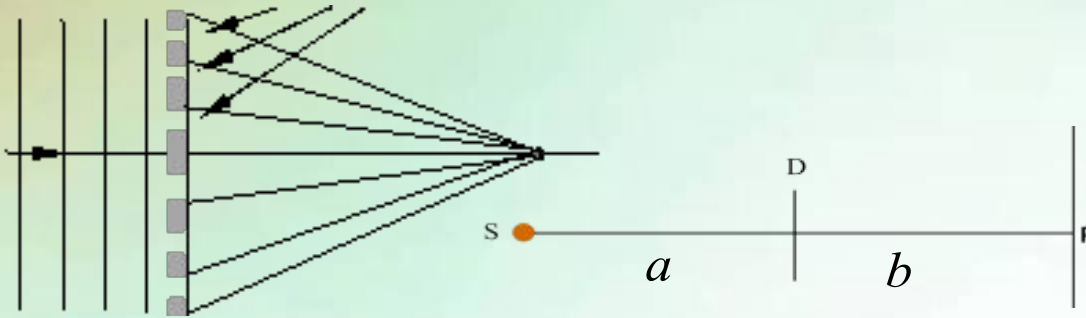


Результирующая амплитуда колебаний в точке наблюдения примерно равна половине амплитуды колебаний, создаваемой центральной зоной Френеля



Дифракция света

Зонная пластинка – это прозрачный экран с чередующимися светлыми и темными кольцами



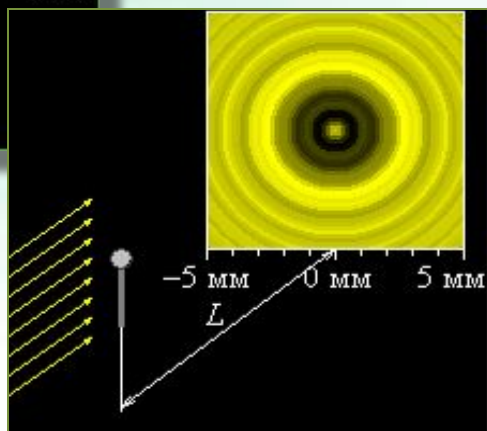
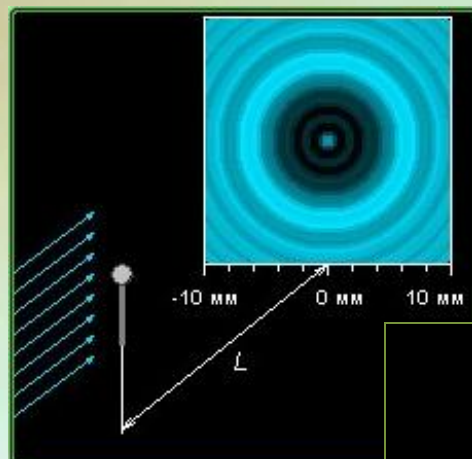
Зонная пластинка фокусирует световые лучи подобно линзе!

Радиусы колец подбираются так, что при заданных λ , a и b кольца из непрозрачного материала закрывают все четные зоны, тогда в точку наблюдения приходят колебания только от нечетных зон, происходящих в одной и той же фазе, что приводит к увеличению интенсивности света в точке наблюдения

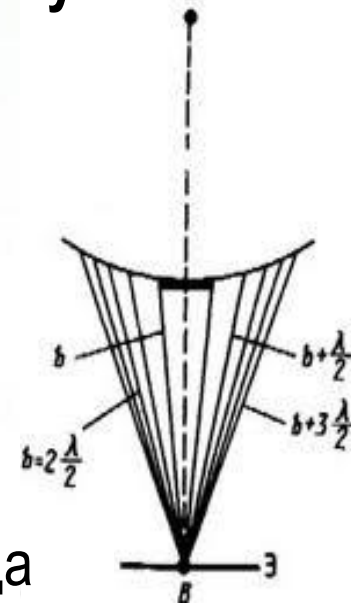
Дифракция света

Дифракция от круглого диска

...Светлое пятно может возникнуть даже области геометрической тени за освещенным непрозрачным диском...



