

# Волновая оптика

## Интерференция света

# Интерференция света

**Интерференция** - («inter» - между, взаимно и «ferens» - несущий, переносящий) сложение (перекрытие) двух или нескольких когерентных волн.

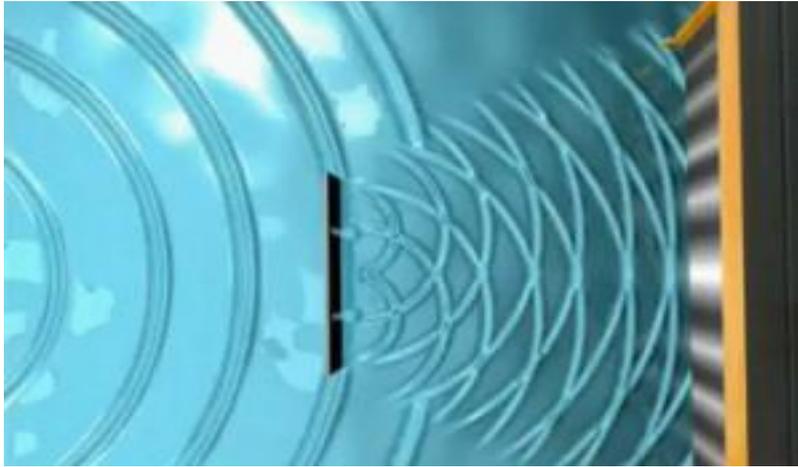
Такие явления называют **интерференцией волн**, а саму картину- **интерференционной**. Для образования устойчивой интерференционной картины **необходимо**, чтобы волны, испускаемые источником, имели **одинаковую частоту и разность фаз их колебаний была постоянной**.

Источники, удовлетворяющие этим условиям, называют **когерентными**.

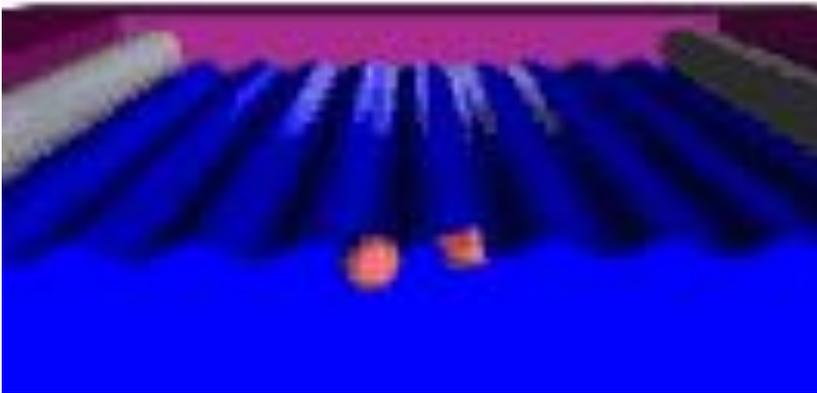


**Почему свет, идущий от двух электрических ламп не даёт интерференционную картину?**

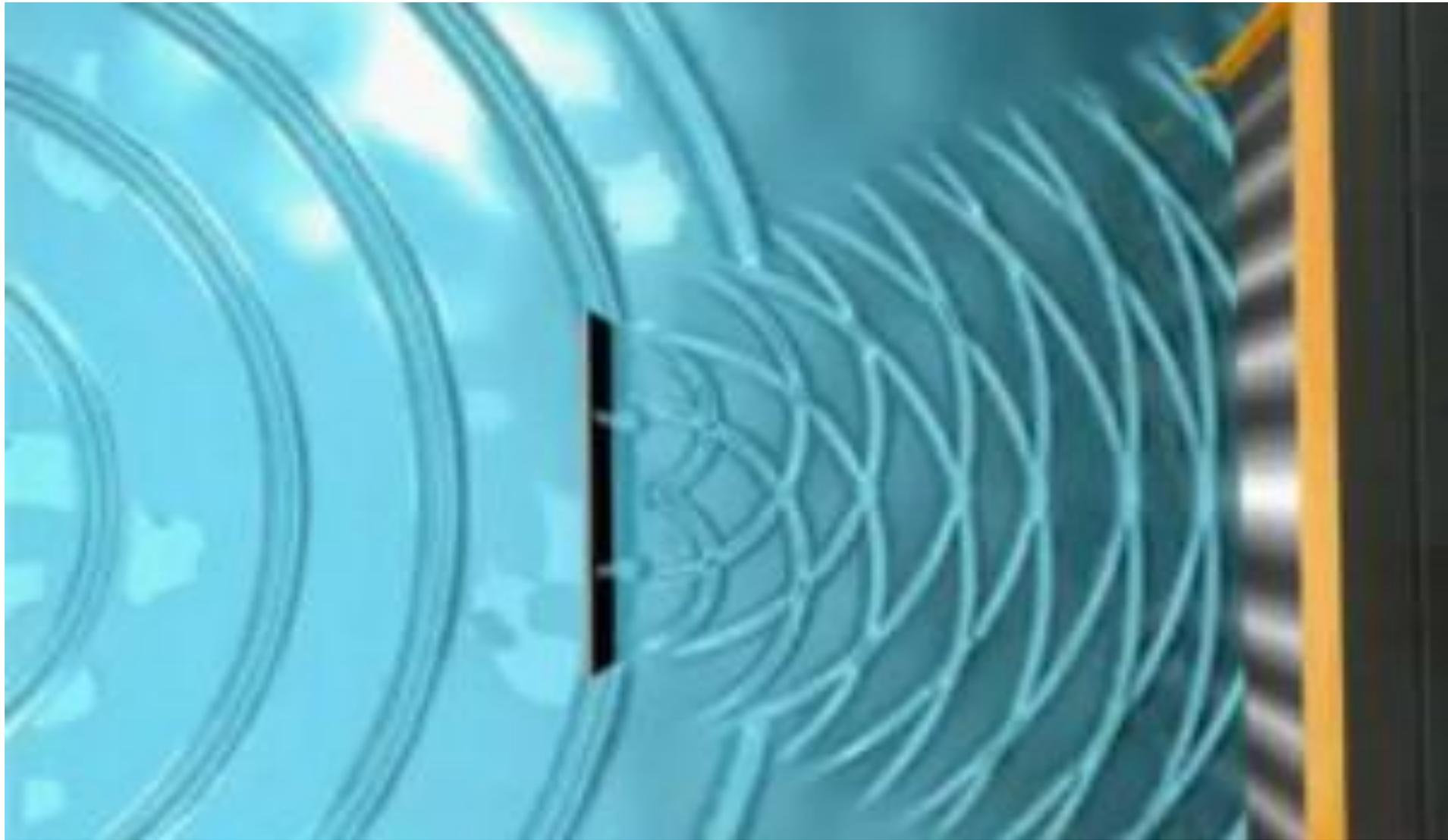
# Интерференция механических волн



На поверхности воды, когда поблизости колеблются два поплавка. Волна в одних местах усиливается, а в других - ослабляется.



