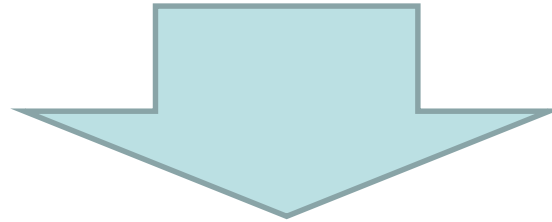


# ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

По современным представлениям свет имеет двойственную природу: в одних явлениях ведет себя как электромагнитная волна, в других – как поток особых частиц (**фотонов**)

Таким образом, свету присущ **корпускулярно-волновой дуализм**.



**СВЕТ-ВОЛНА**

**СВЕТ-ПОТОК ЧАСТИЦ**

Интерференция света

Тепловое излучение

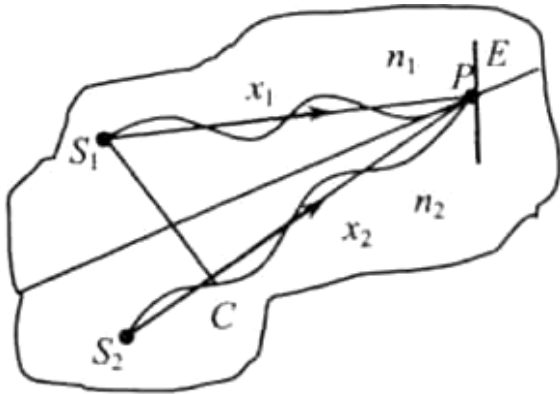
Дифракция света

Фотоэффект

Поляризация света

Эффект Комптона

# Интерференция света



Рассмотрим интерференцию волн от двух точечных когерентных источников  $S_1$  и  $S_2$ .

$$E_1 = A_1 \cos(\omega t - k_1 x_1)$$

$$E_2 = A_2 \cos(\omega t - k_2 x_2)$$

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos\Delta\varphi$$

- амплитуда результирующего колебания

I)

$$\Delta\varphi \neq \text{const}$$

*Изменяется во времени*

$$\langle A^2 \rangle = \langle A_1^2 \rangle + \langle A_2^2 \rangle$$

$$I = I_1 + I_2$$

II)

$$\Delta\varphi = \text{const}$$

$A = \text{const}$  (но имеет различные значения в каждой точке пространства)

Наложение когерентных световых волн, при котором происходит перераспределение светового потока в пространстве таким образом, что в одних точках волнового поля возникают максимумы интенсивности света, а других – минимумы, называется интерференцией света.

Когерентные волны – волны одинаковой частоты и с постоянной во времени разностью фаз.

$$\Delta\varphi = (k_1x_1 - k_2x_2) = \frac{2\pi}{\lambda_1}x_1 - \frac{2\pi}{\lambda_2}x_2 \quad \text{- разность фаз}$$

$$\lambda_1 = \frac{\lambda}{n_1} \quad \text{и} \quad \lambda_2 = \frac{\lambda}{n_2}$$

$\lambda_1, \lambda_2$  - длина волны в среде

$\lambda$  - длина волны в вакууме;

$n$  - показатель преломления

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(x_1n_1 - x_2n_2) \quad ; \quad \boxed{L = nx} \quad \text{- оптический путь}$$

$$\boxed{\Delta = n_1x_1 - n_2x_2} \quad \text{- оптическая разность хода}$$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta$$

-связь разности фаз и разности хода

1)  $\cos \Delta\varphi = 1$

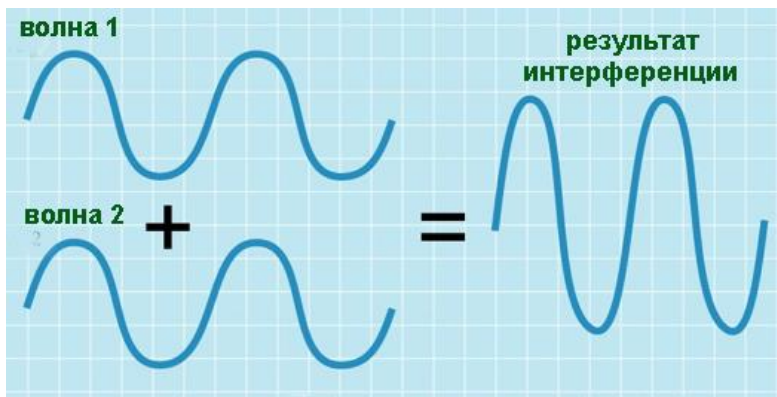
$$A = A_1 + A_2$$

$$\Delta\varphi = 2\pi m \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

$$\Delta = 2m \frac{\lambda}{2}$$

-условие наблюдения  
интерференционного максимума  
(*max*),

*m*- порядок интерференционного *max*)



**В данной точке волнового поля  
наблюдается  
интерференционный *max*, если  
оптическая разность хода волн  
равна целому числу длин волн.**

$$2) \cos \Delta\varphi = -1$$

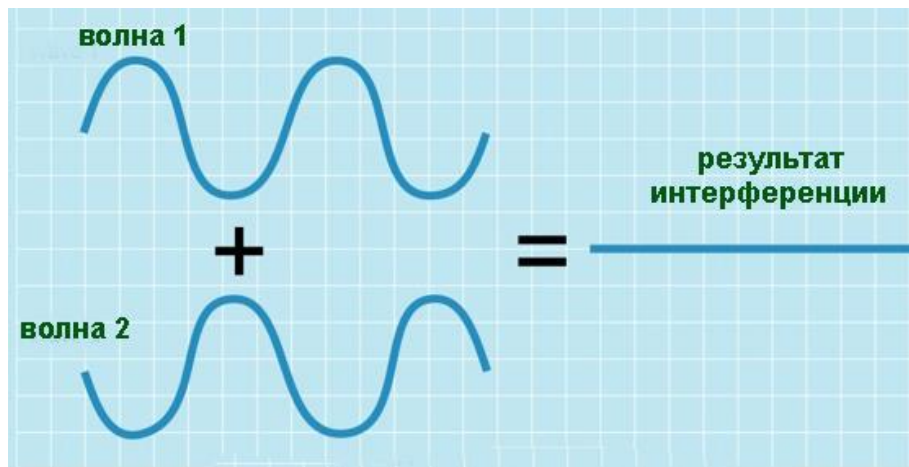
$$A = |A_1 - A_2|$$

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

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

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

- условие наблюдения  
интерференционного минимума (min)

