



# «Волновая оптика»

[1] Т. И. Трофимова, §§171 –182,  
185 – 187, 190-195;

[2] А. А. Детлаф, Б. М. Яворский,  
31.1, 31.3, 32.1 – 32.5, 33.4, 33.5,  
34.1, 34.2, 34,5;

Н. П. Калашников,

Н. М. Кожевников,

5 ДЕ, задания 21, 22.

# Лекция № 3

**Волновая оптика:**  
**интерференция,**  
**дифракция,**  
**дисперсия,**  
**поляризация**

# ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

Это перераспределение интенсивности света с образованием **max** и **min** освещенности при суперпозиции (наложении) **КОГЕРЕНТНЫХ ВОЛН.**

# ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

Для получения когерентных световых волн свет одного источника разделяют на две системы волн путем его отражения или преломления.

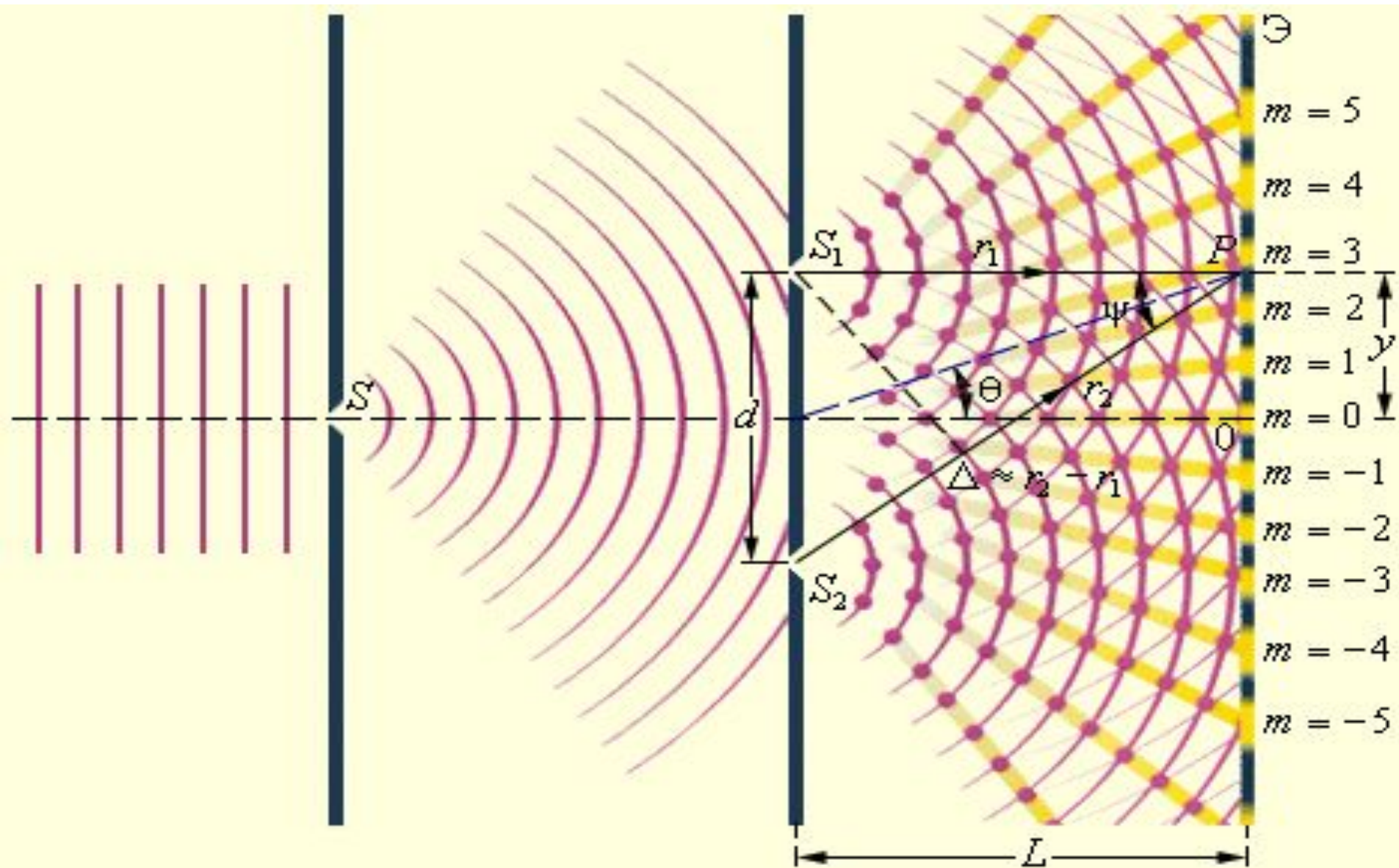
Используются: метод Юнга, бипризма или бизеркало Френеля, зеркало Ллойда, тонкие пленки...

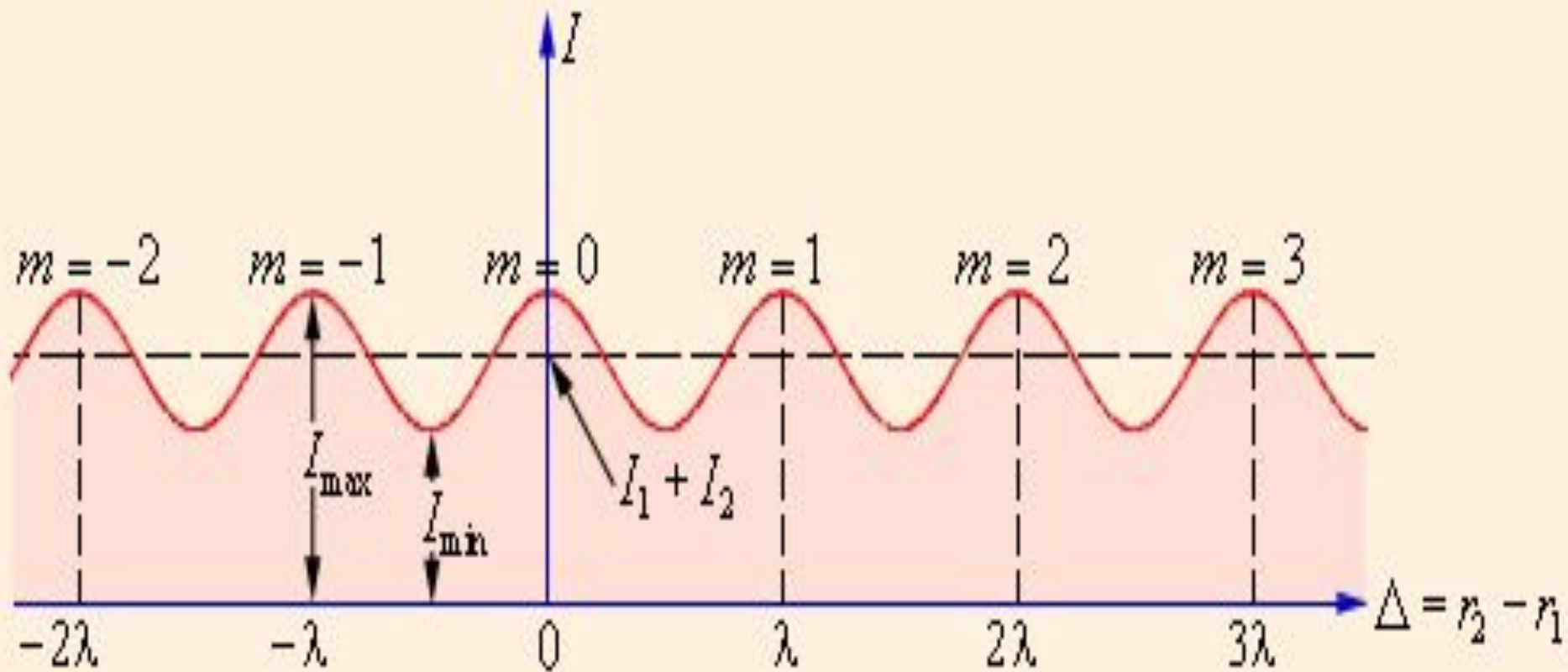
# ТИПЫ КОГЕРЕНТНОСТИ:

- **Временная** – согласованность волн в данной области пространства в разные моменты времени.

**Пространственная** – согласованность волн в разных областях в один и тот же момент времени.

# Схема интерференционного опыта Юнга





**Распределение интенсивности в интерференционной картине.**

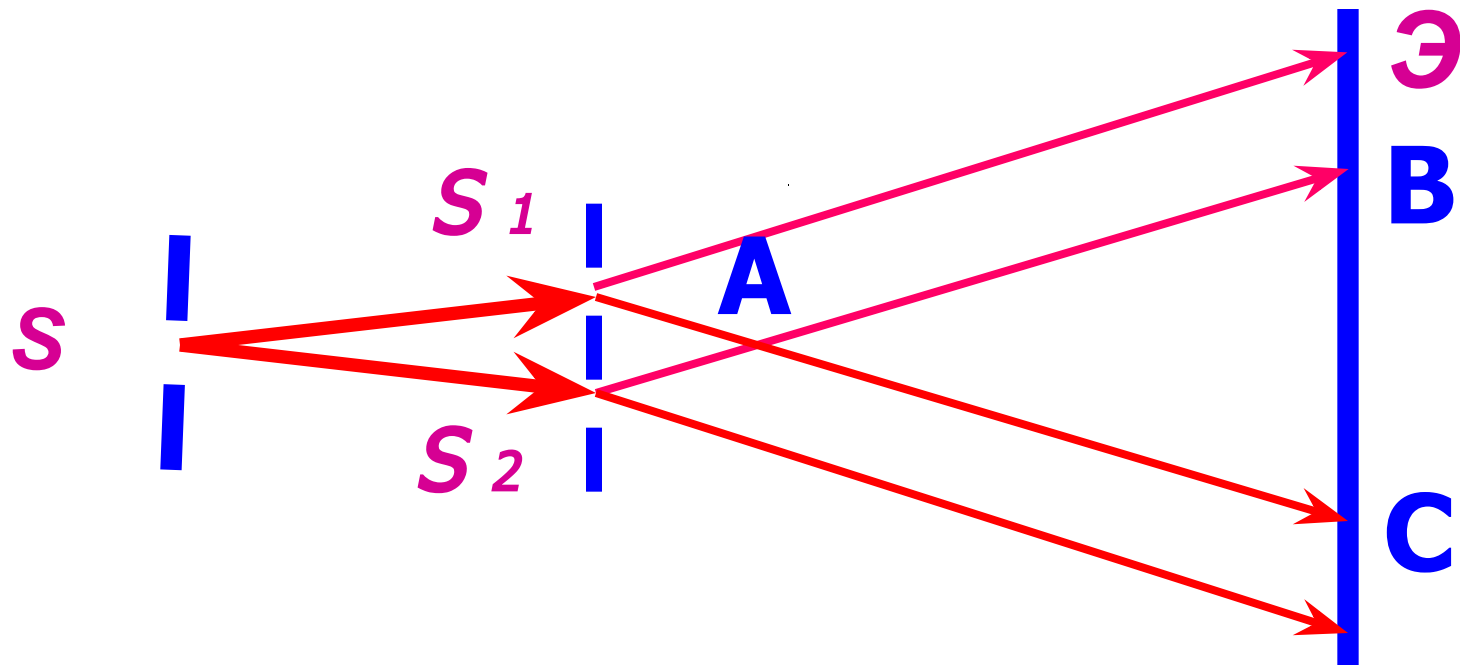
**Целое число  $m$  – порядок интерференционного максимума**



# Метод Юнга

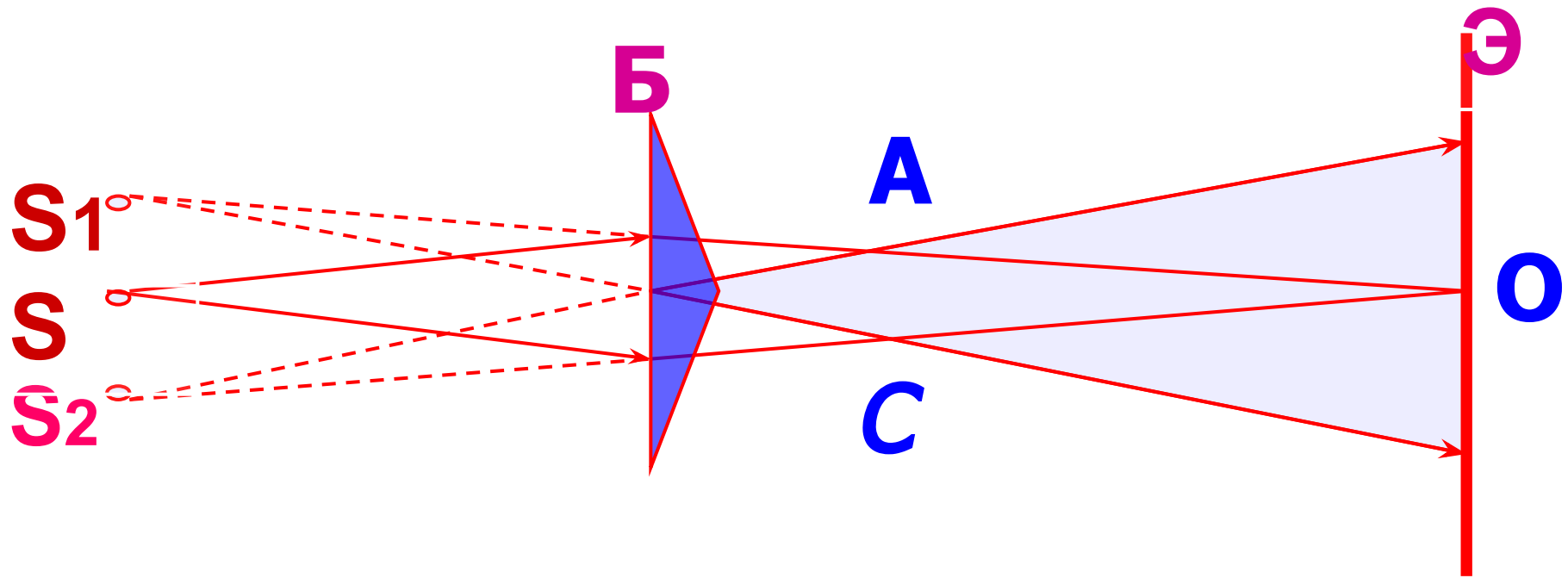
$S$  – освещенная щель,

$S_1, S_2$  – щели, параллельные  $S$ .