- Интерференция от двух источников





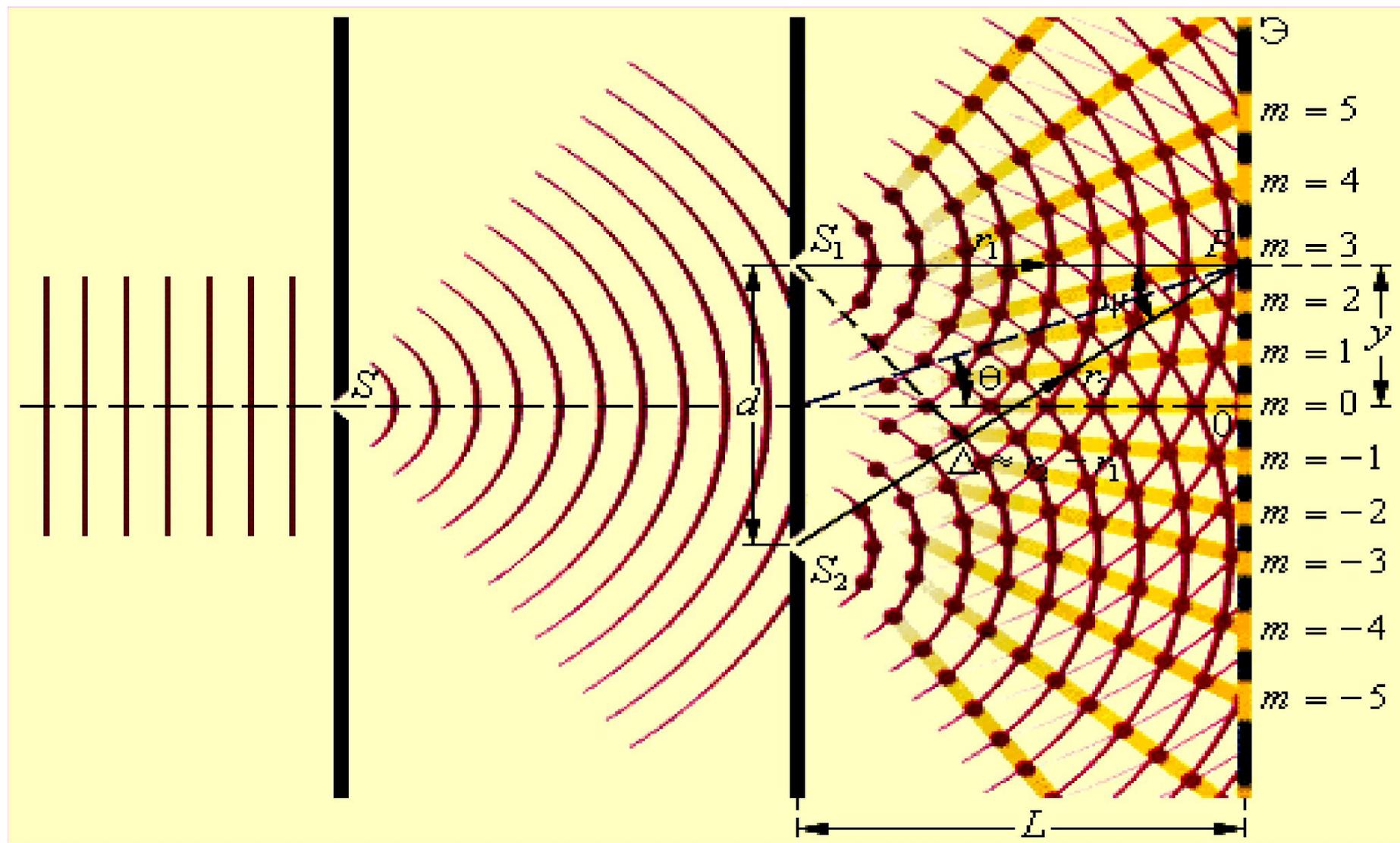
# Томас Юнг

Томас Юнг был удивительным человеком: он был не только одним из лучших физиков своего времени, но ещё и расшифровывал египетские иероглифы, лечил людей, исследовал механизм зрения, был ловким наездником и даже ... акробатом и канатоходцем! Он играл почти на всех музыкальных инструментах и ещё в юности изучил самостоятельно больше **десяти** языков.

Его **девизом** было:

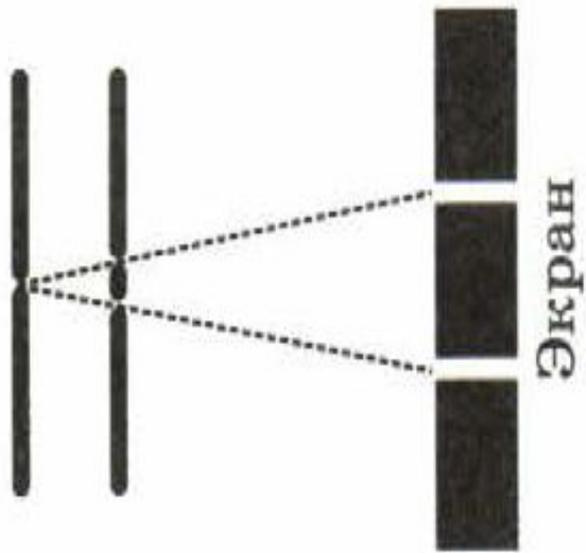
• «Если это может кто-то, то это смогу и я!»

# Опыт Юнга 1802 г



**Впервые измерены длины световых волн!**

# Дифракция света



*a*



*б*

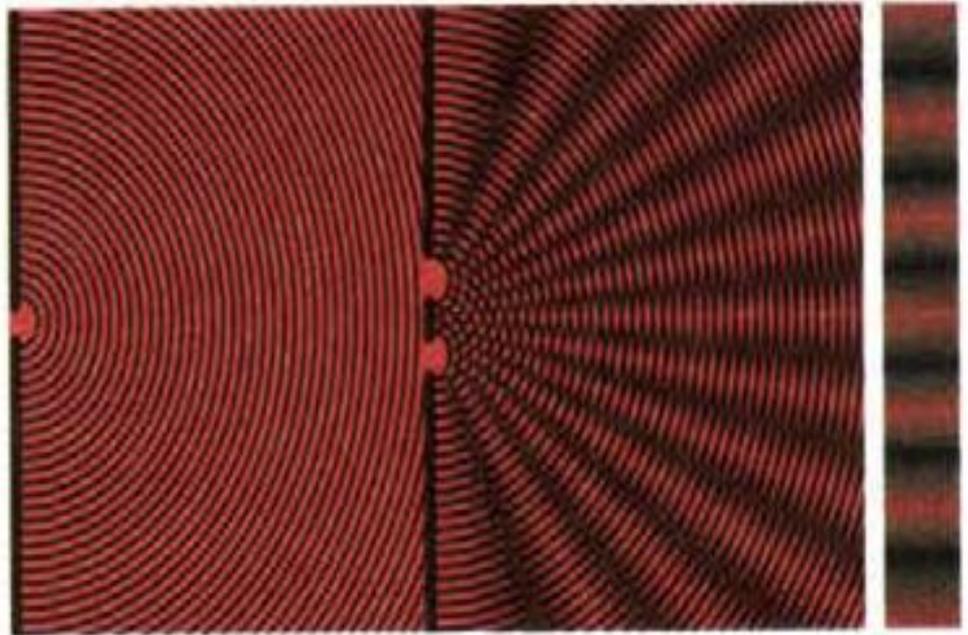
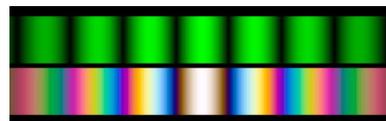
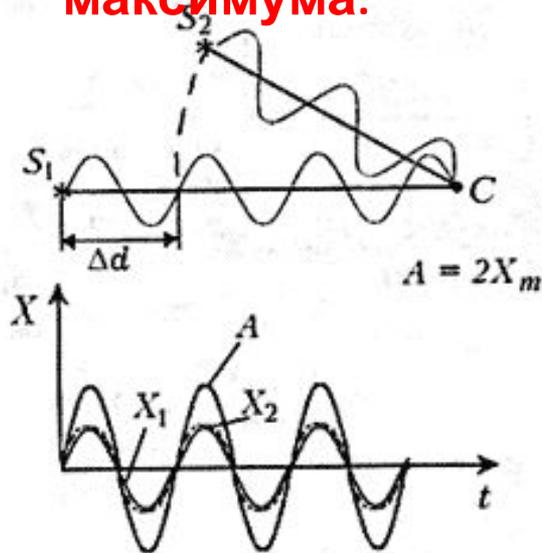


Схема опыта Юнга

# Условия максимума и минимума

Условие  
максимума:



Разность хода волн равна **целому числу**  
длин волн или **чётному числу** длин  
полуволн:

$$d_2 - d_1 = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

$$(k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3...)$$

В рассматриваемой точке С приходят с одинаковыми фазами и усиливают друг друга-амплитуда колебаний точки **максимальна** и равна удвоенной амплитуде.

Условия  
минимума:



Разность хода равна **нечётному**  
числу длин полуволн:

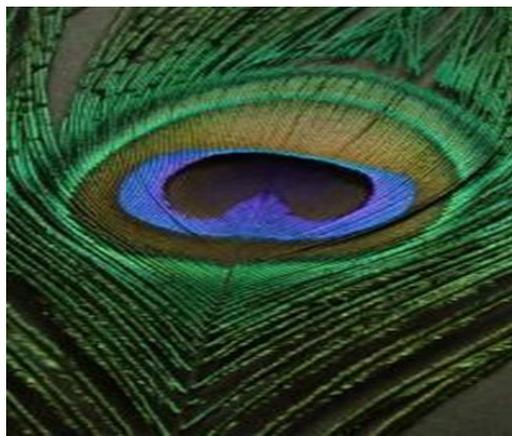
$$d_2 - d_1 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

$$(k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3...)$$

Волны приходят в точку в противофазе и гасят друг друга. Амплитуда в точке С равна нулю:  $A=0$ .