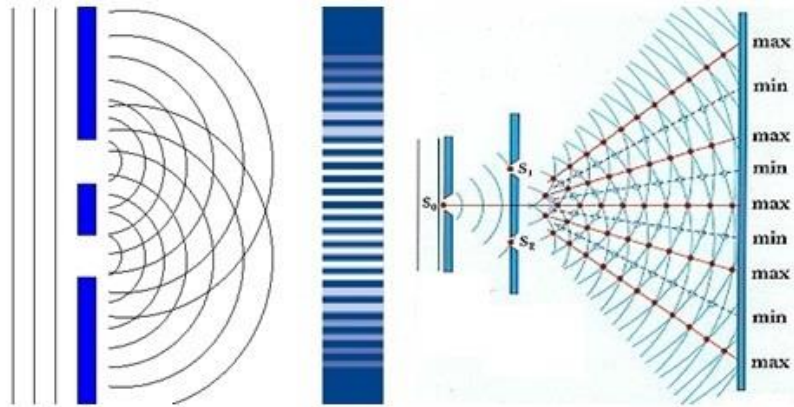


В данной точке  
волнового поля  
наблюдается  
**интерференционный  
min, если оптическая  
разность хода волн  
равна нечетному  
числу полуволн.**

Результат интерференции (***max или min***) определяется оптической разностью хода волн.

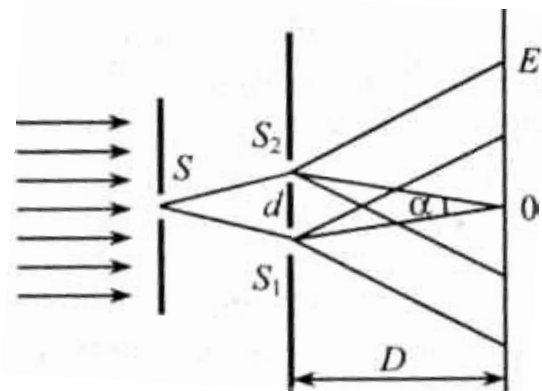
## Способы наблюдения интерференции света

1. Лазеры – источники когерентных световых волн.
2. Природные источники света не являются когерентными.
3. Для получения когерентных световых волн применяют метод деления волны, излучаемой одним источником, на две части при помощи зеркал, призм или экранов со щелями. После прохождения разных оптических путей эти волны при сложении интерферируют.