Пуассон

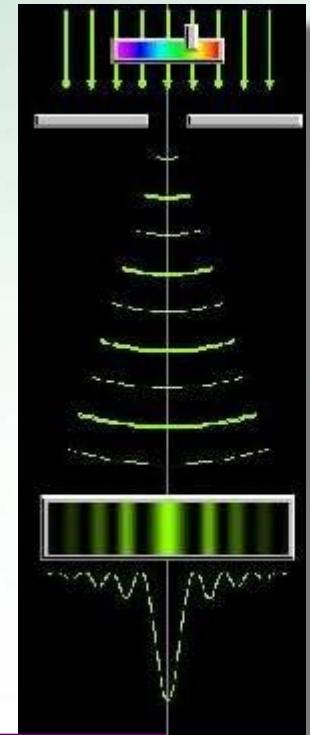
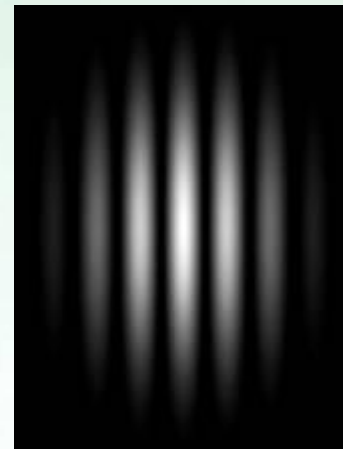
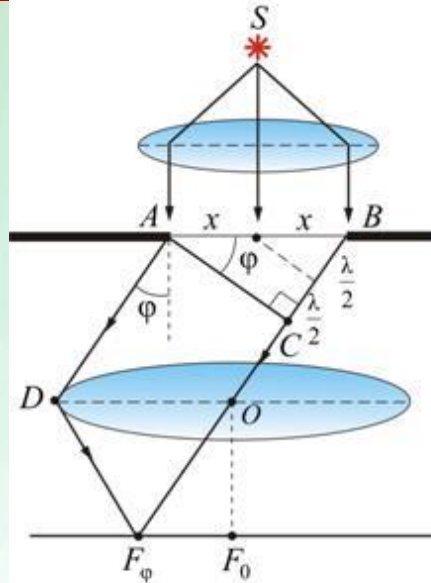
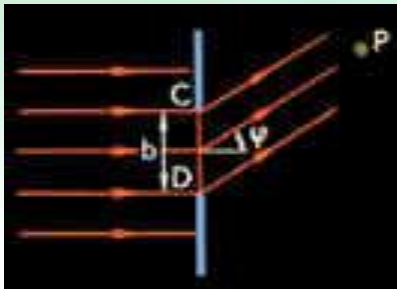
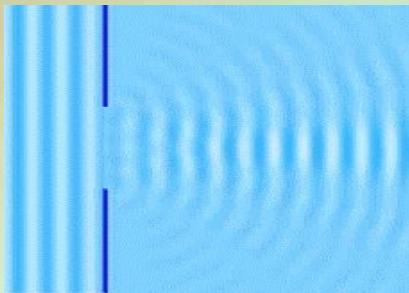


Дифракционное пятно появляется только тогда, когда диск закрывает малое число центральных зон Френеля (одну-две)



Дифракция света

Дифракция в параллельных лучах



Дифракция Фраунгофера

$$L \geq \frac{b^2}{\lambda}$$

Дифракция на узкой щели

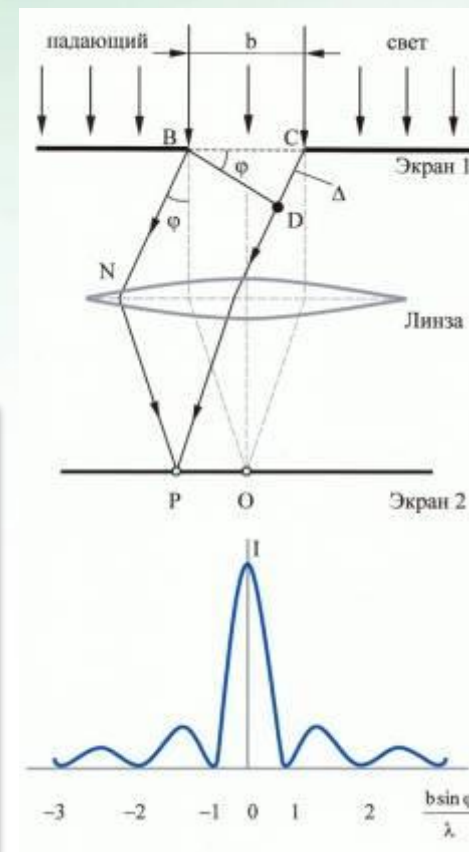
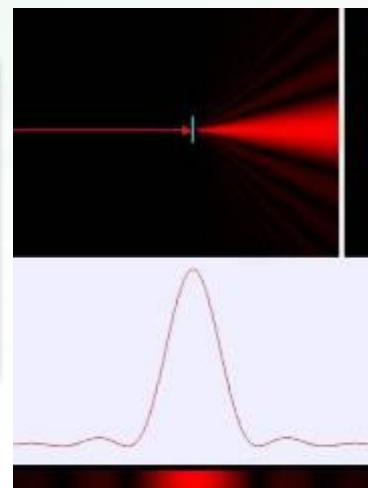
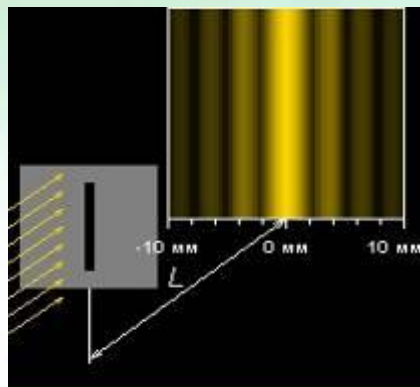
Дифракция на двух щелях

Дифракционная решетка

Дифракция света

Дифракция на длинной узкой щели

Для наблюдения дифракции за щелью нужно расположить **собирающую линзу**, в фокальной плоскости которой находится экран!

