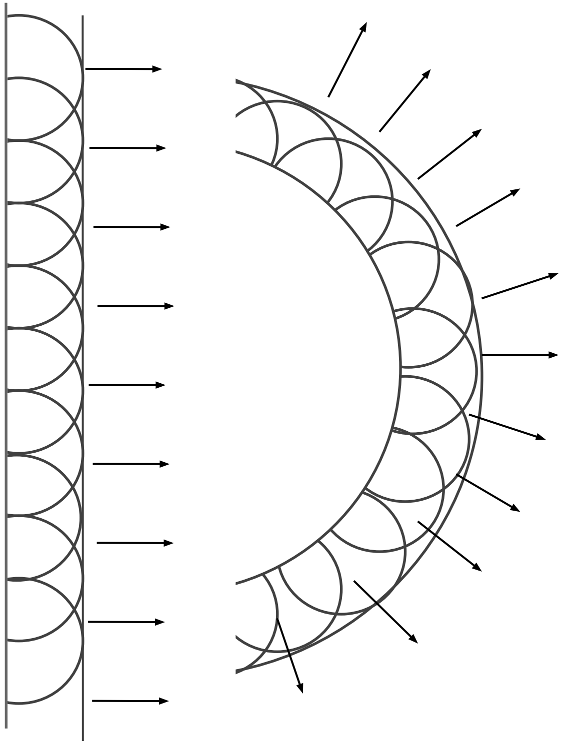
# *Д И Ф Р А К Ц И Я  С В Е Т А*

**Дифракцией света** называется явление отклонения света от прямолинейного распространения в оптически неоднородной среде с размерами неоднородностей, соизмеримыми с длиной волны

# *Принцип Гюйгенса-Френеля для плоской и сферической волн*

**Принцип Гюйгенса.** Каждую точку волнового фронта можно рассматривать как новый источник “вторичных “ сферических волн, распространяющихся вперед по всем направлениям, в том числе и в область геометрической тени препятствия



**Предположение Френеля.** Вторичные волны когерентны и интерферируют друг с другом

# Виды дифракции

***дифракция Френеля***
(в сходящихся лучах)

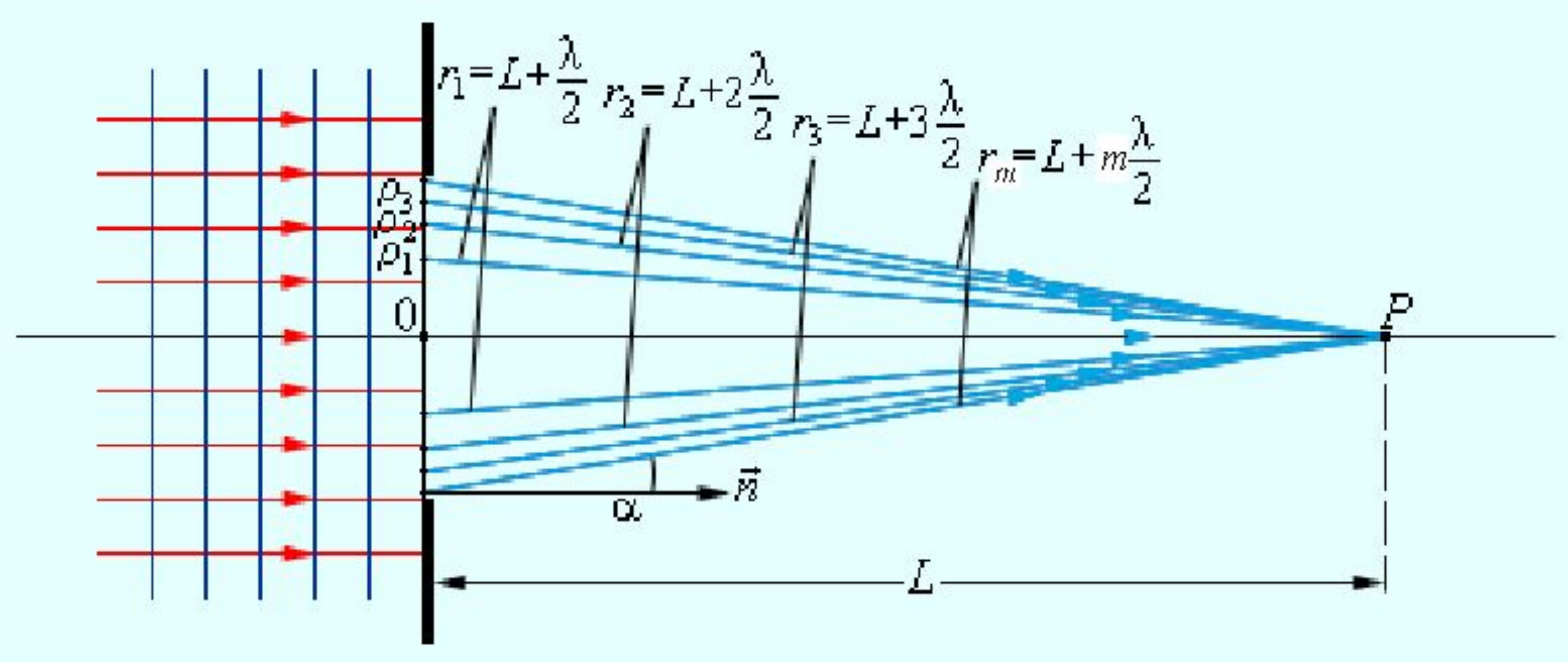
***дифракция Фраунгофера***
(в параллельных лучах)

на препятствие падает сферическая или плоская волна, а дифракционная картина наблюдается на экране, который находится позади препятствия на конечном расстоянии от него

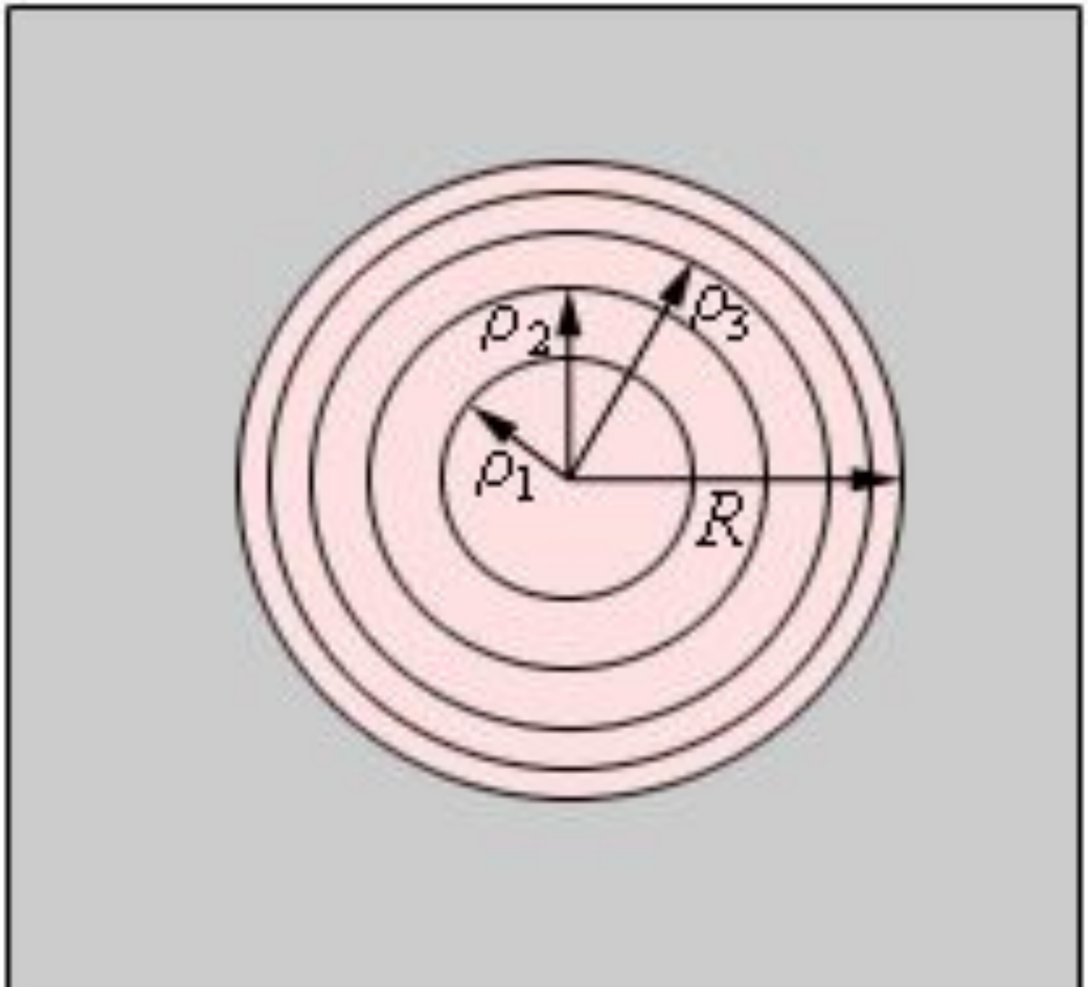
на препятствие падает плоская волна, а дифракционная картина наблюдается на экране, который находится в фокальной плоскости собирающей линзы, (то есть, в бесконечности)