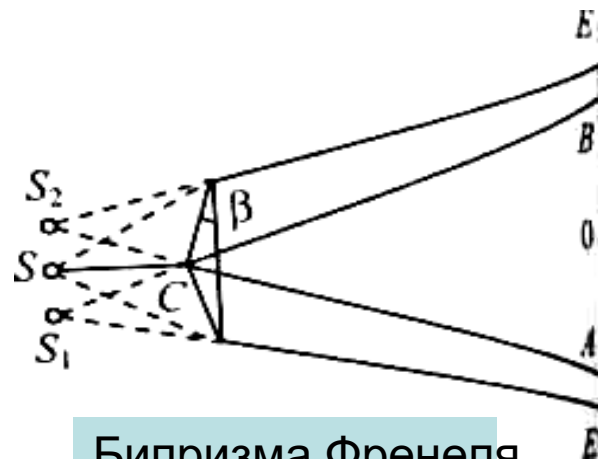


**max - свет; min - тьма**

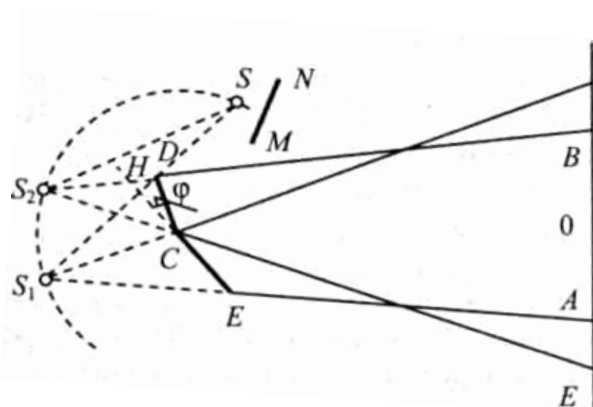
# Интерференционные схемы



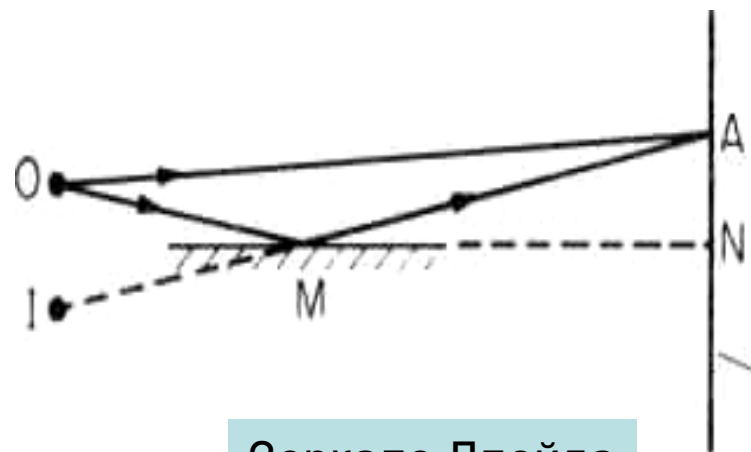
Щели Юнга



Бипризма Френеля

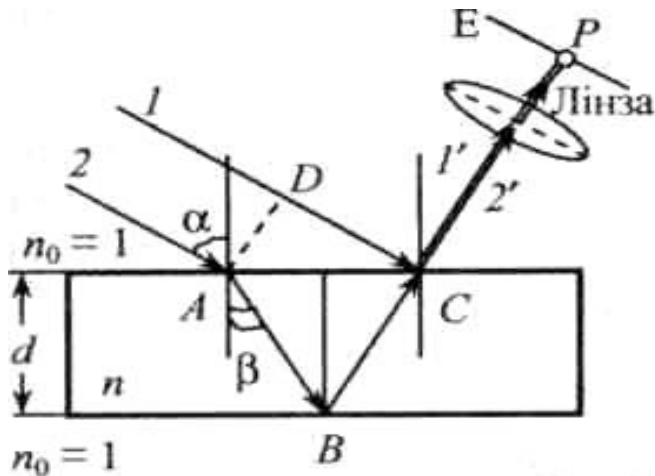


Зеркала Френеля



Зеркало Ллойда

# Интерференция света в тонких пленках



1,2 – падающие лучи

1', 2' – отраженные лучи

*Интерференционную картину создают лучи, отраженные от верхней и нижней поверхностей пленки.*

$$\Delta = (AB + BC)n - CD \pm \frac{\lambda}{2}$$

- оптическая разность хода лучей 1' и 2'

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \pm \frac{\lambda}{2}$$

*- оптическая разность хода лучей, отраженных от верхней и нижней поверхностей пленки.*

$d$  - толщина пластинки;

$n$  - показатель преломления;

$\alpha$  - угол падения;

$$\pm \frac{\lambda}{2}$$

- учитывает изменение фазы волны на  $\pi$  при отражении от оптически более плотной среды



$$\Delta = f(d, n, \alpha, \lambda)$$

Интерференционная картина в плоскопараллельных пленках определяется величинами  $\lambda$ ,  $d$ ,  $n$  и  $\alpha$ .

Для данных  $\lambda$ ,  $d$ , и  $n$  каждому наклону  $\alpha$  лучей соответствует своя интерференционная полоса.

Интерференционные полосы, возникающие в результате наложения лучей, падающих на плоскопараллельную пластинку под одинаковыми углами, называются **полосами равного наклона**.

### **Полосы равной**

**толщины** наблюдаются при освещении пластинки переменной толщины (клина) параллельным пучком света.

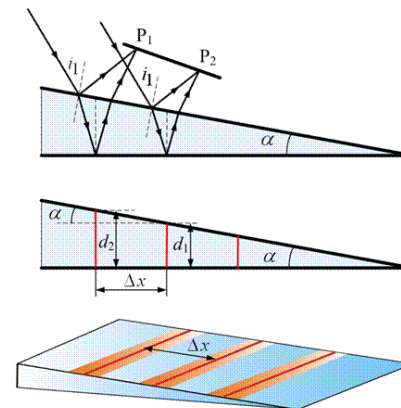
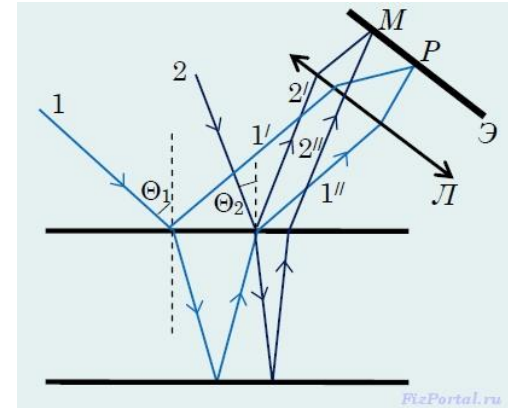


Рис.18.14

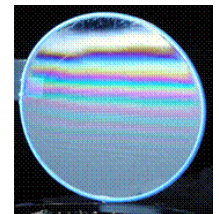
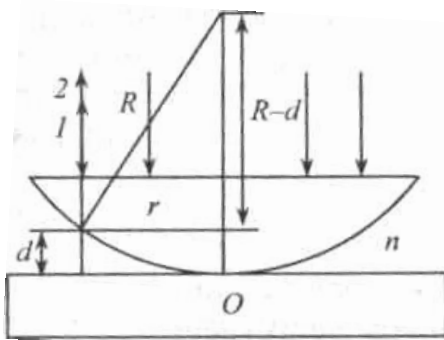


Рис.18.13

# Кольца Ньютона

Кольца Ньютона возникают в результате интерференции волн, отраженных от границ прослойки между сферической поверхностью линзы и поверхностью плоской пластинки.



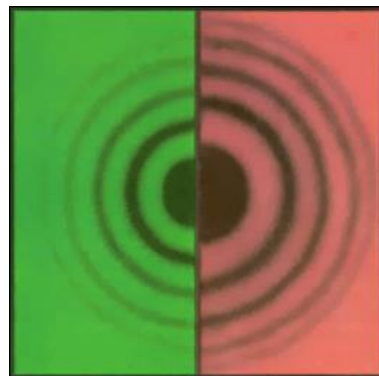
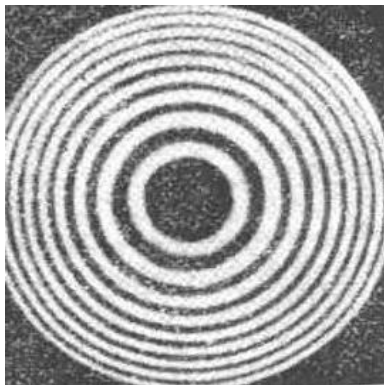
$$\Delta = 2dn + \frac{\lambda}{2} \quad - \text{оптическая разность хода } 1 \text{ и } 2$$