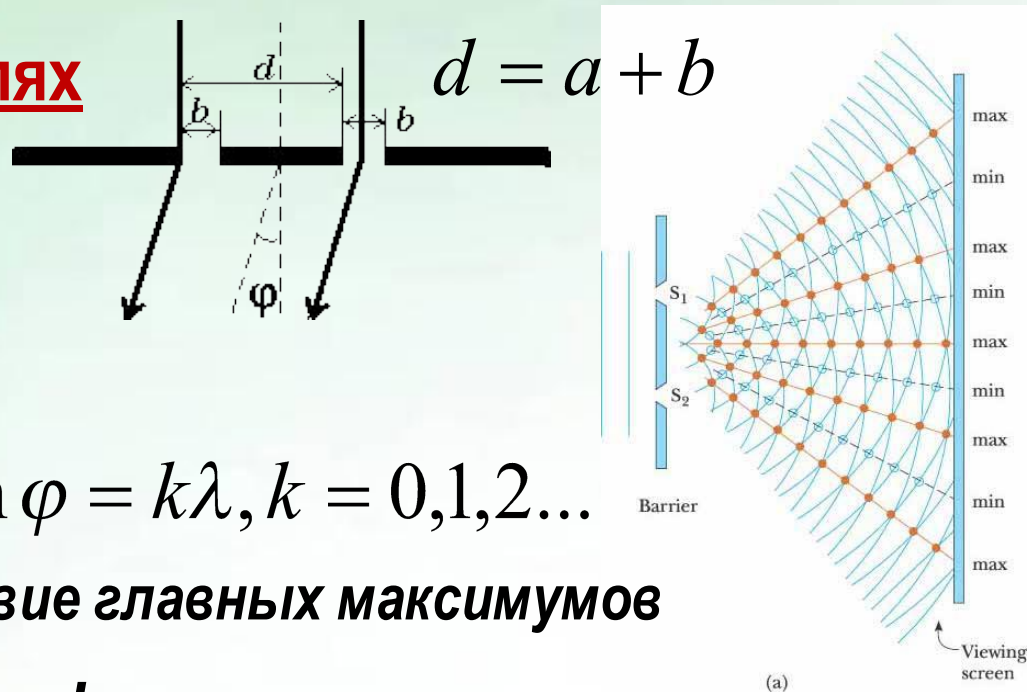


Для получения **пучка параллельных лучей** света, падающих на щель или отверстие, обычно пользуются небольшим источником света, который помещается в фокусе собирающей линзы



Дифракция света

Дифракция на двух щелях



$$d \sin \varphi = k\lambda, k = 0, 1, 2, \dots$$

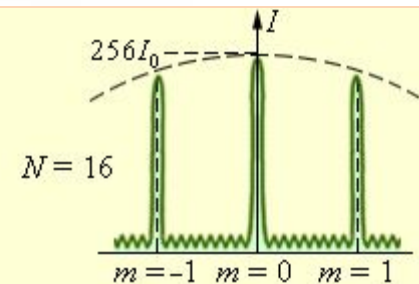
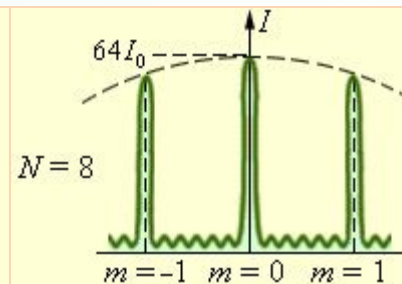
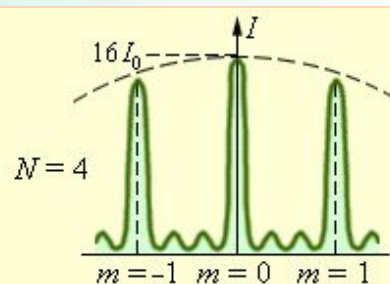
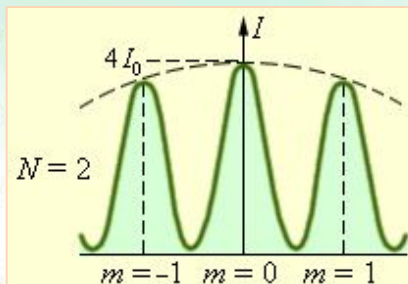
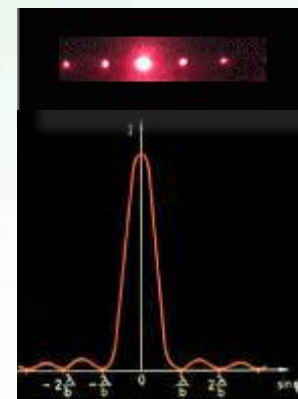
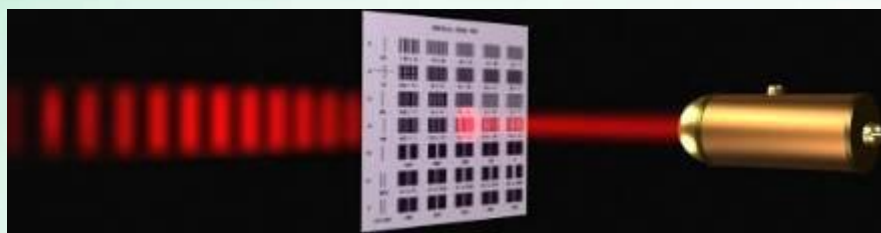
условие главных максимумов

