

**Интерференция**

**Дифракция**

Волновая оптика

# **Основные законы оптики**

## **Закон прямолинейного распространения света**

Свет в оптически однородной среде распространяется прямолинейно

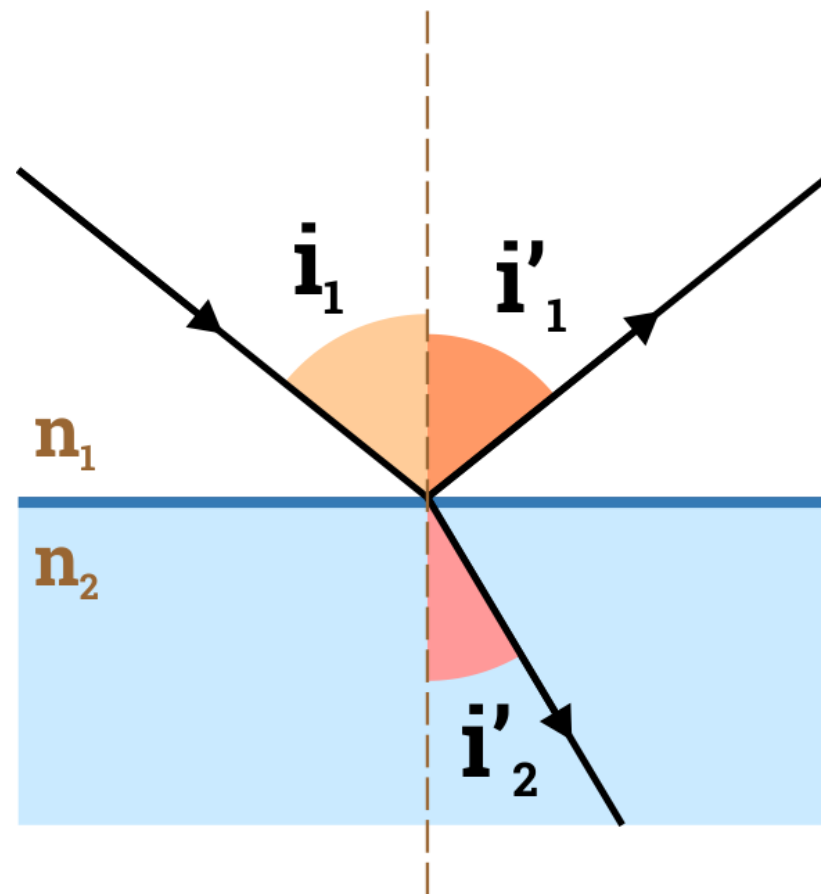
## **Закон независимости световых пучков**

Эффект, производимый отдельным пучком, не зависит от того, действуют ли одновременно остальные пучки или они устранены.

# Закон отражения

Отраженный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведенным к границе раздела двух сред в точке падения

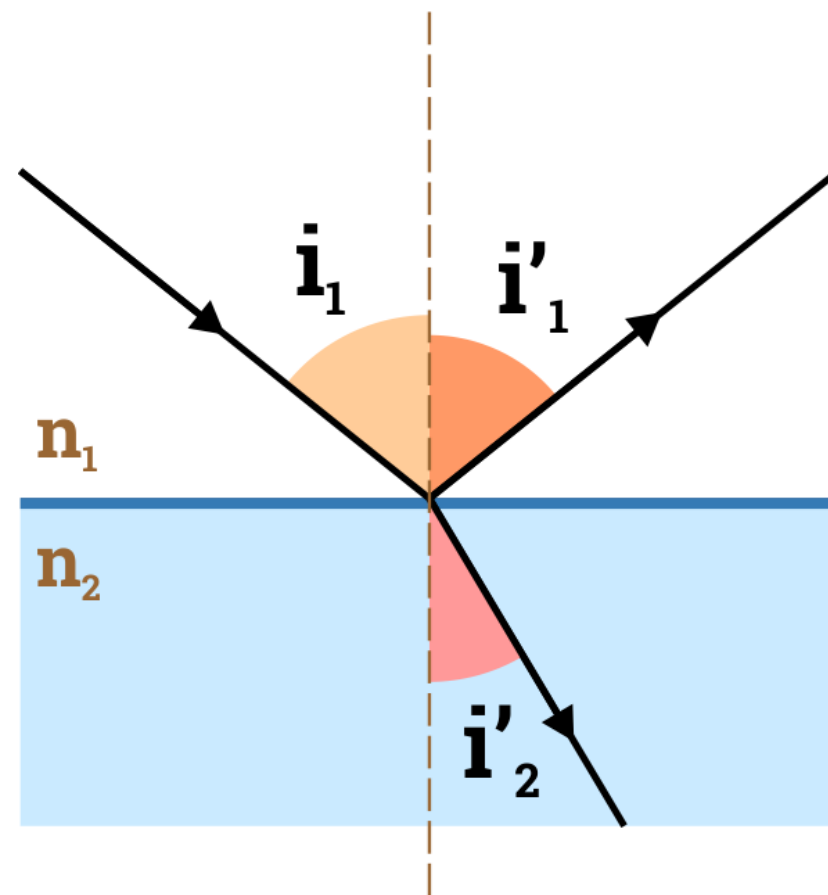
Угол отражения равен углу падения



# Закон преломления

Луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный к границе раздела в точке падения, лежат в одной плоскости

Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных сред



$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

# Показатель преломления

**Относительный показатель преломления** двух сред равен отношению их абсолютных показателей преломления

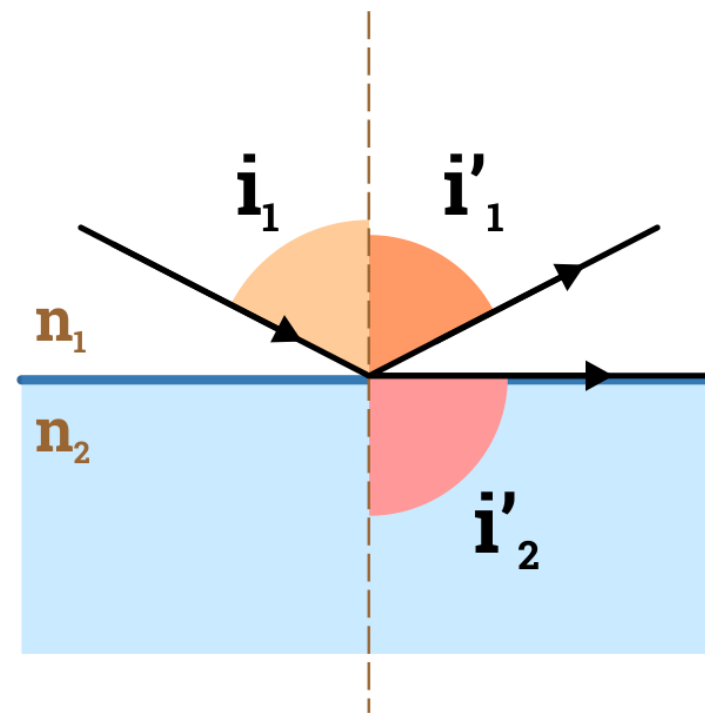
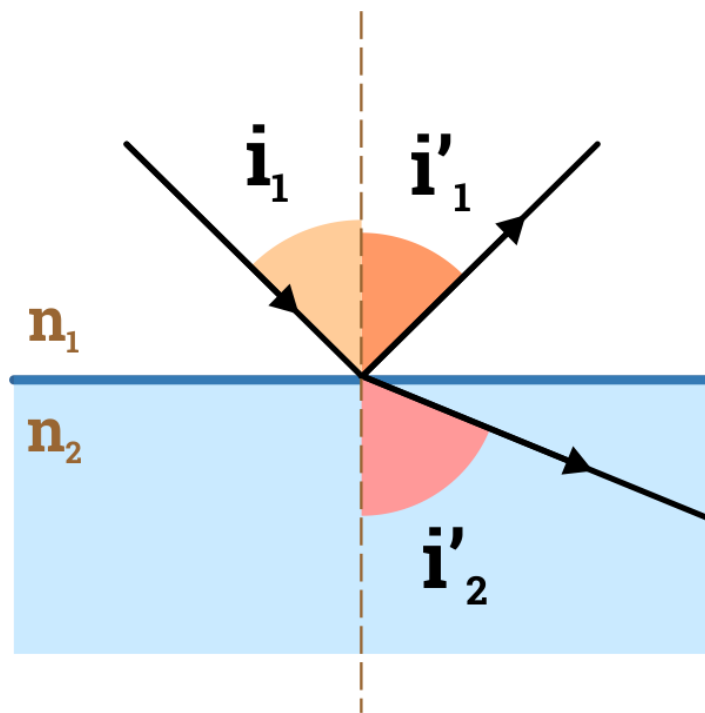
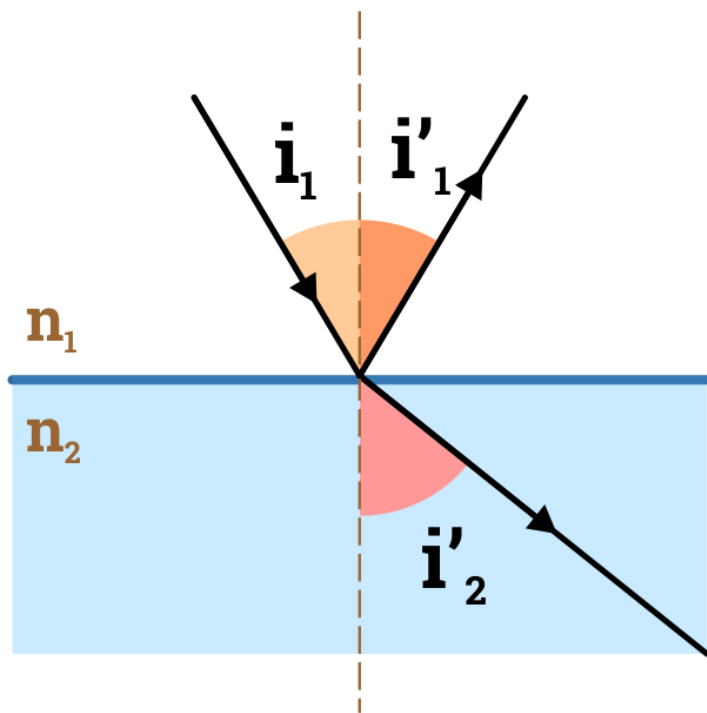
$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$$

# Показатель преломления

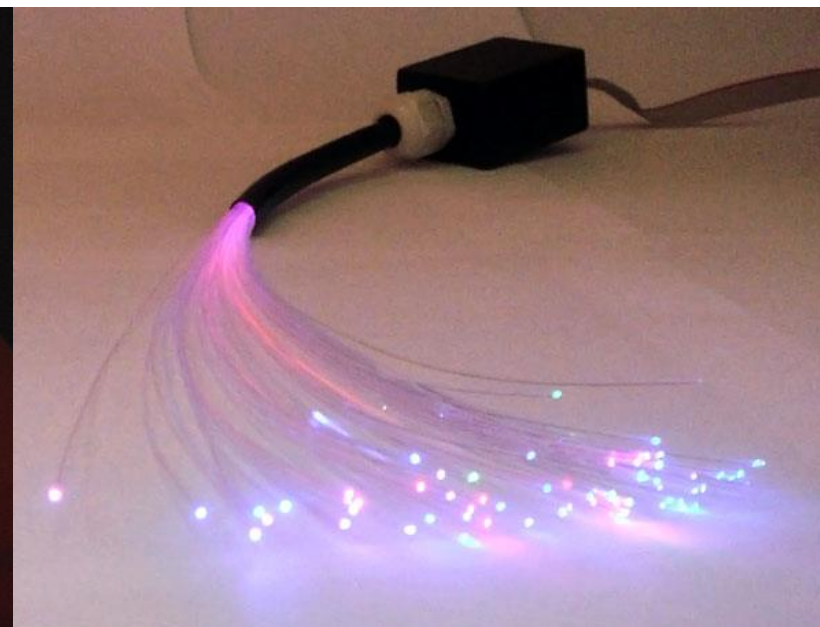
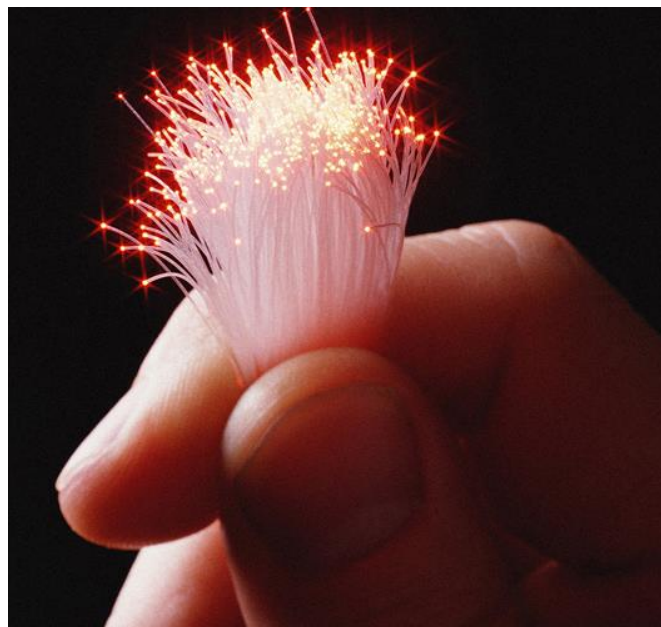
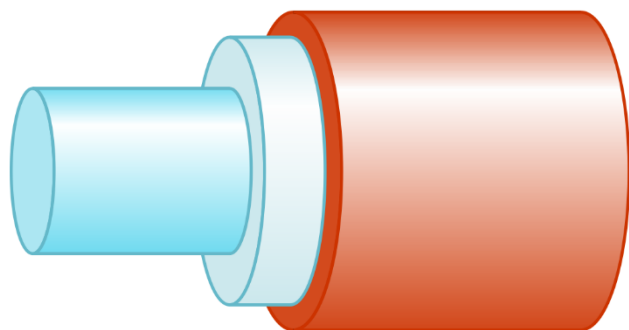
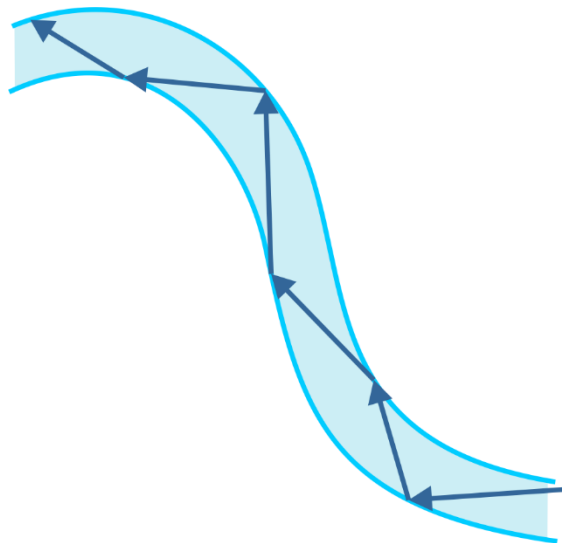
**Абсолютным показателем преломления** среды называется величина  $n$ , равная отношению скорости  $c$  электромагнитных волн в вакууме к их фазовой скорости  $v$  в среде