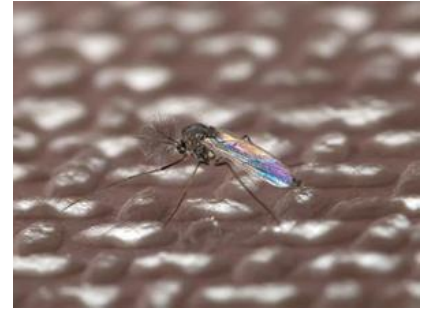
$$r_m = \sqrt{(2m-1)R \frac{\lambda}{2n}} \quad - \text{радиус светлых колец Ньютона}$$

$$r_m = \sqrt{\frac{m\lambda R}{n}} \quad - \text{радиус темных колец Ньютона}$$

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

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





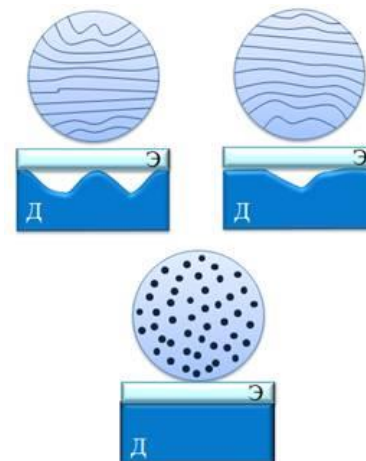
(C) Constantin A. Sidorov, 1996, 1999

# ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА

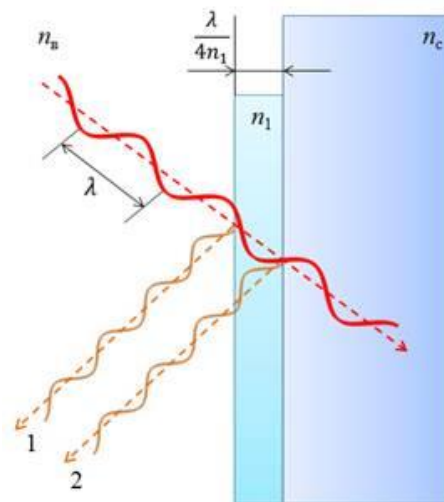
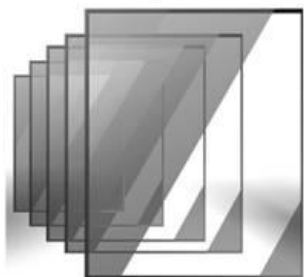
1. Интерферометры
2. Прецизионные измерения

## 3. Определение качества обработки поверхностей

Неровности с точностью до  $1/10$  длины волны вызывают искривления интерференционных полос, образующихся при отражении от контролируемой поверхности и нижней грани эталонной пластины.



## 4. «Просветление оптики» - уменьшение отражения света от поверхности в результате нанесения на нее специальной пленки

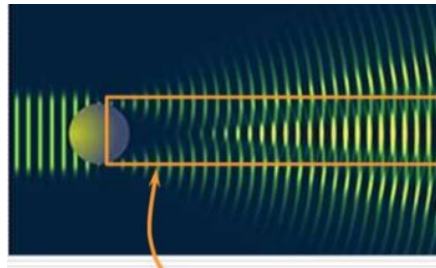
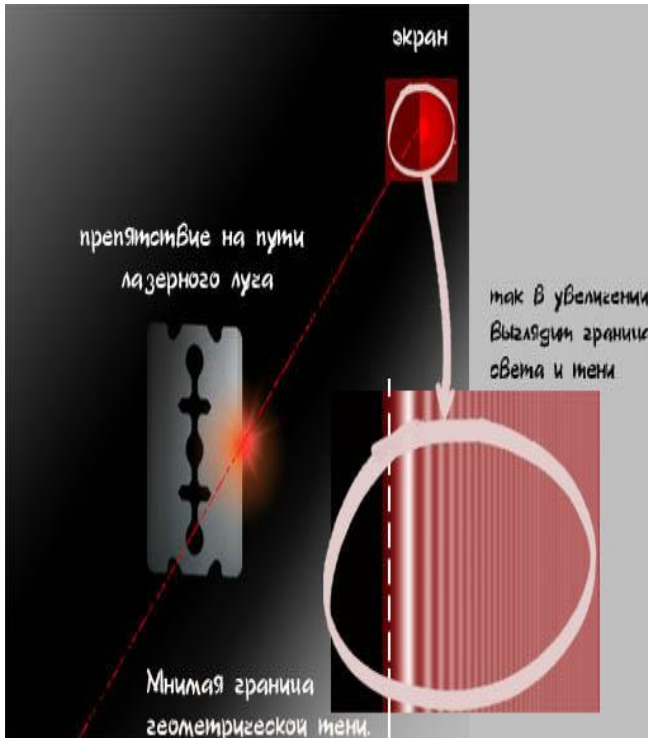


# Дифракция света

**Дифракция** света – совокупность явлений, которые обусловлены волновой природой света и наблюдаются при распространении света в среде с резкими неоднородностями (вблизи краев непрозрачных тел, при прохождении через отверстия).

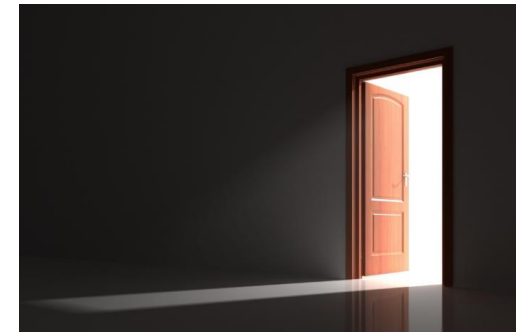
**Дифракцию** (лат.) - огибание

В результате дифракции волны огибают препятствия, проникая в область геометрической тени

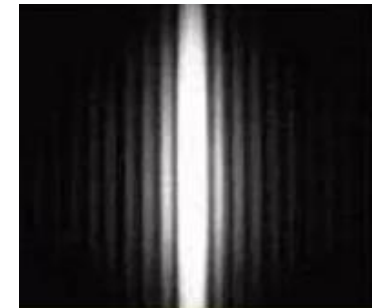
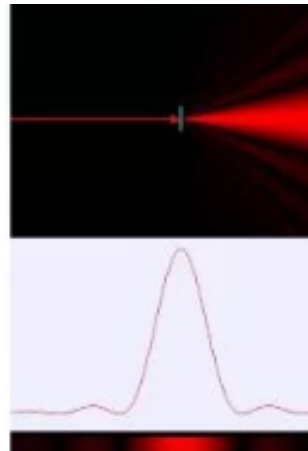


область геометрической тени

Прямолинейное распространение света



Дифракция света на узкой щели





**Дифракция света** - огибание светом препятствий, соизмеримых с длиной волны, и проникновение света в область геометрической тени.