$ABC$  – область интерференции.

# Бипризма Френеля



$S$  – освещенная щель,

$S_1, S_2$  - ее мнимые изображения,

$B$  – бипризма Френеля,  $Э$  – экран;

$AOC$  - область интерференции.

- Геометрическая разность хода

$$s_2 - s_1;$$

- оптическая разность хода

$$\Delta = s_2 n_2 - s_1 n_1.$$

- Условие **max**:  $\Delta = m\lambda;$

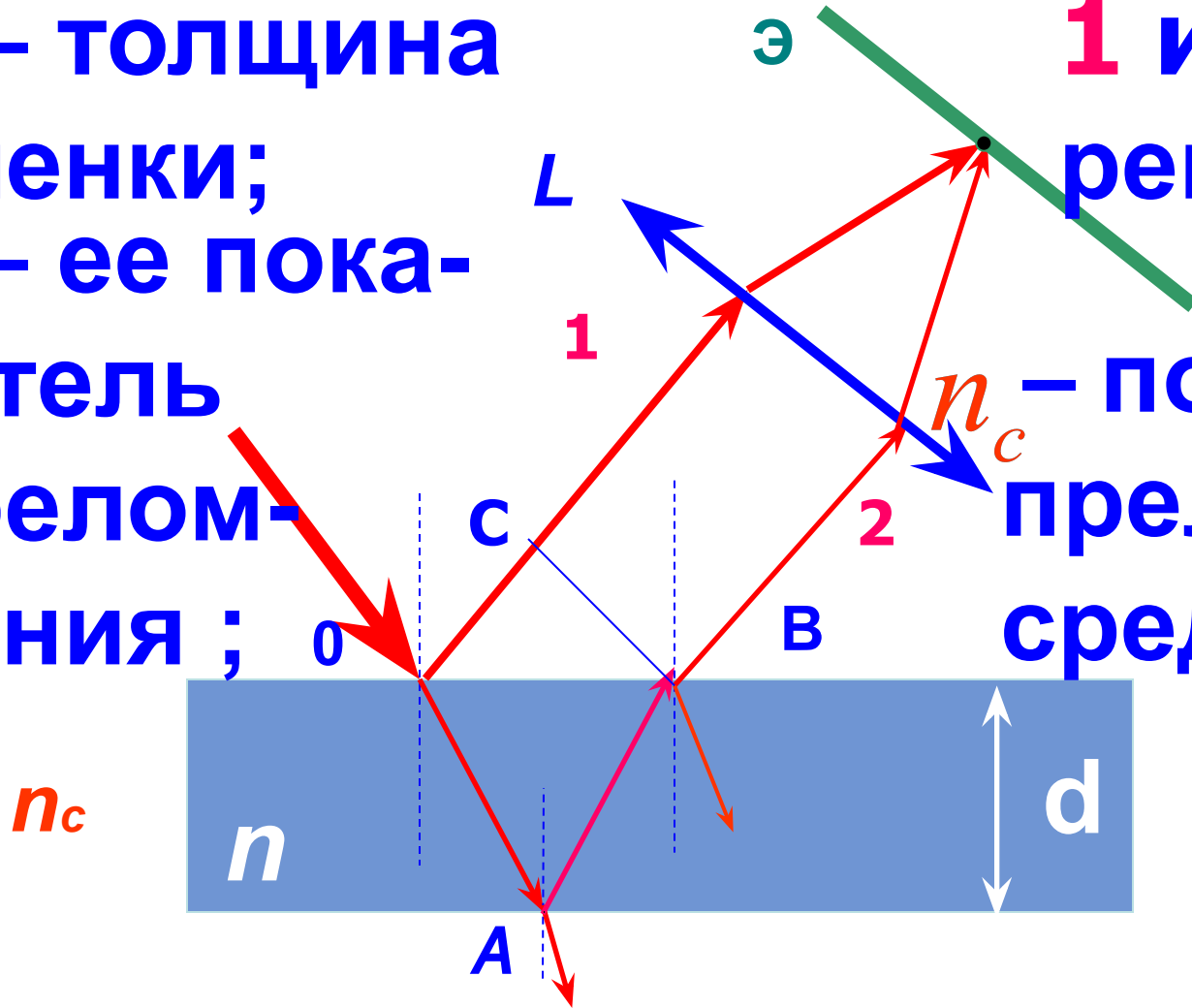
- Условие **min**:  $\Delta = (2m + 1)\lambda / 2;$

$m = 0, 1, 2, \dots$  - **целое число.**

# Интерференция в тонких пленках

**d** – толщина пленки;  
**n** – ее показатель преломления ;

**ε** – показатель преломления среды;  
**1** и **2** – когерентны;



$$\Delta = (OA + AB) \cdot n - OC \cdot n_c \pm \frac{\lambda_0}{2}$$

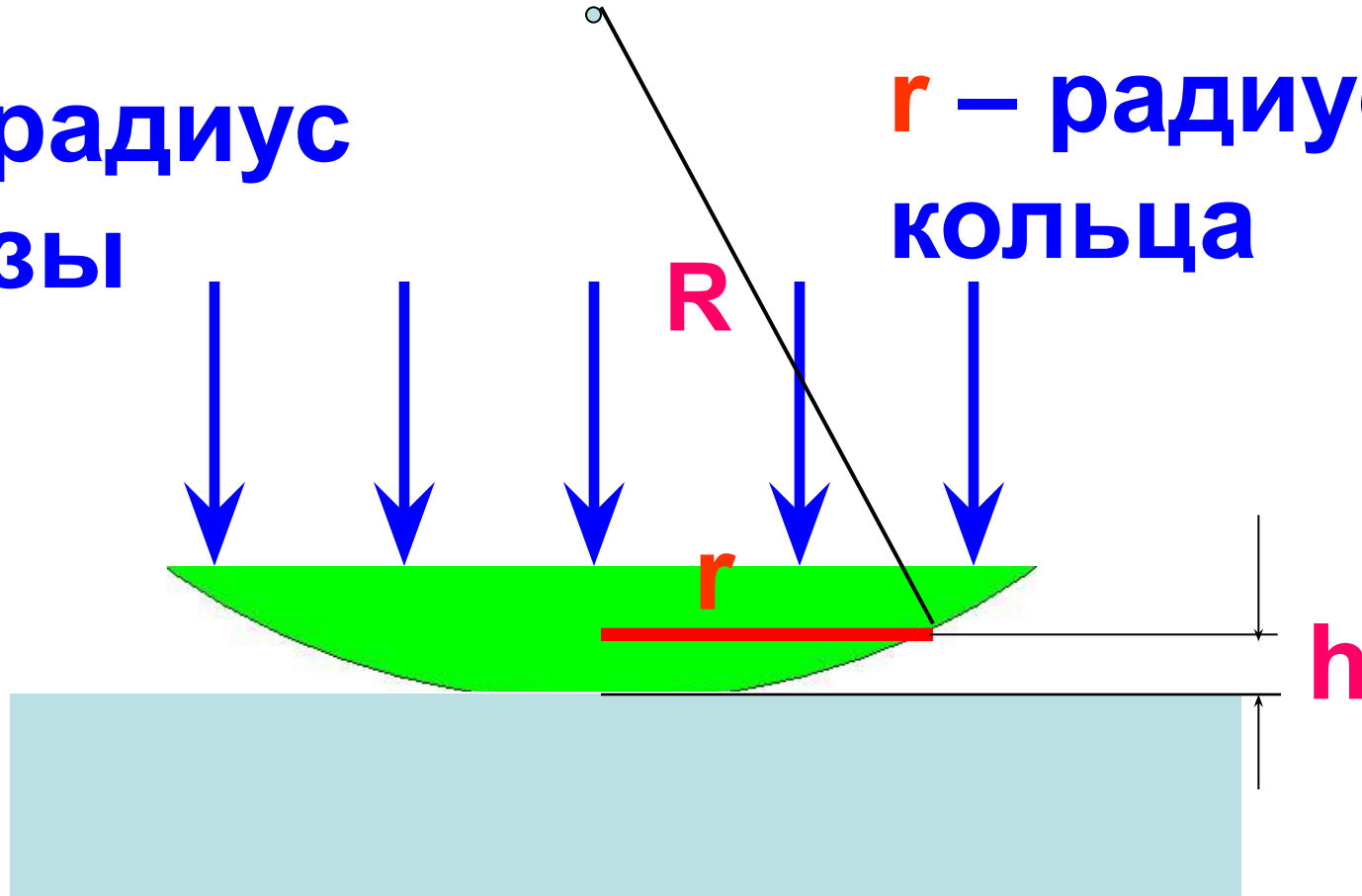
Интерференция возникает при сложении волн, отразившихся от двух сторон прослойки между линзой и пластинкой



# Получение интерференционной картины «Кольца Ньютона»

**R** – радиус  
линзы

**r** – радиус  
кольца



**h** - толщина зазора в месте  
расположения кольца;

# Расчет радиуса колец

$$\Delta = 2h + \frac{\lambda}{2}$$

Отраженный свет

- оптическая разность хода;

$$R^2 = (R - h)^2 + r^2;$$

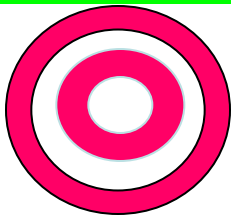
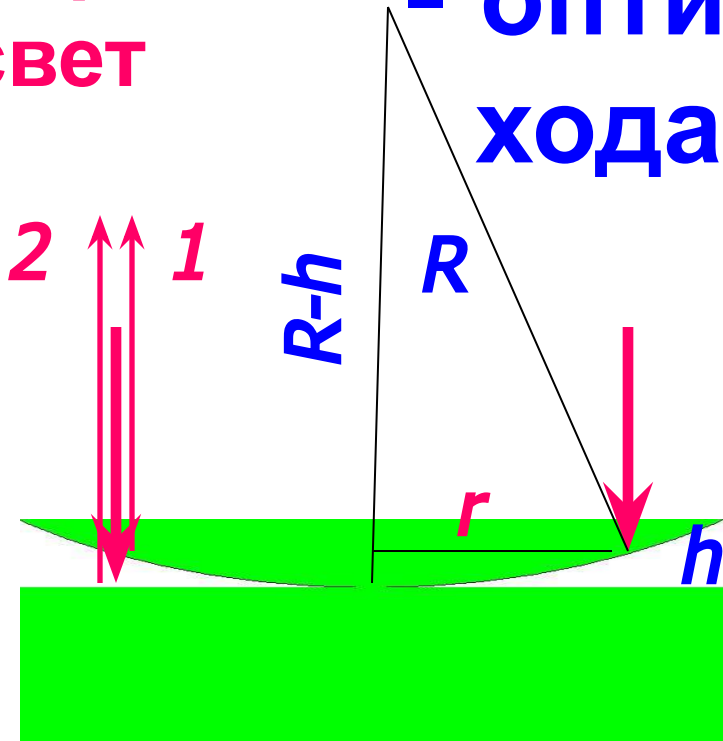
$$h = r^2 / 2R;$$

$$\Delta = m\lambda - \text{max};$$

$$r_m = \sqrt{(2m - 1)R\lambda / 2}$$

- радиус светлого кольца;

$m = 1, 2, 3, \dots$  - целое число.