# Дифракция Френеля

## Дифракция плоской волны на экране с круглым отверстием



# Границы зон Френеля в плоскости отверстия



Радиусы $\rho_m$ зон Френеля

$$\rho_m = \sqrt{r_m^2 - L^2} = \sqrt{m\lambda L + m^2 \frac{\lambda^2}{4}}$$

Так, как $\lambda << L$, то $\rho_m \approx \sqrt{m\lambda L}$

Количество зон Френеля $m = \dfrac{R^2}{\lambda L}$

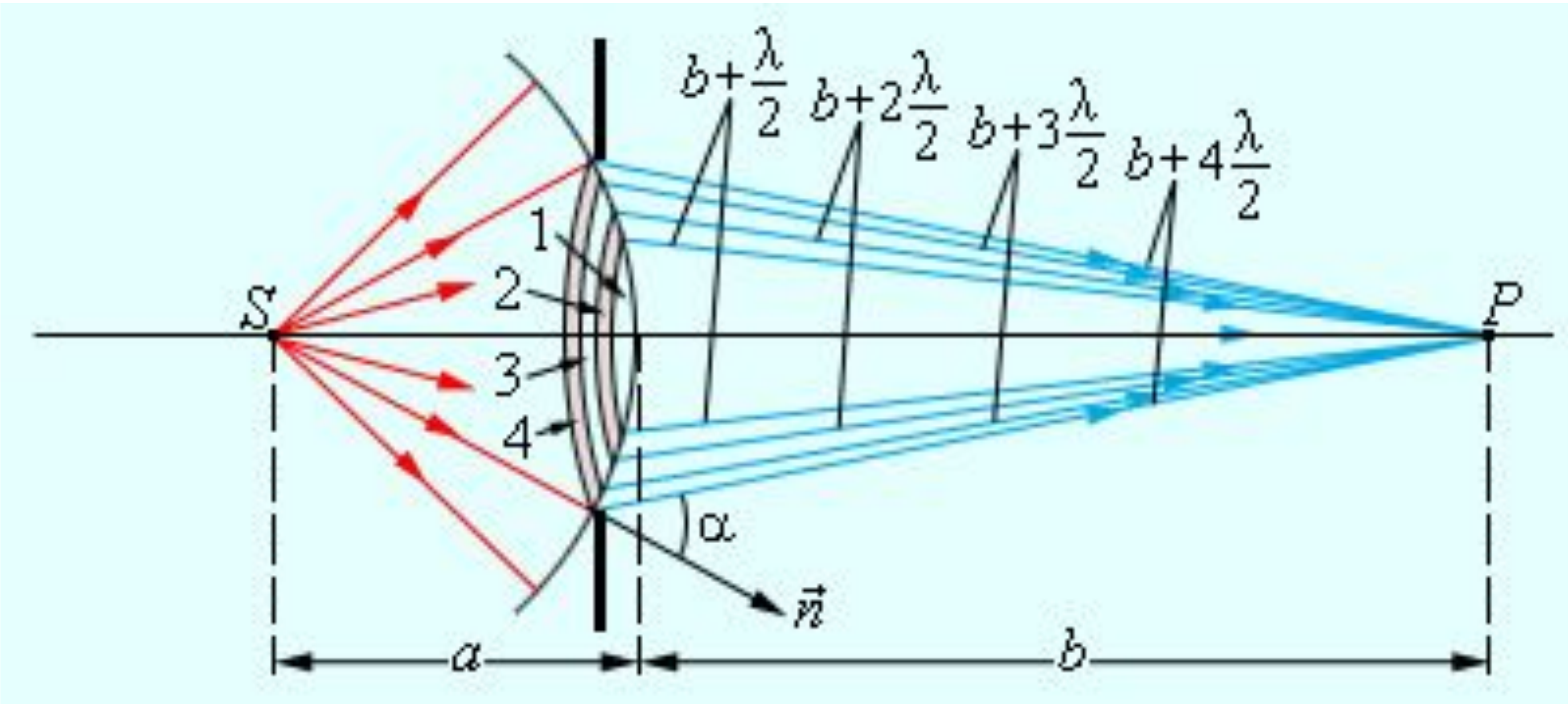
$$m = \frac{R^2}{L\lambda} \geq 1 \quad \text{или} \quad R^2 \geq L\lambda.$$

***- критерий наблюдения дифракции***

$$m = \frac{R^2}{L\lambda} >> 1 \quad \text{или} \quad R^2 >> L\lambda.$$

***- граница применимости геометрической оптики***

# Зоны Френеля на сферическом фронте волны




$$\rho_m = \sqrt{m\frac{ab}{a+b}\lambda} \qquad m = \frac{R^2(a+b)}{\lambda ab}$$

Площадь зон $S_m = \pi(\rho_m^2 - \rho_{m-1}^2) = \pi\lambda L = S_1$

Амплитуда колебаний, возбуждаемых $m$ - ой зоной

$$A_1 > A_2 > A_3 > \ldots > A_m$$

$$A_m = \frac{A_{m-1} + A_{m+1}}{2}$$

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \ldots < A_1$$

$$A = \frac{A_1}{2} + \left(\frac{A_1}{2} - A_2 + \frac{A_3}{2}\right) + \left(\frac{A_3}{2} - A_4 + \frac{A_5}{2}\right) + \cdots = \frac{A_1}{2} \pm \frac{A_m}{2}$$

## Число зон *m*:

а) малое нечетное

(интерференционный максимум)

$$A = \frac{A_1}{2} + \frac{A_m}{2} \approx A_1$$

$$m = 1 \qquad A = A_1$$

б) малое четное

(интерференционный минимум)

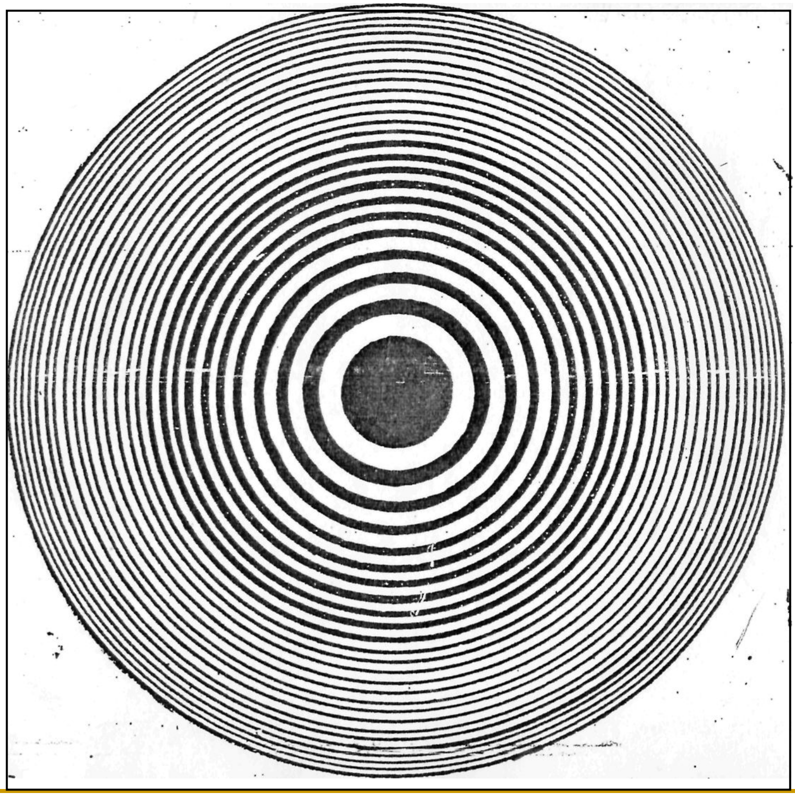
$$A = \frac{A_1}{2} - \frac{A_m}{2} \approx 0$$

в) большое и полностью открытый волновой фронт

$$A_0 = \frac{A_1}{2}$$

Амплитуда, создаваемая в некоторой точке $P$ всей полностью открытой волновой поверхностью, равна половине амплитуды, создаваемой одной лишь центральной зоной

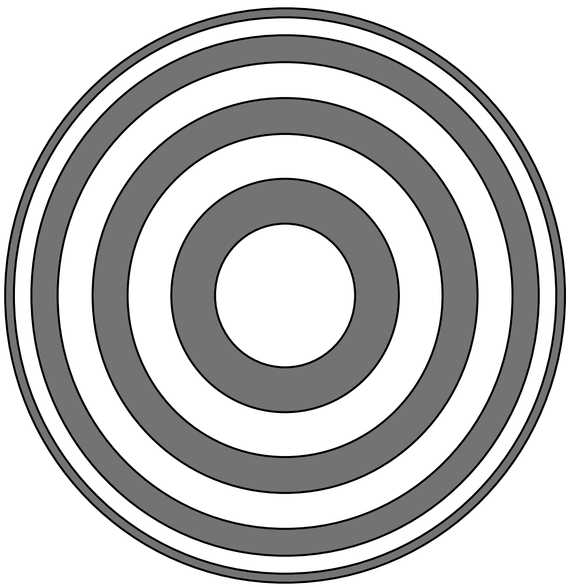
# *Дифракционная картина от круглого отверстия*