$$n = \frac{c}{v}$$

# Полное отражение



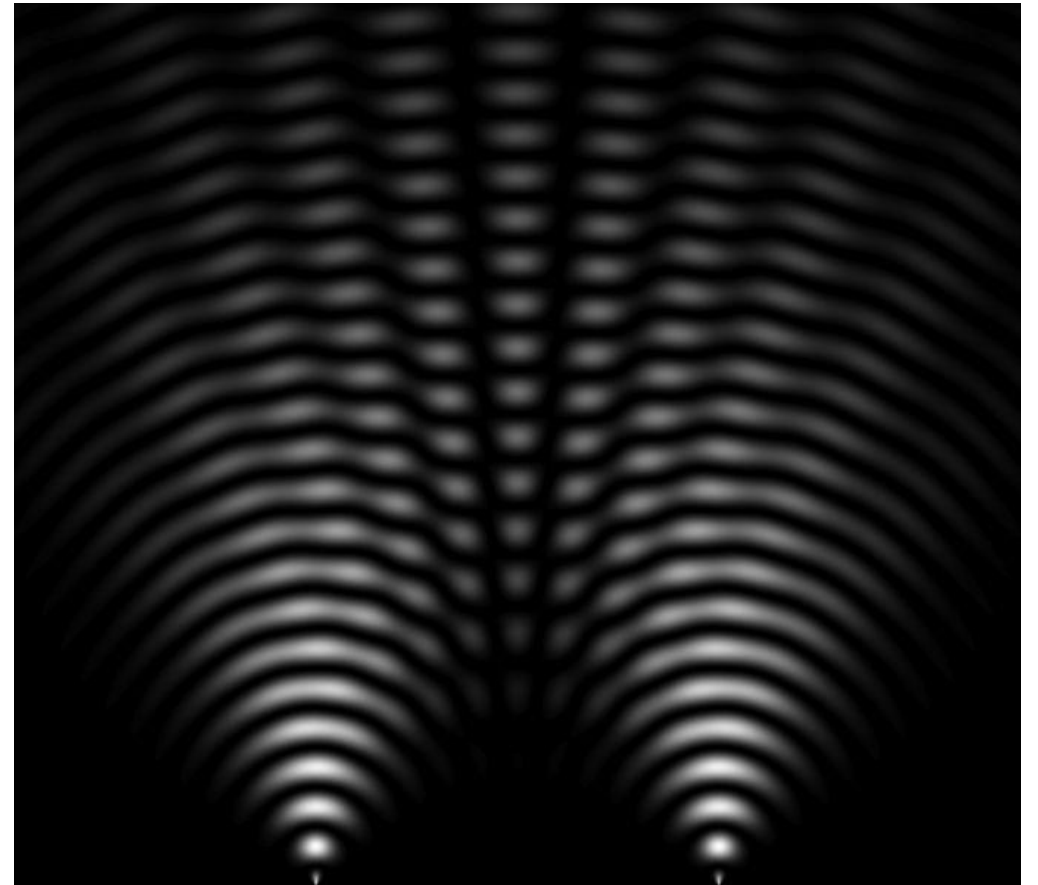
# Оптоволоконный кабель





# Интерференция волн

– сложение в пространстве  
2-х или более  
**когерентных волн**, при  
котором в разных точках  
пространства  
**наблюдается усиление**  
или **ослабление**  
**результатирующей волны**



# Когерентность

– согласованное протекание во времени и пространстве нескольких колебательных или волновых процессов

**Когерентные волны** – волны, одинаковой частоты, разность фаз которых постоянна

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

$$S = A \cos(\omega t - kx + \varphi_0)$$

$$\Delta\varphi = (\omega t - kx_2 + \varphi_{02}) - (\omega t - kx_1 + \varphi_{01})$$

Когерентность колебаний, которые совершаются в одной и той же точке пространства, определяемая степенью монохроматичности волн, называется **временной когерентностью**

Наряду с временной когерентностью для описания когерентных свойств волн в плоскости, перпендикулярной направлению их распространения, вводится понятие **пространственной когерентности**

**Радиусом когерентности (или длиной пространственной когерентности)** называется максимальное поперечное направлению распространения волны расстояние, на котором возможно проявление интерференции.

$$r_{\text{ког}} \approx \frac{\lambda}{\varphi}$$

# Интерференция света

$$\begin{cases} E_1 = E_{01} \cos \varphi_1 \\ E_2 = E_{02} \cos \varphi_2 \end{cases}$$

$$E^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$

$$I \sim E^2$$

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$

# Метод разделения волны

$$\delta = \omega \left( \frac{S_2}{v_2} - \frac{S_1}{v_1} \right) = \frac{2\pi}{\lambda_0} (S_2 n_2 - S_1 n_1)$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda_0} (L_2 - L_1) = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta$$

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$

Условие интерференционного **максимума**

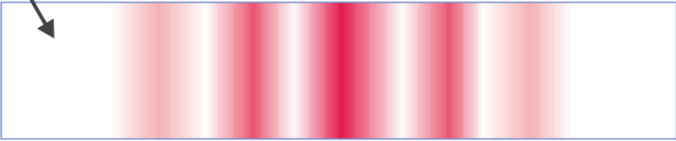
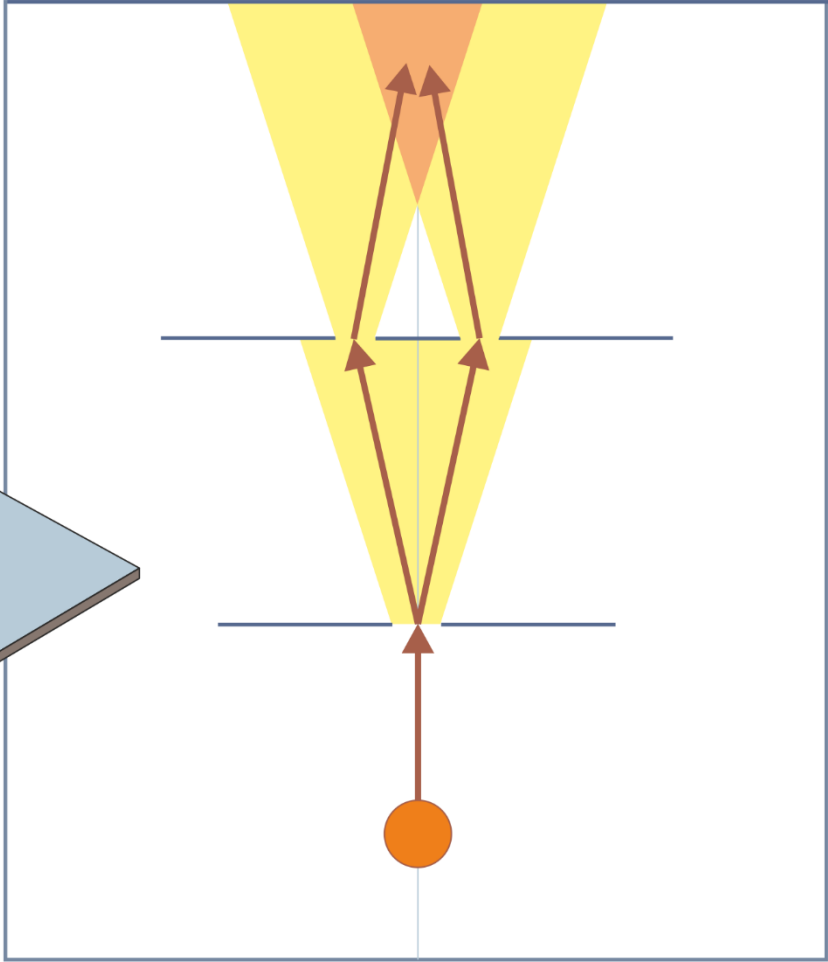
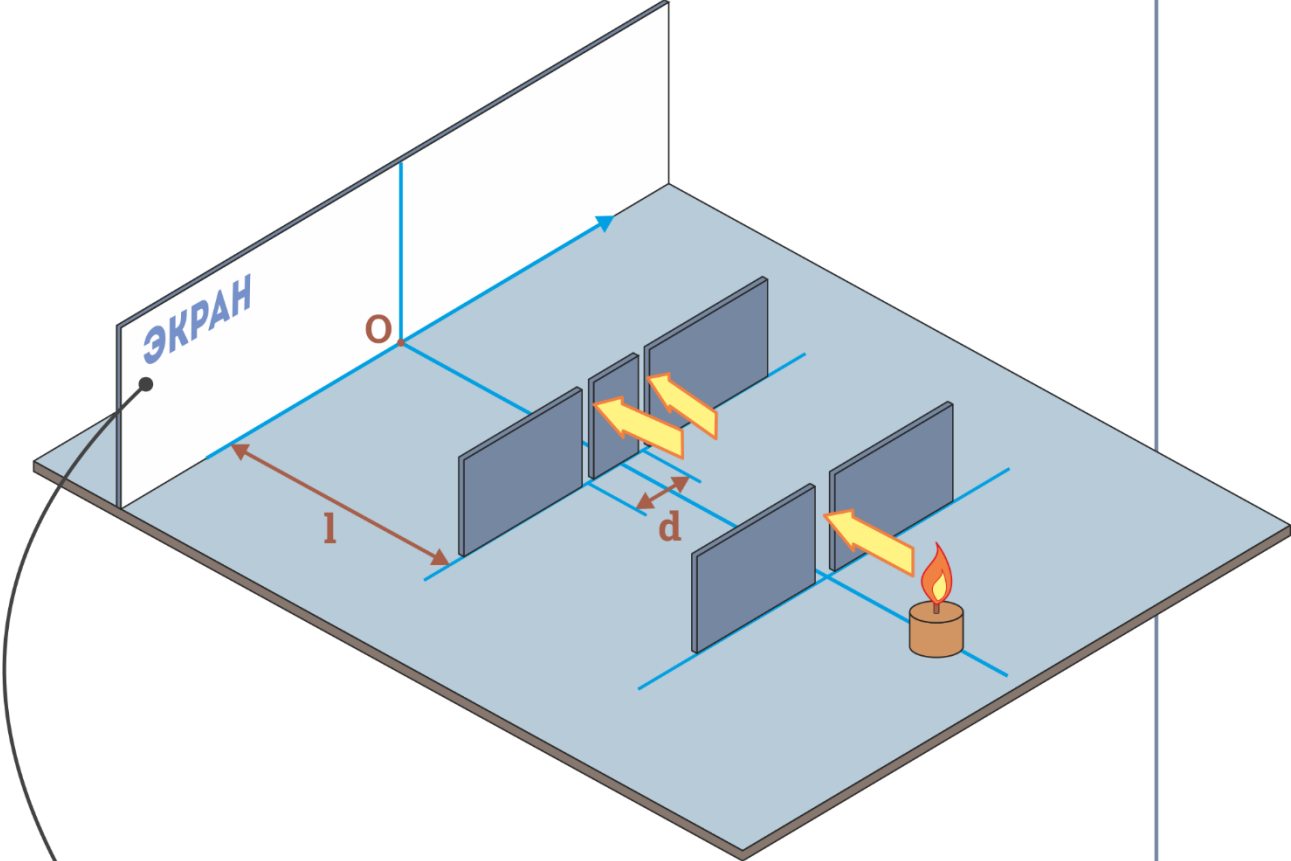
$$\Delta = \pm m\lambda$$

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

Условие интерференционного **минимума**

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

# ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЙ ОПЫТ ЮНГА



ВНЕШНИЙ ВИД

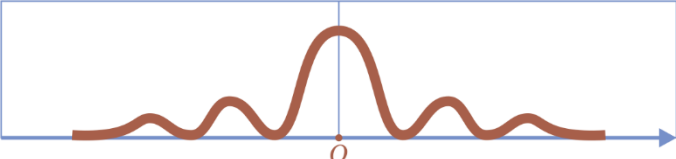
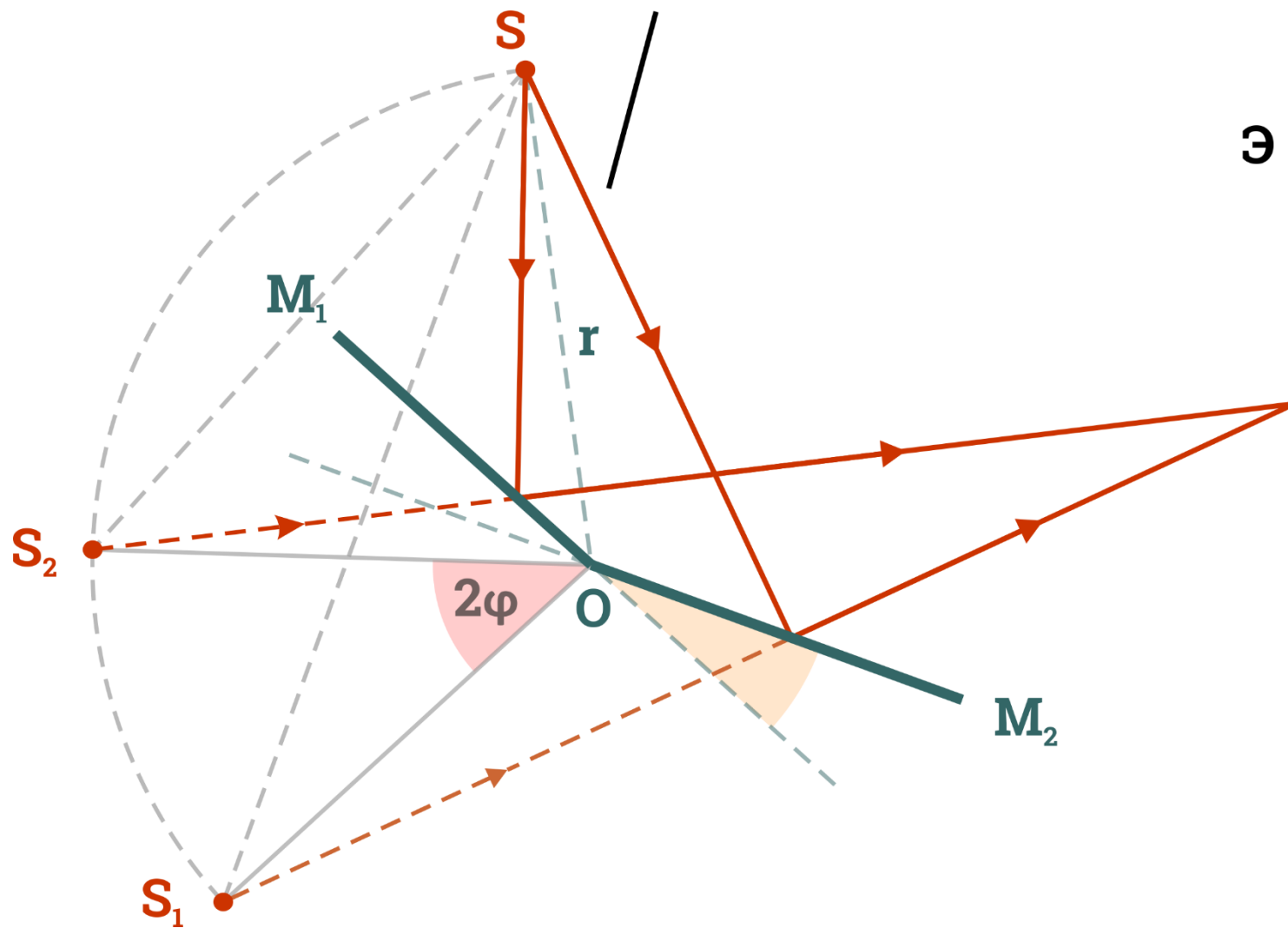