# Расчет радиуса колец

Отраженный свет

$$R^2 = (R - h)^2 + r^2;$$

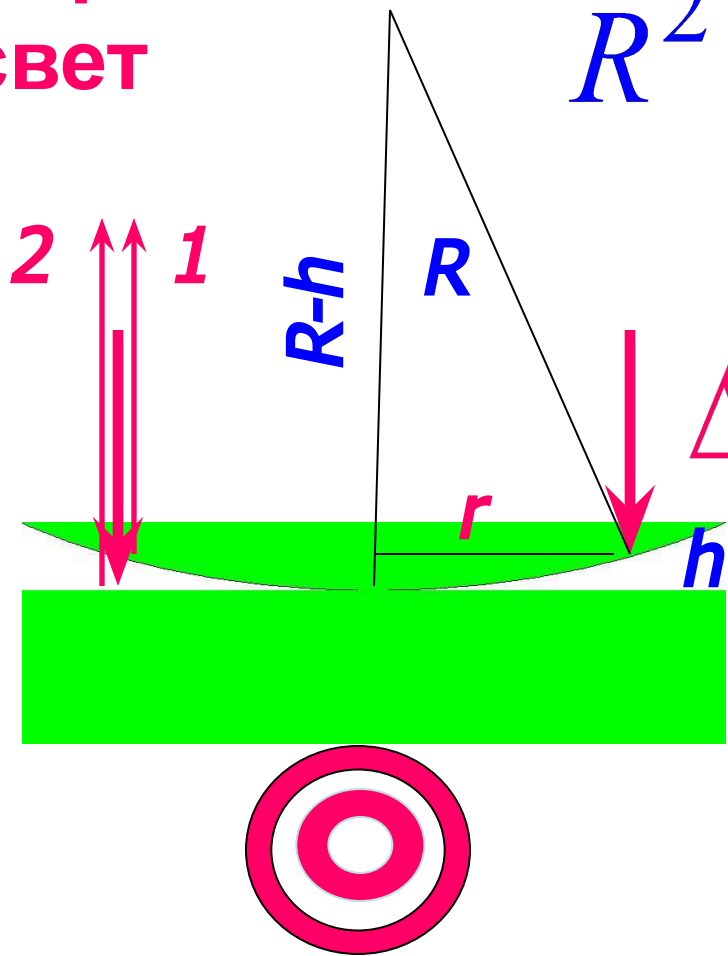
$$h = r^2 / 2R;$$

$$\Delta = (2m - 1)\lambda / 2 - \text{min};$$

$m=1,2,3,\dots$  -  
целое число;

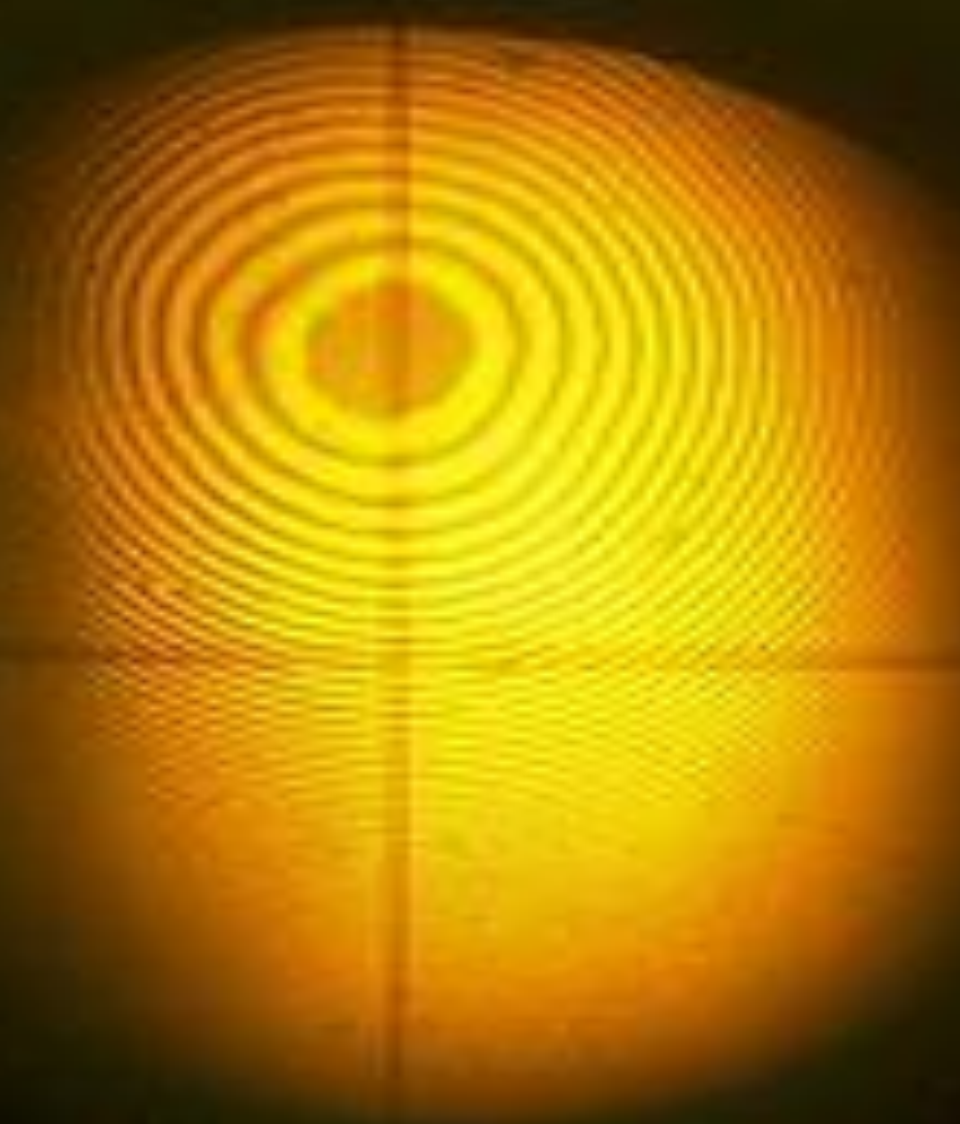
$$r_m = \sqrt{mR\lambda}$$

- радиус темного кольца.



$$\Delta = 2h + \frac{\lambda}{2};$$







Радиус  
кольца  
зависит  
от  
длины  
волны  
света

$$r_{кр} > r_{зел} \cdot$$

**Это явление огибания  
световой волной границ  
непрозрачных тел с  
интерференционным  
перераспределением  
энергии.**

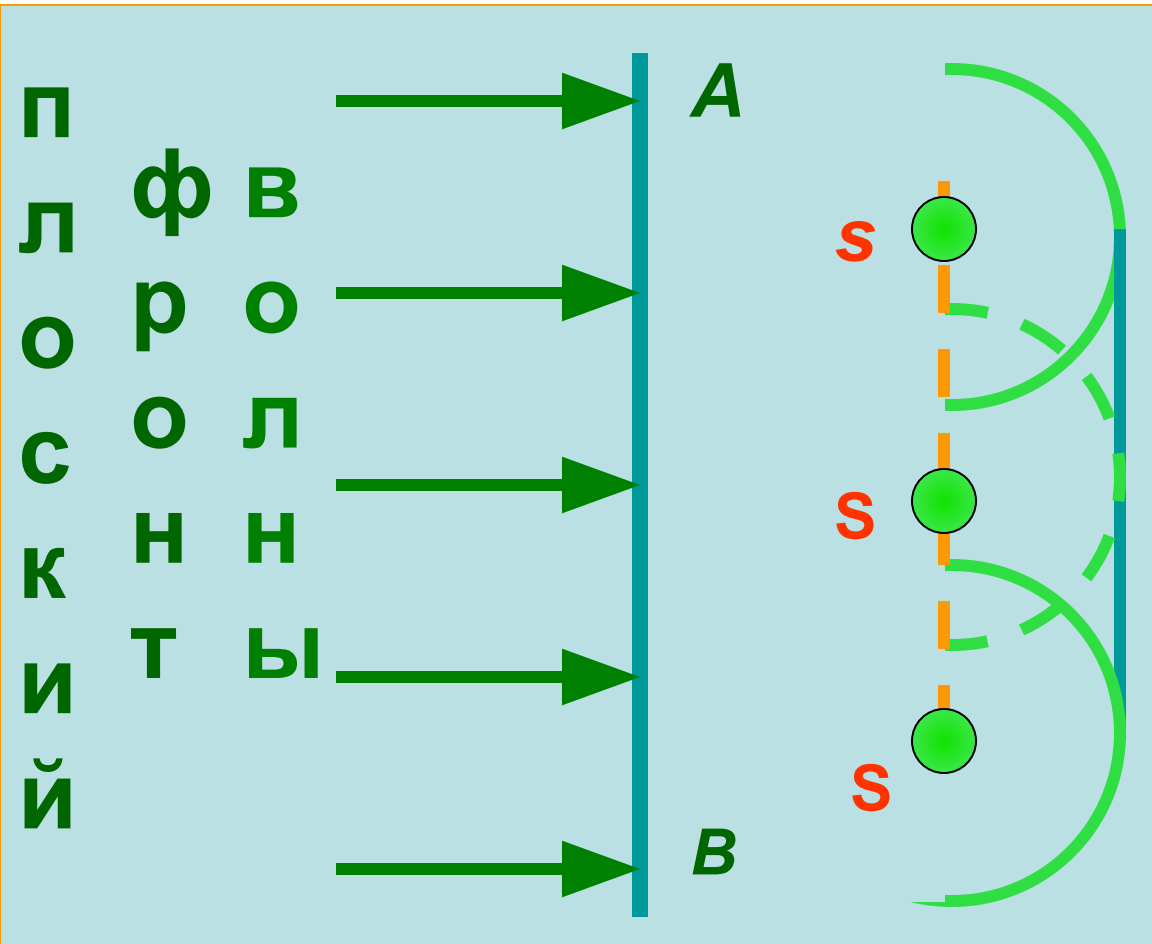
## *Дифракция Френеля:*

**фронт волны – сферический или плоский; на экране, находящемся на конечном расстоянии от препятствия, «дифракционное изображение» препятствия.**

## *Дифракция Фраунгофера:*

**фронт волны - плоский;  
на экране, находящемся в  
фокальной плоскости линзы,  
“ дифракционное изображе-  
ние” удаленного источника  
света.**

# Принцип Гюйгенса - Френеля

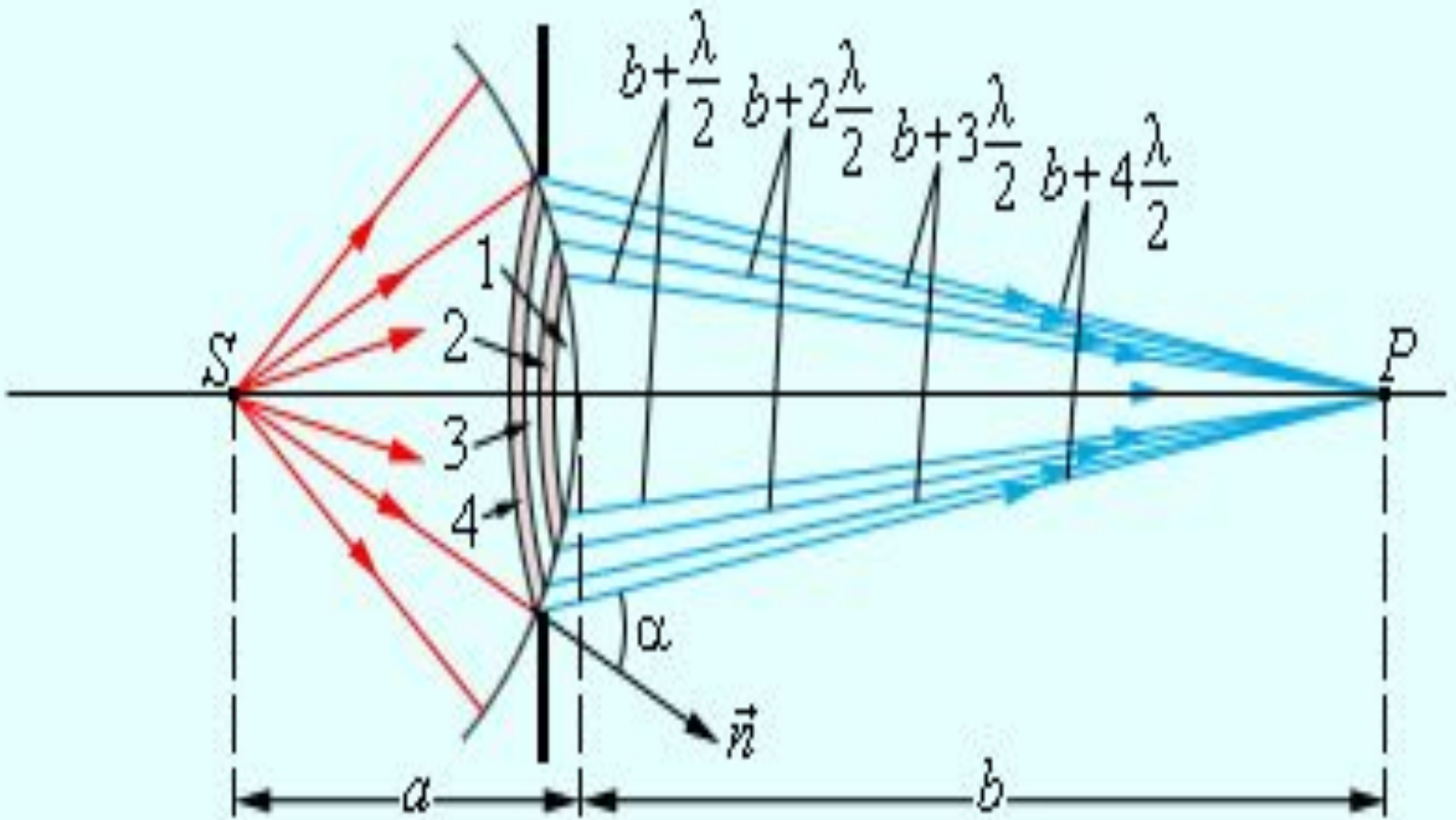


**S** –  
точечные  
источники  
когерентных  
вторичных  
волн.

# Принцип Гюйгенса - Френеля

Каждая точка среды, до которой дошел волновой фронт, становится **точечным** источником вторичных волн.