$$m = 1; \ A = A_1 = 2A_0; \quad I = 4I_0$$

$$m = 2 \quad A = 0 \quad I = 0$$

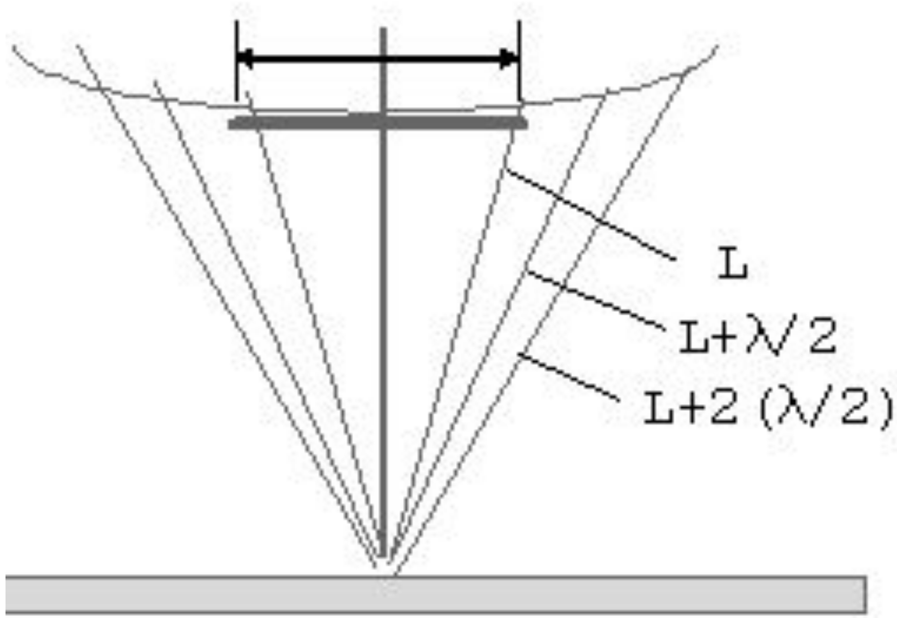
Зонная пластинка, перекрывающая четные зоны



Открыты 1, 3 и 5 зоны

$$A = 3A_1 = 6A_0; \quad I = 36I_0$$

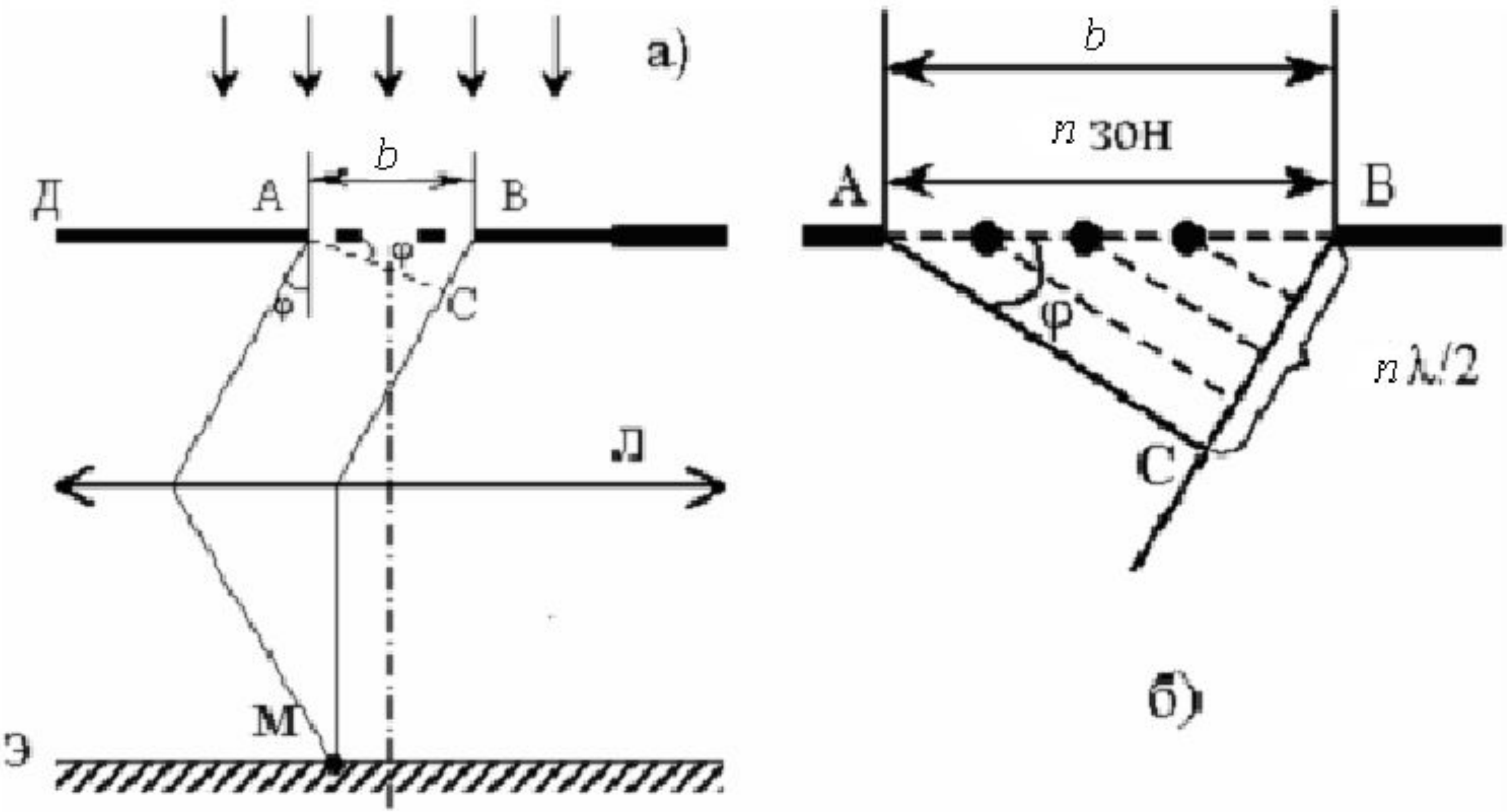
# Дифра … глом диске




$$A = A_{m+1} - A_{m+2} + A_{m+3} - \ldots = \frac{A_{m+1}}{2} + \left(\frac{A_{m+1}}{2} - A_{m+2} - \frac{A_{m+3}}{2}\right) + \ldots$$

$$A = A_{m+1}/2$$

# Дифракция Фраунгофера на щели



Число зон Френеля на ширине щели

$$n = \frac{BC}{\lambda/2}$$

Оптическая разность хода крайних лучей

$$BC = \Delta = b\sin\varphi$$

Если на ширине щели укладывается четное число зон Френеля, $n=2m$ ,то наблюдается **дифракционный минимум**

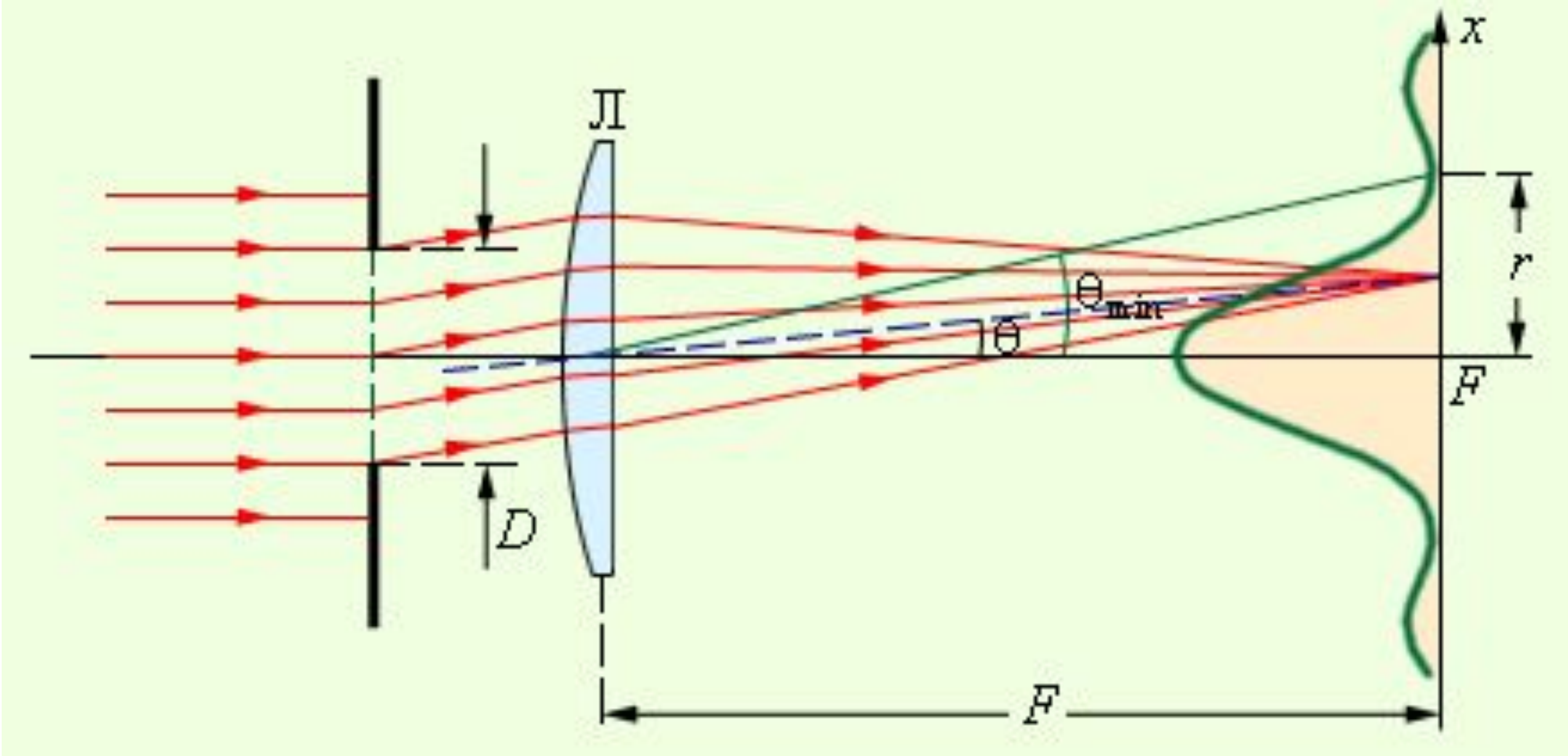
$BC= 2m(\lambda/2)$ $$b\sin\varphi = m\lambda \ (m = \pm 1, \pm 2, \ldots)$$