Если ширина каждой щели b изменяется, а расстояние d между щелями остается постоянным то:

- ❖ при уменьшении b ширина дифракционной картины увеличивается, а ее яркость уменьшается

Дифракция света

Чем больше число щелей, тем более резко очерчены максимумы и тем более широкими минимумами они разделены

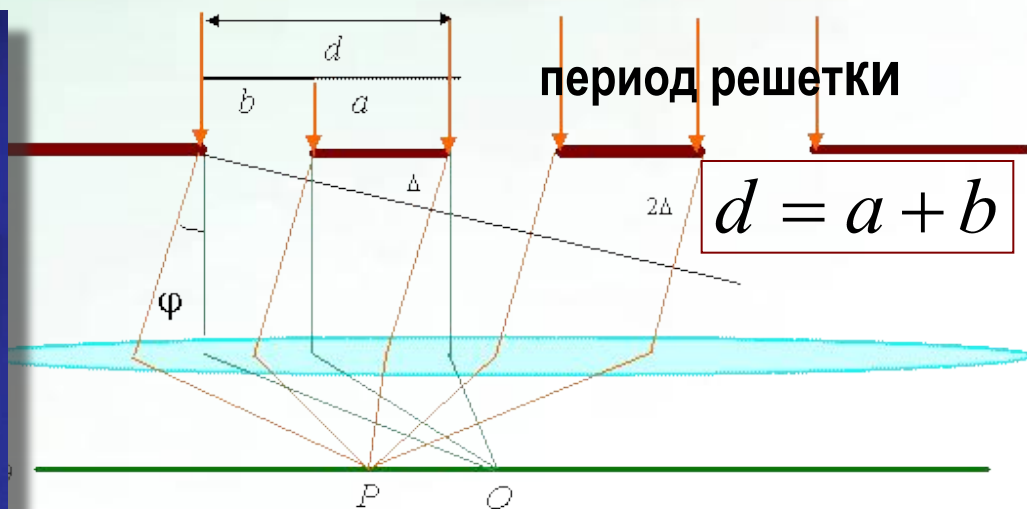
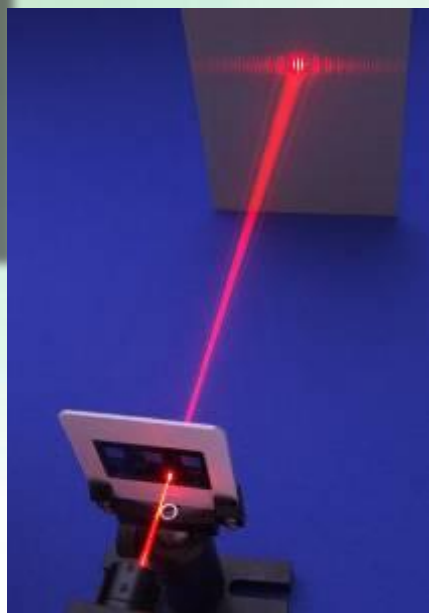
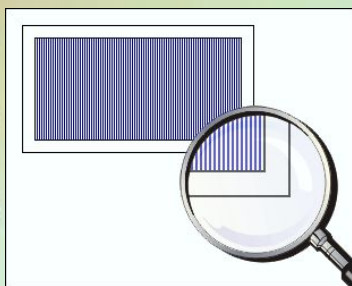


Световая энергия перераспределяется так, что большая ее часть приходится на максимумы, а в минимумы попадает незначительная часть энергии



Дифракция света

Дифракционная решетка - спектральный прибор, служащий для разложения света в спектр и измерения длины волны



$$d = \frac{1}{N}$$

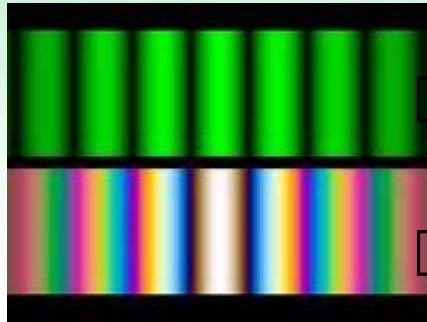
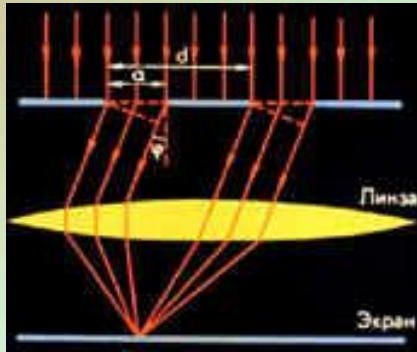
Дифракционная решетка представляет собой совокупность большого числа очень узких щелей, разделенных непрозрачными промежутками