**Дифракция света**  
(условия эксперимента)

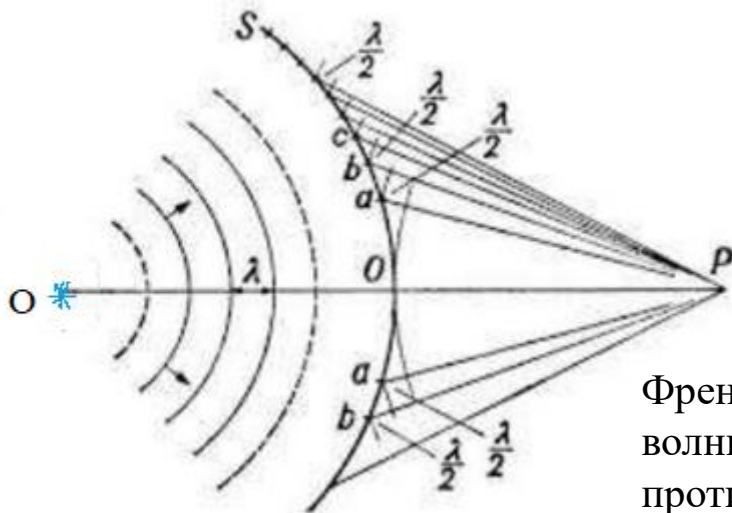
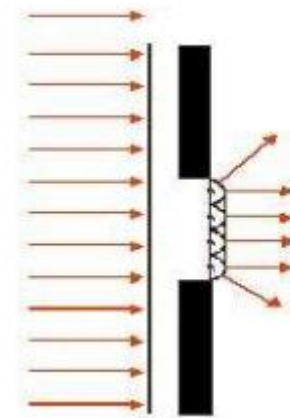
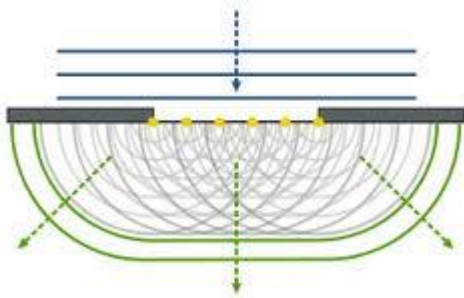
**Дифракция Френеля** - дифракция в сходящихся лучах (сферические волны), картина наблюдается на конечном расстоянии от препятствия.

**Дифракция Фраунгофера** - дифракция в параллельных лучах (плоские волны), источник и точка наблюдения бесконечно удалены от препятствия.

Проникновение света в область геометрической тени может быть объяснено на основе **принципа Гюйгенса-Френеля (ПГФ)**.

## Принцип Гюйгенса-Френеля:

1. Каждая точка фронта волны является **источником вторичных сферических волн**. Огибающая вторичных волн определяет положение фронта волны в следующий момент времени.
2. Все вторичные волны когерентны и интерферируют.

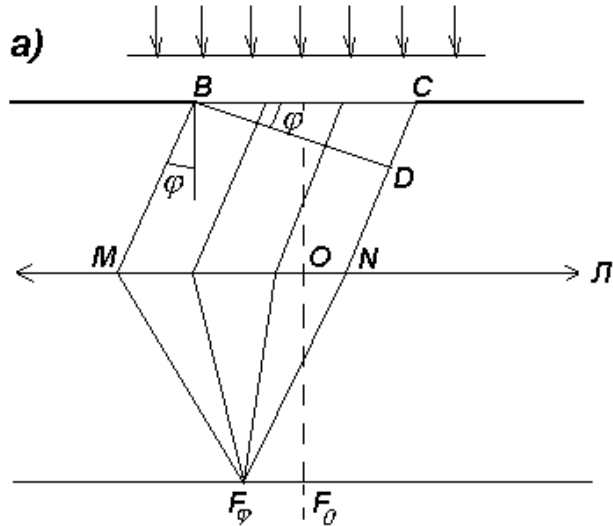


Интенсивность света в точке Р – результат интерференции вторичных волн, испущенных каждой точкой волновой поверхности S.

Френель предложил разбить фронт волны на зоны так, чтобы волны от соседних зон приходили в точку наблюдения в противофазе (с разностью хода  $\frac{\lambda}{2}$ ) и ослабляли друг друга.

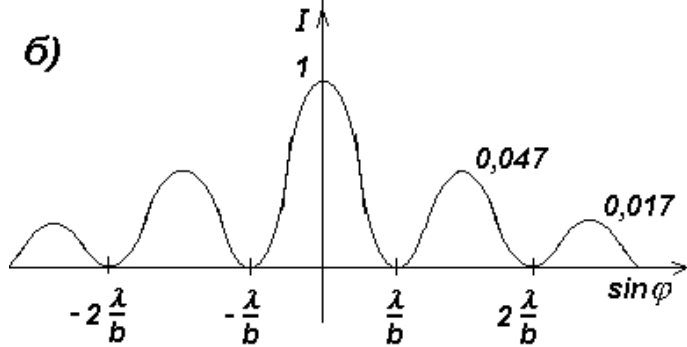


# Дифракция света на 1-й щели



$BC = a$  – ширина щели

$$CD = \Delta = a \sin \varphi$$



$$Z = \frac{a \sin \varphi}{\frac{\lambda}{2}} \quad - \text{число зон Френеля}$$