Если же число зон Френеля нечетное, $n=2m+1$, то наблюдается **дифракционный максимум**

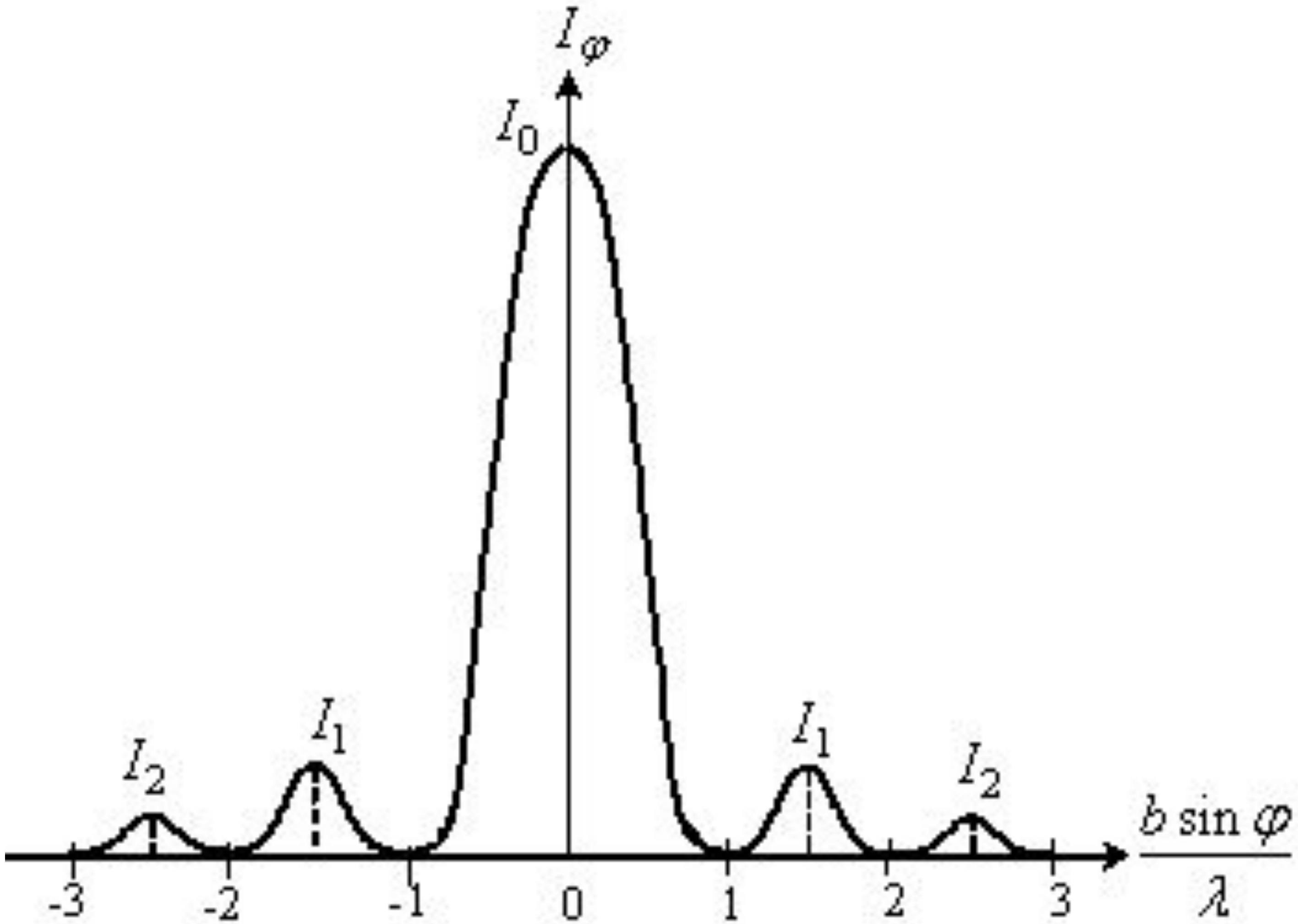
$$\Delta = (2m+1)\lambda/2 \quad \textit{или} \quad \boxed{b\sin\phi = (2m+1)\lambda/2}$$

$(m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots)$ – порядок дифракционного максимума

В прямом направлении $\phi = 0$ щель действует как одна зона Френеля, поэтому в центре наблюдается **центральный дифракционный максимум нулевого порядка**, обладающий наибольшей интенсивностью