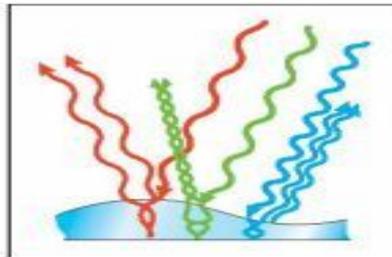
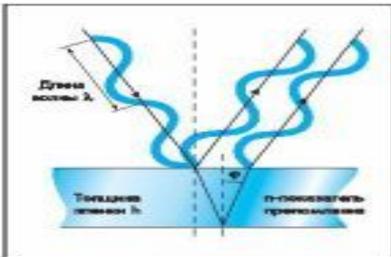
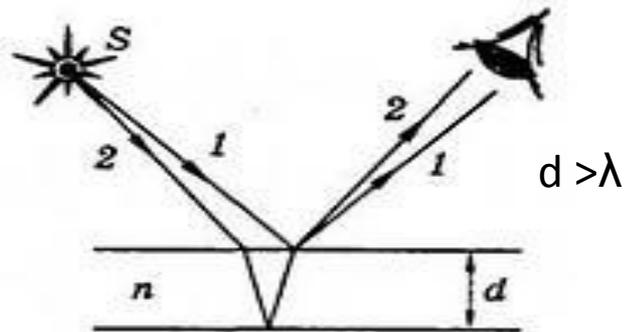
# Способы получения и наблюдения интерференции света

- 1) **разделение волны по фронту** (опыт Юнга, бипризма Френеля, зеркала Ллойда);
- 2) **разделение волны по амплитуде** (по ходу волны)-интерференция в тонких плёнках (мыльные пузыри, бензиново-масляные плёнки, крылья насекомых, клин, кольца Ньютона).

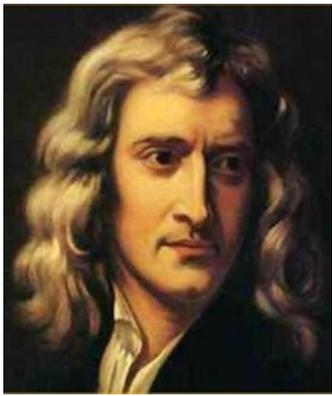


# Интерференция в тонких плёнках

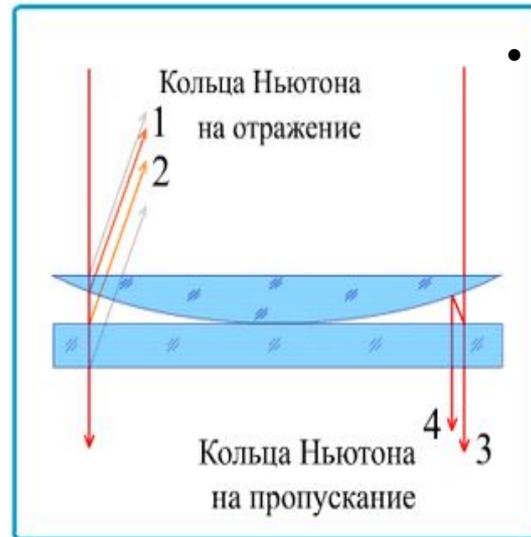
- **Причина:** отражение от внешней поверхности плёнки, а другая – от внутренней.
- **Тонкая плёнка** – мыльные пузыри, бензиново-масляная плёнка на поверхности воды, крылья насекомых и т.д.



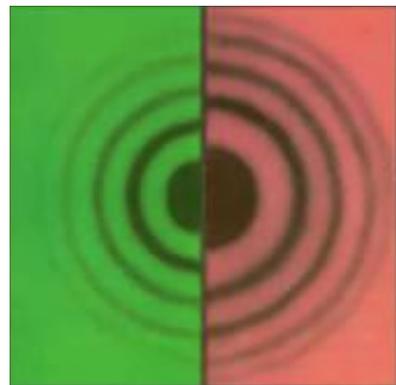
Различные цвета тонких пленок — результат интерференции двух волн, отражающихся от нижней и верхней поверхностей пленки.



# Кольца «Ньютона»



Интерференционные полосы равной толщины в форме колец, расположенных concentрически вокруг точки касания двух сферических поверхностей, либо плоскости и сферы. Впервые описаны в 1675 г. И. Ньютоном. Интерференция происходит в тонком зазоре (обычно воздушном), разделяющим соприкасающиеся поверхности; этот зазор играет роль тонкой плёнки.



Радиусы колец увеличиваются при переходе от фиолетового конца спектра к красному.

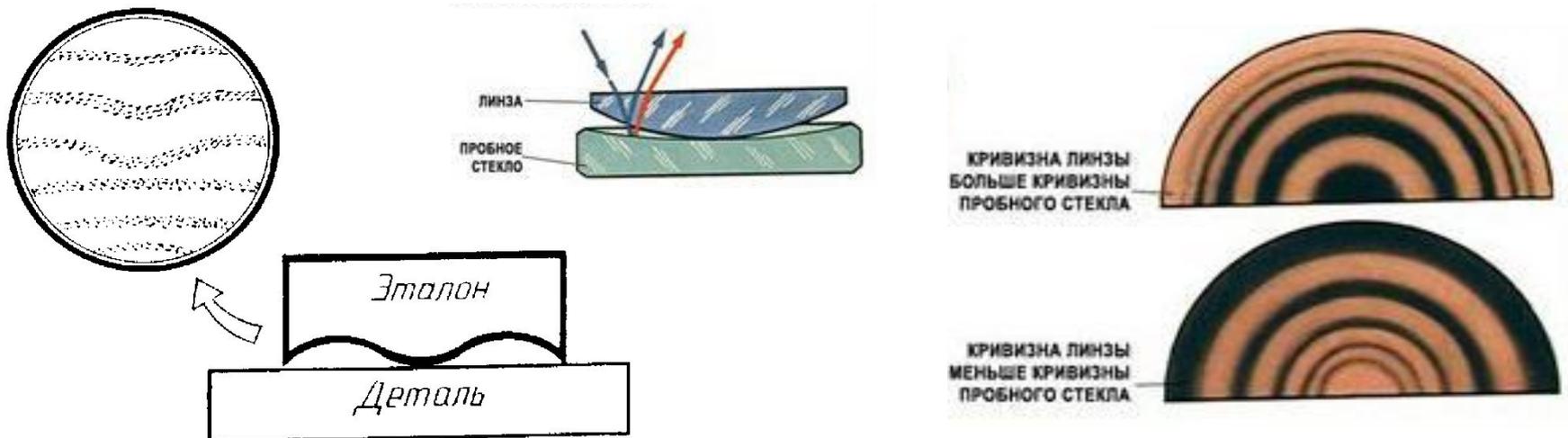


Опыт

Ньютона

# Применение интерференции

**Проверка качества обработки поверхностей.** С помощью интерференции можно оценить качество обработки поверхности изделия с точностью до  $1/10$  длины волны, т. е. с точностью до  $10^{-6}$  см. Для этого нужно создать тонкую клиновидную прослойку воздуха между поверхностью образца и очень гладкой эталонной пластиной. Тогда неровности поверхности размером до  $10^{-6}$  см вызовут заметные искривления интерференционных полос, образующихся при отражении света от проверяемой поверхности и нижней грани.



# ЗАДАНИЕ

1. Что называют интерференцией волн? При каких условиях происходит это явление?
2. Какие волны называют когерентными?
3. Что называют разностью хода волн?
4. Сформулируйте и запишите условия образования максимумов при наложении когерентных волн.
5. Сформулируйте и запишите условия образования минимумов при наложении когерентных волн.
6. Опишите опыт Юнга.
7. Сделав рисунок, объясните интерференцию света в тонких плёнках.
8. Приведите примеры практического применения интерференции света.