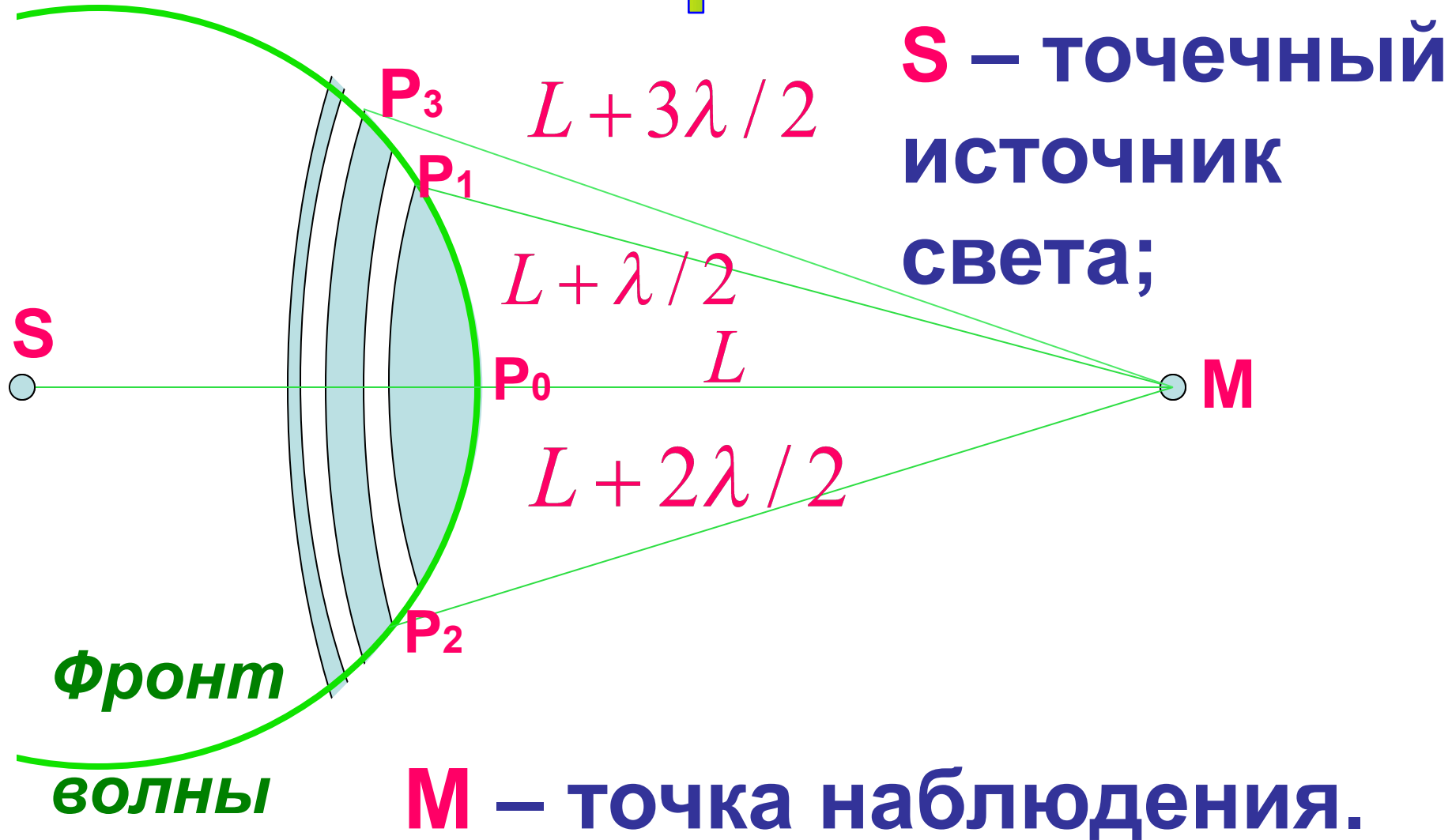
**Для электромагнитных волн наличие среды необязательно.**



## Зоны Френеля на сферическом фронте волны



# Зоны Френеля



Это участки волновой поверхности, на которые она **мысленно** разбивается. Площади зон примерно одинаковы. Колебания, возбуждаемые в точке **М** соседними зонами, противоположны по фазе (гасят друг друга).

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \dots \pm A_n$$

При увеличении номера зоны  $\varphi_m$   
монотонно увеличивается,  
амплитуда колебаний  
монотонно уменьшается:

$$A = \frac{A_1}{2} + \underbrace{\frac{A_1}{2} - A_2 + \frac{A_3}{2}}_0 + \underbrace{\frac{A_3}{2} - A_4 + \frac{A_5}{2}}_0 + \frac{A_5}{2} - \dots$$

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

Радиус *m*-ой зоны:

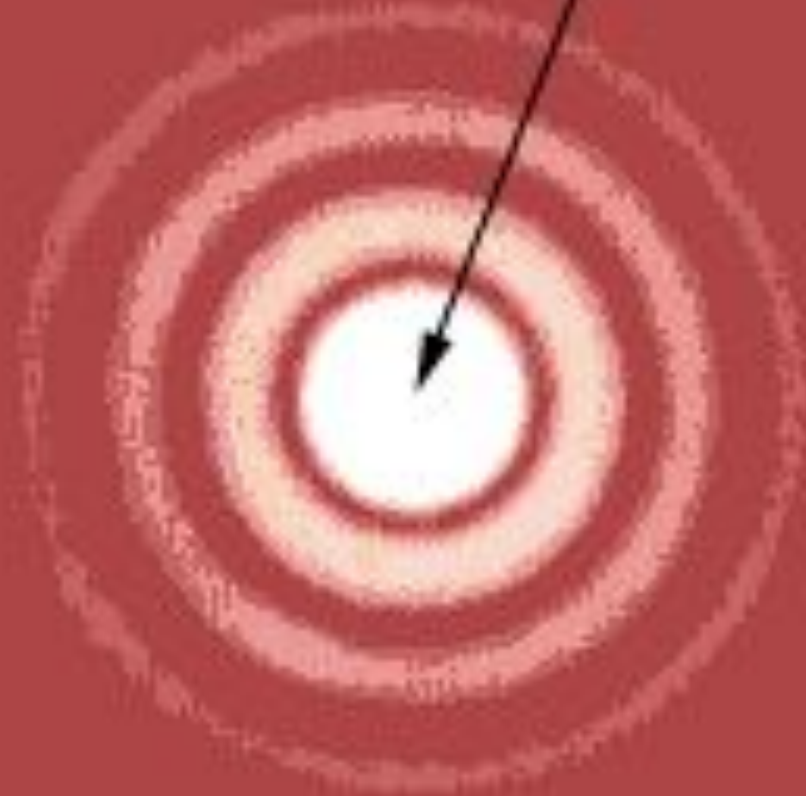
а) сферической волны

$$r_m = \sqrt{\frac{m\lambda R L}{R + L}}$$

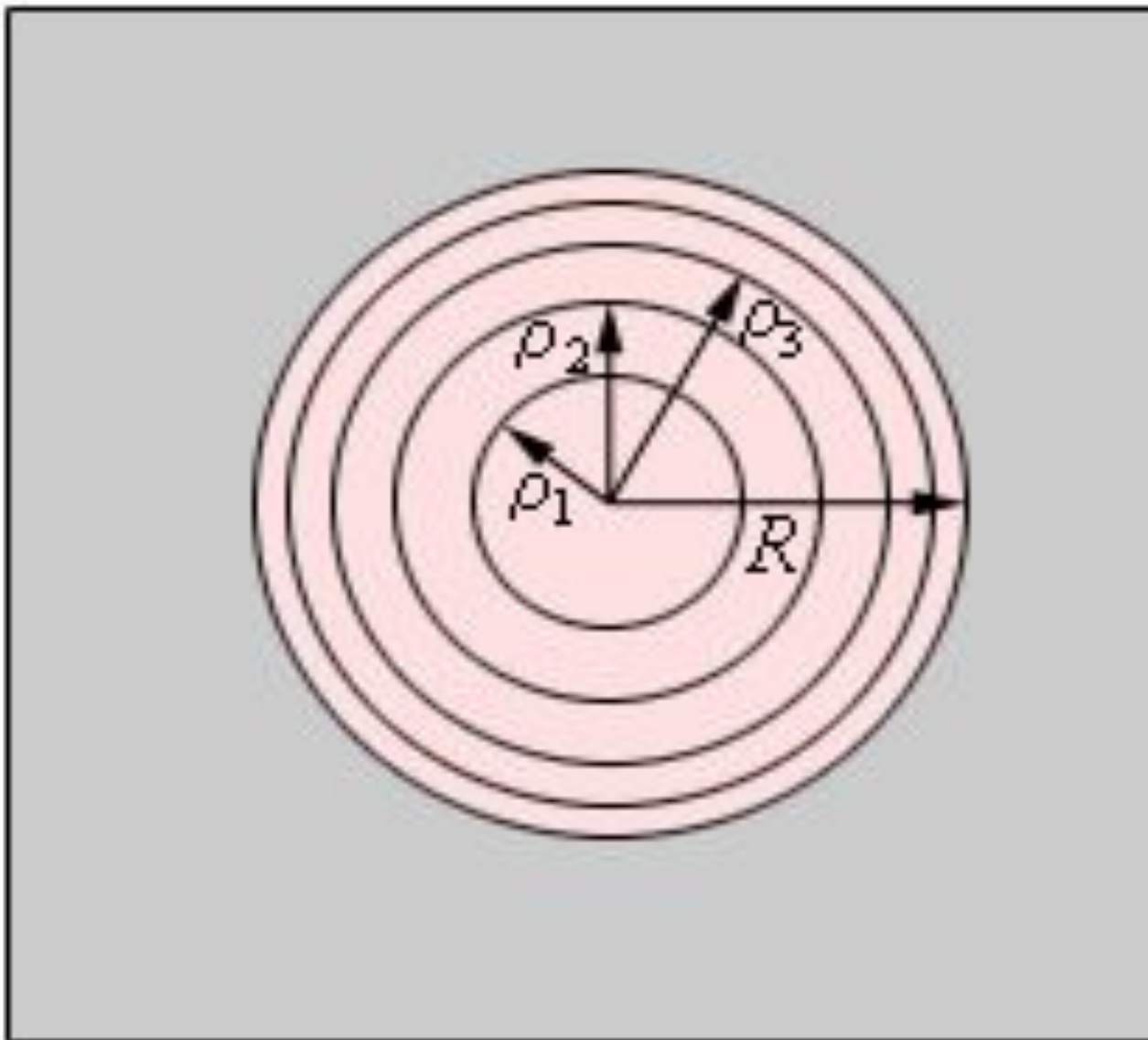
б) плоской волны ( $R \rightarrow \infty$ ):

$$r_m = \sqrt{m L \lambda},$$

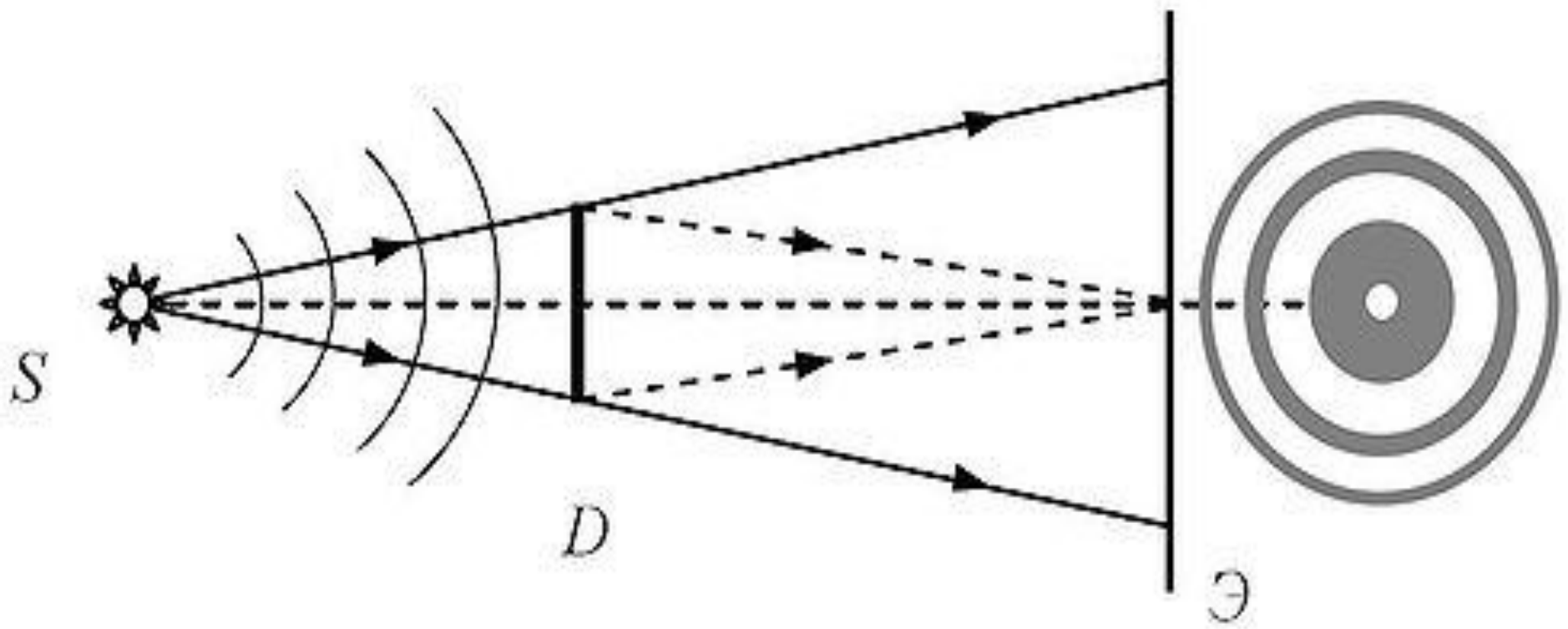
Диск Эйри



**Дифракция на круглом  
отверстии**



**Границы зон Френеля  
в плоскости отверстия**



**Точечный источник посылает световую волну на круглый непрозрачный диск **D**, а на экране **Э** в центре наблюдается **светлое пятно Араго - Пуассона****