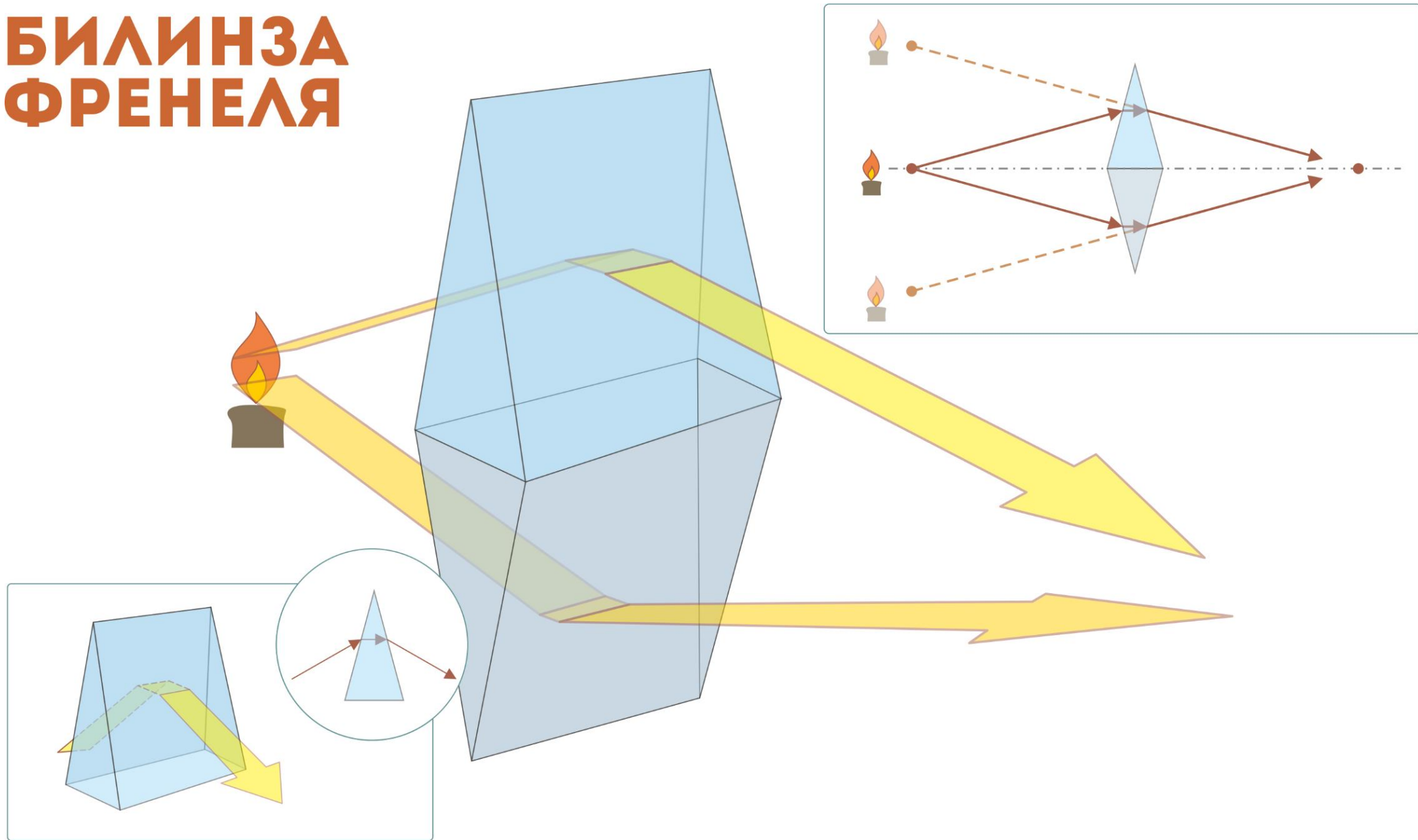
ГРАФИК ИНТЕНСИВНОСТИ



# ЗЕРКАЛА ФРЕНЕЛЯ



# БИЛИНЗА ФРЕНЕЛЯ



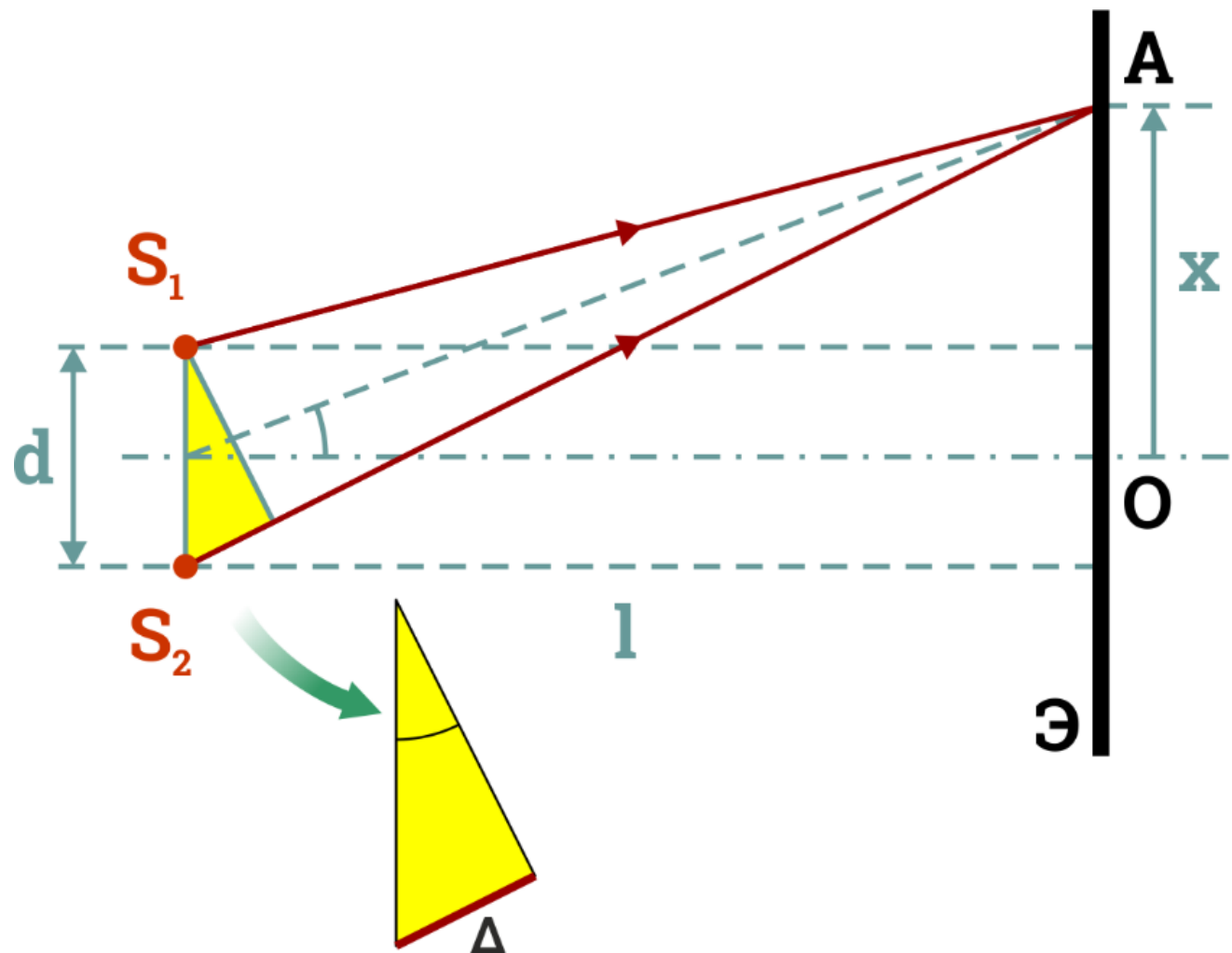
# Расчет интерференционной картины

$$S_1^2 = l^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2$$

$$S_2^2 = l^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2$$

$$\Delta = S_2 - S_1 = \frac{2xd}{S_1 + S_2}$$

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

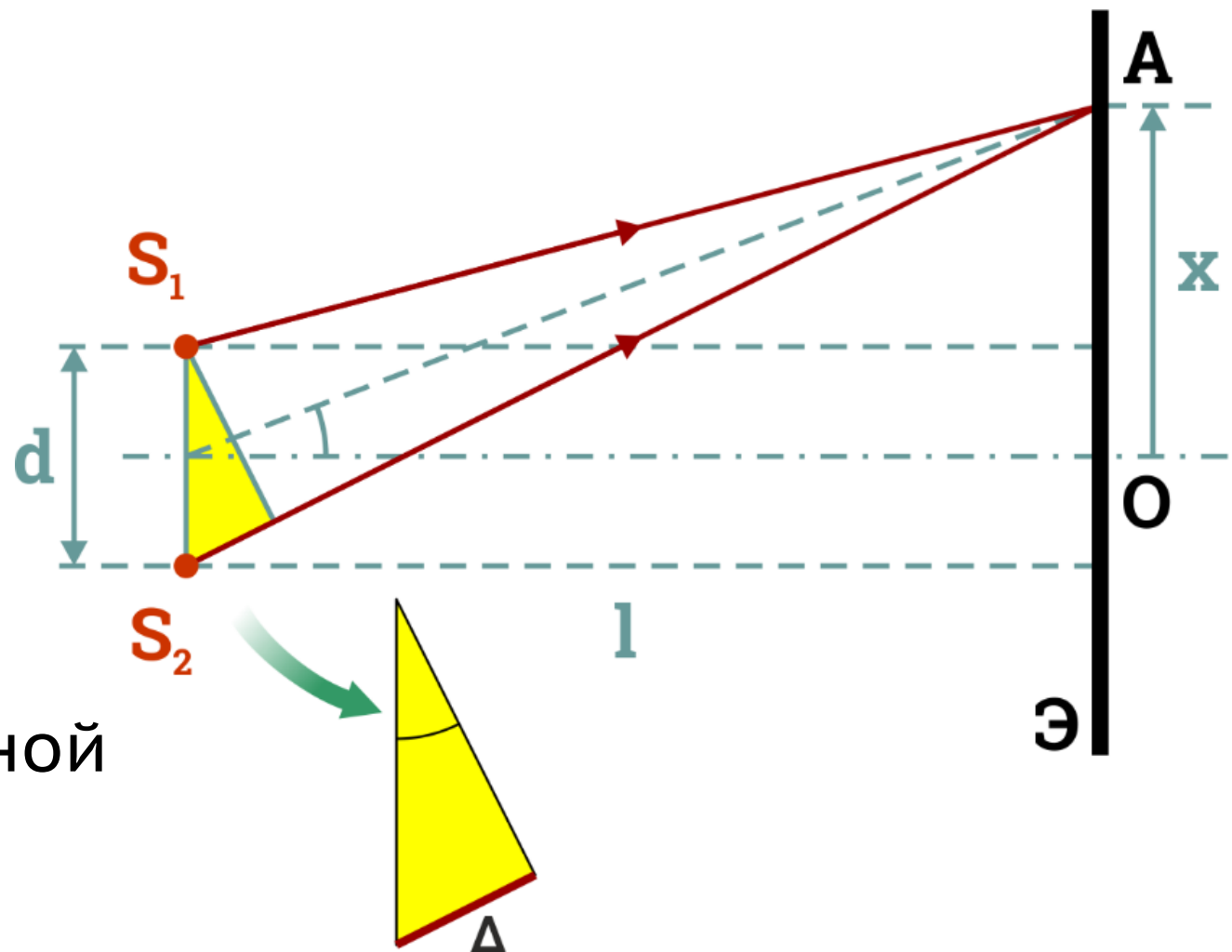


$$x_{max} = \pm m \frac{l}{d} \lambda$$

$$x_{min} = \pm (2m + 1) \frac{l}{d} \lambda$$

Ширина интерференционной  
полосы

$$\Delta x = \frac{l}{d} \lambda$$

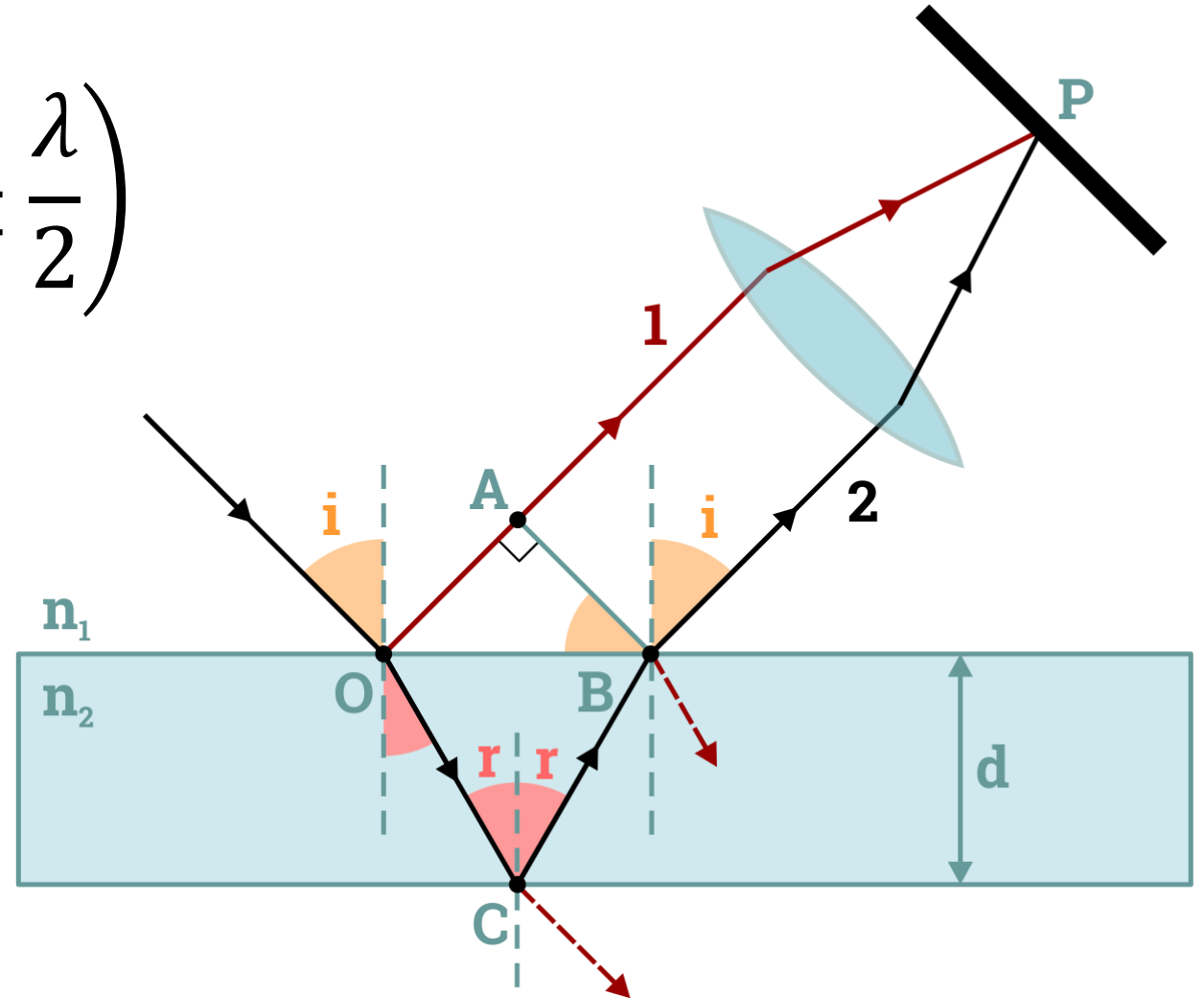


# Интерференция света в тонких пленках

$$\Delta = n(OC - CB) - \left( OA \pm \frac{\lambda}{2} \right)$$

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

$$n_1 = 1, n_2 = n$$



# Интерференция света в тонких пленках

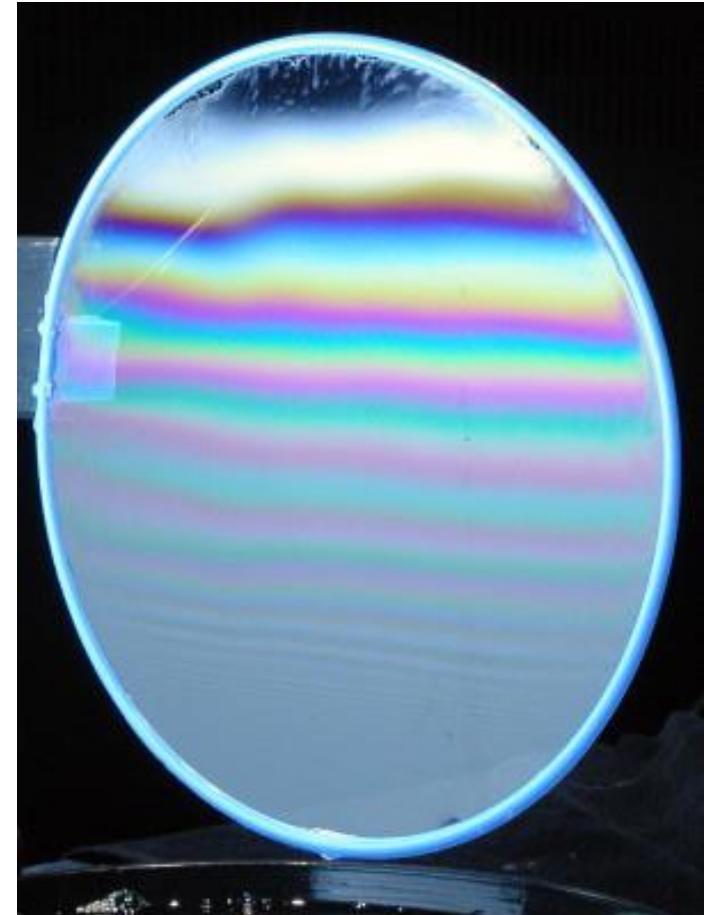