# Диффракция света



***ОТКЛОНЕНИЕ ОТ  
ПРЯМОЛИНЕЙНОГО  
РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
НА РЕЗКИХ  
НЕОДНОРОДНОСТЯХ СРЕДЫ***



# *Дифракция была открыта*



***Франческо Гримальди в конце XVII в.  
Объяснение явления дифракции света дано  
Томасом Юнгом и Огюстом Френелем,  
которые не только дали описание  
экспериментов по наблюдению явлений  
интерференции и дифракции света, но и  
объяснили свойство прямолинейности  
распространения света с позиций  
волновой теории***



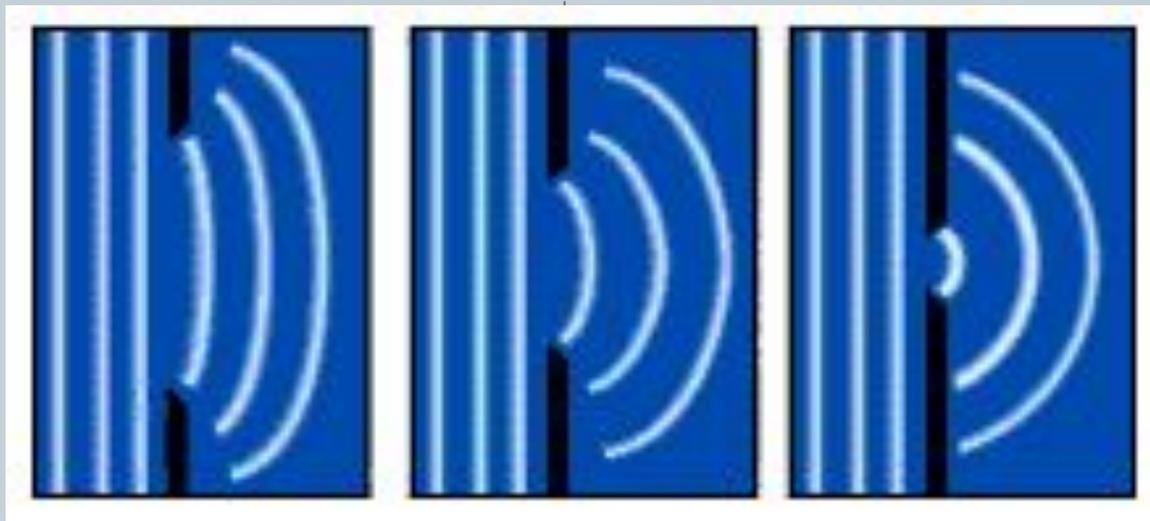
# Принцип Гюйгенса:



***каждая точка волновой  
поверхности является  
источником вторичных  
сферических волн***

# Принцип Гюйгенса-Френеля:

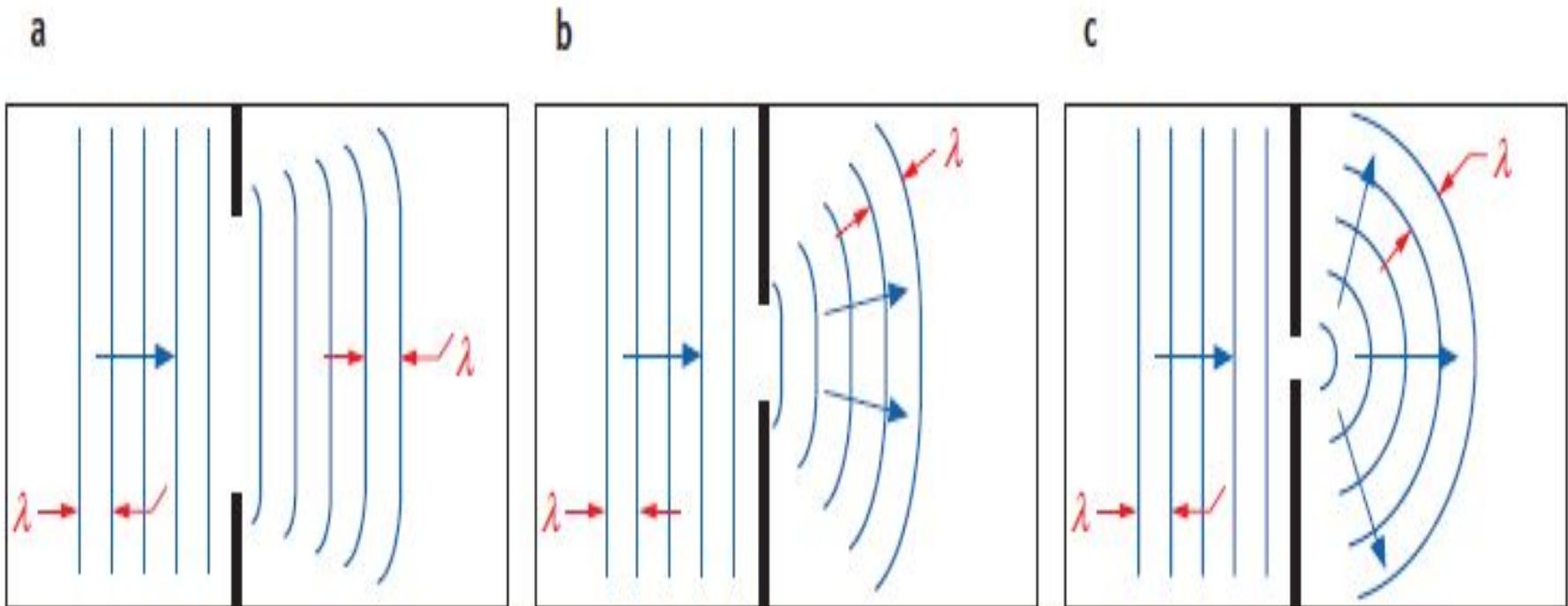
*каждая точка волновой поверхности является  
источником вторичных сферических волн,*



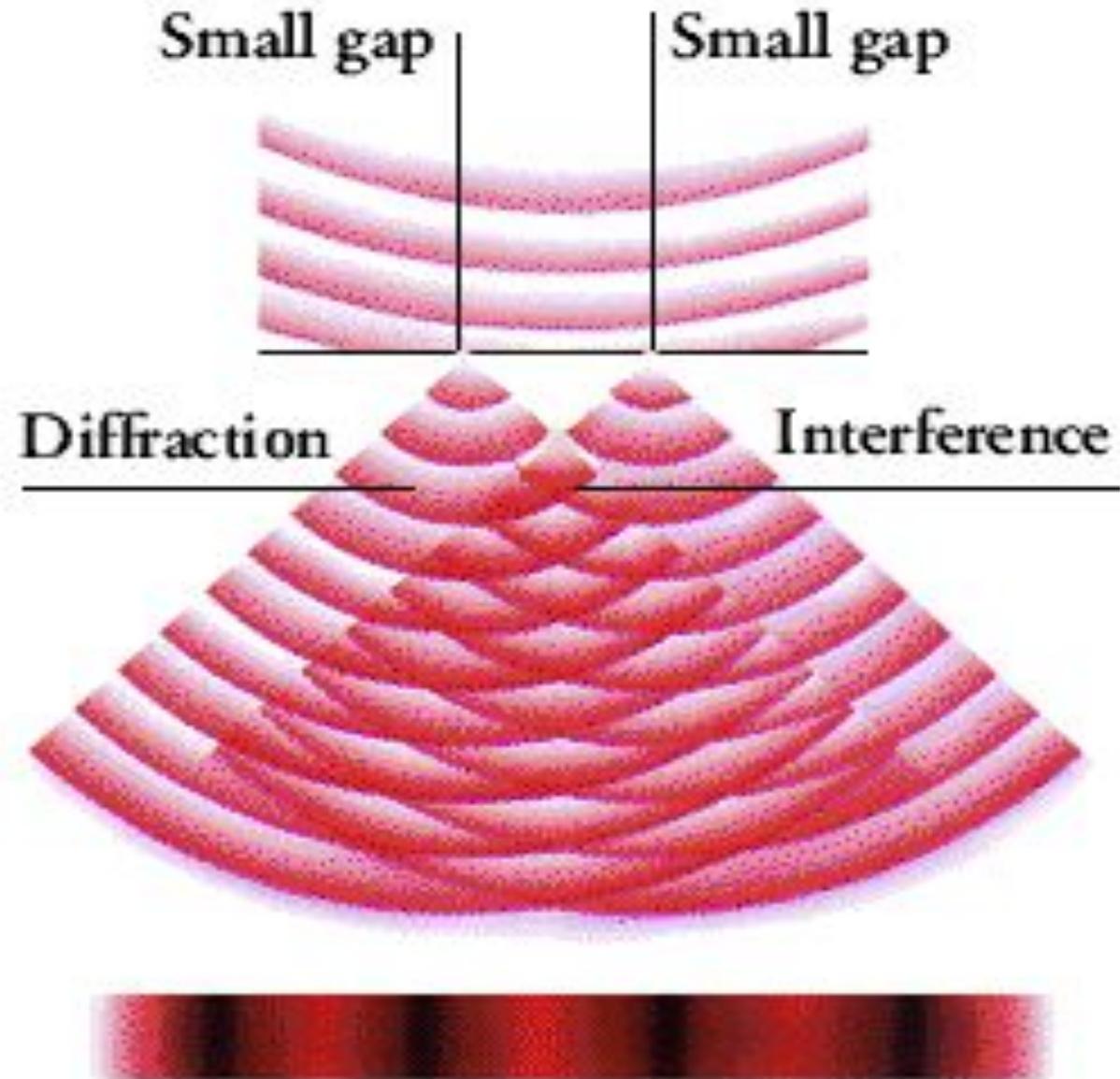
*Которые интерферируют между собой*

Дифракционные эффекты являются наибольшими, когда волны проходят через щель с шириной, равной их длине волны.