Если  $Z$  **четное** – будет **минимум**

Если  $Z$  **нечетное** – будет **максимум**

$a \sin \varphi = \pm m \lambda$  – условие дифракционных минимумов на щели

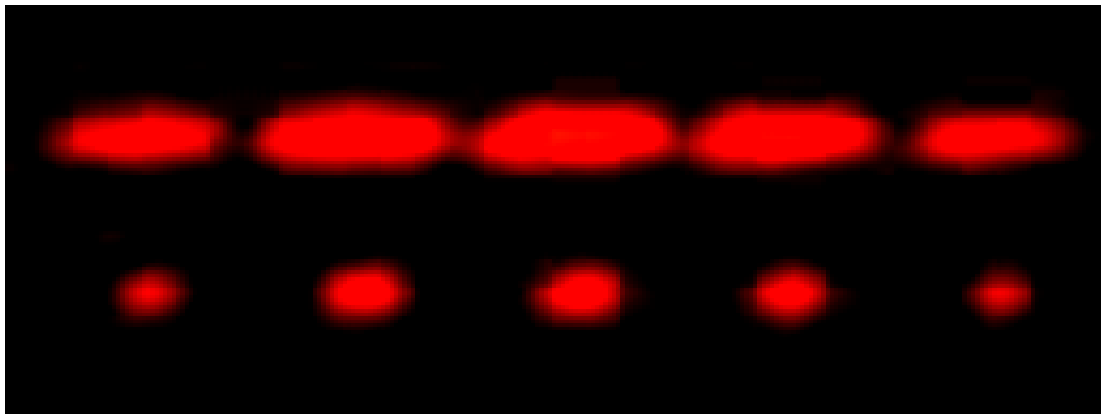
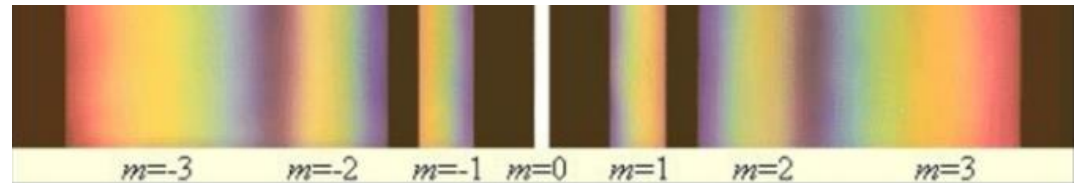
$a \sin \varphi = \pm (2m + 1) \lambda / 2$  – условие дифракционных максимумов на щели

$m$  – порядок минимума (максимума)

$a$  – ширина щели

$\varphi$  – угол дифракции

$\lambda$  – длина волны



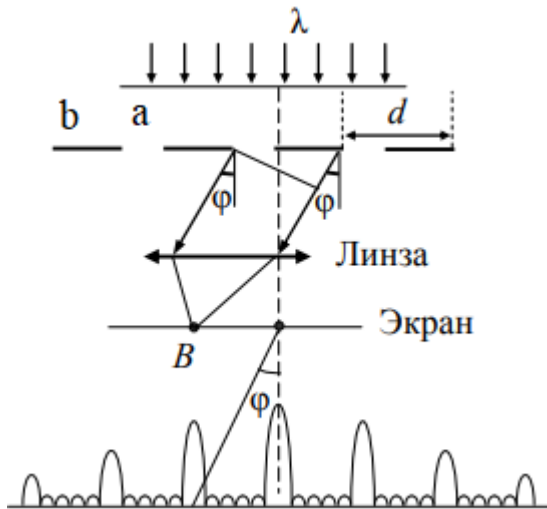
**Дифракция на двух и  
пяти щелях  
(источник излучения -  
красный лазер)**

# Дифракционная решетка

*Дифракционная решетка – это оптический прибор, который представляет собой набор большого числа одинаковых равноудаленных щелей одинаковой ширины.*



Различают **прозрачные** и **отражательные** дифракционные решетки. Прозрачные решетки получают путем нарезания алмазом поверхностей стеклянных либо кварцевых пластин, отражательные решетки – поверхностей металлических зеркал.



$\Delta = d \sin \varphi$  - оптическая разность хода волн

$$d \sin \varphi = \pm m \lambda$$

- условие наблюдения главных максимумов

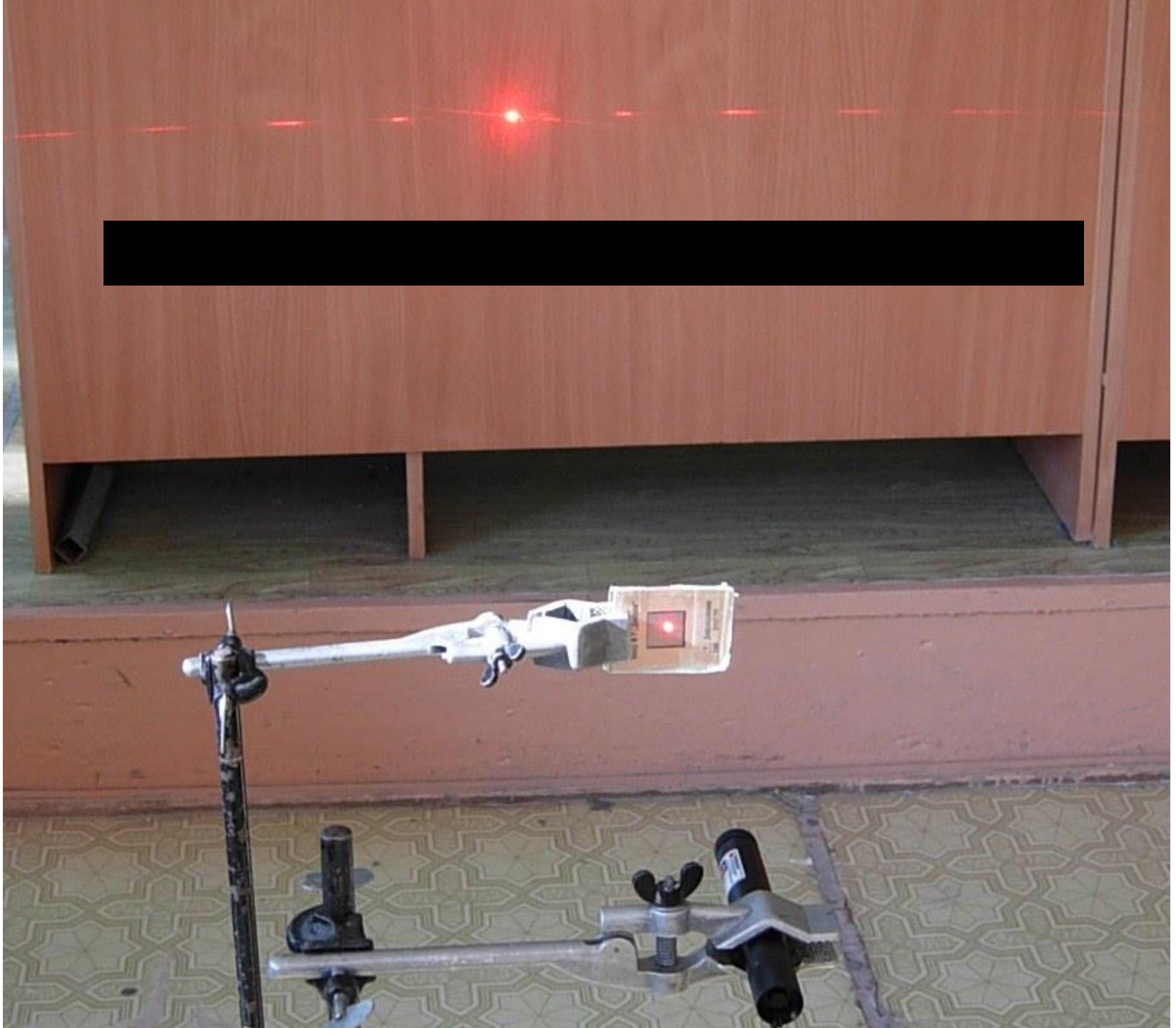
$$m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