# Дифракция на щели

$AB$  – плоский фронт

волны;

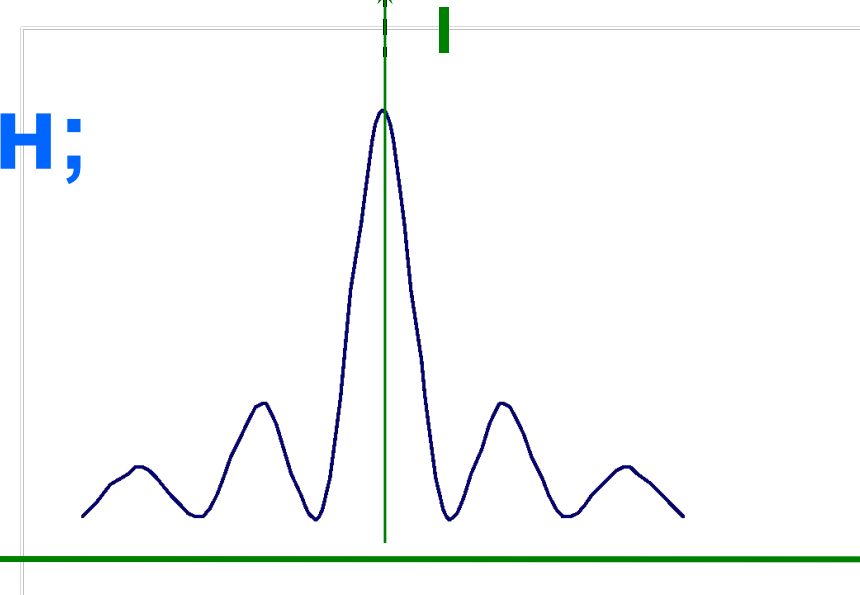
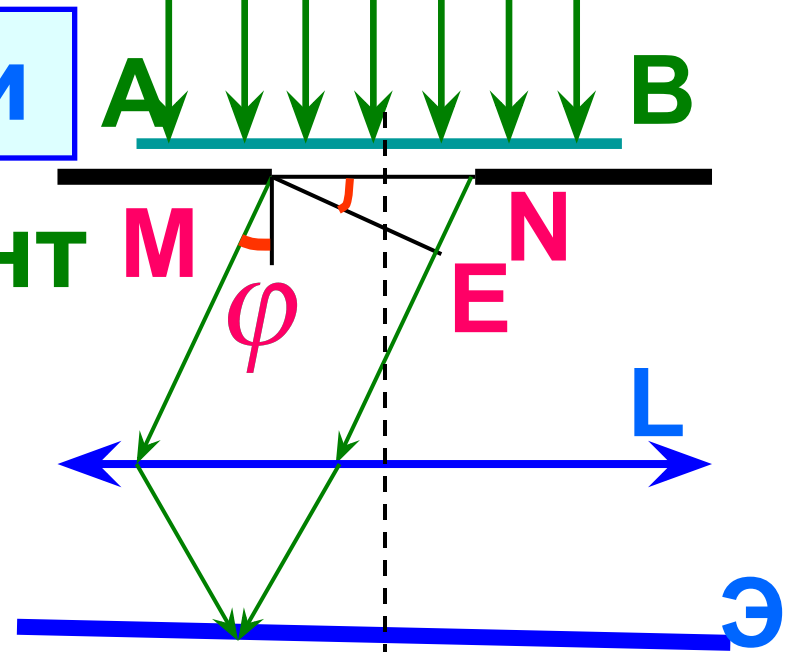
$MN = b$  – ширина

щели;

$L$  – линза;  $\mathcal{E}$  – экран;

$NE$  – оптическая

разность хода



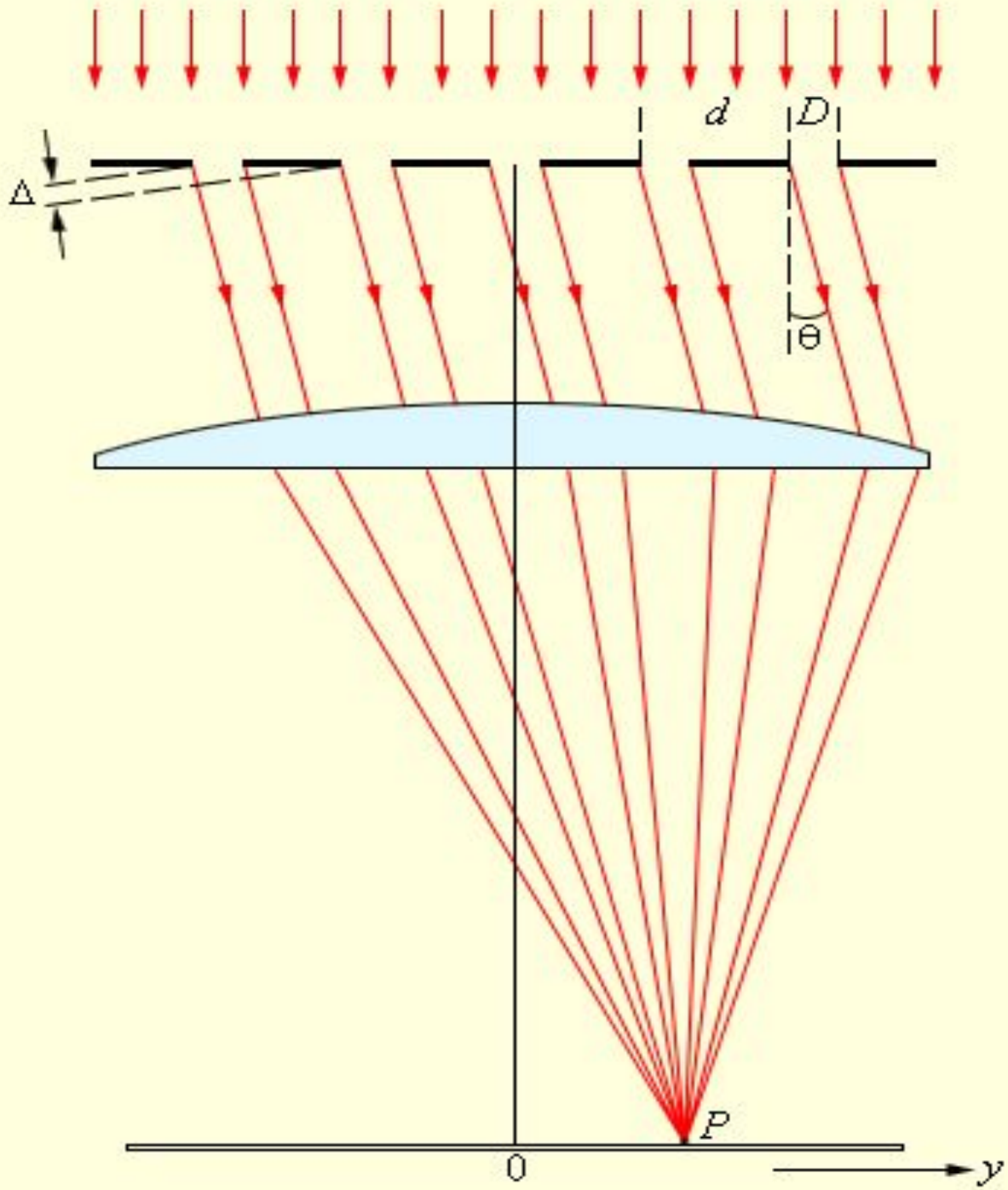


# Условие *min* при дифракции на щели

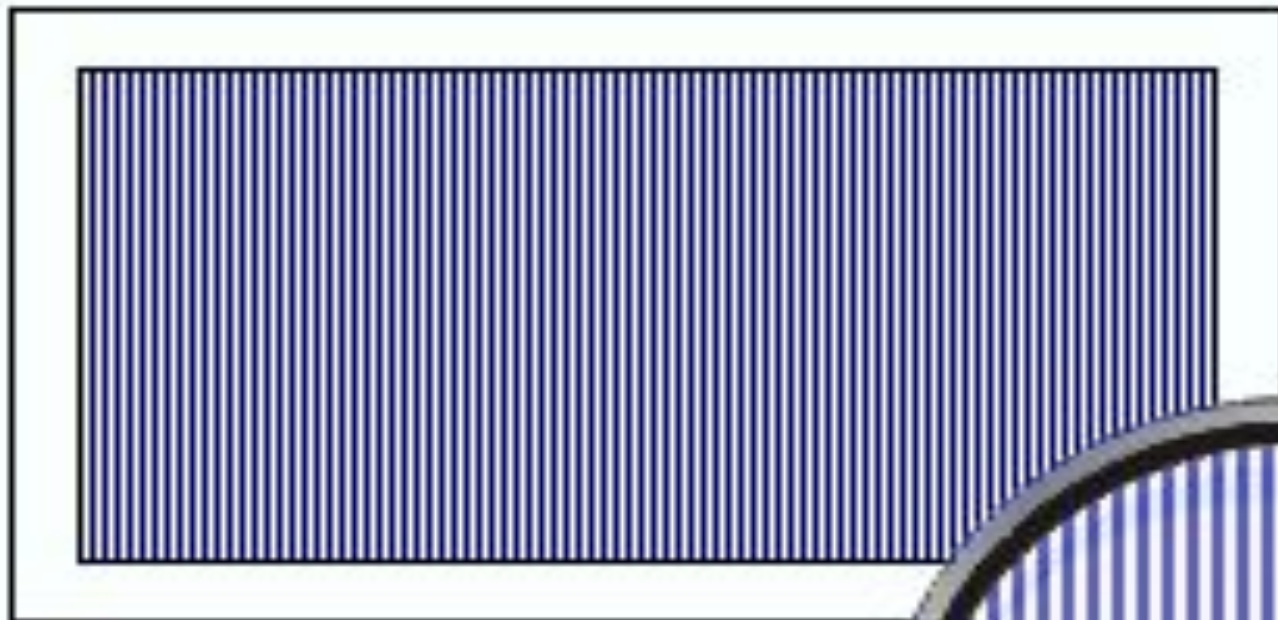
$$b \sin \varphi = \pm m \lambda$$

$\varphi$  - угол дифракции;

$m = 1, 2, 3 \dots$  – порядок  
дифракционного  
минимума



**Дифракция  
света на  
решетке**



**Дифракционная  
решетка**

# Дифракция на дифракционной решетке

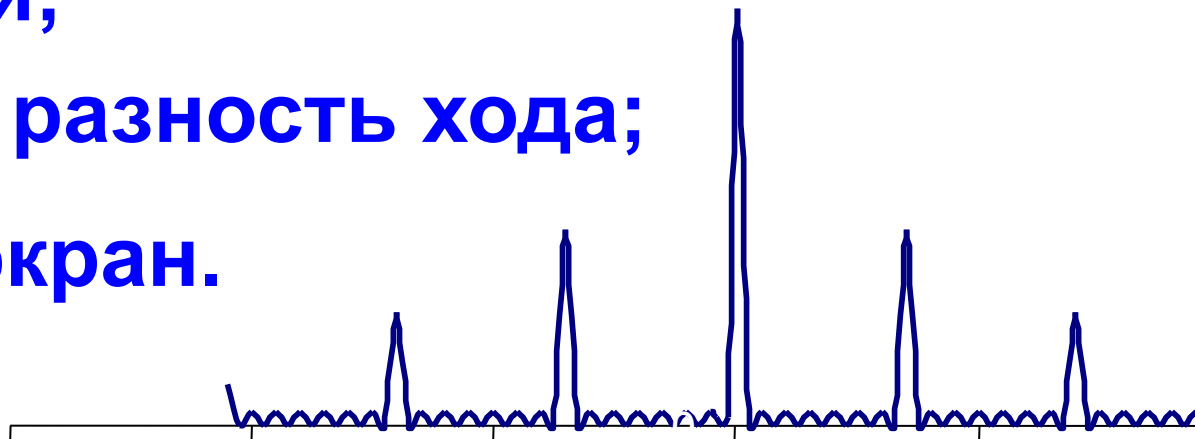
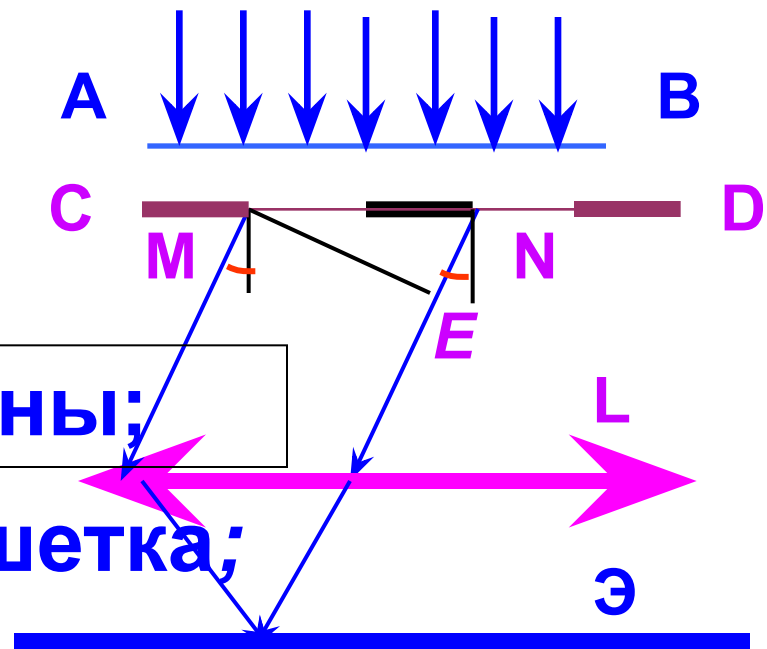
$AB$  – плоский фронт волны;

$CD$  – дифракционная решетка;

$MN = d$  – период дифракционной решетки;

$EN$  – оптическая разность хода;

$L$  – линза;  $\mathcal{E}$  – экран.