- Степень распространения, например, ряби на поверхности воды зависит от соотношения их длины волны и ширины зазора.
- На рисунке **a** ширина щели намного больше, чем длина волны, и едва ли наблюдается какая-либо заметная дифракция.
- На рисунке **b** ширина зазора больше, чем длина волны, и дифракция ограничена.
- На рисунке **c** ширина щели равна длине волны, и эффект дифракции является наибольшим.



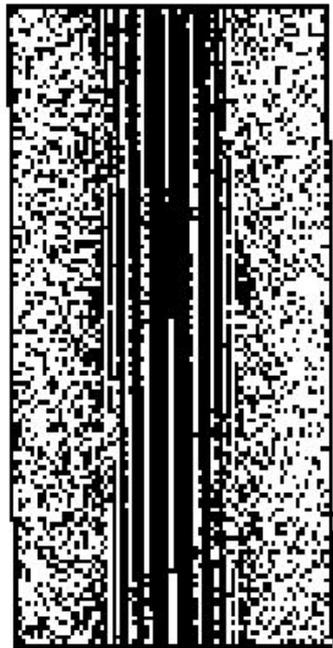
# Дифракционная картина



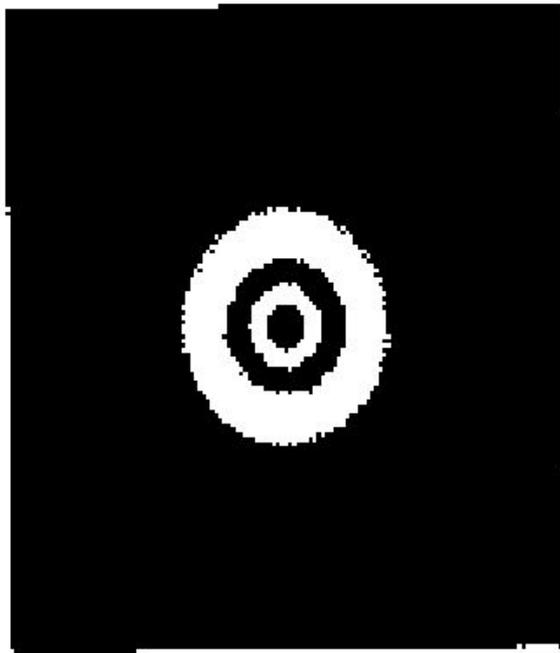
# Дифракция от различных препятствий:



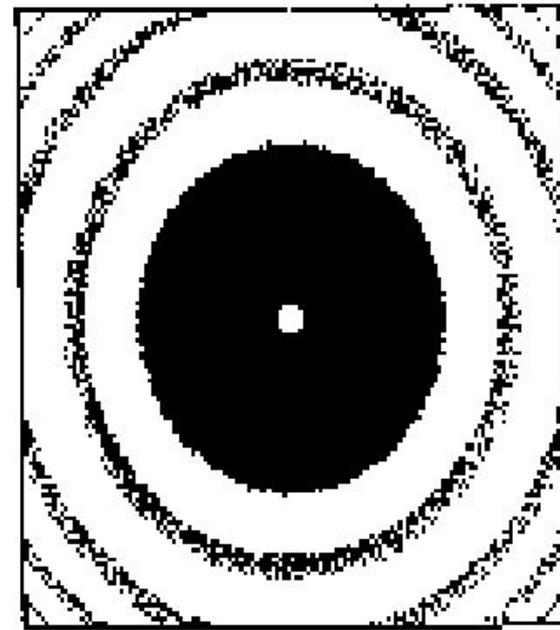
- а) от тонкой проволоочки;
- б) от круглого отверстия;
- в) от круглого непрозрачного экрана.



а)

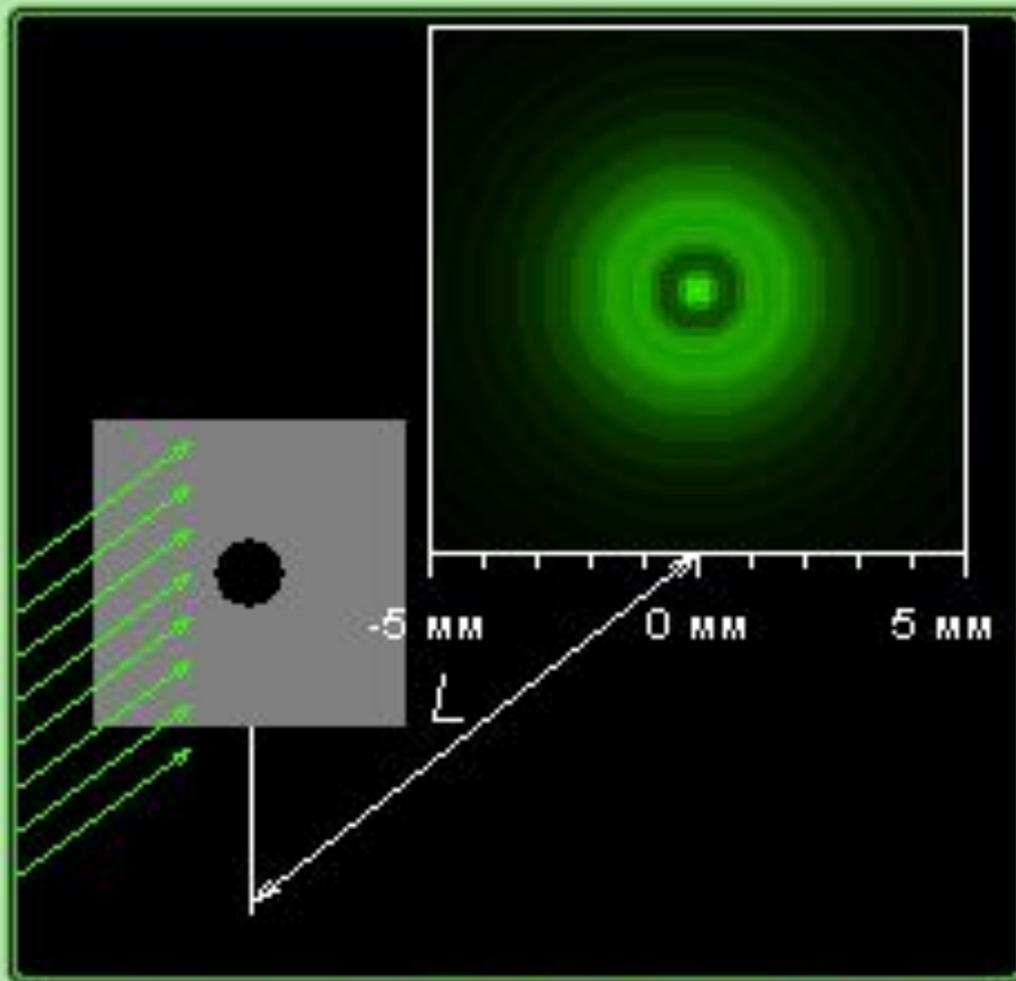


б)



в)