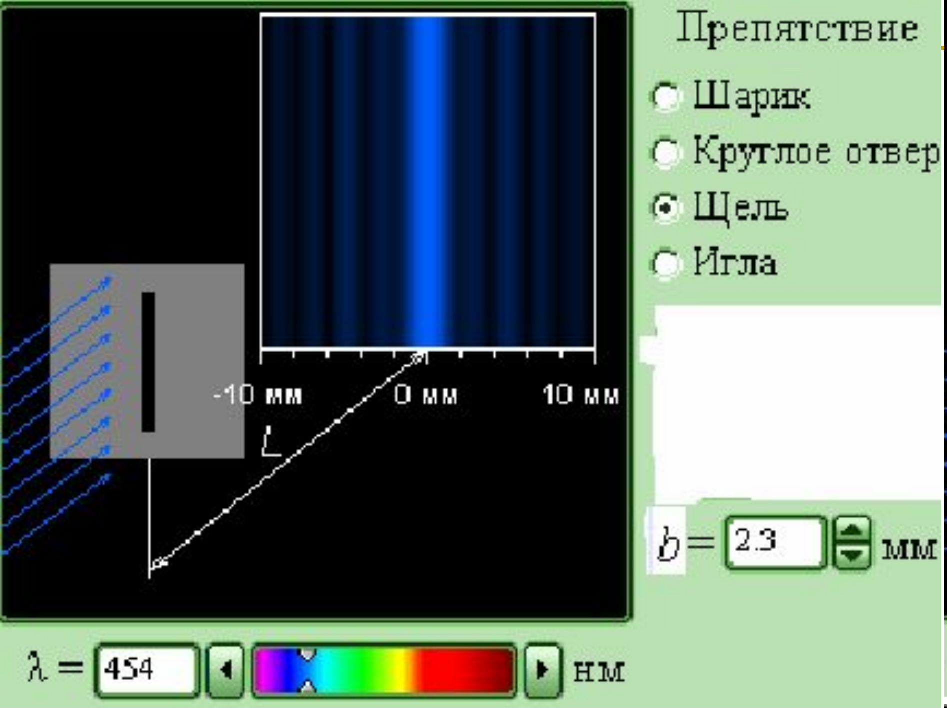


x
Л
r
θmin
θ
F
D
F

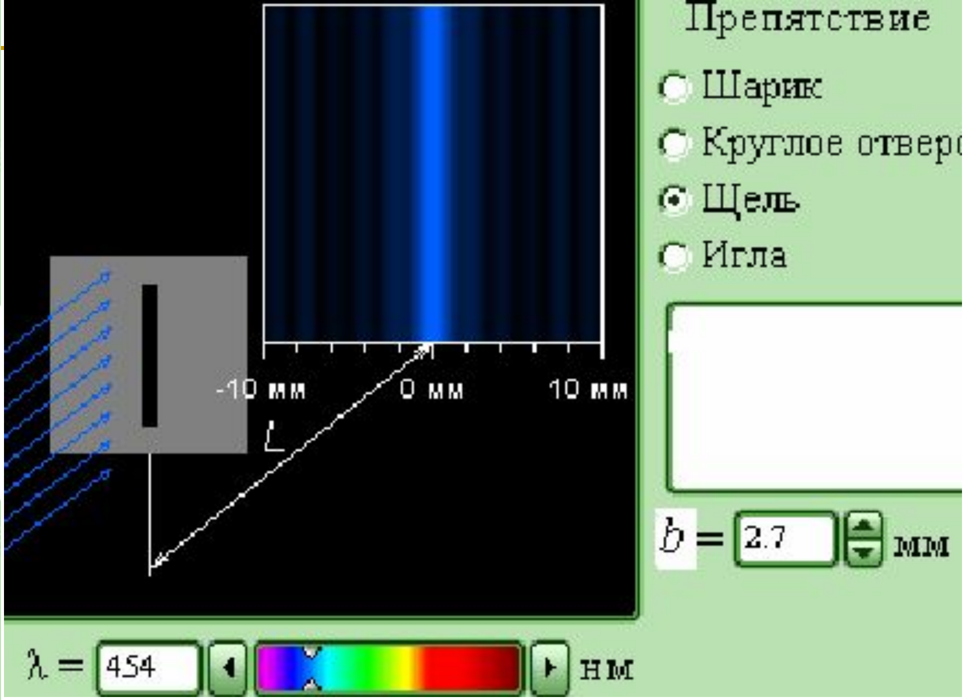



Распределение интенсивности

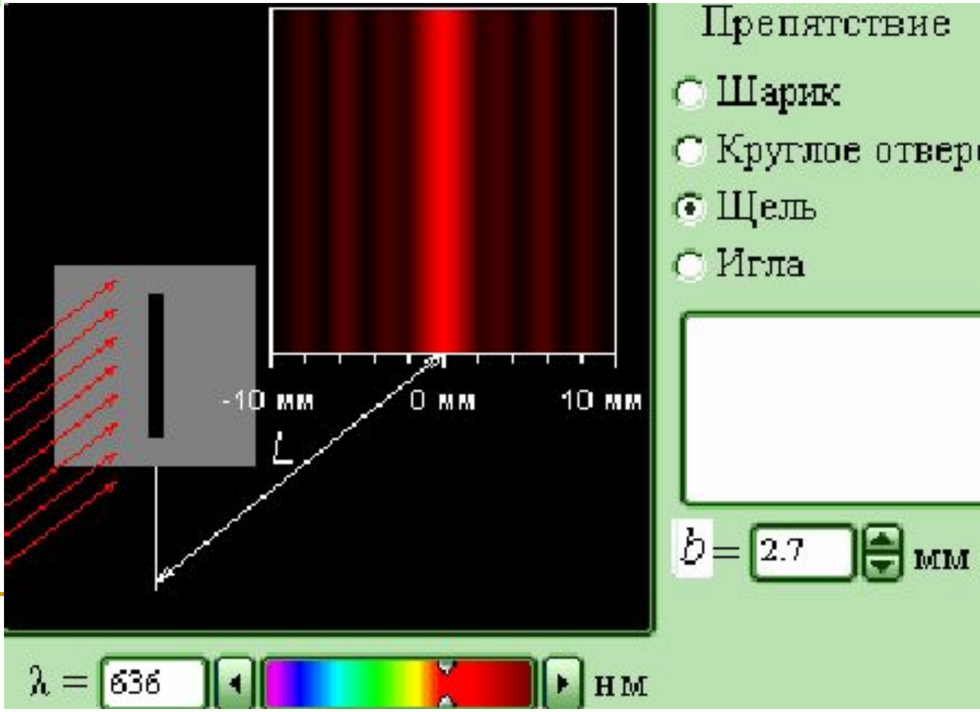
$$I_0 : I_1 : I_2 = 1 : 0{,}045 : 0{,}016$$



Препятствие
Шарик
Круглое отвер
Щель
Игла
-10 мм
0 мм
10 мм
L
b = 2.3 мм
λ = 454 нм

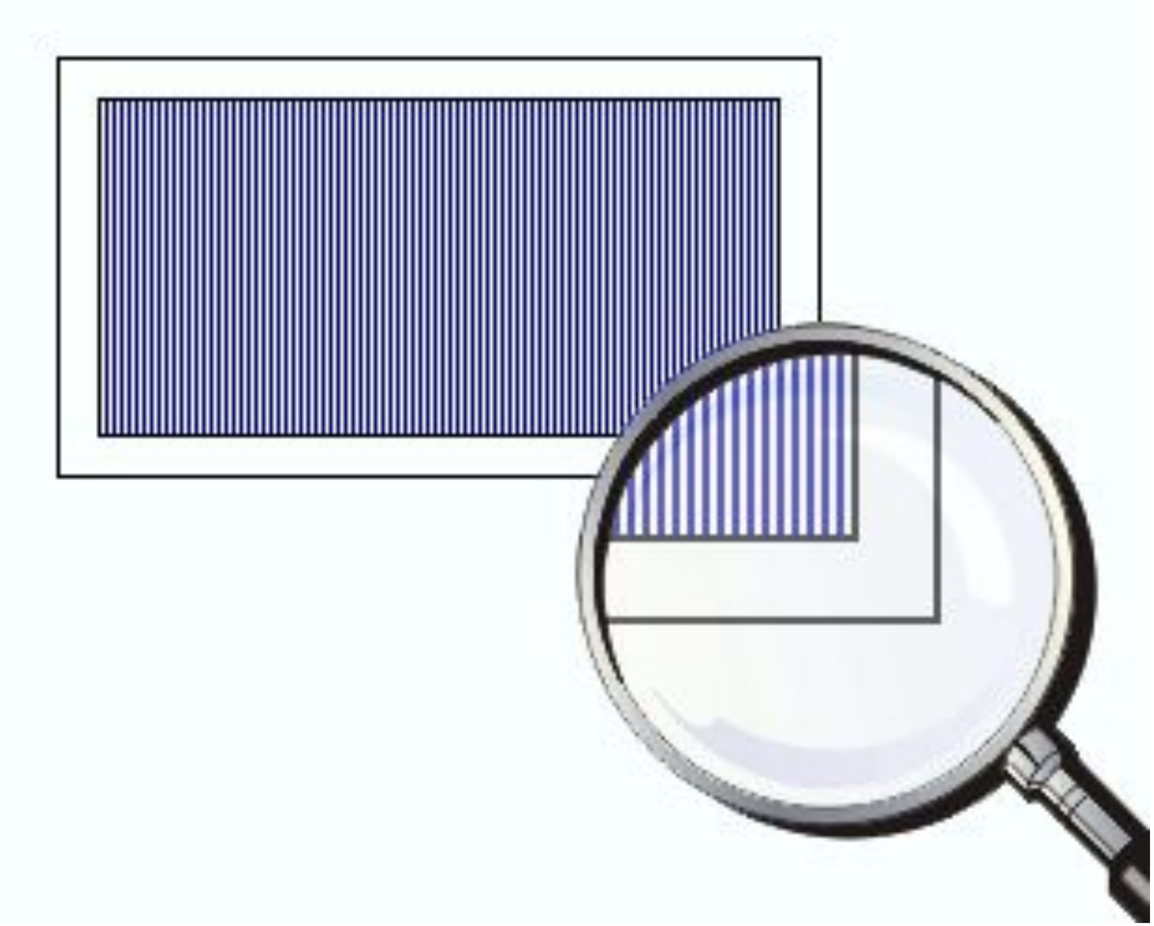



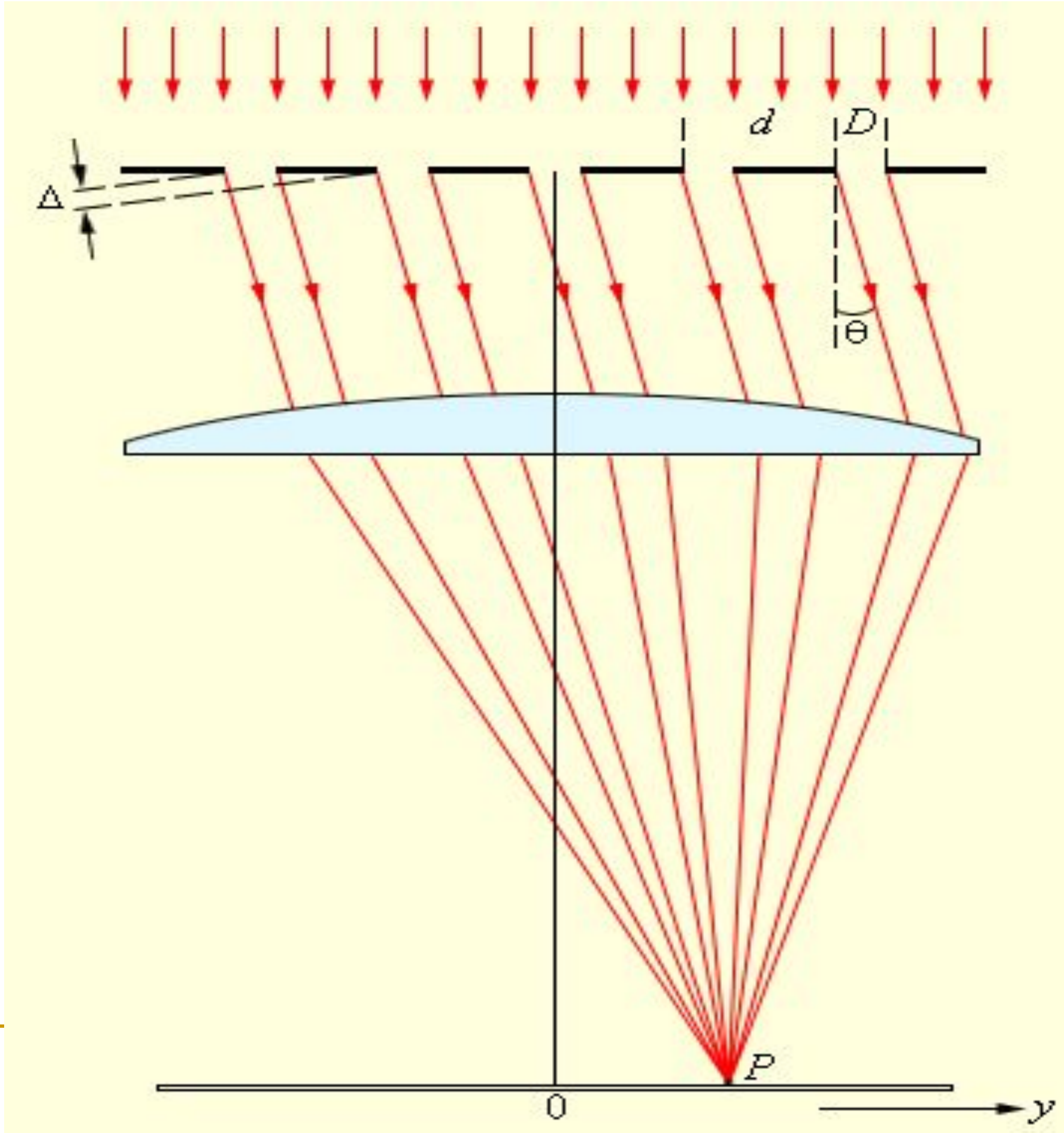
Препятствие
Шарик
Круглое отвер
Щель
Игла
-10 мм
0 мм
10 мм
L
b = 2.7 мм
λ = 454 нм