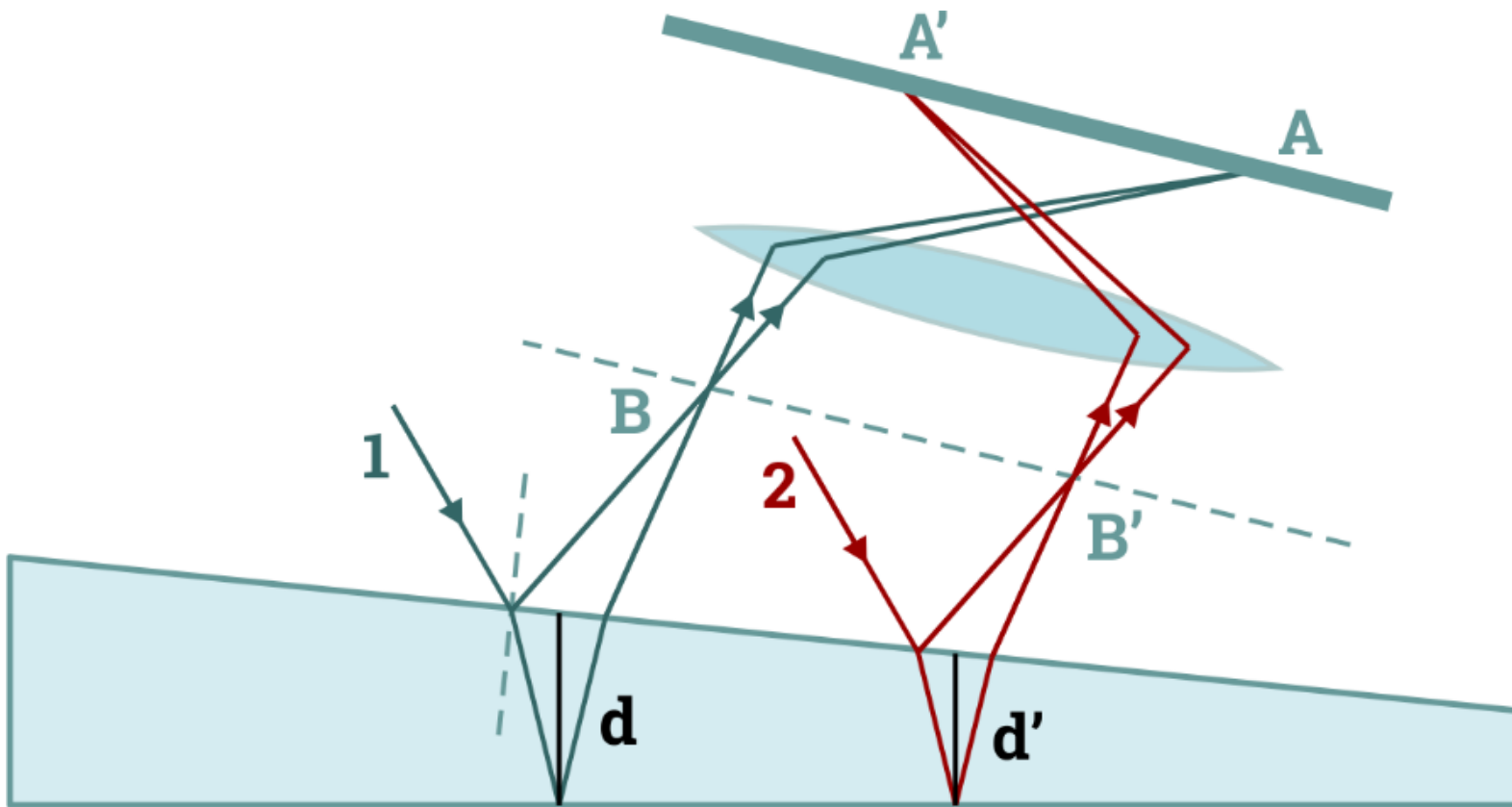
**Max**

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \pm \frac{\lambda}{2} = m\lambda, m = 0, 1, 2, \dots$$

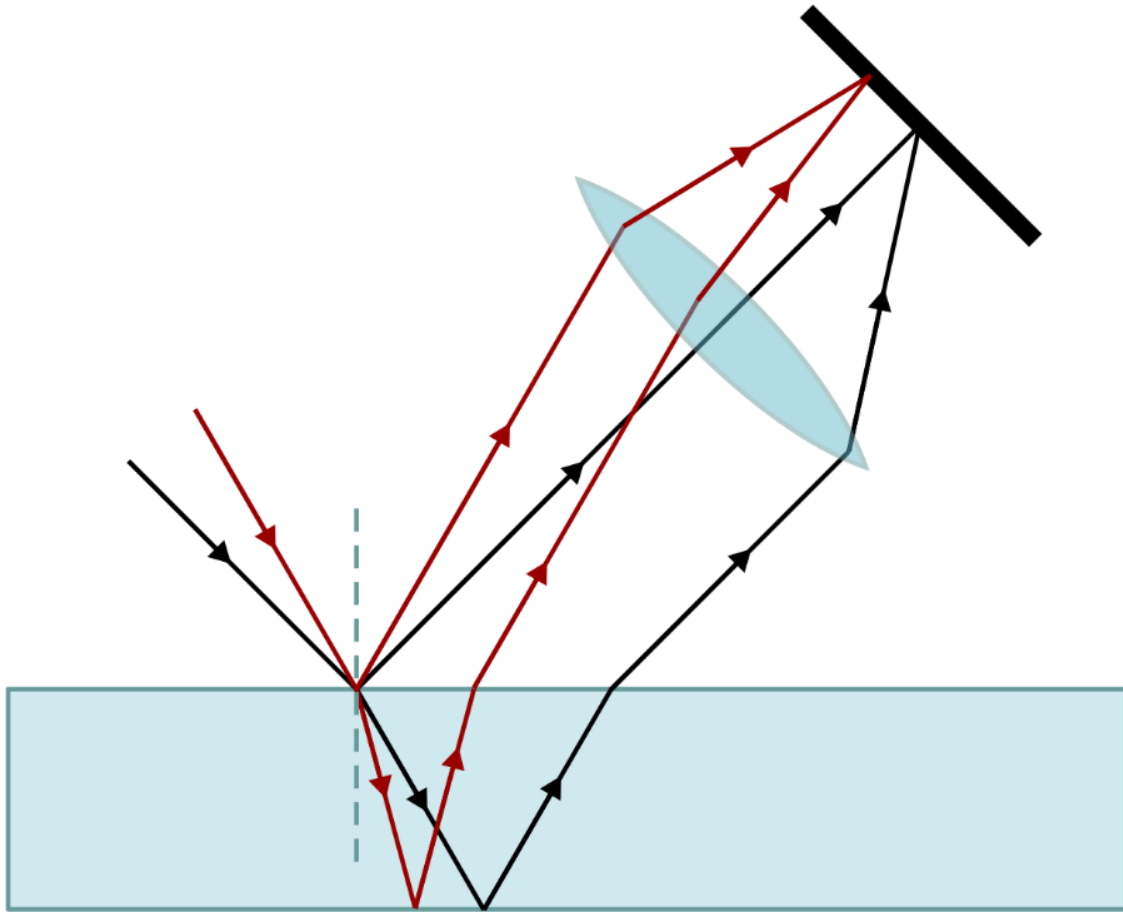
**Min**

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \pm \frac{\lambda}{2} = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}$$

# Полосы равной толщины



# Полосы равного наклона





# Кольца Ньютона

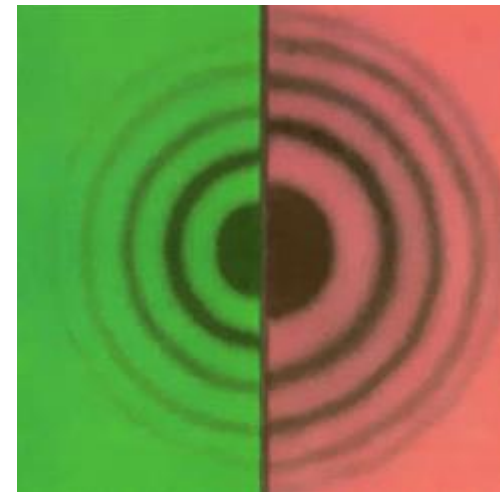
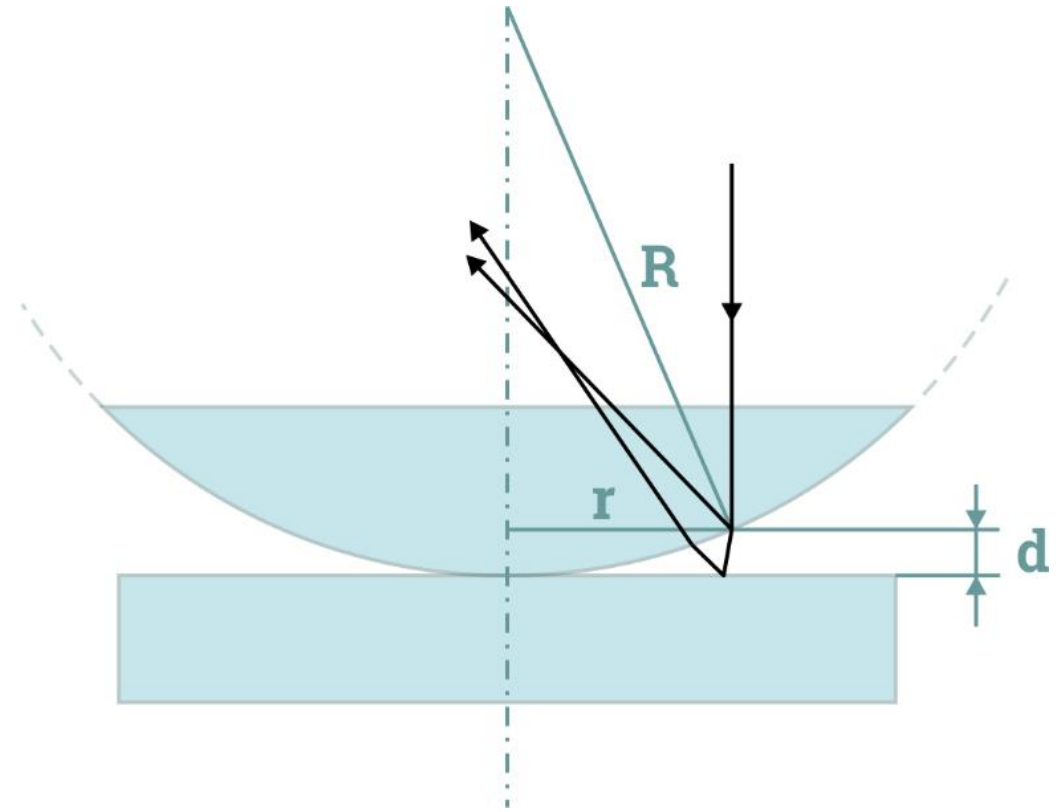
## Отраженный свет

Max (светлое кольцо)

$$r_{m \text{ Светл}} = \sqrt{(2m + 1) \frac{\lambda R}{2}}$$

Min (темное кольцо)

$$r_{m \text{ Темн}} = \sqrt{m \lambda R}$$



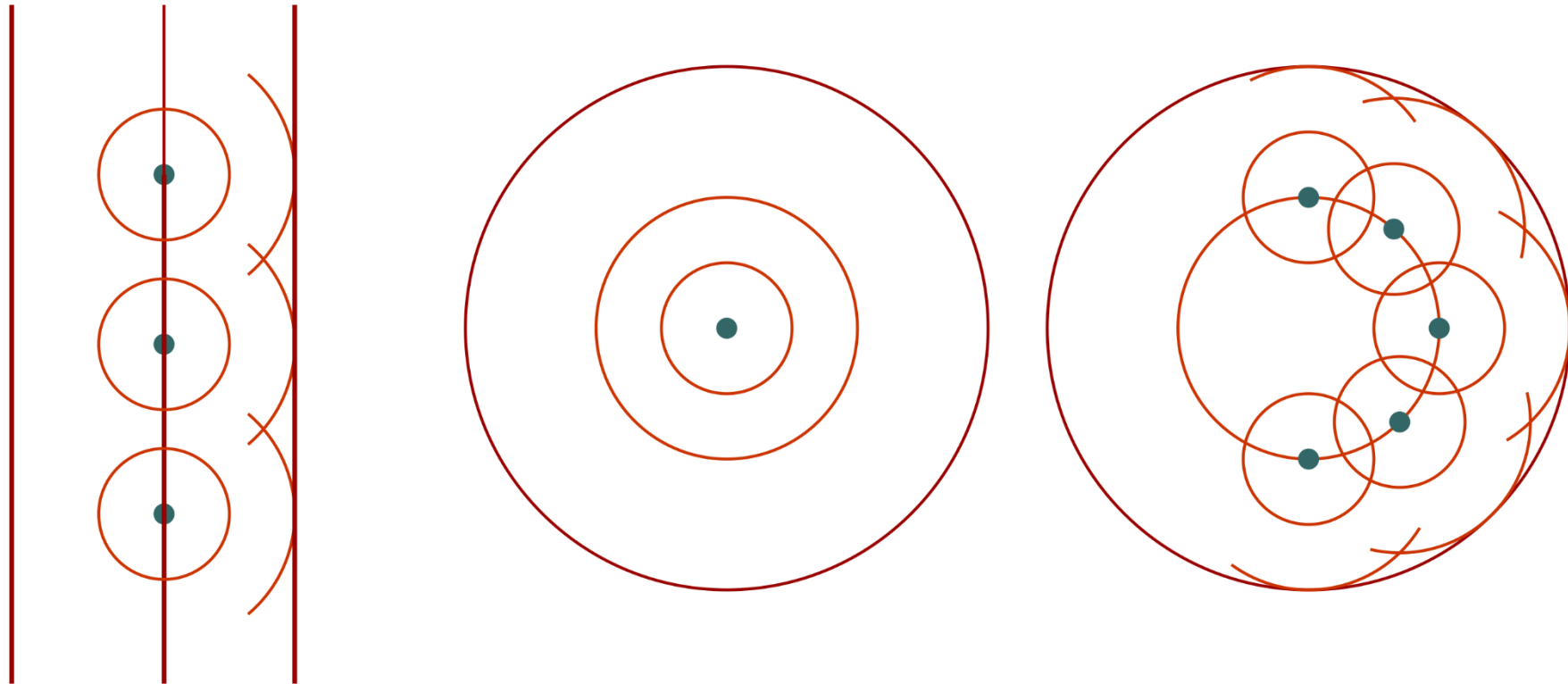
# Дифракция

**Огибание волнами препятствий,  
встречающихся на их пути**

Любое отклонение распространения  
волн вблизи препятствий от законов  
геометрической оптики