Дифракция света

Формула дифракционной решетки

$$d \sin \varphi = k\lambda$$



- различным длинам волн соответствуют разные углы, на которых наблюдаются интерференционные максимумы (разложение белого света в спектр)
- большие дифракционные углы (т.е. более широкий спектр) дают решетки с малым периодом
- амплитуда в главных максимумах пропорциональна числу штрихов N
- интенсивность света в главных максимумах пропорциональна квадрату числа штрихов

$$\sin \varphi = \frac{k\lambda}{d}$$

Дифракция света

Дифракционный спектр

$$\sin \varphi = \frac{k\lambda}{d}$$

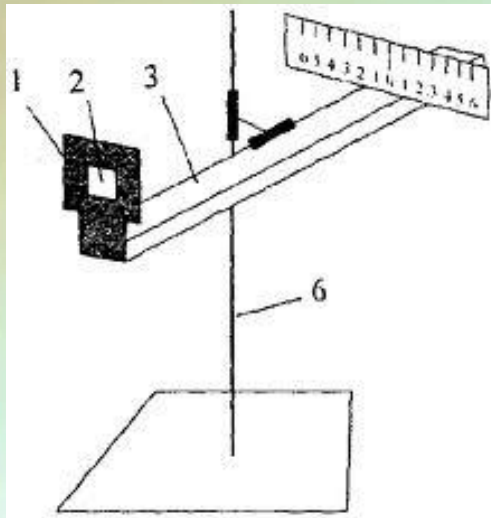
При освещении решетки белым светом:

- только максимум нулевого порядка имеет белый свет
- дифракционный угол для синего цвета меньше, чем для красного
- каждому значению k соответствует свой спектр



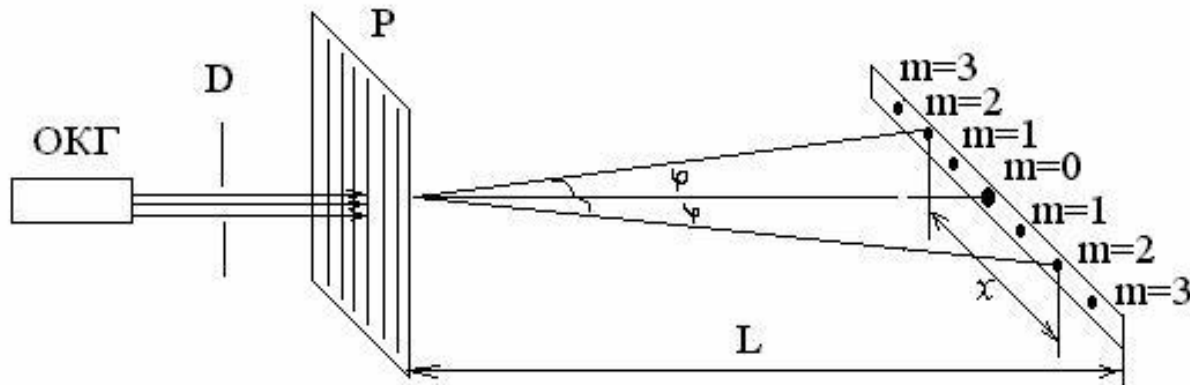
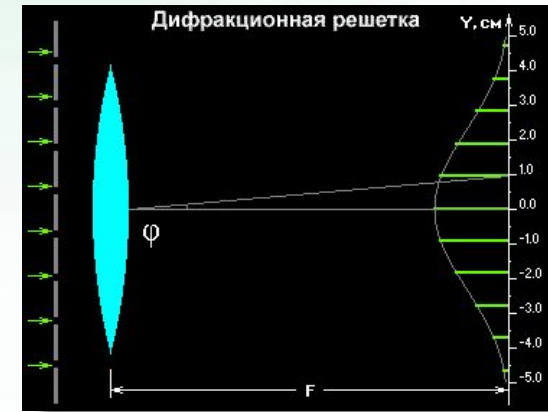
Дифракция света

Определение длины волны света



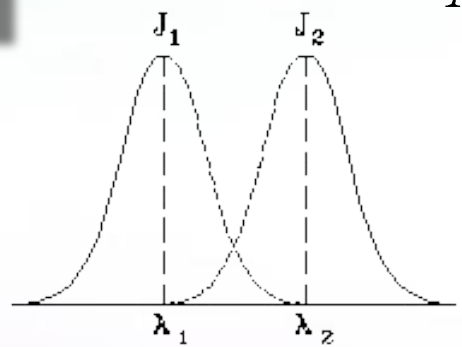
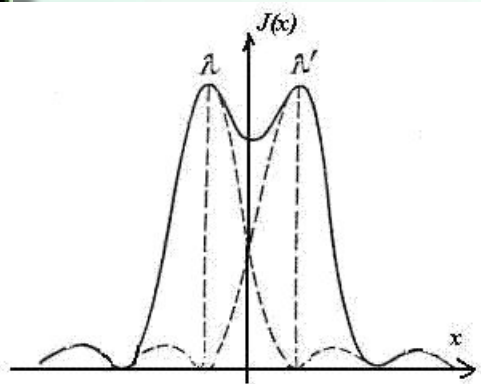
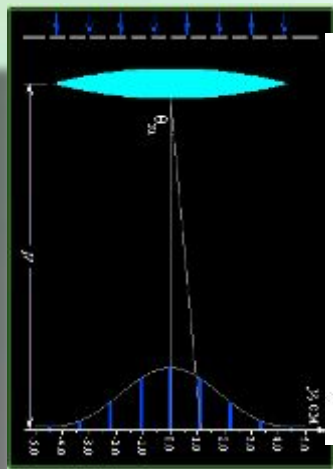
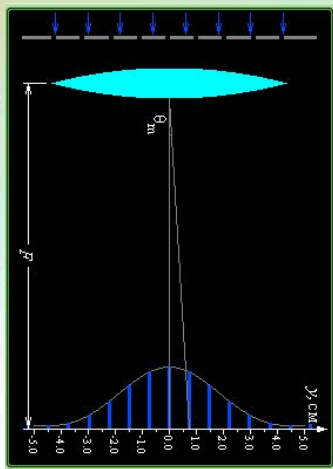
$$= \frac{k\lambda}{d} \Rightarrow \lambda = \frac{d \operatorname{tg} \varphi}{k} = \frac{dx}{kL}$$