**Условие главных максимумов:**

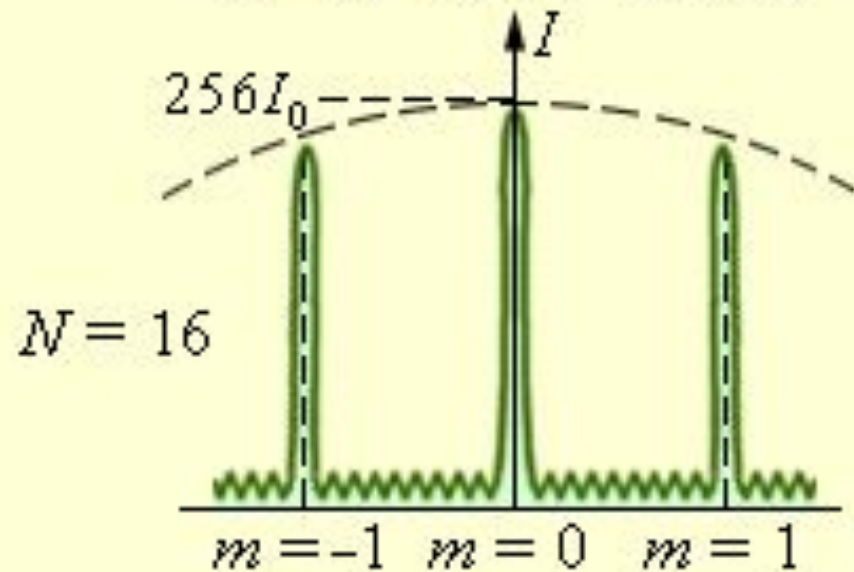
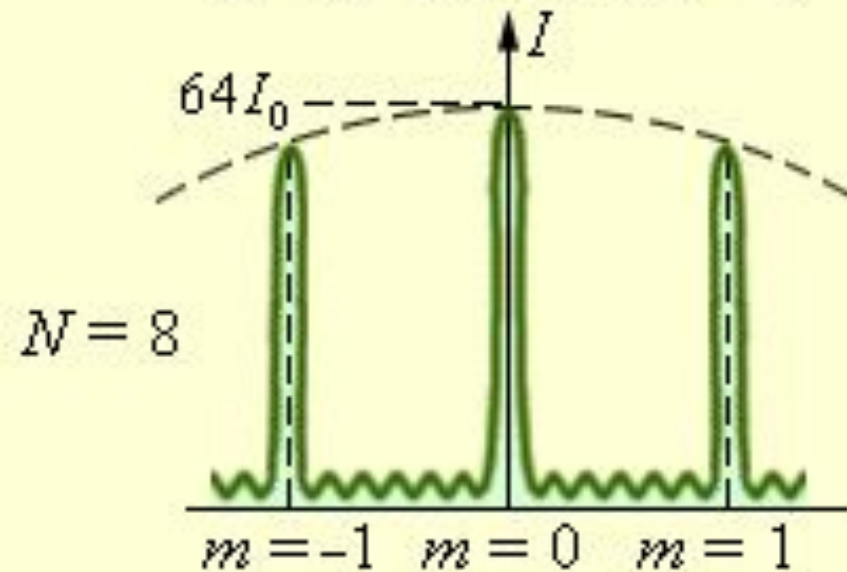
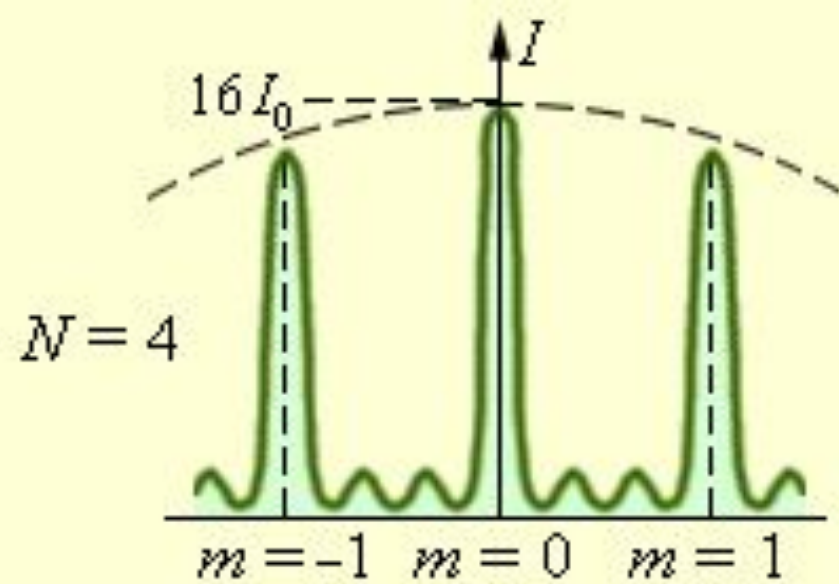
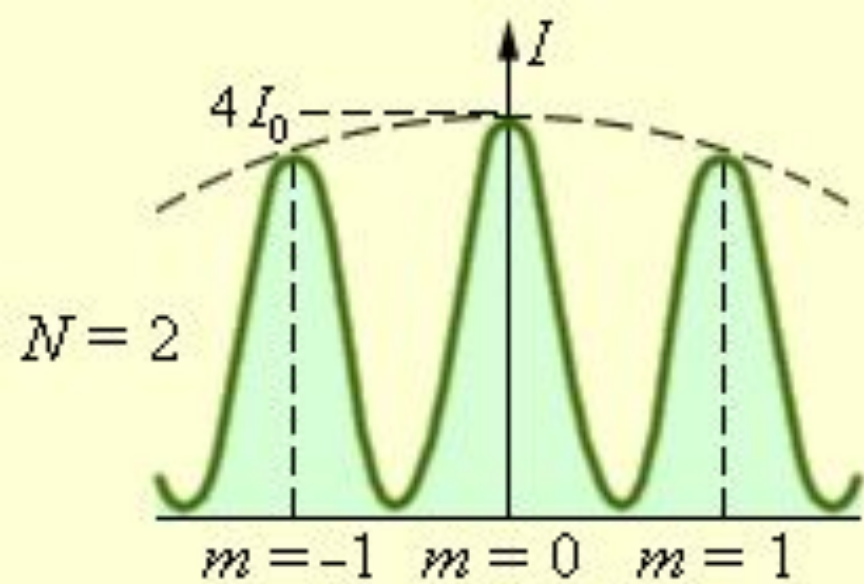
$$d \sin \varphi = \pm m \lambda,$$

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

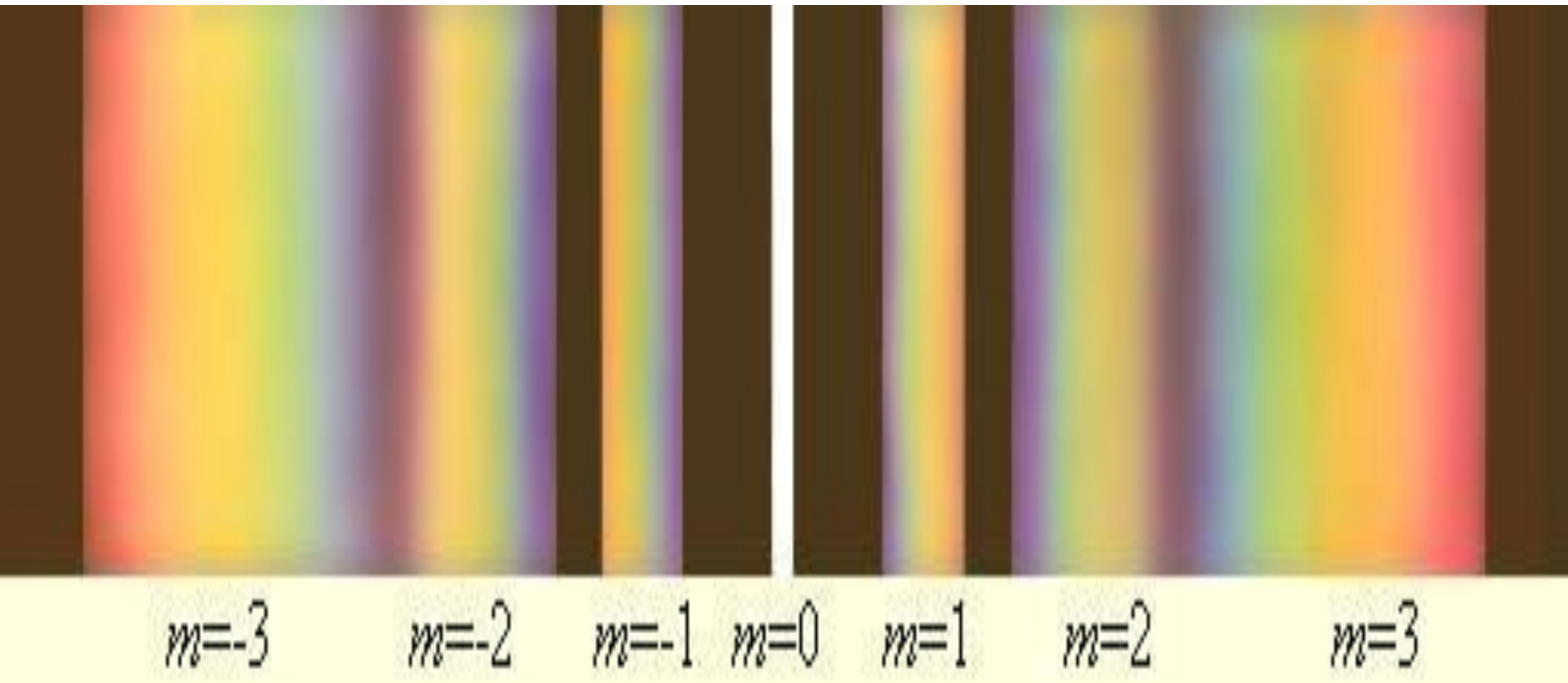
**Условие главных минимумов:**

$$b \sin \varphi = \pm m \lambda,$$

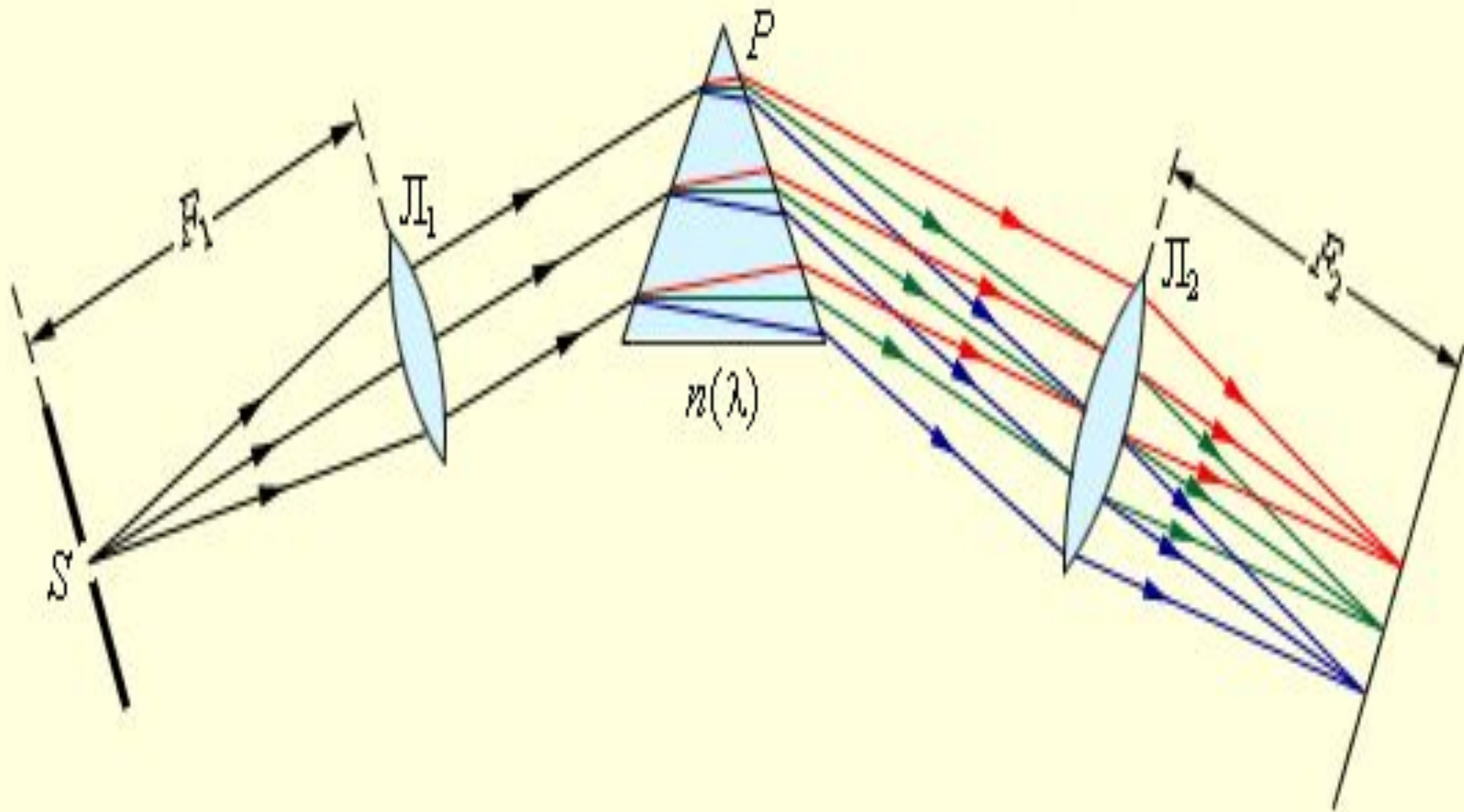
$$m = 1, 2, 3 \dots$$



Дифракция на решетках с различным числом щелей;  $I_0$  – на одной щели.