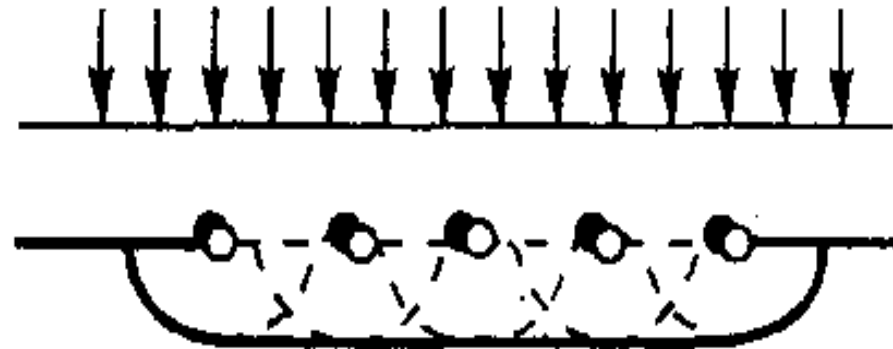
# Принцип Гюйгенса

Каждая точка, до которой доходит волна, служит центром вторичных волн, а огибающая этих волн дает положение волнового фронта в следующий момент времени.

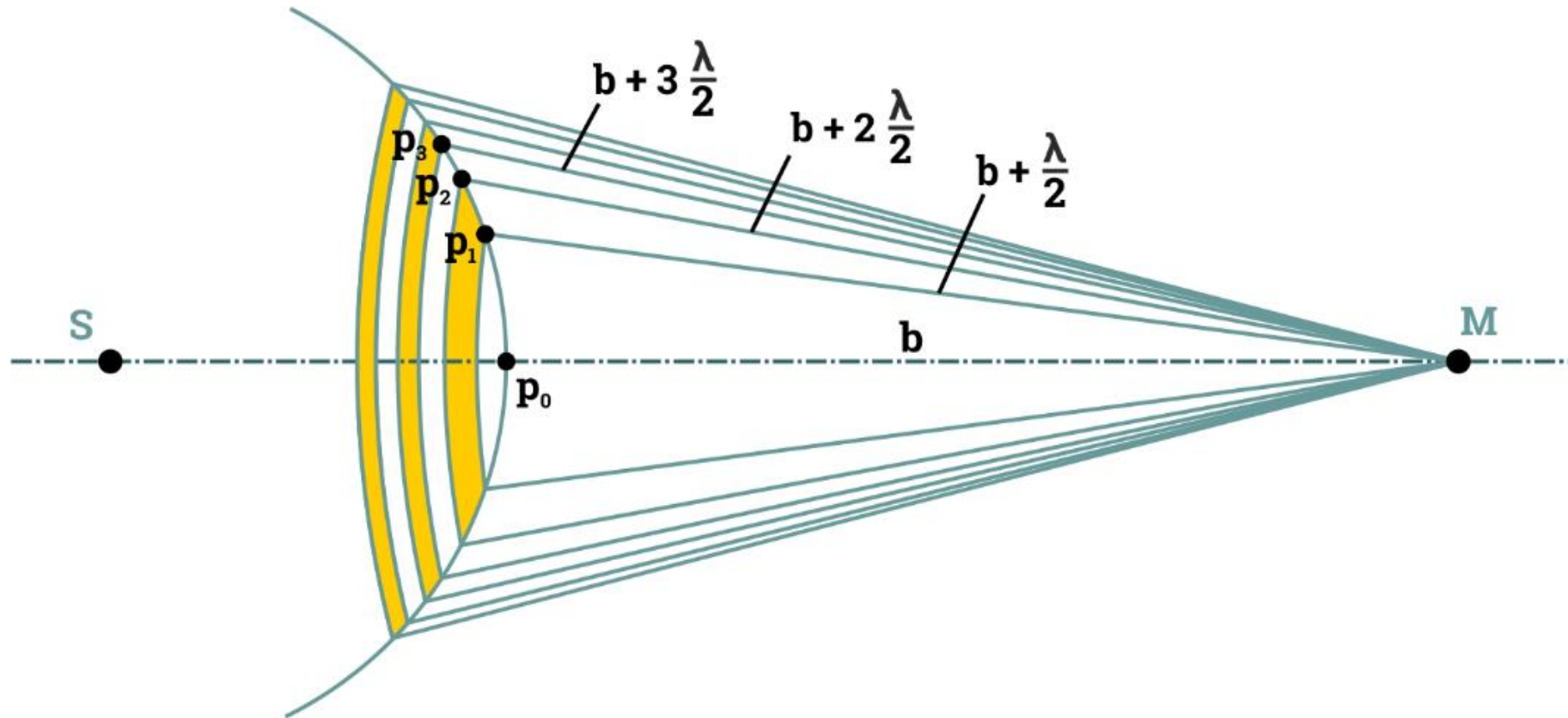


# Принцип Гюйгенса-Френеля

Световая волна, возбуждаемая каким-либо источником, может быть представлена как **результат интерференции когерентных вторичных волн**, излучаемых **фиктивными источниками** источниками



# Метод зон Френеля



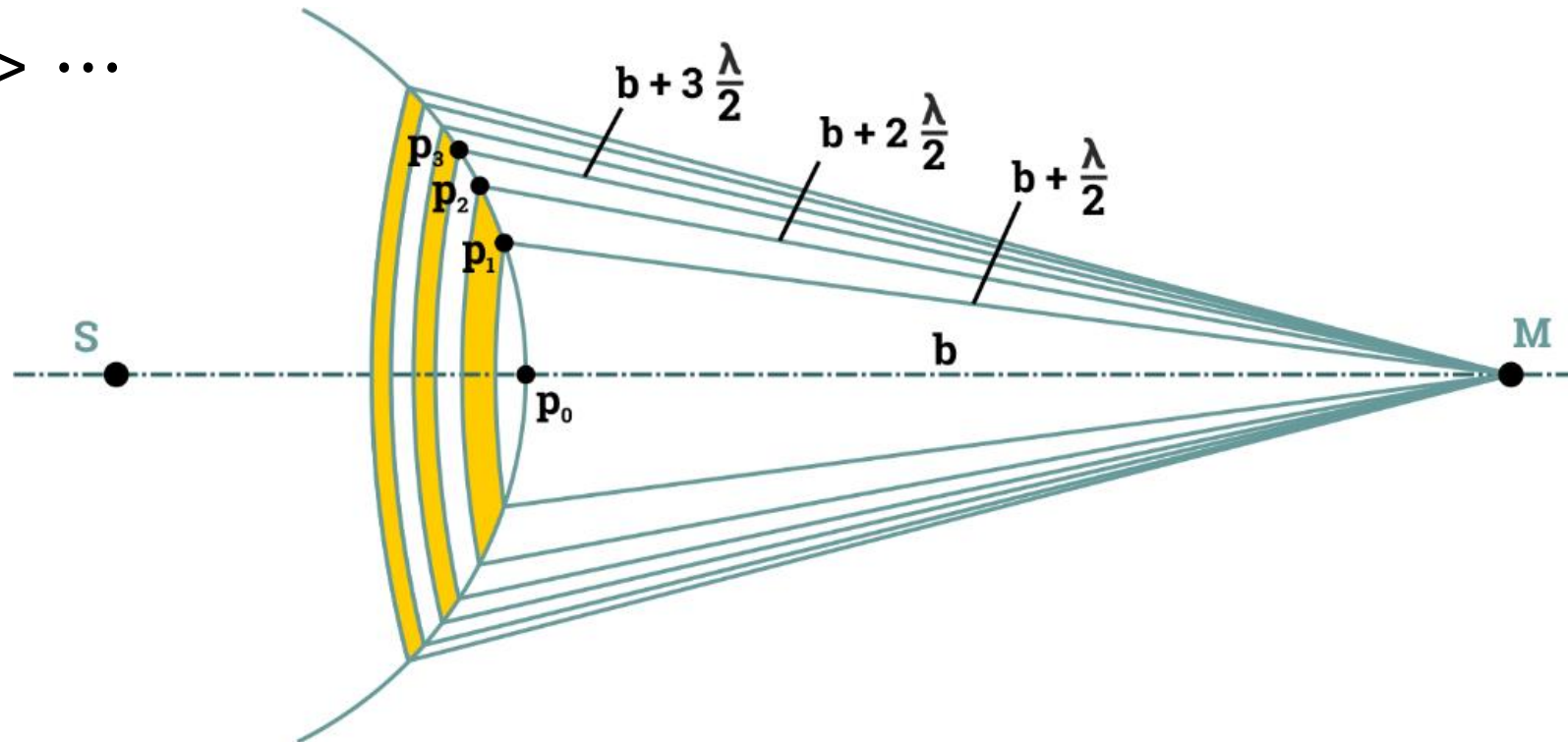
# Метод зон Френеля

$$A = \sum_i A_i = A_1 + A_2 + A_3 + \dots$$

$$A_1 > A_2 > A_3 > A_4 > \dots$$

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

$$A \approx \frac{A_1}{2}$$



# Дифракция Фраунгофера и Френеля

## Дифракция Фраунгофера

– дифракция плоских световых волн, или дифракция в параллельных лучах. Наблюдается в случае, когда **источник света и точка наблюдения бесконечно удалены от препятствия**

## Дифракция Френеля

– дифракция в сходящихся лучах. Осуществляется в случае, когда дифракционная картина наблюдается **на конечном расстоянии от препятствия**