# Препятствие – круглое отверстие **R=3.9**



Препятствие

- Шарик
- Круглое отверстие
- Щель
- Игла

$$m = R^2 / (\lambda L) = 2.77$$

$$L = 10 \text{ м}$$

$$R = 3.9 \text{ мм}$$

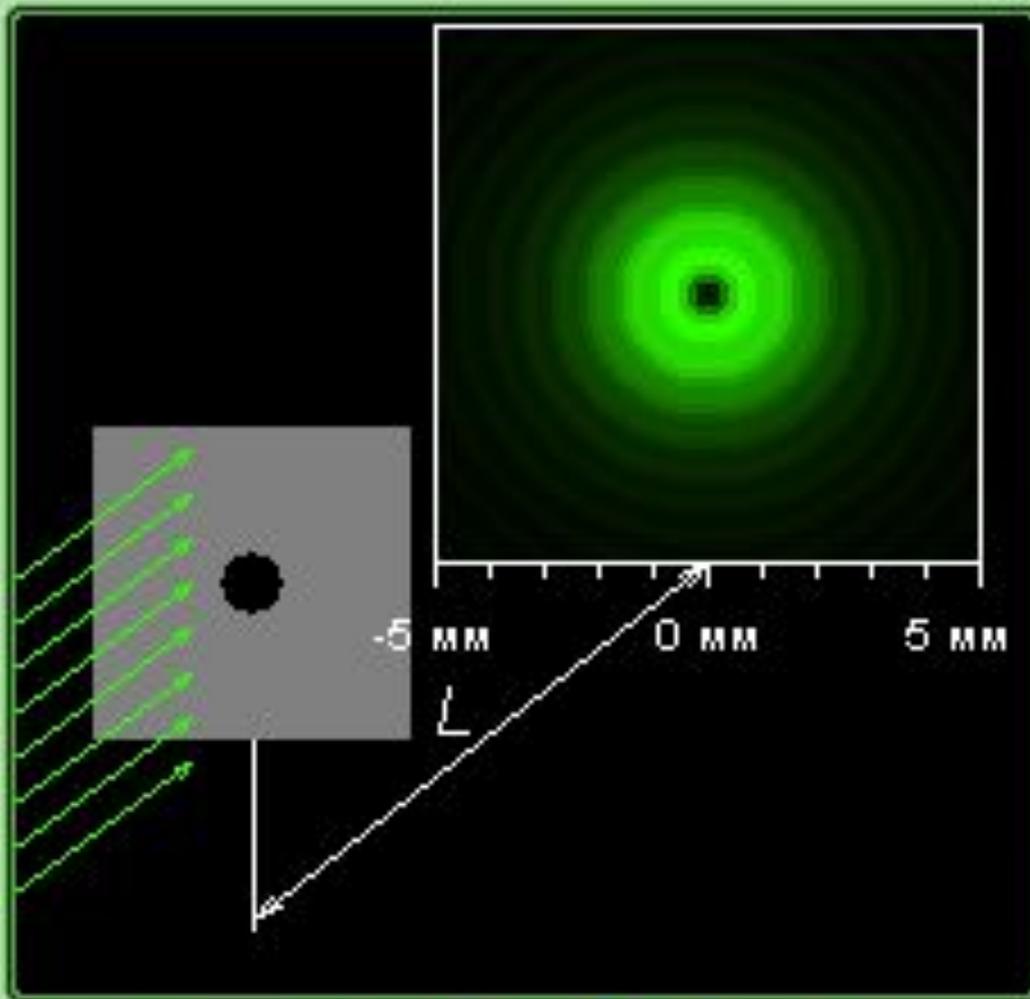
$$\lambda = 549$$



HM

# Препятствие – круглое отверстие

$R=3.3$



Препятствие

- Шарик
- Круглое отверстие
- Щель
- Игла

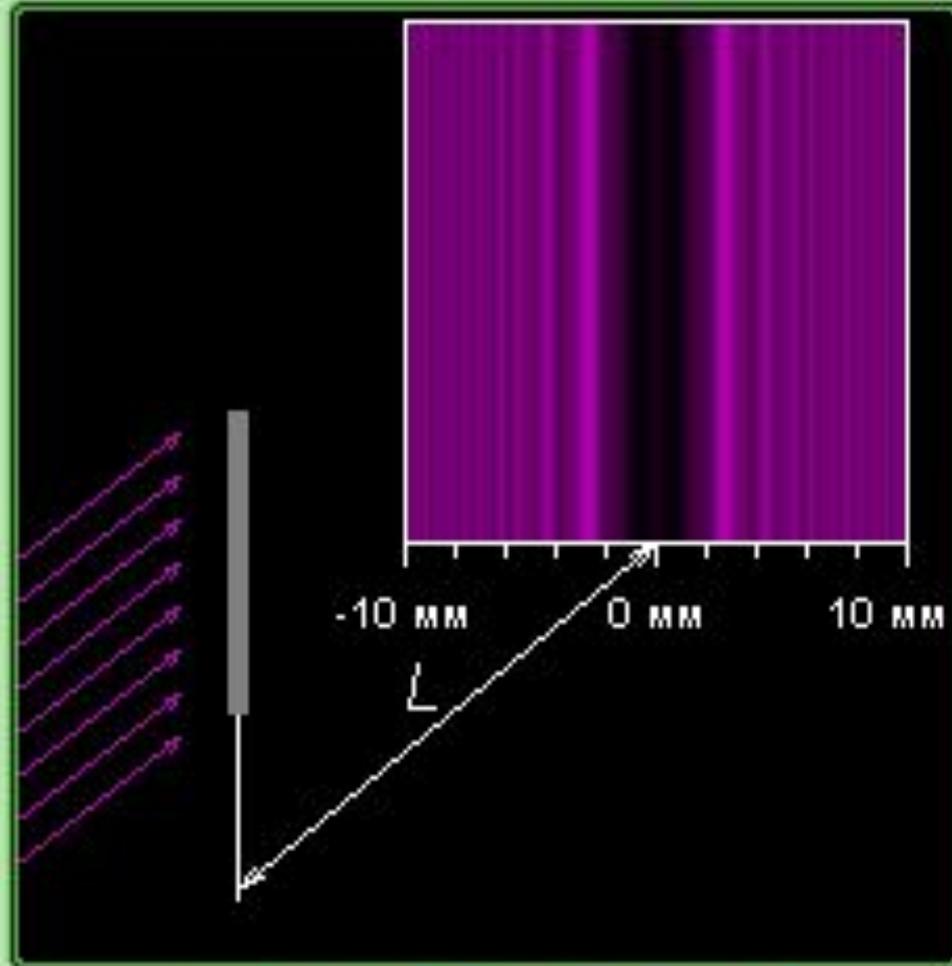
$$m = R^2 / (\lambda L) = 1.98$$

$$L = 10 \text{ м}$$

$R =$     мм

$\lambda =$      нм

# Препятствие – игла $d=2.3$



Препятствие

- Шарик
- Круглое отверстие
- Щель
- Игла

$$m = (d/2)^2 / (\lambda L) = 0.34$$

$$L = 10 \text{ м}$$

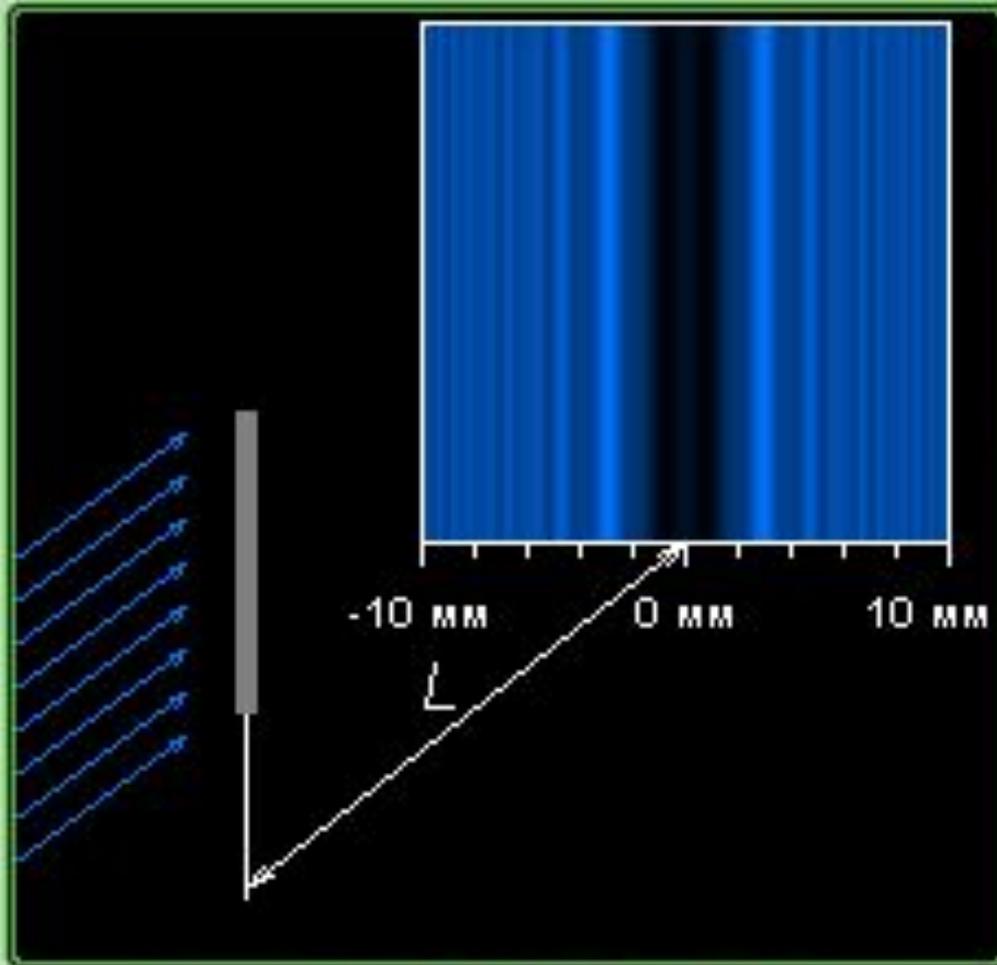
$$d = \text{2.3} \text{ мм}$$

$$\lambda = \text{388}$$



HM

# Препятствие – игла $d=2.3$



Препятствие

- Шарик
- Круглое отверстие
- Щель
- Игла

$$m = (d/2)^2 / (\lambda L) = 0.29$$

$$L = 10 \text{ м}$$

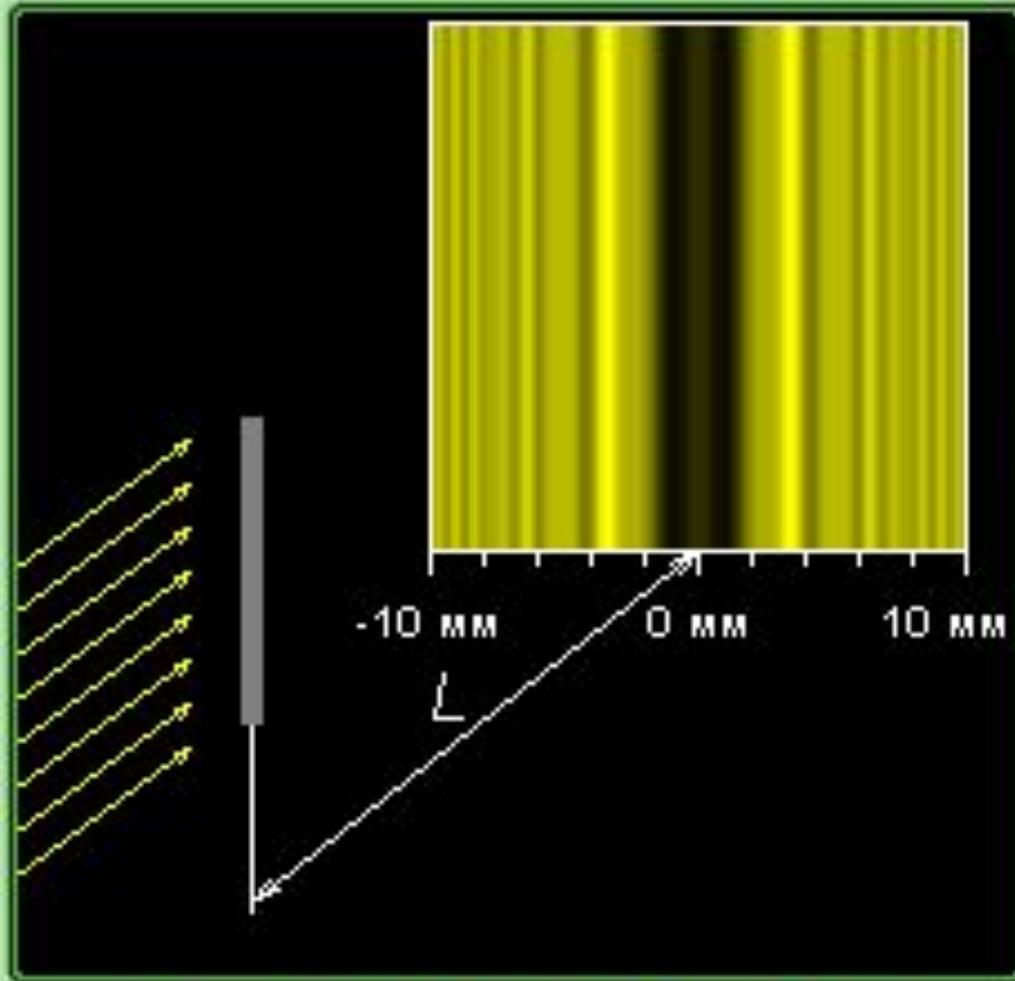
$$d = \text{2.3} \text{ мм}$$

$$\lambda = \text{458}$$



НМ

# Препятствие – игла $d=2.3$



Препятствие

- Шарик
- Круглое отверстие
- Щель
- Игла

$$m = (d/2)^2 / (\lambda L) = 0.22$$

$$L = 10 \text{ м}$$

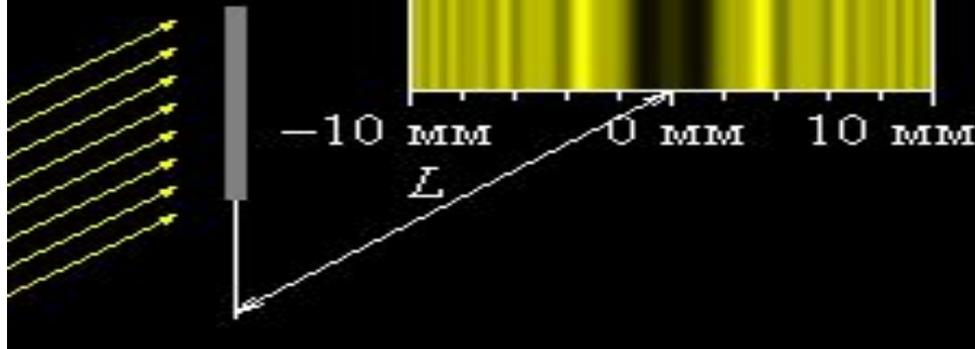