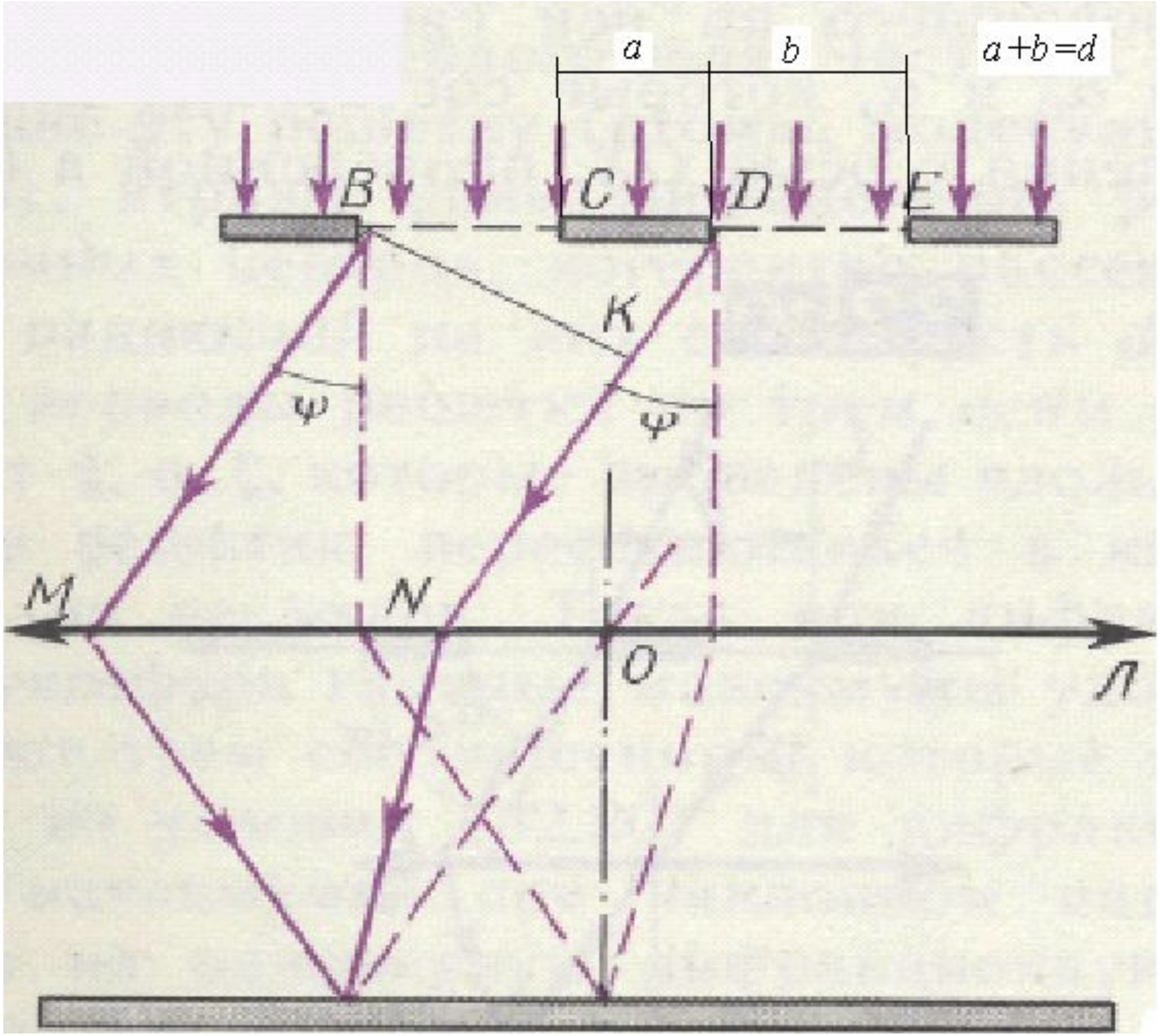



Препятствие
Шарик
Круглое отвер
Щель
Игла
-10 мм
0 мм
10 мм
L
b = 2.7 мм
λ = 636 нм

# Дифракция света от многих щелей. Дифракционная решетка




d
D
Δ
θ
P
0
y


a
b
a+b=d
B
C
D
E
K
φ
φ
M
N
O
Л

В тех направлениях, в которых ни одна из щелей не распространяет свет, будут наблюдаться минимумы с нулевыми значениями интенсивности

$b\sin\varphi = 2m(\lambda/2)$ - условие главных минимумов

$m = \pm 1, \pm 2, \ldots$ - порядок главного минимума

Действие одной щели будет усиливаться остальными щелями, если

$\Delta = DK = BD\sin\phi = d\sin\phi$

$\Delta = m\lambda$

$d\sin\varphi = m\lambda$ - условие главных максимумов

где $m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$ - порядок главного максимума

Вследствие взаимной интерференции световых лучей от $N$ щелей максимумы будут наблюдаться не во всех тех направлениях, в которых они наблюдались в случае одной щели. В некоторых направлениях они будут взаимно уничтожаться, т.е. между соседними главными максимумами возникает $N$ -1 добавочных минимумов.

Минимум будет наблюдаться в том случае, если колебания, идущие от первой и последней щелей будут отличаться по фазе на $2\pi$, т.е. $N\delta = 2\pi$

$$\left.\begin{array}{l} \delta = \dfrac{2\pi}{N} \\ \\ \delta = \dfrac{2\pi}{\lambda}\Delta \end{array}\right\} \Delta = \frac{\lambda}{N}$$