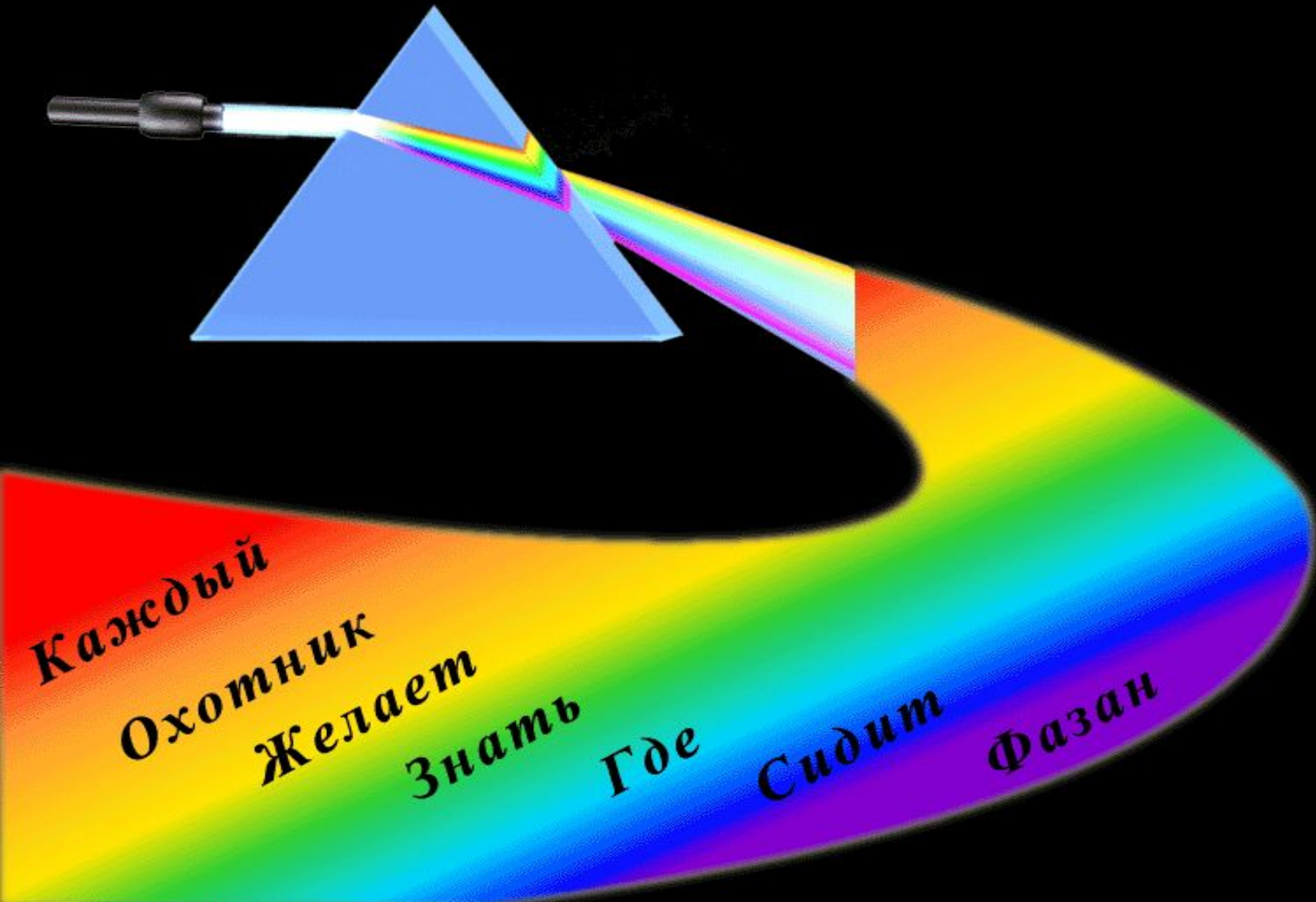


**Разложение белого света  
в спектр с помощью  
дифракционной решетки**



**Разложение излучения в спектр  
при помощи призмы**





**Нормальная дисперсия света**

Радуга.  
Дисперсия  
света на водяных  
каплях





# Дисперсия света в кристаллах льда

**Зависимость показателя преломления от частоты  $\omega$  имеет вид**

$$n^2 = 1 + \frac{n_0 e^2}{\varepsilon_0 m} \frac{1}{(\omega_0^2 - \omega^2)}.$$

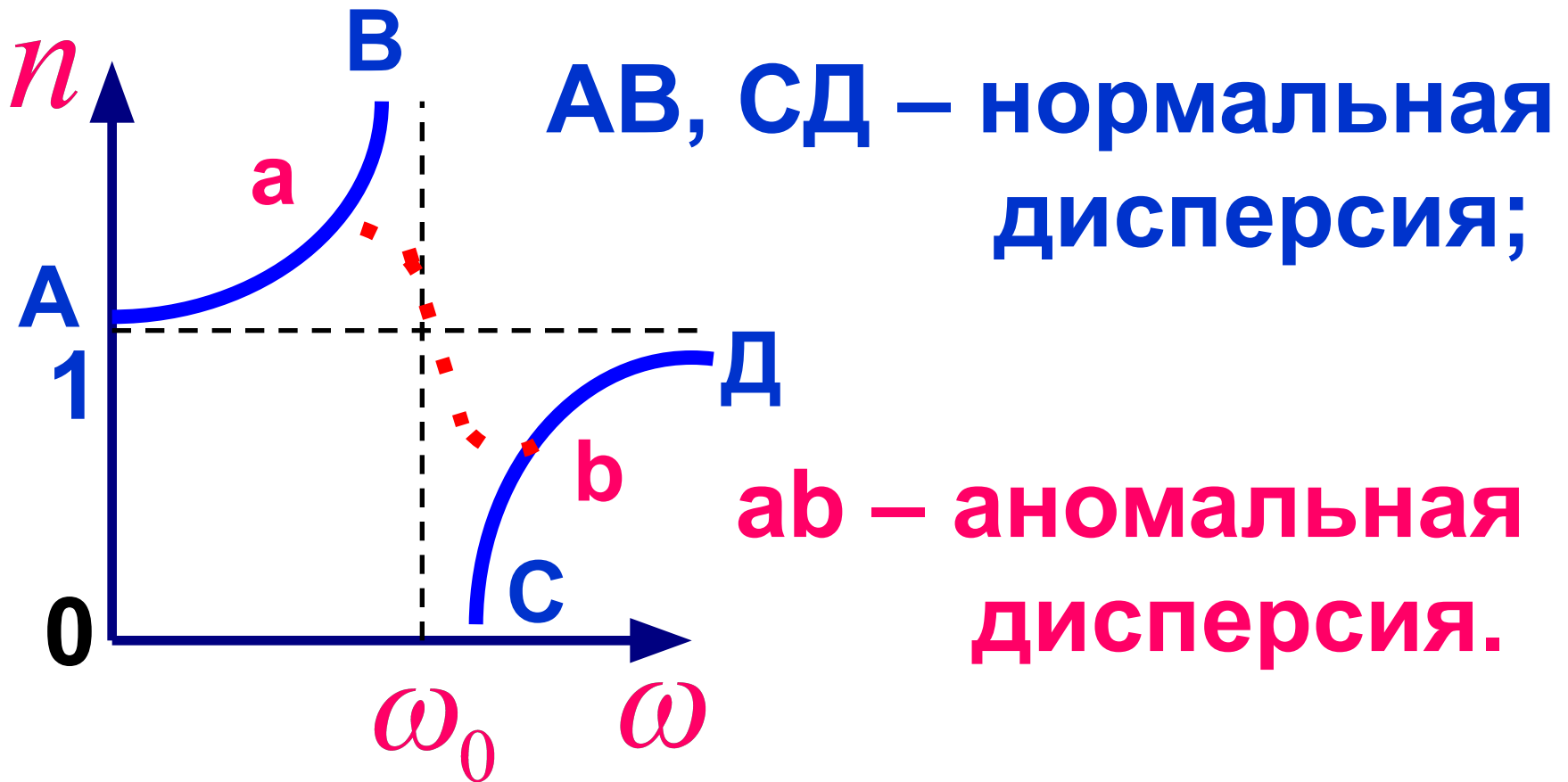
**1) При изменении  $\omega$  от 0 до  $\omega_0$**

$n^2 > 1$  и  $n \Rightarrow$  ув-тсся при  $\omega \Rightarrow$  ув.;

**2) при  $\omega = \omega_0$   $n^2 \Rightarrow \pm\infty$ ;**

**3) при изменении от  $\omega = \omega_0$  до  $\omega \Rightarrow \infty$**

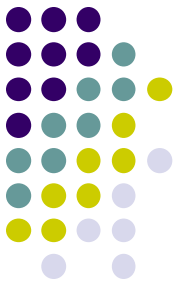
$n$  изменяется от  $-\infty$  до 1;



**Аномальная дисперсия наблюдается в области частот, соответствующих полосам интенсивного поглощения света в данной среде.**

# Выводы

- 1) Свет – ЭМ волна;
- 2) диапазоны: УФ - видимый - ИК;
- 3) док- во: явления интерференции, дифракции, дисперсии; поперечность световой волны подтверждает явление поляризации.

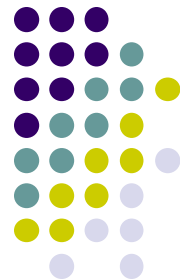


 получение света, в котором колебания вектора  $\vec{E}$  каким-либо образом упорядочены.

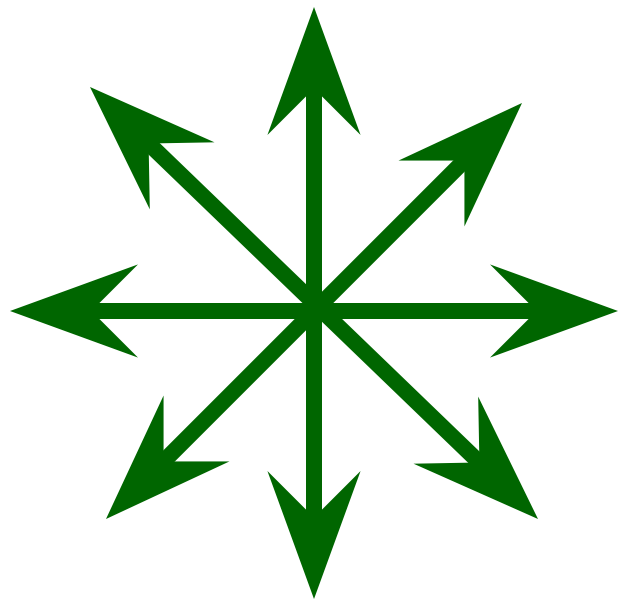
Вектор  $\vec{E}$  напряженности электрического поля называют **СВЕТОВЫМ** вектором.



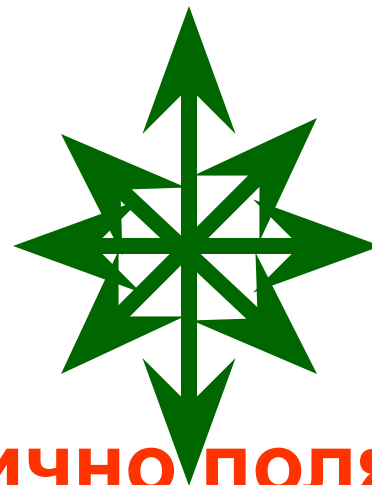
# Естественный и поляризованный свет



$\vec{E}$



$\vec{E}$

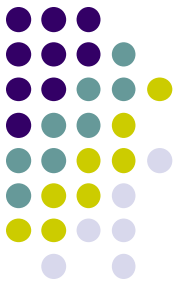


**Естественный** - свет с равновероятными ориентациями  $\vec{E}$ .

**Частично поляризованный** – свет с преимущественным направлением колебаний  $\vec{E}$ .



# Степень поляризации



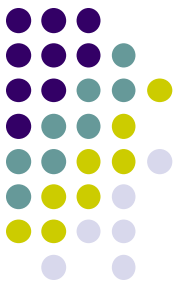
$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}},$$

где  $I_{\max}$ ,  $I_{\min}$  – максимальная и минимальная интенсивности поляризованного света.

$P = 0$  – для естественного света;

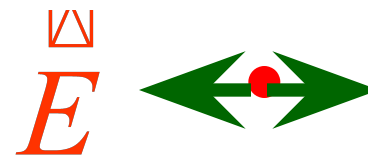
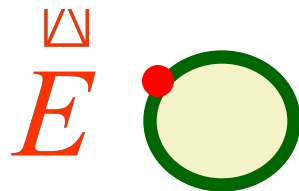
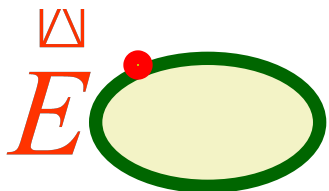
$P = 1$  - для поляризованного света.