$$\sin \varphi = \frac{k\lambda}{d}$$



Дифракция света

Способность раздельного наблюдения двух спектральных линий, имеющих близкие длины волн называют **разрешающей способностью решетки**



$$R = \frac{\lambda_1}{\Delta\lambda} = \kappa N$$

$$= \frac{d}{\lambda_1}$$

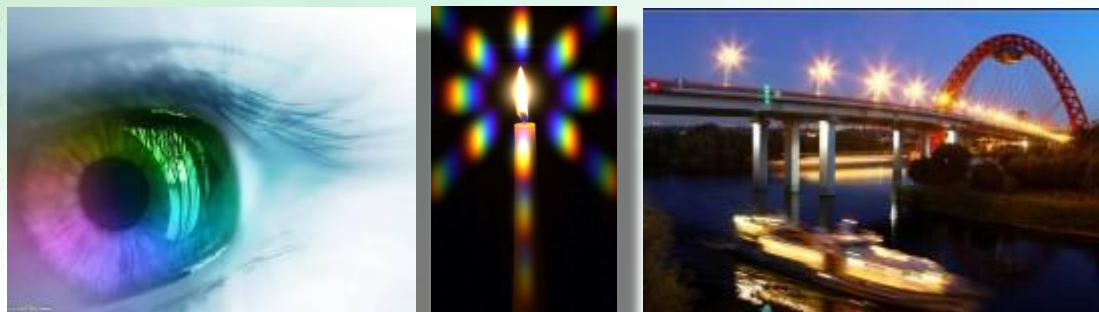
$$R = \frac{l}{d}$$

$$\lambda_1 = \lambda$$

$$\lambda_2 = \lambda + \Delta\lambda$$

Дифракция света

Возможность различать две близко друг к другу расположенные точки, называется **разрешающей способностью, или остротой зрения**. В качестве стандарта остроты зрения принята способность различить две точки, разделенные углом в $1'$.

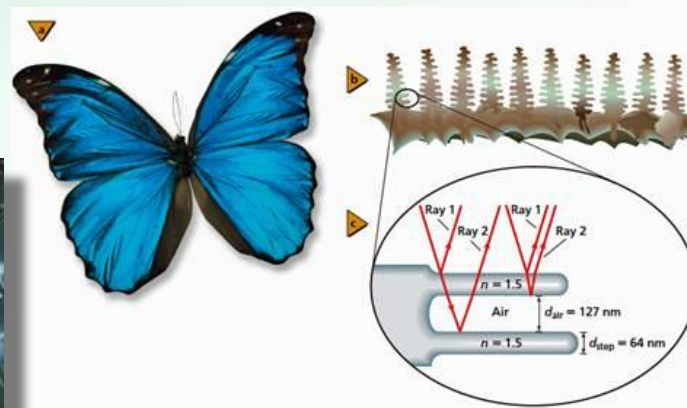


Наши ресницы с промежутками между ними представляют собой грубую дифракционную решетку. Если посмотреть прищурившись, на яркий источник света, то можно обнаружить радужные цвета

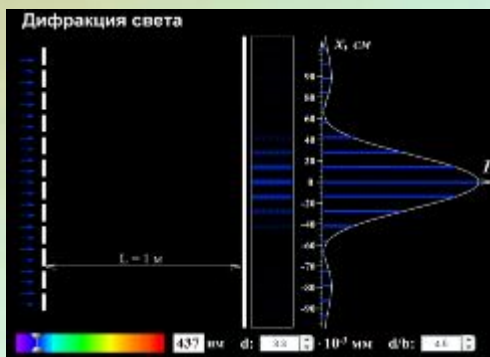


Дифракция света

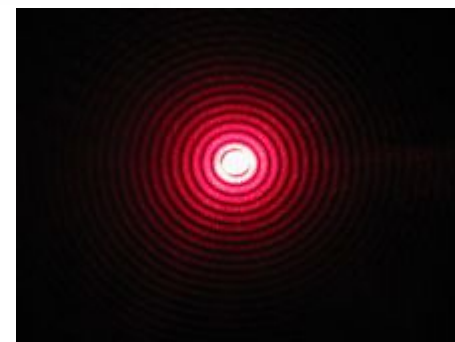
Явления дифракции и интерференции света помогают Природе раскрашивать всё живое, не прибегая к использованию красителей



Дифракция света



Дифракция света
(практикум по решению задач)



Дифракция света

На дифракционную решетку, имеющую 500 штрихов на 1 мм, падает монохроматический свет длиной волны 500 нм. Свет падает на решетку перпендикулярно. Какой наибольший порядок спектра можно наблюдать?