- разность хода двух лучей от соответствующих участков соседних щелей

$$\Delta = dsin\phi$$

$$d\sin\varphi = p\frac{\lambda}{N}$$

- условие дополнительных минимумов

$(p=\pm 1, \pm 2, \ldots \pm (N-1)m, \pm (N+1)m$

Амплитуда колебаний светового вектора

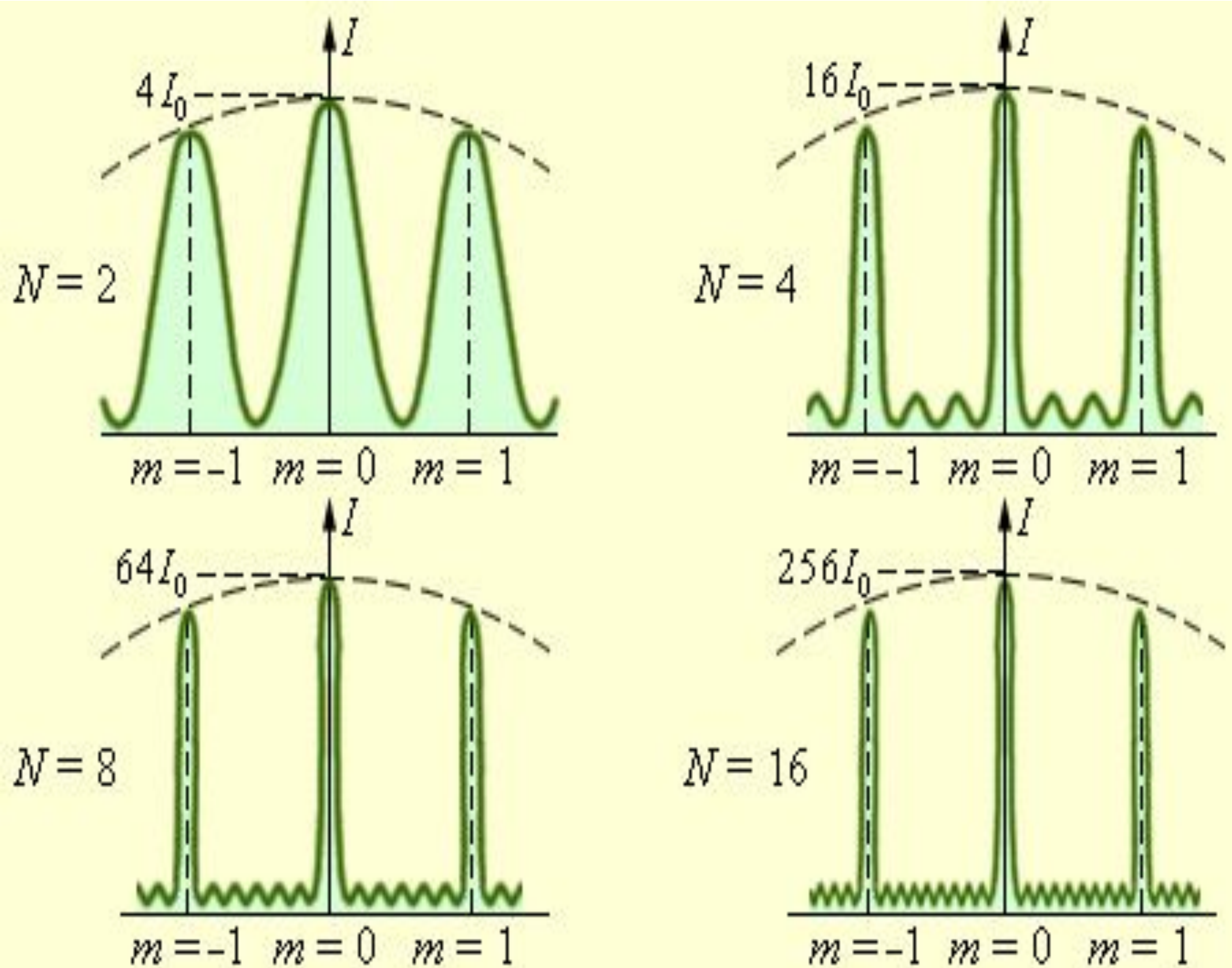
$$A_{max} = NA_0$$

где $A_0$ - амплитуда колебаний, посылаемых одной щелью под углом $\phi$

Интенсивность главных максимумов

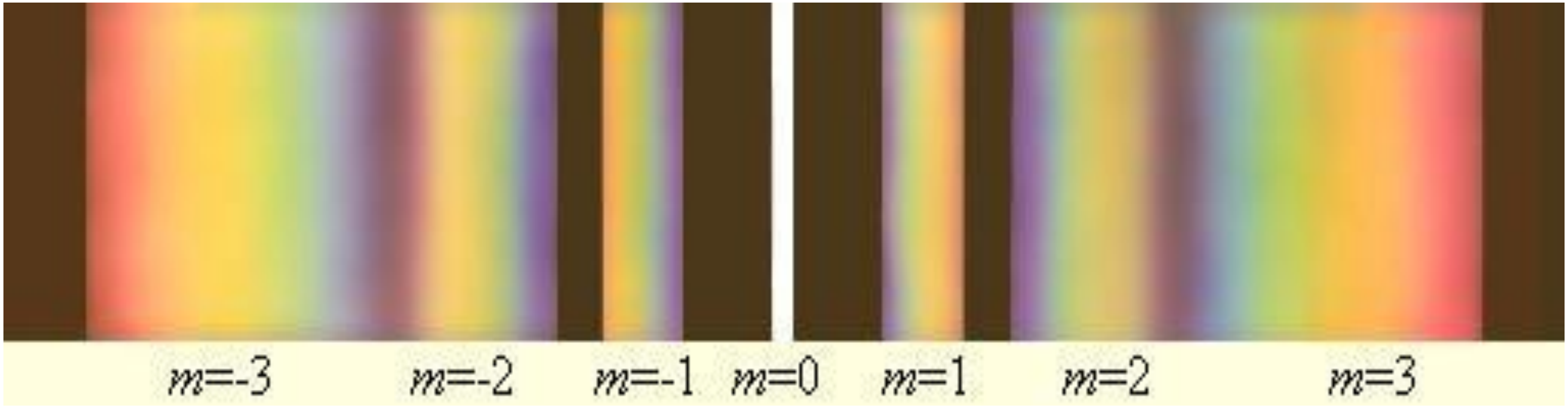
$$I_{max} = N^2 I_0$$

С увеличением числа щелей помимо роста интенсивности происходит резкое сужение главных максимумов

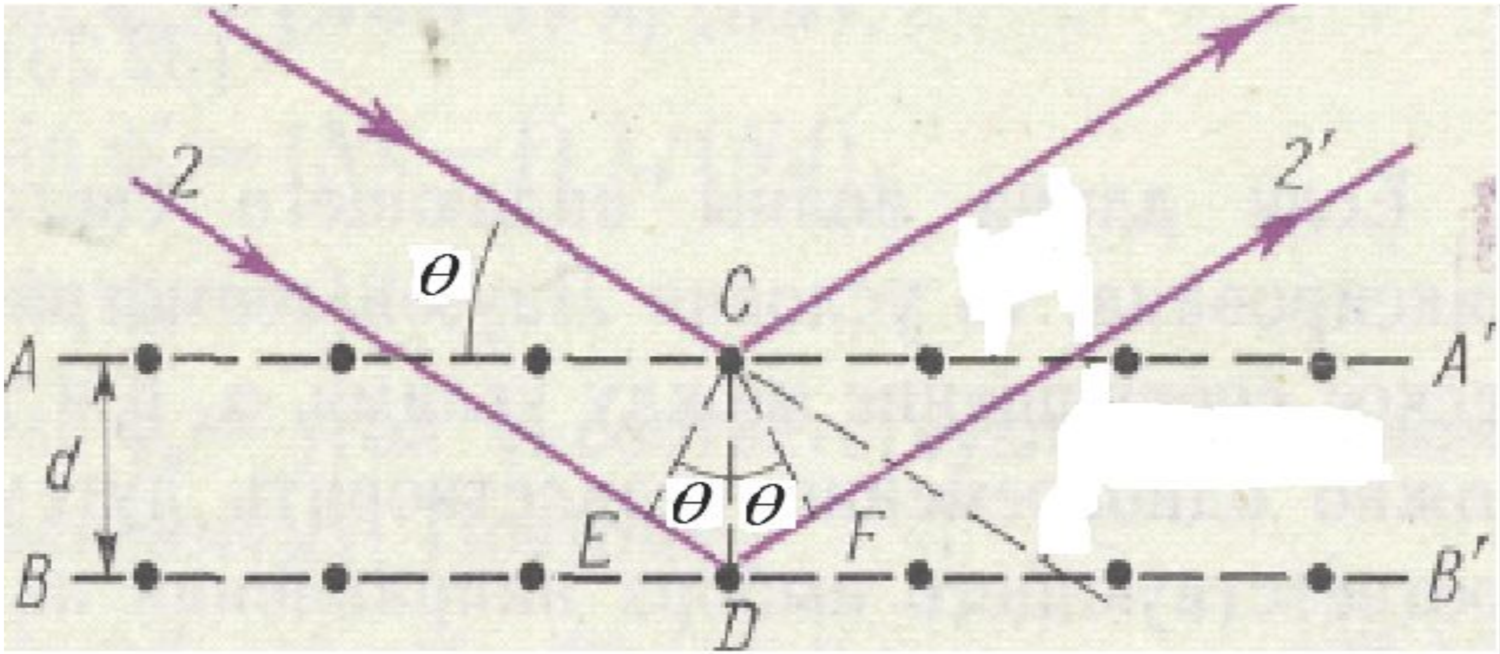


$I$
$4I_0$
$N = 2$
$m = -1$ $m = 0$ $m = 1$
$I$
$16I_0$
$N = 4$
$m = -1$ $m = 0$ $m = 1$
$I$
$64I_0$
$N = 8$
$m = -1$ $m = 0$ $m = 1$
$I$
$256I_0$
$N = 16$
$m = -1$ $m = 0$ $m = 1$