$d$  - период решетки ( $d = a + b$ )

$\varphi$  - угол дифракции

$m$  - порядок максимумов

$$\sin \varphi \leq 1 \quad \longrightarrow \quad m \leq d / \lambda \quad \longrightarrow \quad m_{\max} = \left[ \frac{d}{\lambda} \right]$$

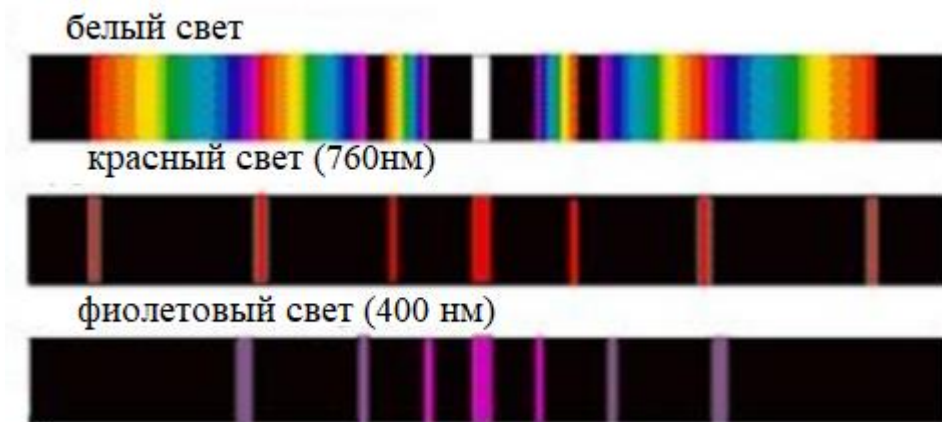


Есть только один максимум нулевого порядка, и по два максимума 1-го, 2-го, и других порядков.

Общее количество максимумов  $(2m_{\max} + 1)$

Позиция максимумов зависят от длины волны  $\lambda$ .

Поэтому, если на решетку падает белый свет, все максимумы за исключением центрального будут расширяться в спектры с фиолетовыми краями ближе к центру изображения, и красными с другой стороны.



Таким образом, дифракционная решетка представляет собой спектральный прибор.

# Разрешающая способность решетки

Разрешающая способность решетки — это ее способность разрешать (различать) две соседние спектральные линии с близкими длинами волн отдельно.

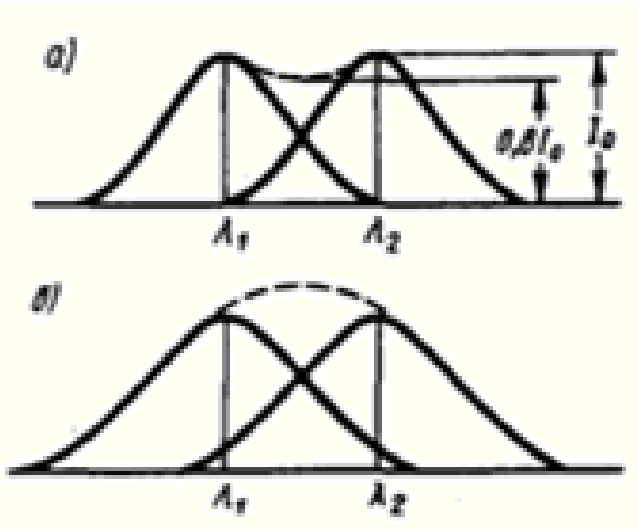
$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN$$
 - разрешающая способность решетки

$\Delta\lambda$  - минимальная разность длин волн соседних спектральных линий, которые видны отдельно

$N$  — общее количество штрихов решетки

$m$  — порядок спектра

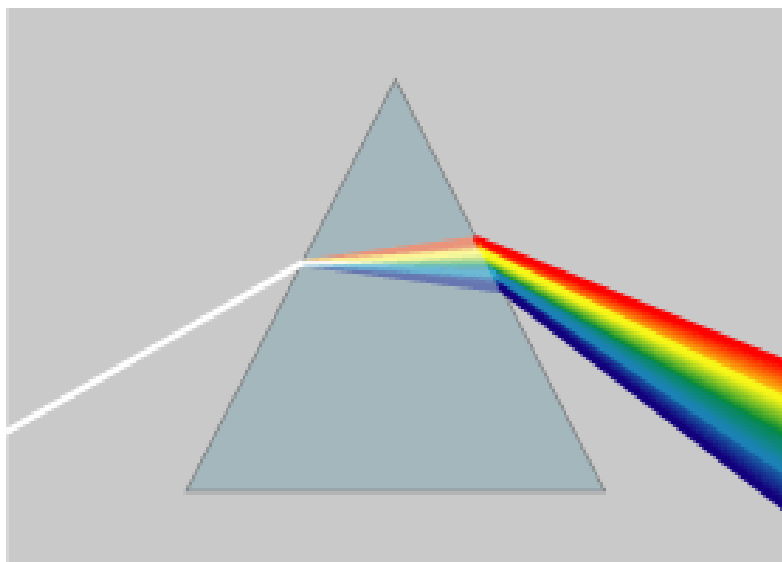
В соответствии с критерием Релея, это тот случай, когда максимум одной волны совпадает с минимумом второй.