Дано

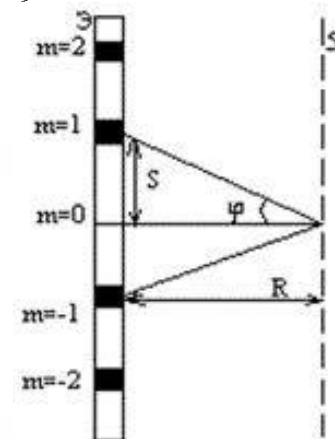
$$N = 500$$

$$\lambda = 500 \text{ нм}$$

$$k = ?$$

Анализ

$$\begin{cases} d \sin \varphi = k\lambda \\ \sin \varphi = 1 \end{cases} \Rightarrow k = \frac{d}{\lambda} = \frac{1}{N\lambda} = \frac{10^{-3}}{500 \cdot 500 \cdot 10^{-9}} = 4$$



Дифракция света

Дифракционная решетка расположена параллельно экрану на расстоянии 0,7 м от него. Определите количество штрихов на 1 мм для этой дифракционной решетки, если при нормальном падении на нее светового пучка с длиной волны 430 нм первый дифракционный максимум на экране находится на расстоянии 3 см от центральной светлой полосы. Считать, что $\sin\varphi \approx \operatorname{tg}\varphi$

Дано

$$l = 0,7 \text{ м}$$

$$\lambda = 430 \text{ нм}$$

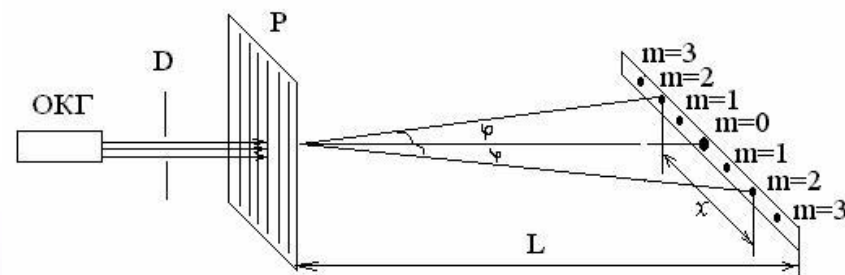
$$k = 1$$

$$a = 3 \text{ см}$$

$$N = ?$$

Анализ

$$\begin{cases} d \sin \varphi = k \lambda \\ d = \frac{1}{N} \end{cases} \Rightarrow N = \frac{1}{d} = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{k \lambda} = \frac{1 \cdot a}{l k \lambda} = \frac{10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{-2}}{0,7 \cdot 1 \cdot 430 \cdot 10^{-9}} \approx 100$$



Дифракция света

При помощи дифракционной решетки с периодом 0,02 мм получено первое дифракционное изображение на расстоянии 3,6 см от центрального и на расстоянии 1,8 м от решетки. Найдите длину световой волны

Дано

$$d = 0,02 \text{ мм}$$

$$a = 3,6 \text{ см}$$

$$l = 1,8 \text{ м}$$

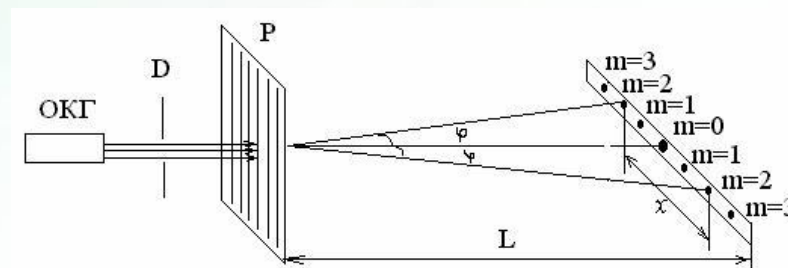
$$\lambda = ?$$

Анализ

$$d \sin \varphi = k\lambda$$

$$d \operatorname{tg} \varphi = k\lambda$$

$$d \frac{a}{l} = k\lambda \Rightarrow \lambda = \frac{da}{kl} = 0,4 \text{ мкм}$$



Дифракция света

Спектры второго и третьего порядков в видимой области дифракционной решетки частично перекрываются друг с другом. Какой длине волны в спектре третьего порядка соответствует длина волны 700 нм в спектре второго порядка?

Дано

$$\lambda_1 = 700 \text{ нм}$$

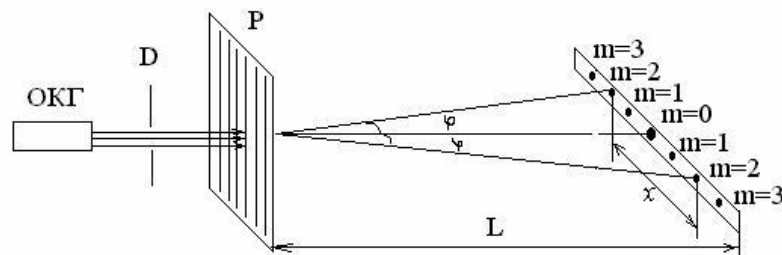
$$k_1 = 2$$

$$k_2 = 3$$

$$\lambda_2 = ?$$

Анализ

$$\begin{cases} d \sin \varphi = k_1 \lambda_1 \\ d \sin \varphi = k_2 \lambda_2 \end{cases} \Rightarrow k_1 \lambda_1 = k_2 \lambda_2 \Rightarrow \lambda_2 = \frac{k_1 \lambda_1}{k_2} = 466,7 \text{ нм}$$