# Разложение белого света в спектр с помощью дифракционной решетки



# Дифракция на пространственной решетке



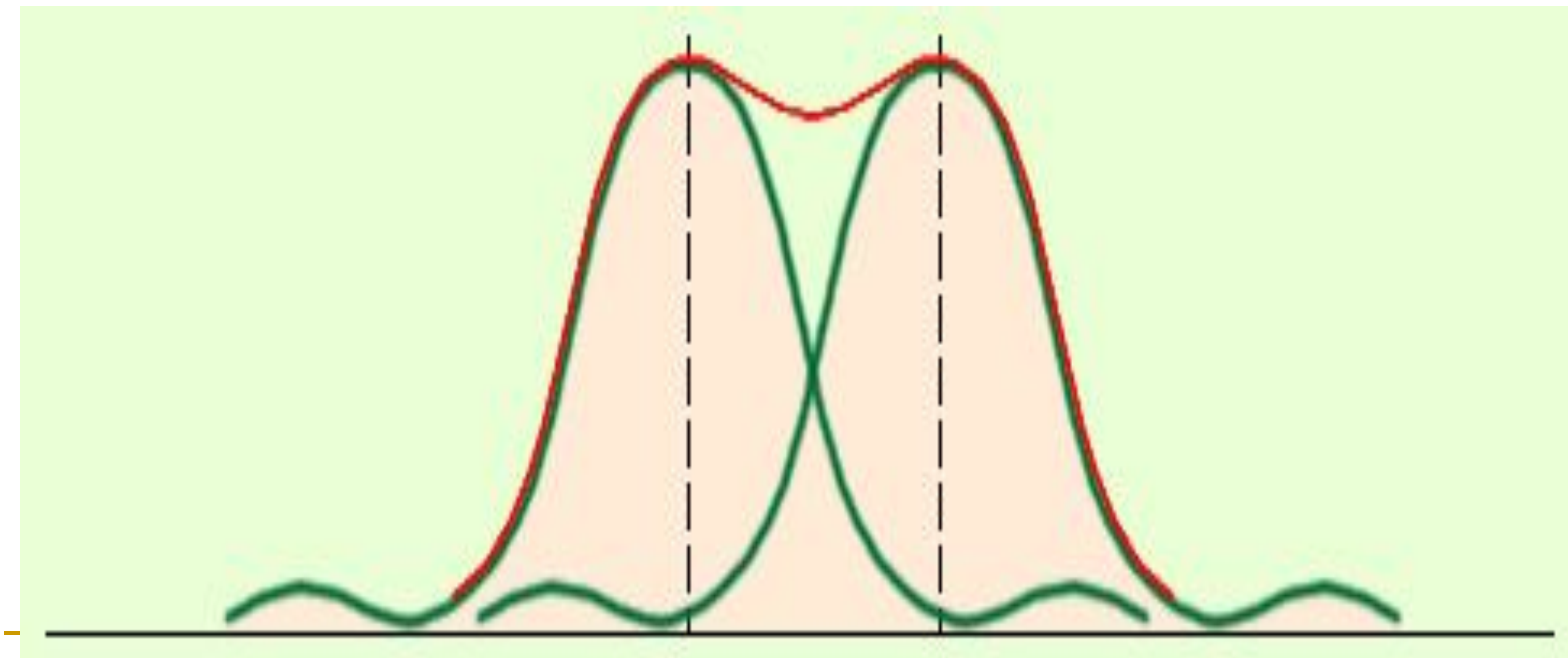

$$\Delta = ED + DF = 2d\sin\theta$$

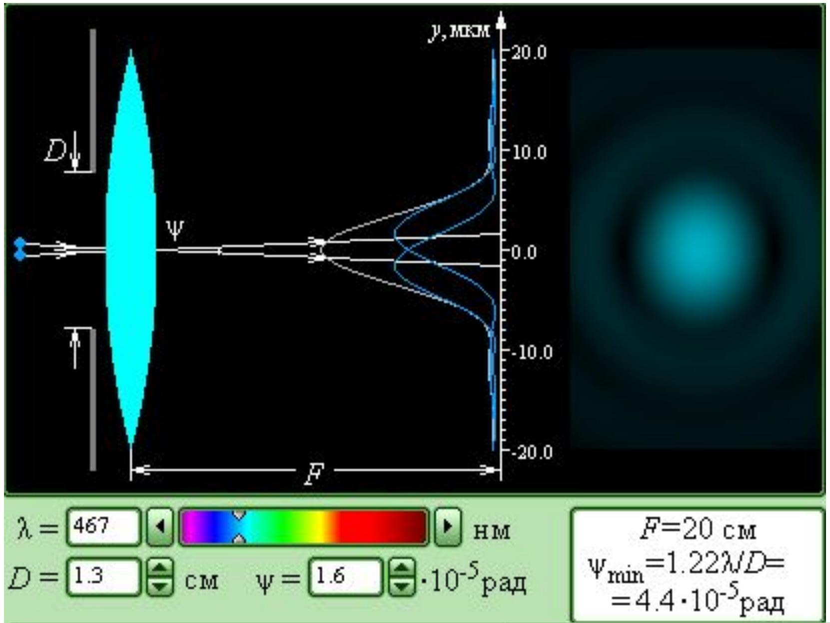
$$\boxed{2d\sin\theta = m\lambda}$$ - формула Вульфа – Брэгга

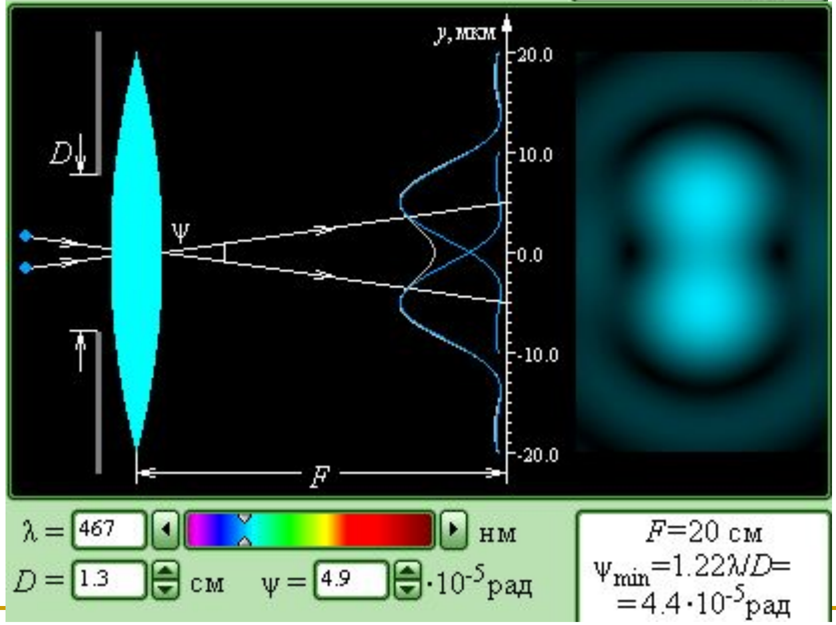
# Разрешающая способность оптических приборов

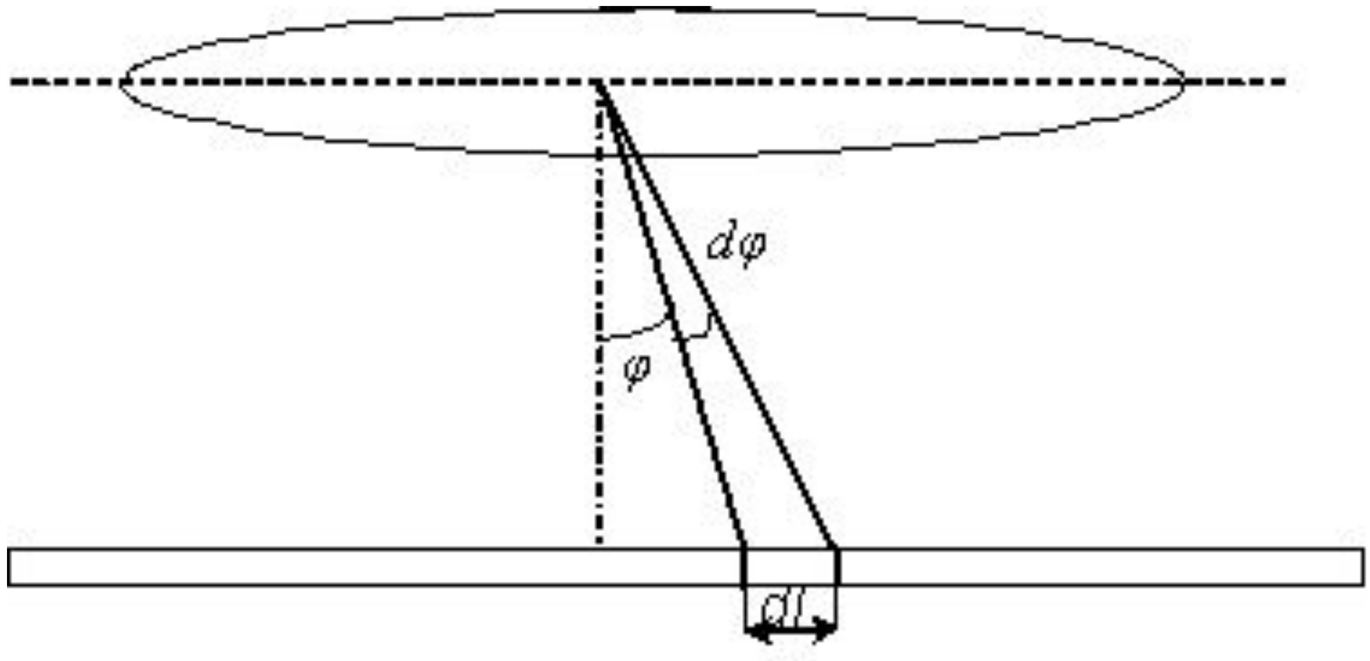
**Разрешающая способность** это способность давать раздельные изображения двух близких друг к другу точек объекта

По критерию Релея две близлежащие спектральные линии с равными интенсивностями можно видеть раздельно, если центральный максимум дифракционной картины одной длины волны $\lambda_1$ совпадает с первым минимумом другой $\lambda_2$




y, мкм
20.0
10.0
0.0
-10.0
-20.0
D
ψ
F
λ = 467 нм
D = 1.3 см
ψ = 1.6 ·10-5рад
F=20 см
ψmin=1.22λ/D=
=4.4·10-5рад


y, мкм
20.0
10.0
0.0
-10.0
-20.0
D
ψ
F
λ = 467 нм
D = 1.3 см
ψ = 4.9 ·10-5рад
F=20 см
ψmin=1.22λ/D=
=4.4·10-5рад




**1. Угловая дисперсия**

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda}$$

$d\varphi$ – угловое расстояние между спектральными линиями $\lambda_1$ и $\lambda_2$, отличающимися на $d\lambda$

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

$$d\cos\varphi d\varphi = m d\lambda$$

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{m}{d\cos\varphi} = \frac{\sin\varphi}{\lambda\cos\varphi}$$

Угловая дисперсия не зависит от параметров решетки

**2.Разрешающая способность**

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

$d\lambda$ - наименьшая разность длин волн двух спектральных линий, при которой они видны как раздельные

По Рэлею $R = mN$

Дифракционная решетка будет разрешать две спектральные линии, если

$$mN \geq \frac{\lambda}{d\lambda}$$