# Дисперсия света

**Дисперсия света** (*разложение света*) — это совокупность явлений, обусловленных зависимостью абсолютного показателя преломления вещества от частоты (или длины волны) света (частотная дисперсия), или зависимостью фазовой скорости света в веществе от частоты (или длины волны).

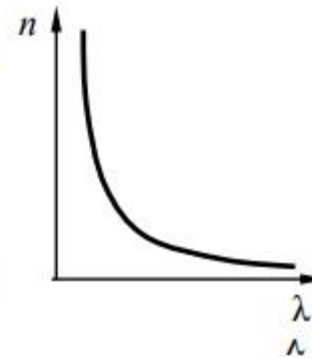
## Дисперсия белого света через призму



Причина разложения белого света через призму заключается в следующем: свет разных цветов и, следовательно, разных длин волн имеет разную скорость распространения в веществе. В стекле, например, скорость распространения синего света ниже, чем красного. Следовательно, согласно закону преломления света, синий свет преломляется сильнее, чем красный. В результате различного преломления разных частей белого света, свет разворачивается веером, образуя спектр.

Дисперсия света проявляется лишь при распространении *не-монохроматических* волн.

Для всех прозрачных веществ показатель преломления уменьшается с увеличением длины волны (уменьшении частоты). Такая дисперсия называется *нормальной*



Если показатель преломления вещества увеличивается с увеличением длины волны (уменьшении частоты), такая дисперсия называется *аномальной*.

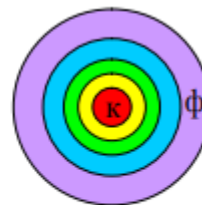
## Дисперсия в природе





## Тестовые задания

- 1) Масляное пятно на поверхности воды имеет вид, показанный на рисунке (центр – красный, край – фиолетовый). Толщина пленки от края к центру...



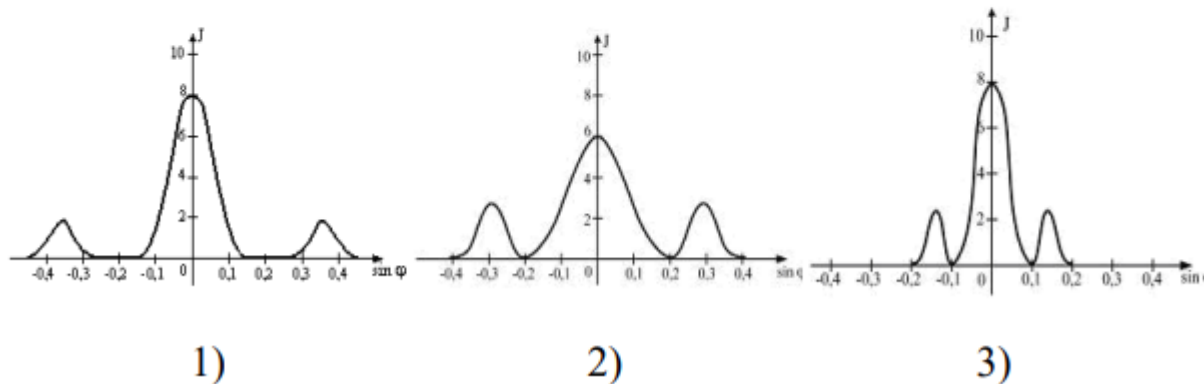
- 1) увеличивается;
- 2) не изменяется;
- 3) уменьшается;
- 4) сначала уменьшается, затем увеличивается;
- 5) сначала увеличивается, затем уменьшается.

- 2) Тонкая пленка, освещенная белым светом, вследствие явления интерференции в отраженном свете имеет зеленый цвет. При *уменьшении показателя преломления* пленки ее цвет....

- |                  |                    |
|------------------|--------------------|
| 1) станет синим; | 2) станет красным; |
| 3) не изменится; | 4) станет черным.  |

3)

Одна и та же дифракционная решетка освещается различными монохроматическими излучениями с разными интенсивностями  $J$ . Какой рисунок соответствует случаю освещения светом с наименьшей длиной волны?



4)

На дифракционную решетку по нормали к ее поверхности падает свет с длиной волны  $\lambda$ . Если постоянная решетки  $d = 4,5\lambda$ , то общее число главных максимумов, наблюдаемых в фокальной плоскости собирающей линзы, равно...

1) 4;

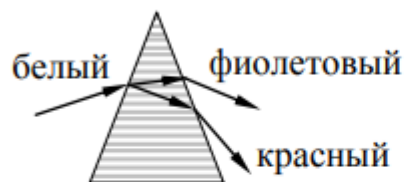
2) 5;

3) 8;

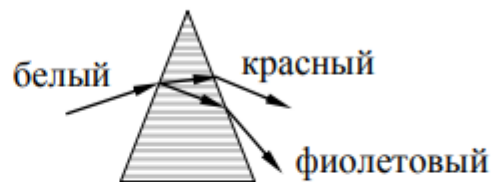
4) 9.

5)

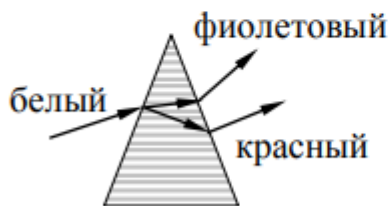
В стеклянной призме происходит разложение белого света в спектр, обусловленное дисперсией света. На рисунках представлен ход лучей в призме. Правильно отражает ход лучей рисунок...



1)



2)



3)



4)

1) 1;

2) 2;

3) 3;

4) 4.