Дифракция света

Плоская монохроматическая волна с частотой $8 \cdot 10^{14}$ Гц падает по нормали на дифракционную решетку с периодом 5 мкм. Параллельно решетке позади нее размещена собирающая линза с фокусным расстоянием 20 см. Дифракционная картина наблюдается на экране в фокальной плоскости линзы. Найдите расстояние между ее главными максимумами 1 и 2 порядков. Считать, что $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi$

Дано

$$\nu = 8 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$$d = 5 \text{ мкм}$$

$$F = l = 20 \text{ см}$$

$$k_1 = 1$$

$$k_2 = 2$$

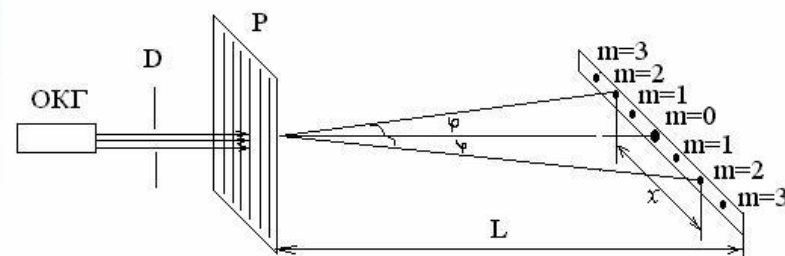
$$\Delta a = ?$$

Анализ

$$d \sin \varphi = k \lambda$$

$$d \operatorname{tg} \varphi = k \lambda$$

$$d \frac{a}{l} = k \lambda \Rightarrow \begin{cases} a_1 = \frac{k_1 \lambda l}{d} \\ a_2 = \frac{k_2 \lambda l}{d} \end{cases} \Rightarrow \Delta a = \frac{\lambda l}{d} = \frac{c l}{\nu d} = 15 \text{ мм}$$



Дифракция света

Какова должна быть общая длина дифракционной решетки, имеющей 500 штрихов на 1 мм, чтобы с ее помощью разрешить две линии спектра с длинами волн 600,0 нм и 600,05 нм?

Дано

$$N = 500$$

$$\lambda_1 = 600 \text{ нм}$$

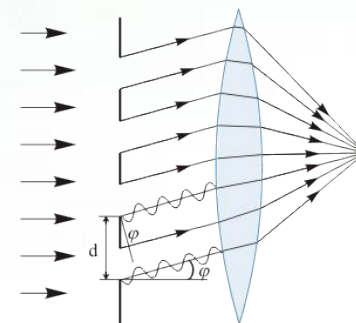
$$\lambda_2 = 600,05 \text{ нм}$$

$$l = ?$$

Анализ

$$4) l = dN = 8 \text{ мм} \Rightarrow 2) k = \frac{d}{\lambda_1} = 3 \Rightarrow$$

$$1) d = \frac{1}{N_1} = 2 \text{ мкм} \Rightarrow 3) N = \frac{\lambda}{\Delta \lambda k} = 4000$$



Дифракция света

Дифракционная решетка с периодом 10^{-5} м имеет 1000 штрихов. Можно ли с помощью этой решетки в спектре первого порядка разрешить две линии спектра натрия с длинами волн 589.0 нм и 589,6 нм?

Дано

$$d = 10 \text{ мкм}$$

$$k = 1$$

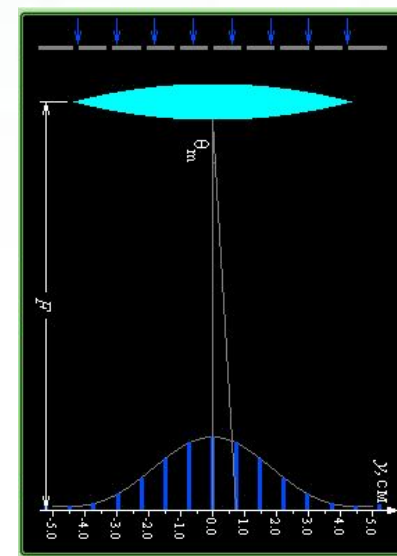
$$\lambda_1 = 500 \text{ нм}$$

$$\lambda_2 = 589,6 \text{ нм}$$

$$A = ?$$

Анализ

$$A = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{589,6}{0,6} = 982 < 1000 \Rightarrow \text{да}$$



Дифракция света

Определите разрешающую способность дифракционной решетки, содержащей 200 штрихов на 1 мм, если ее общая длина равна 10 мм. На решетку падает излучение с длиной волны 720 нм

Дано

$$l = 10 \text{ мм}$$

$$\lambda = 720 \text{ нм}$$

$$N = 200$$

$$A = ?$$

Анализ

$$d = \frac{10^{-3}}{200} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$N = \frac{l}{d} = 2000 \Rightarrow k = \frac{d}{\lambda} = 6$$

$$A = kN = 12000$$