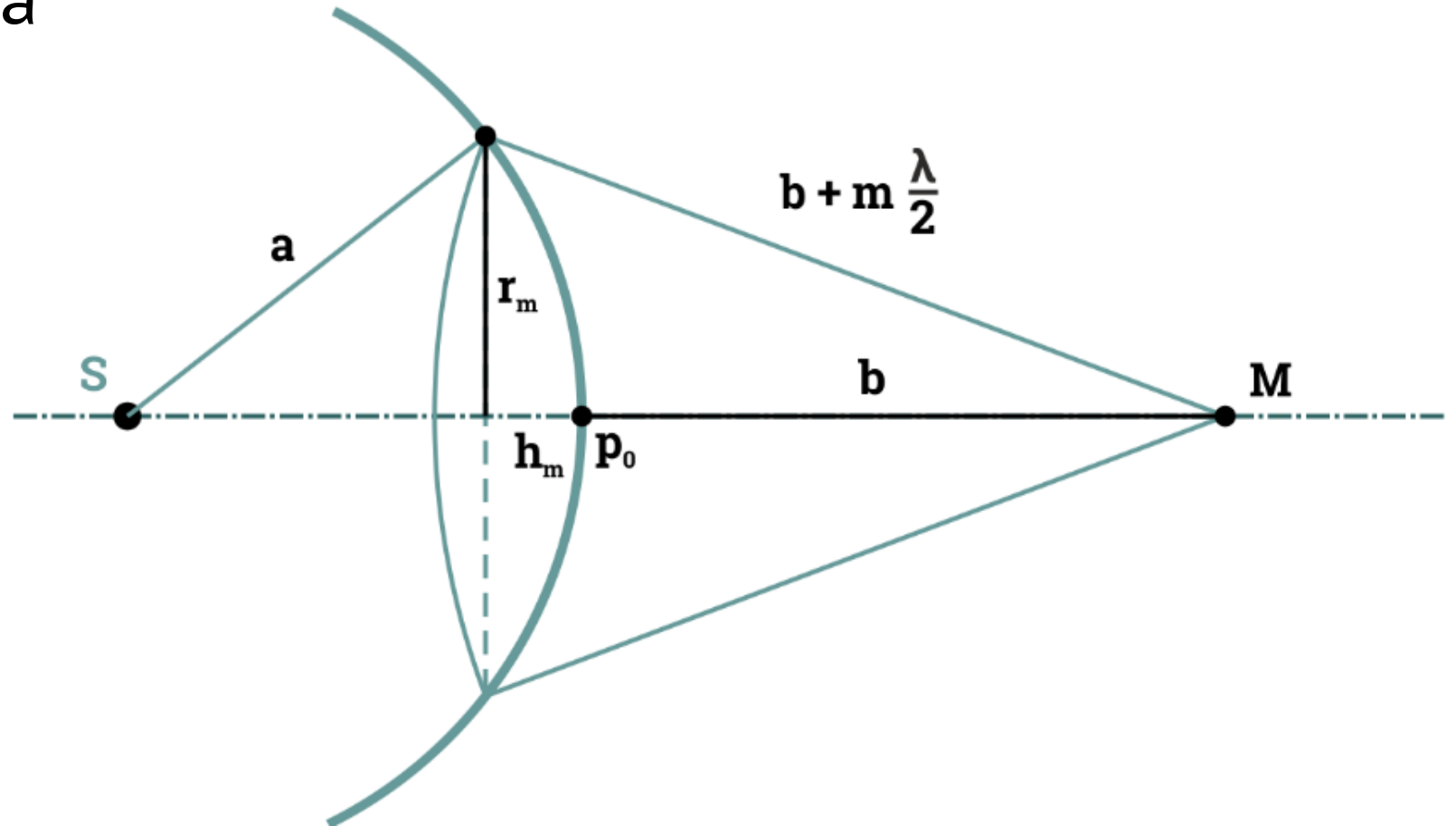
# Радиус зон Френеля

Сферическая волна

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b} m \lambda}$$

Плоская волна

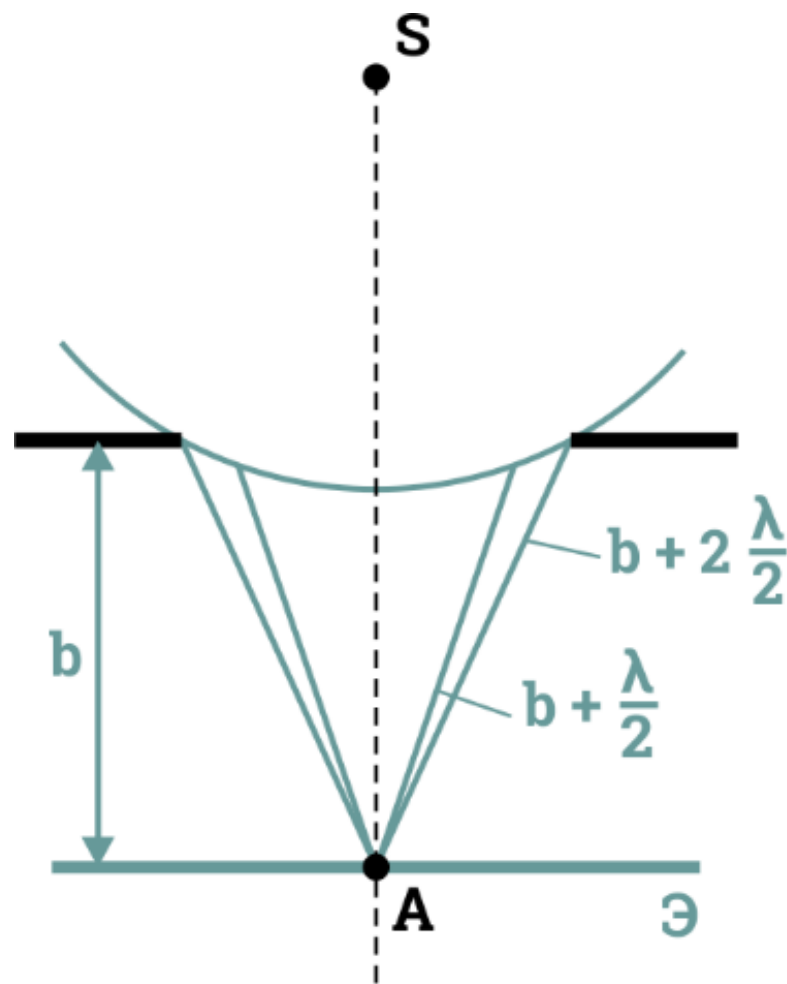
$$r_m = \sqrt{b m \lambda}$$





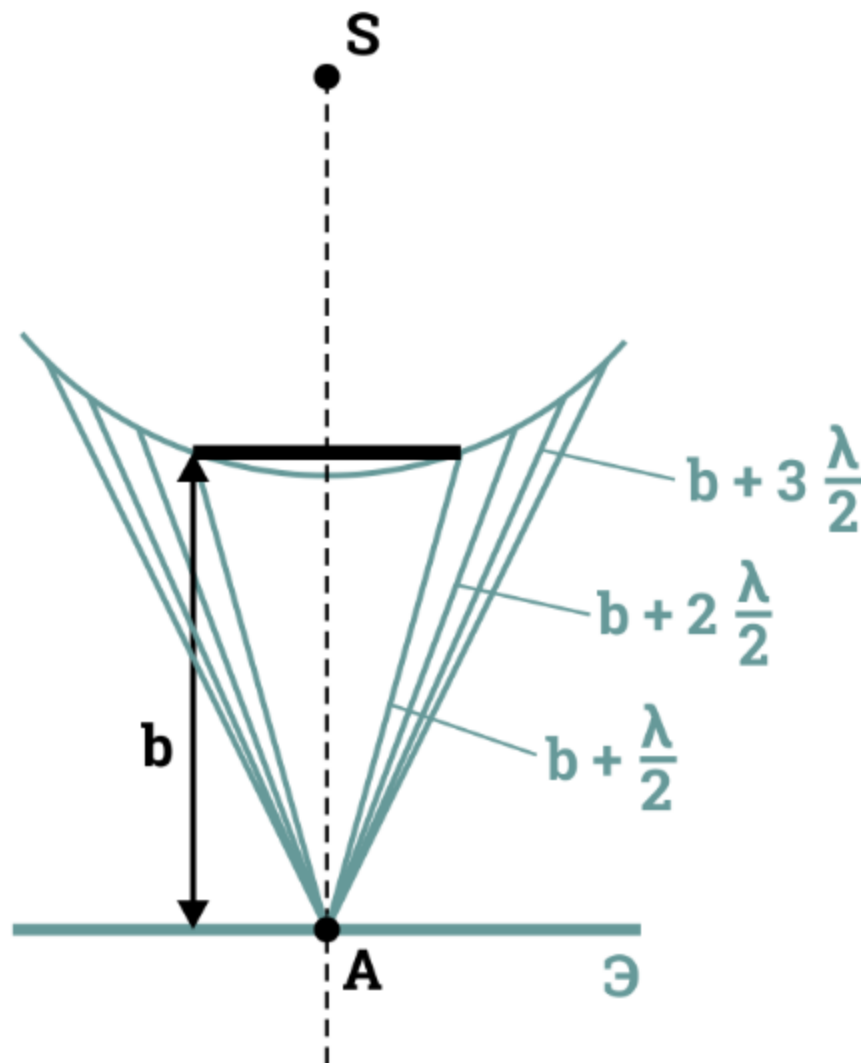
# Дифракция на круглом отверстии

$$A = \frac{A_1}{2} \pm \frac{A_m}{2}$$



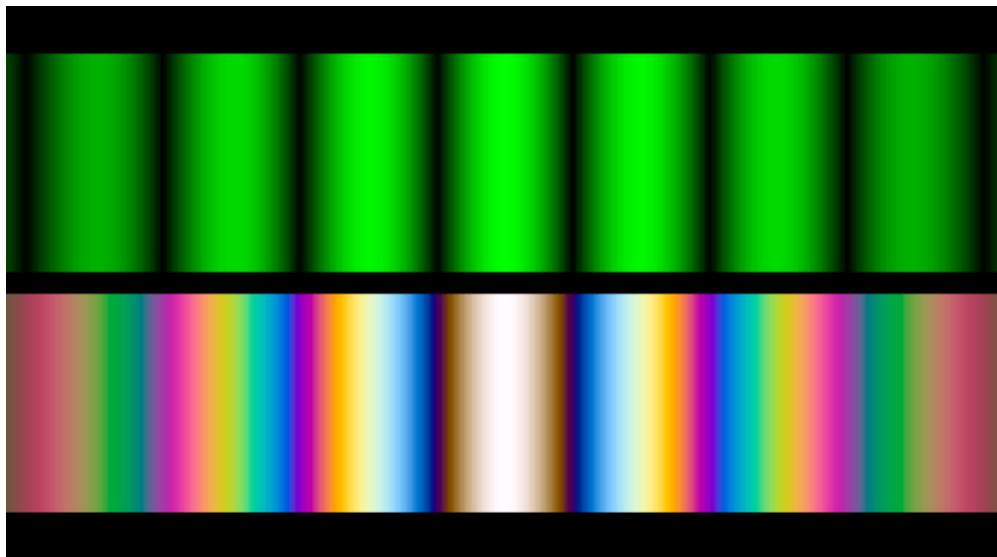
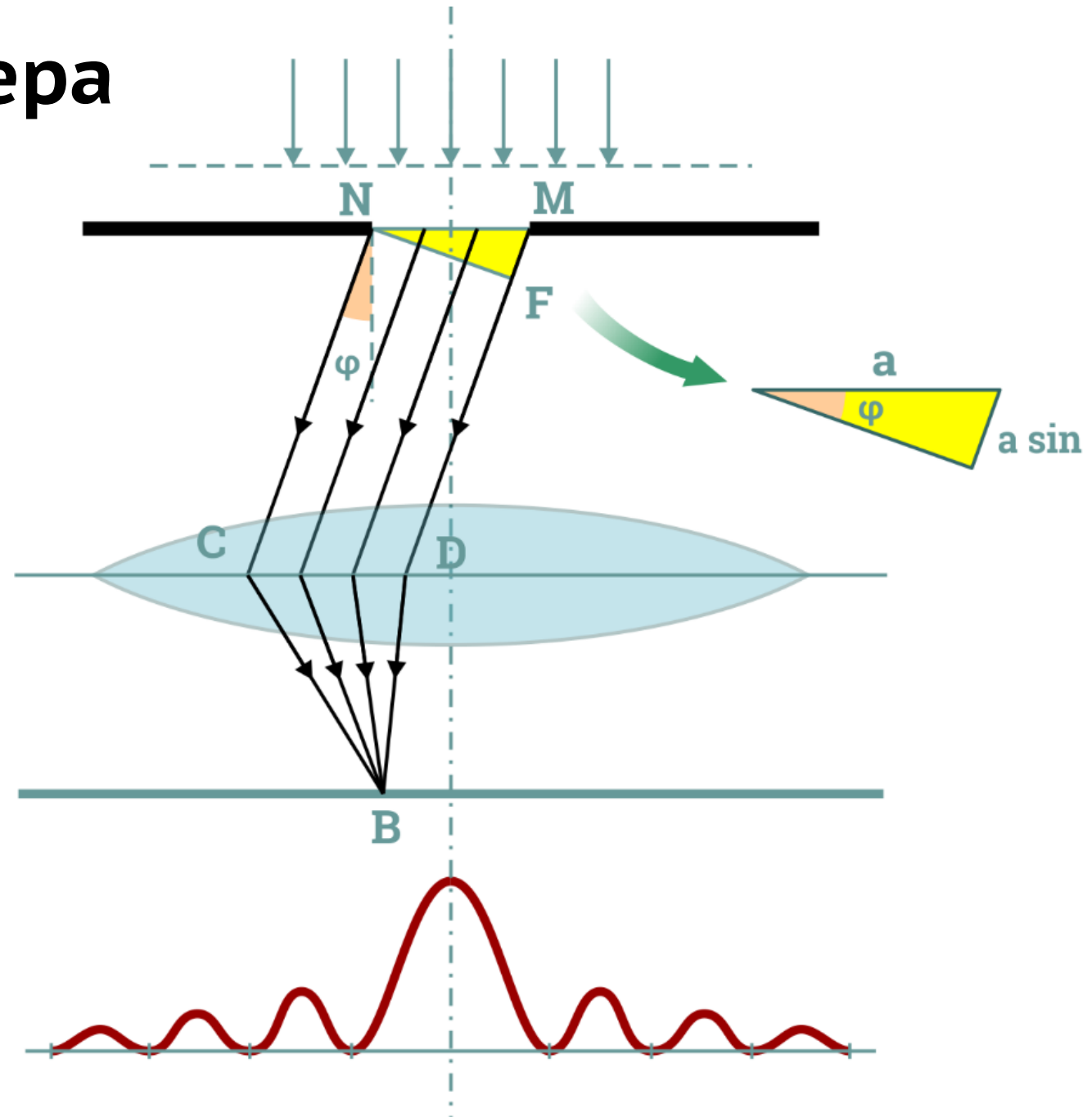
# Дифракция на диске