$$d = \text{2.3} \text{ мм}$$

$$\lambda = \text{591}$$

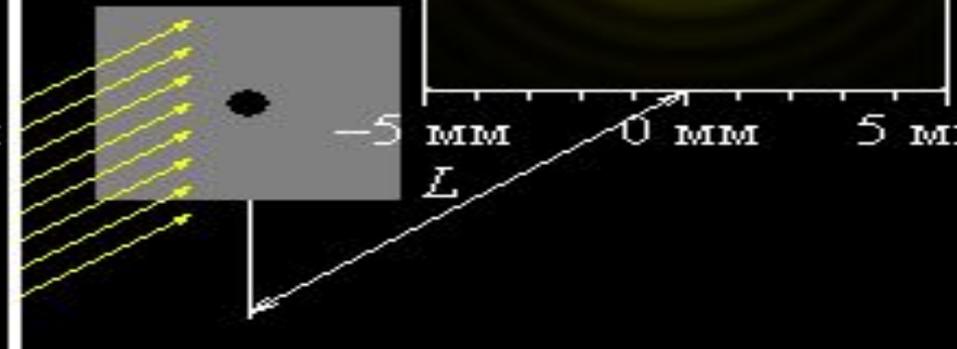


НМ

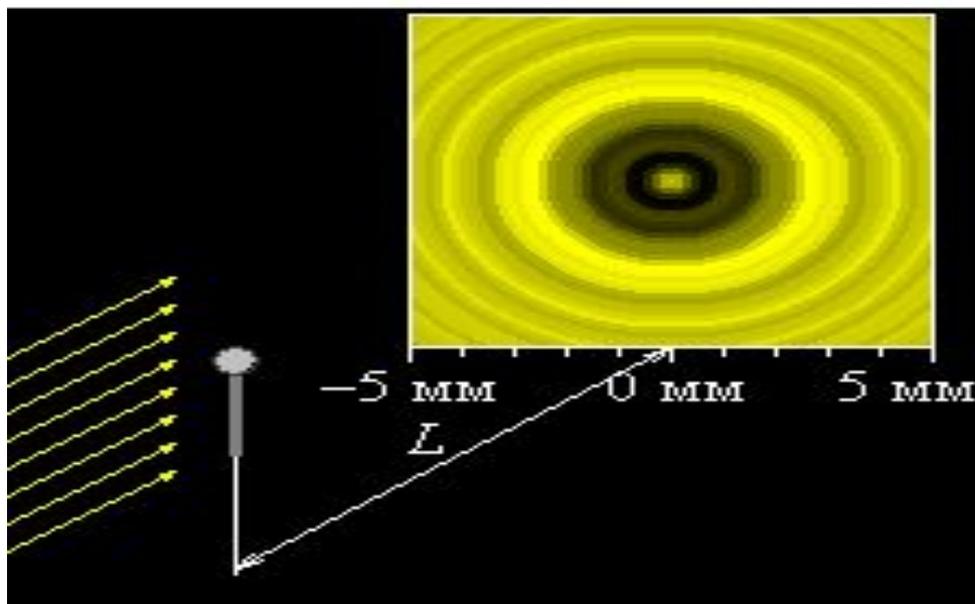
# ПРЕПЯТСТВИЯ



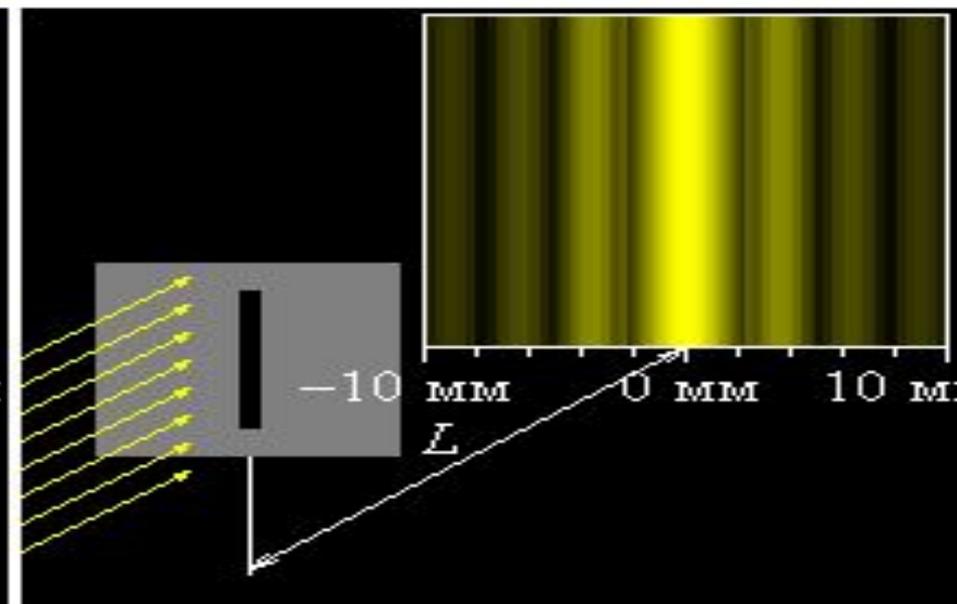
Игла



Круглое отверстие



Шарик



Щель

## Условия наблюдения дифракции



- ***Дифракция происходит на предметах любых размеров, а не только соизмеримых с длиной волны  $\lambda$***

# Условия наблюдения дифракции



***Трудности наблюдения  
заключаются в том, что  
вследствие малости длины  
световой волны  
интерференционные максимумы  
располагаются очень близко друг к  
другу, а их интенсивность быстро  
убывает***

# *Дифракционная решетка*



**Дифракционные решетки, представляющие собой точную систему штрихов некоторого профиля, нанесенную на плоскую или вогнутую оптическую поверхность, применяются в спектральном приборостроении, лазерах, метрологических мерах малой длины и т.д**

# *Дифракционная решетка*



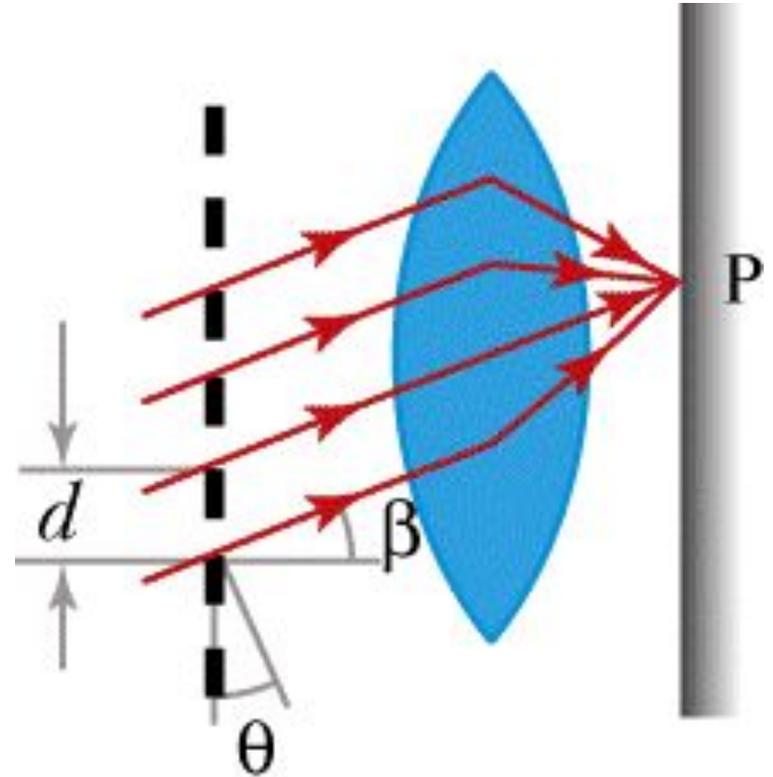
Постоянная (период) дифракционной решетки-



Это величина  **$d = a + b$**

где  $a$  — ширина щели;

$b$  — ширина непрозрачной части



# Дифракционная решетка



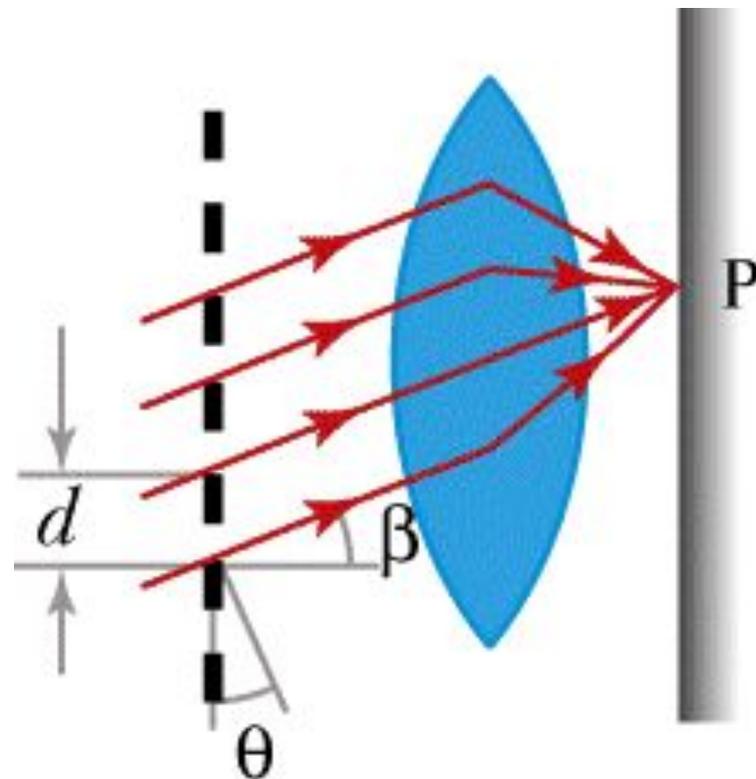