$$A = \frac{A_m}{2}$$



# Дифракция Фраунгофера на одной щели

$$\Delta = NF = a \sin \varphi$$



# Дифракция Фраунгофера на одной щели

Минимум

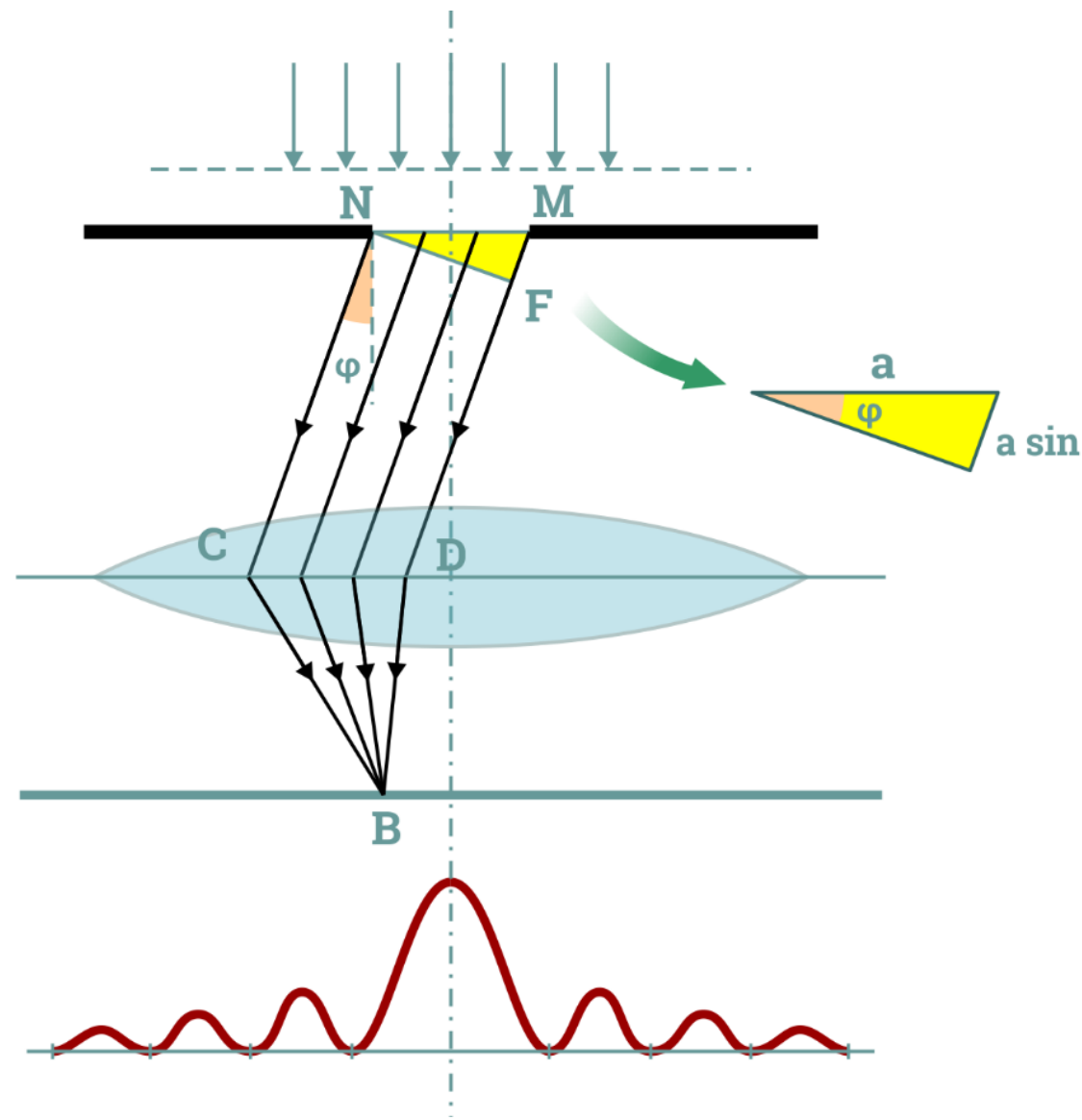
число зон Френеля **четное**

$$a \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2}$$

Максимум

число зон Френеля **нечетное**

$$a \sin \varphi = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$$



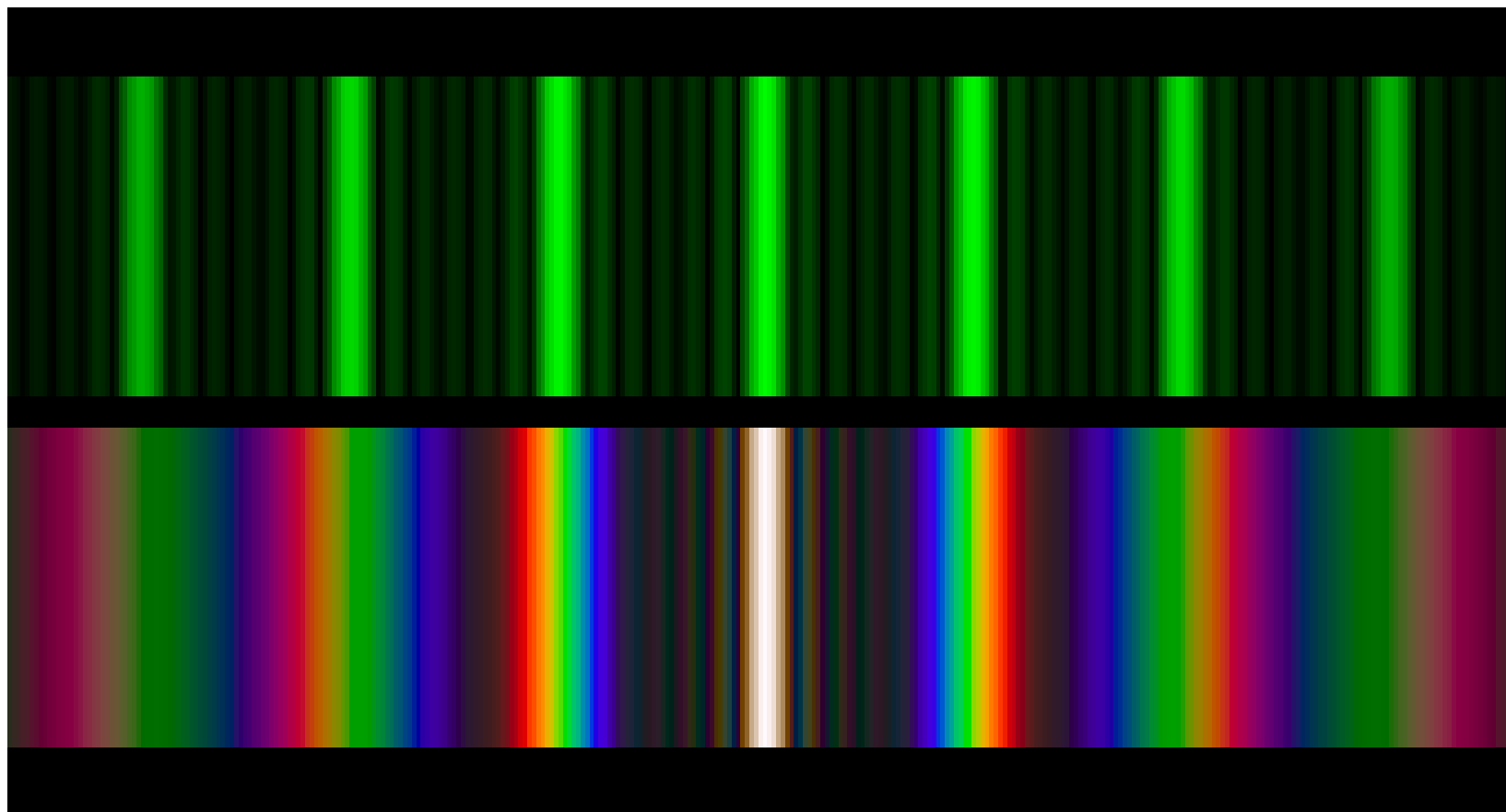
# Дифракция Фраунгофера на дифракционной решетке

Одномерная дифракционная решетка – система параллельных щелей равной ширины, лежащих в одной плоскости и разделенных равными по ширине непрозрачными промежутками

Постоянная (периодом) дифракционной решетки

$$d = a + b$$

# Дифракция Фраунгофера на дифракционной решетке



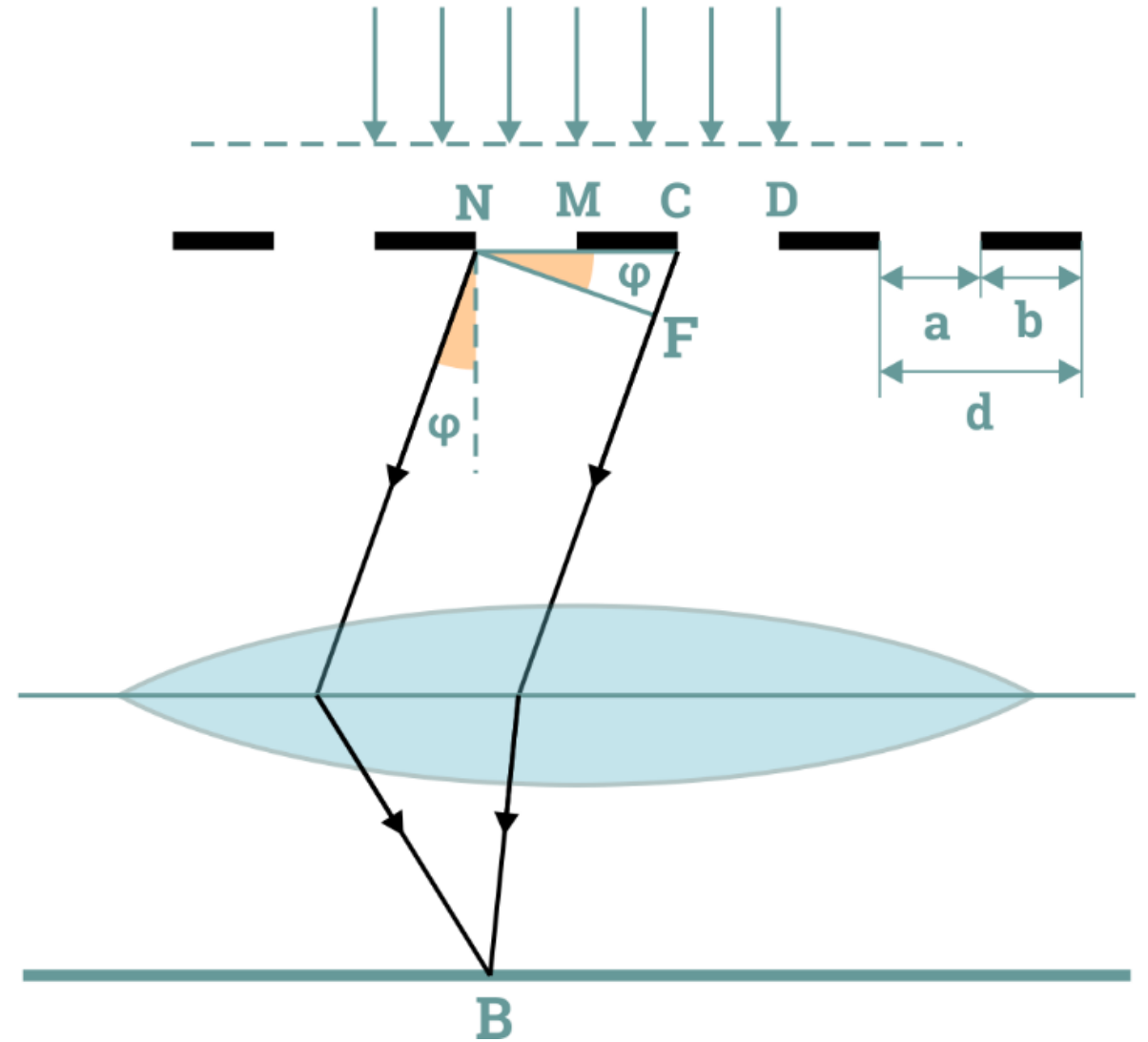
# Дифракция Фраунгофера на дифракционной решетке

$$\Delta = CF = (a + b) \sin \varphi =$$

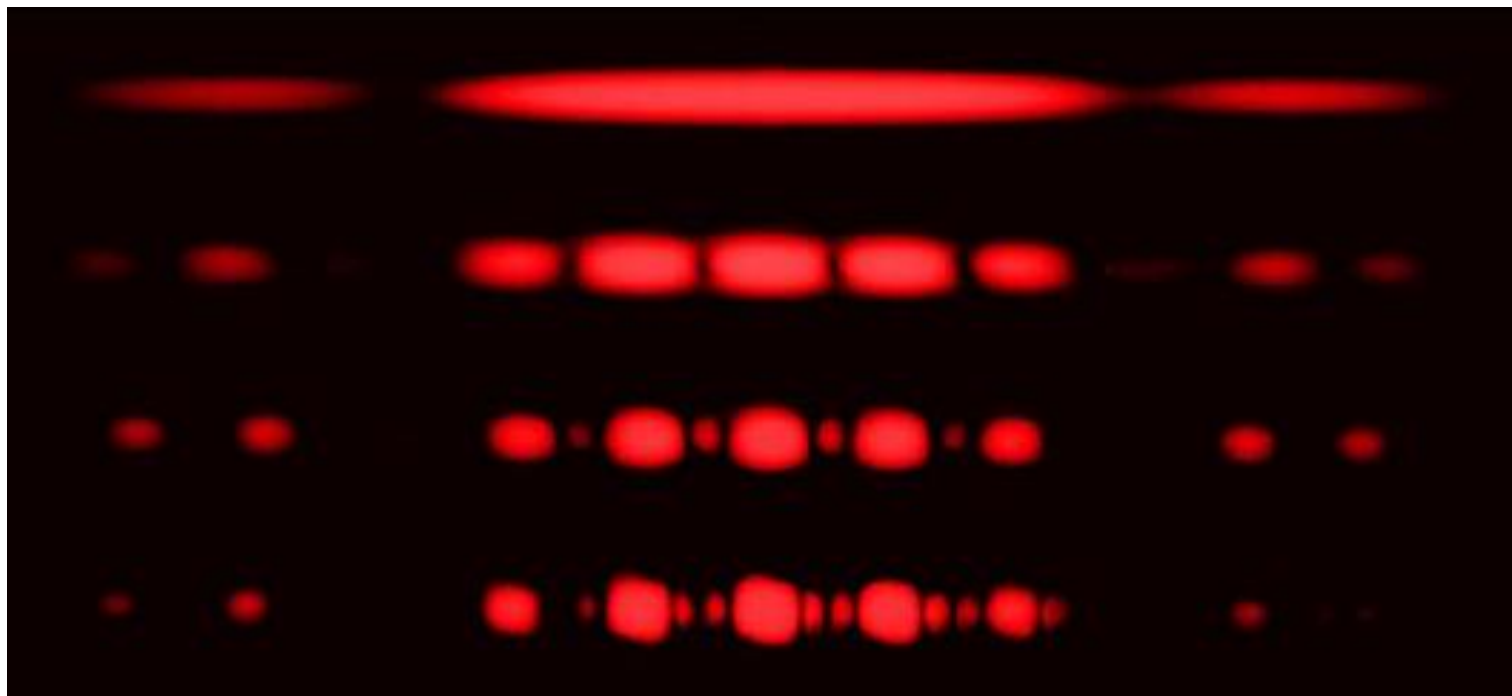
$$= d \sin \varphi$$

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

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



# Дифракция Фраунгофера на дифракционной решетке



1 щель

2 щели

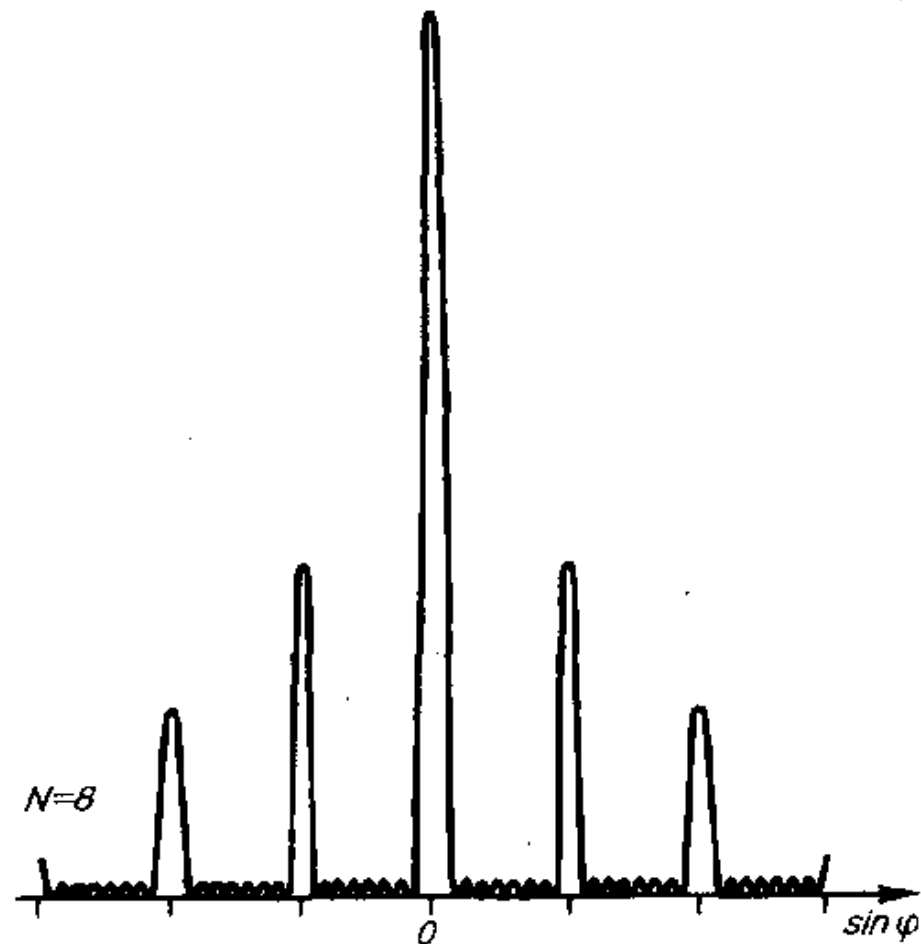
3 щели

4 щели



# Дифракция Фраунгофера на дифракционной решетке

В случае  **$N$  щелей** между двумя главными максимумами располагается  **$N-1$  дополнительных минимумов**, разделенных вторичными максимумами, создающими весьма слабый фон