Следовательно:

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

- формула  
дифракционной  
решетки.

Величина  $k$  — порядок  
дифракционного  
максимума

( равен  $0, \pm 1, \pm 2$  и т.д.)



**Задача.** Сколько штрихов на каждый миллиметр содержит дифракционная решетка, если при наблюдении в монохроматическом свете с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм максимум пятого порядка отклонен на угол  $\varphi = 18^\circ$ ?

Дано:

$$l = 1 \text{ мм}$$

$$k = 5$$

$$\lambda = 0,6 \text{ мкм}$$

$$\varphi = 18^\circ$$

$$N = ?$$

СИ

$$10^{-3} \text{ м}$$

$$0,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Решение:

Из условия для дифракционных максимумов

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

находим период

$$d = \frac{k\lambda}{\sin \varphi}. \quad (1)$$

Зная длину и число штрихов дифракционной решетки, ее период определяется:

$$d = \frac{l}{N}. \quad (2)$$

Приравняем (1) и (2):  $\frac{l}{N} = \frac{k\lambda}{\sin \varphi}$ , получим  $N = \frac{l \cdot \sin \varphi}{k\lambda}$ .

$$N = \frac{10^{-3} \cdot 0,3}{5 \cdot 0,6 \cdot 10^{-6}} = 100.$$

Ответ:  $N = 100$ .