# Дифракция Фраунгофера на дифракционной решетке

главные минимумы

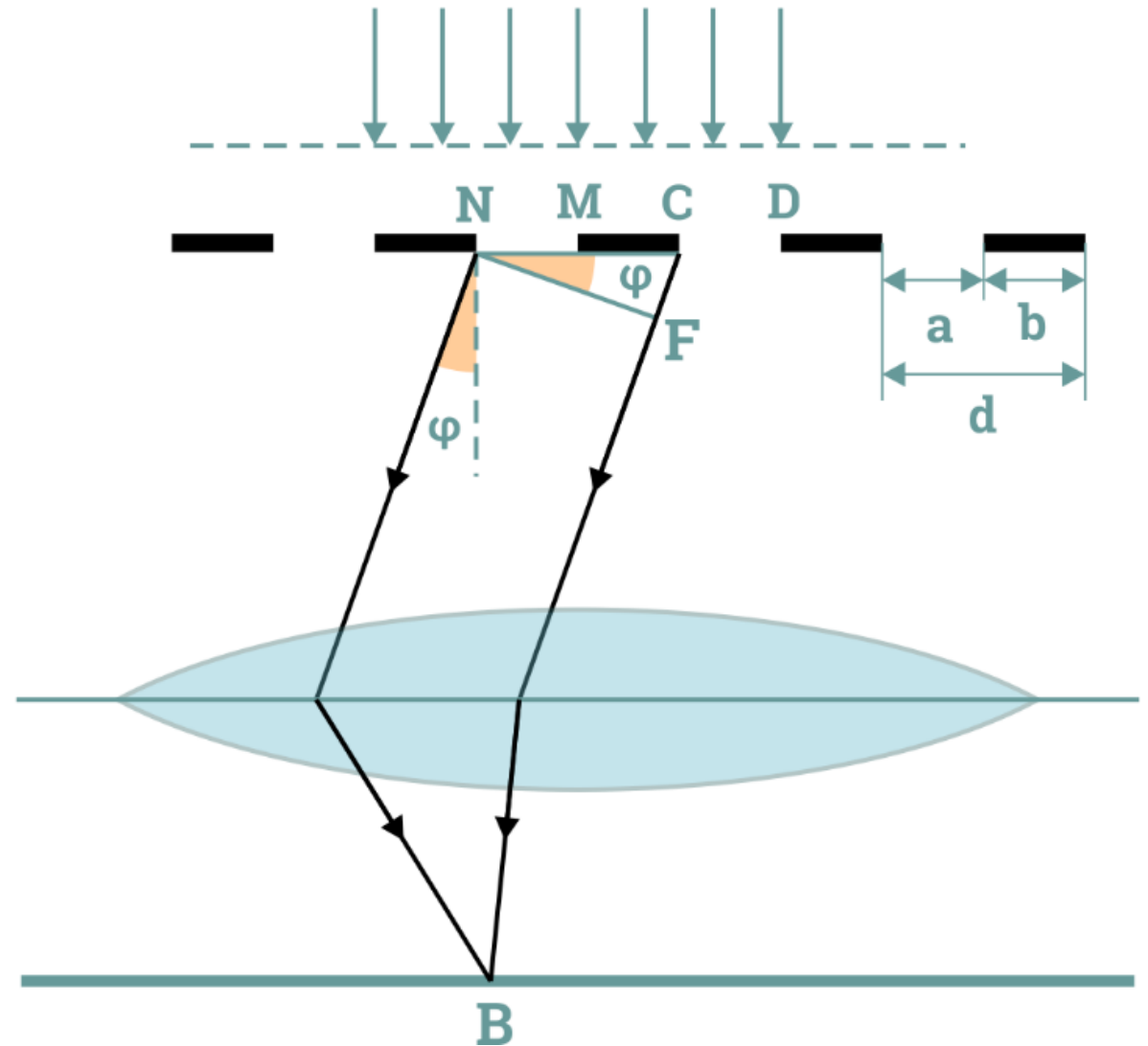
$$a \sin \varphi = \pm m \lambda$$

дополнительные минимумы

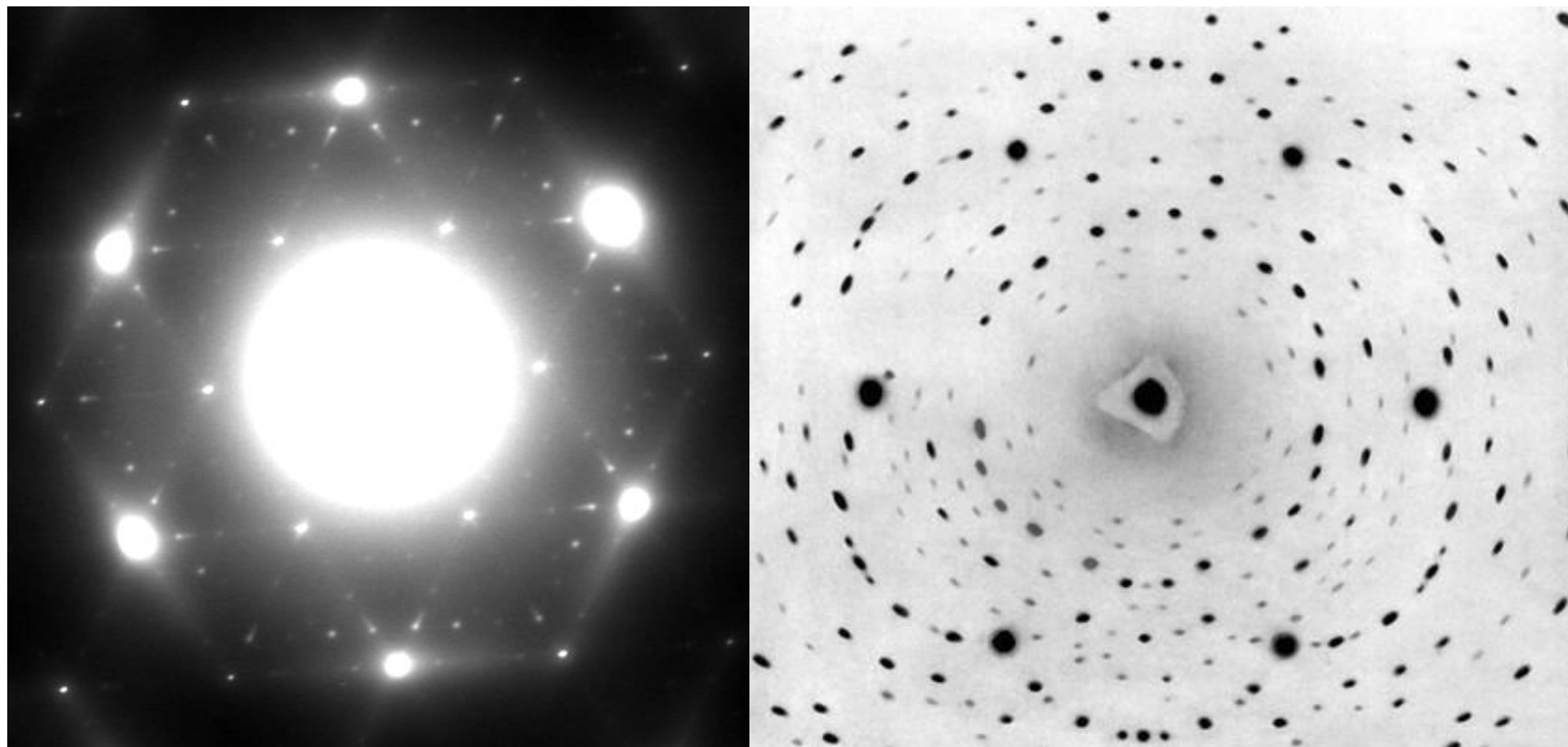
$$d \sin \varphi = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$$

главные максимумы

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



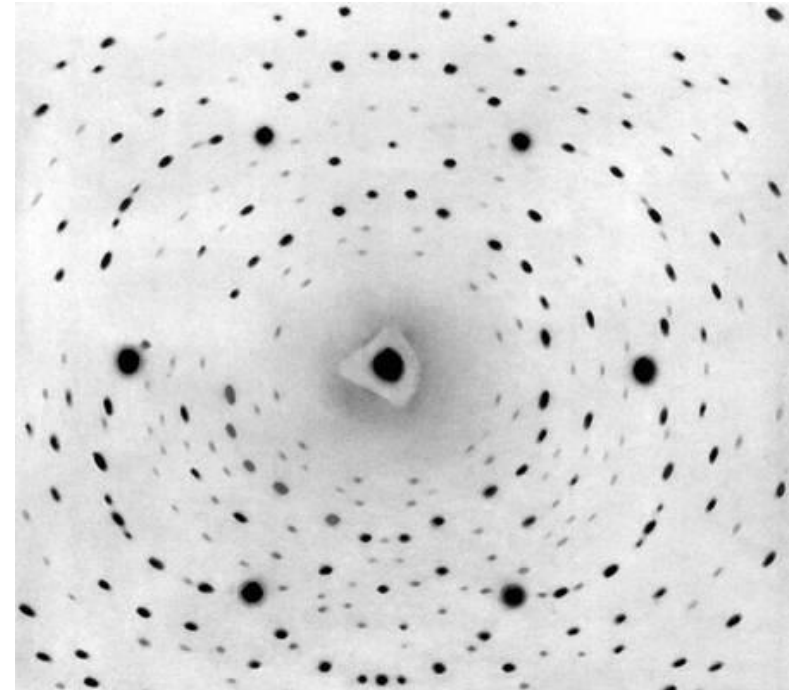
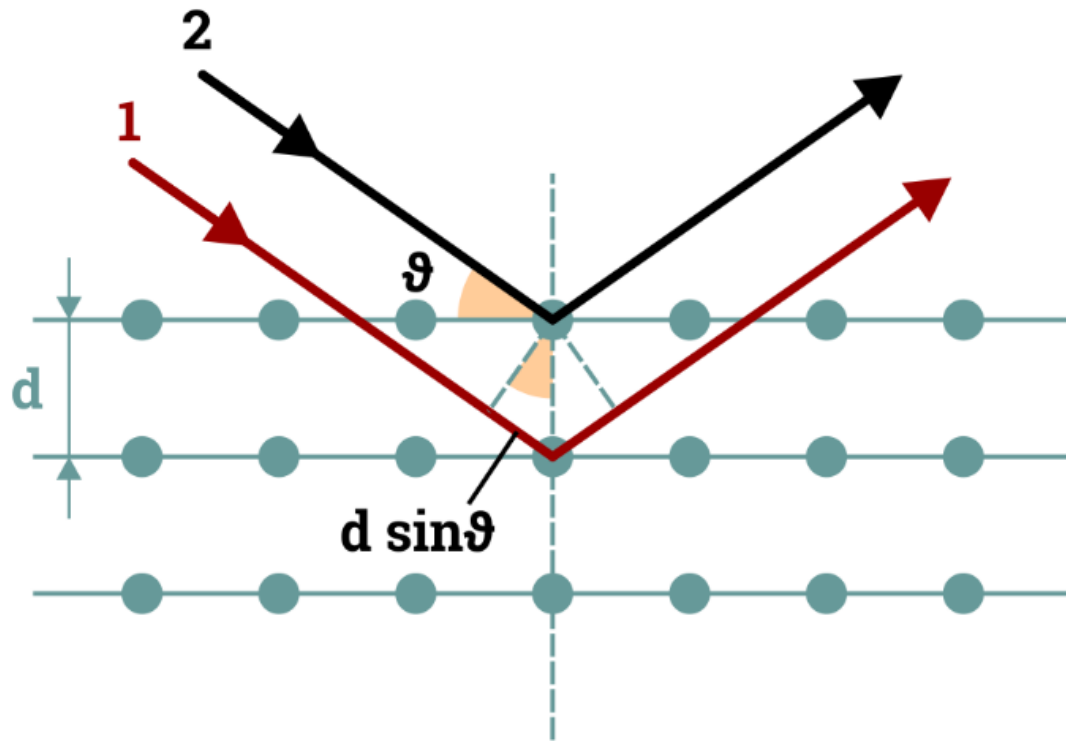
# Дифракция на пространственной решетке



# Формула Вульфа – Брэггов

$$2d \sin \vartheta = \pm m\lambda$$

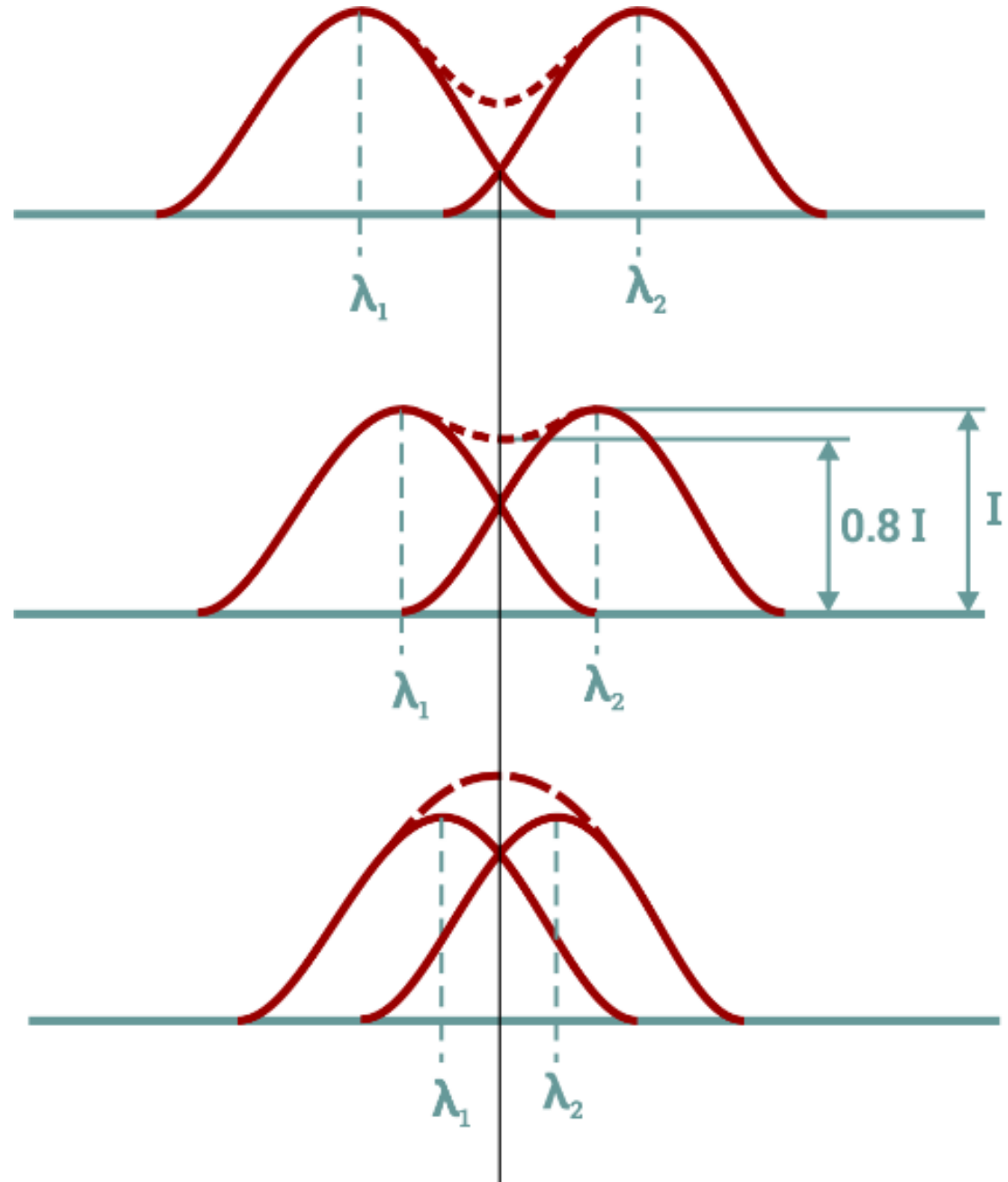
$$m = 1, 2, 3, \dots$$



# Критерий Релея

$$\varphi \geq \frac{1,22\lambda}{D}$$

$D$  – диаметр объектива



# Критерий Релея

**Изображения двух близлежащих одинаковых точечных источников или двух близлежащих спектральных линий разделены для восприятия,**

**если центральный максимум дифракционной картины от одного источника совпадает с первым минимумом дифракционной картины от другого**

# Разрешающая способность

Разрешающая способность (разрешающая сила)  
объектива

$$R = \frac{1}{\varphi_{min}}$$

Разрешающая способность дифракционной решетки

$$R_{\text{реш}} = mN$$