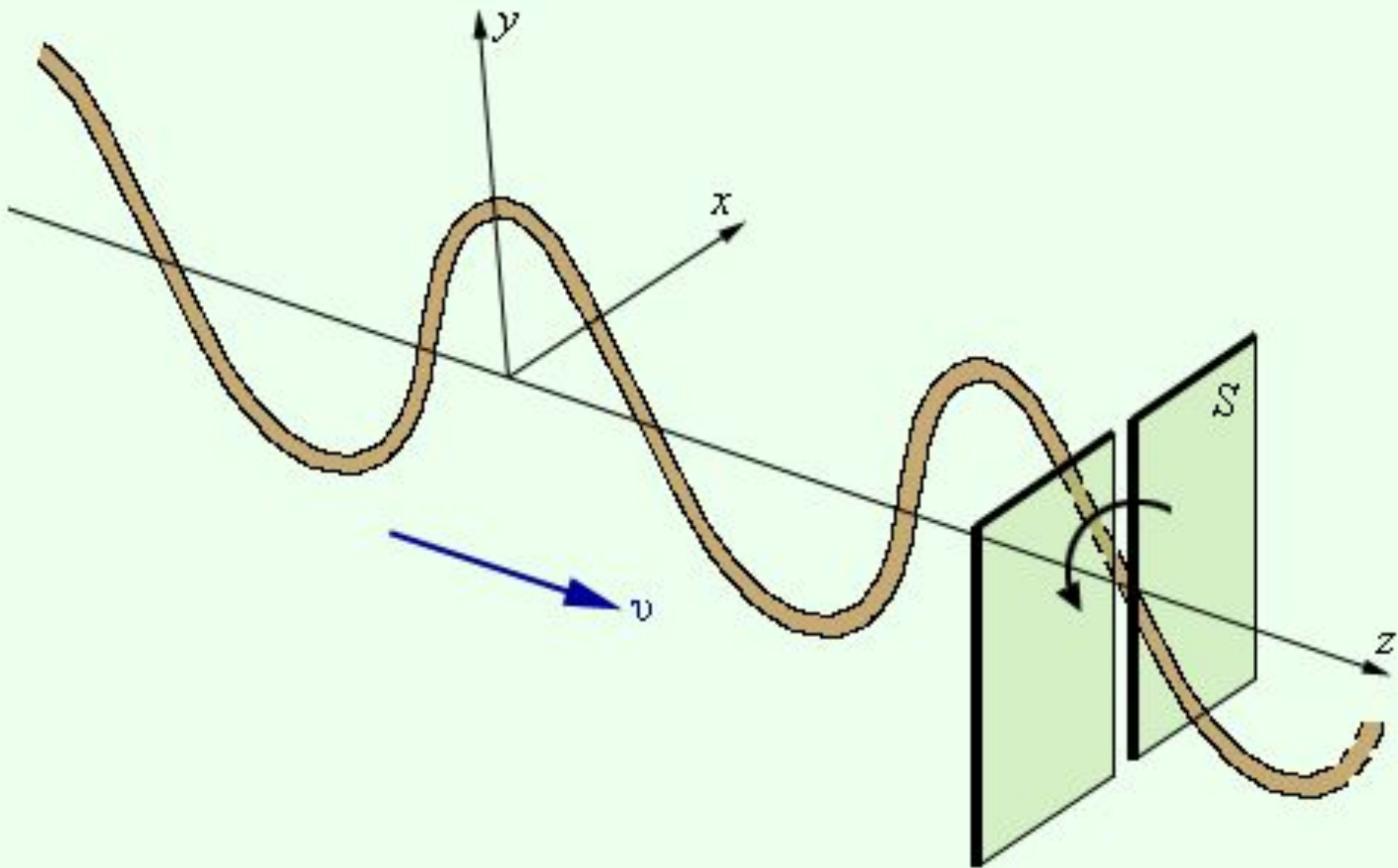
# Получение поляризованного света



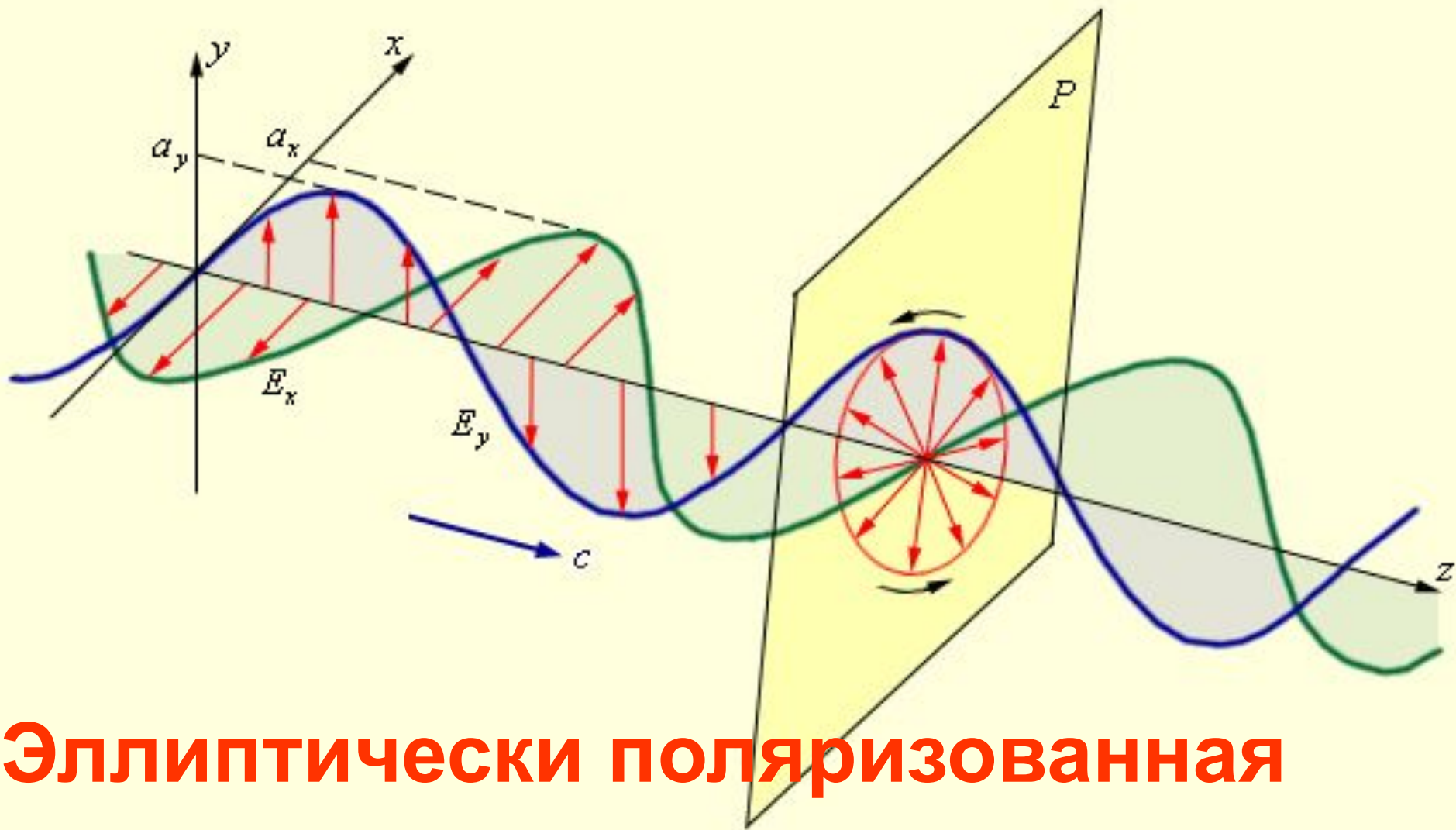
- При отражении и преломлении на границе раздела двух изотропных сред.
- При прохождении света через анизотропную среду (двойное лучепреломление).

## ТИПЫ ПОЛЯРИЗАЦИИ

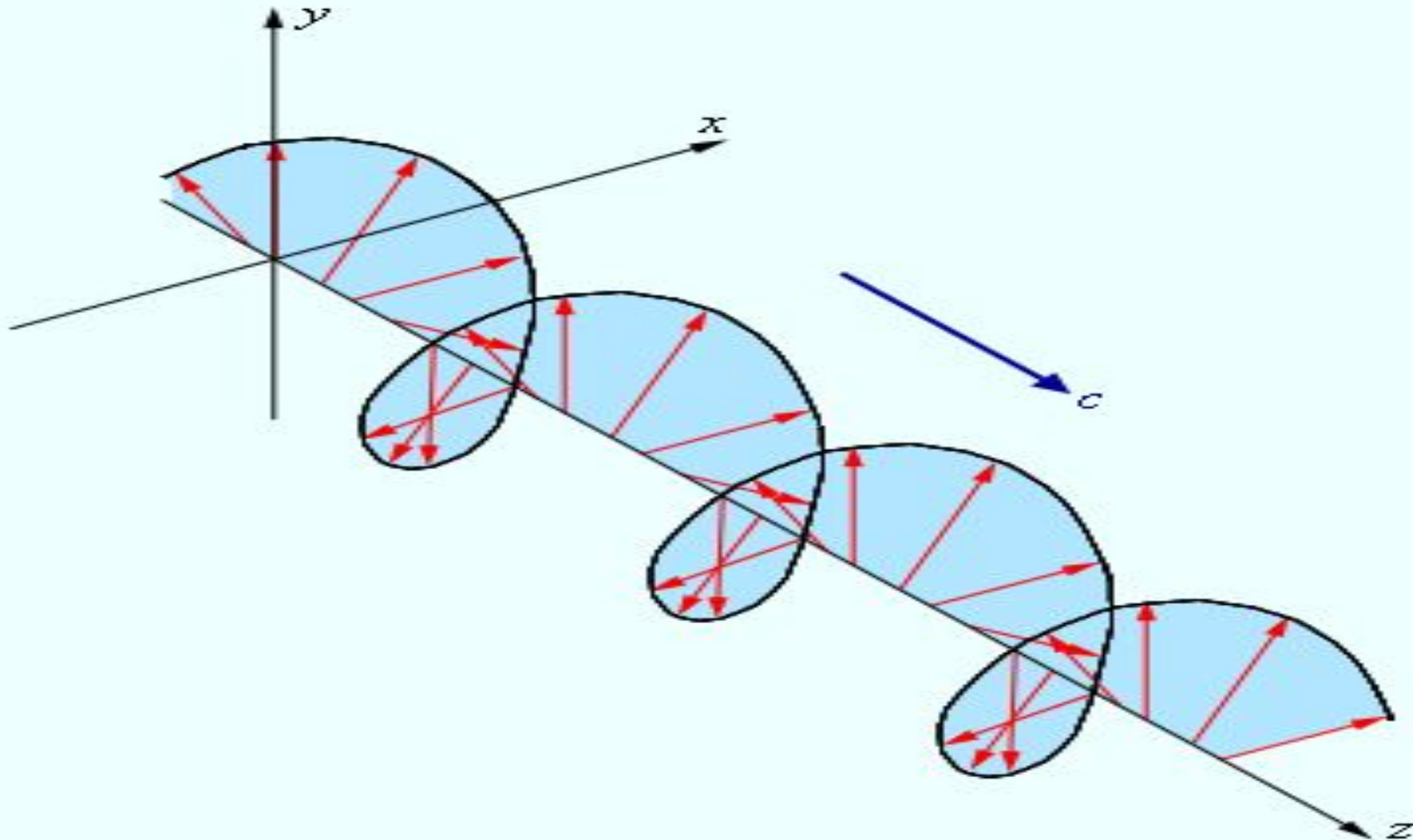




**Поперечная волна в резиновом жгуте**



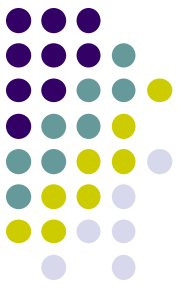
**Эллиптически поляризованная волна при сложении взаимно перпендикулярных поляризованных волн**



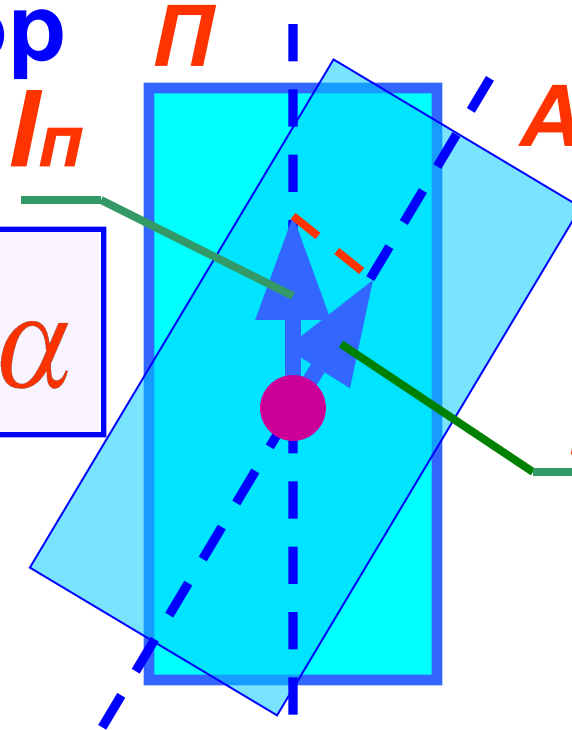
**Электрическое поле в эллиптически поляризованной волне**

1810г.

# Закон Малюса



поляризатор

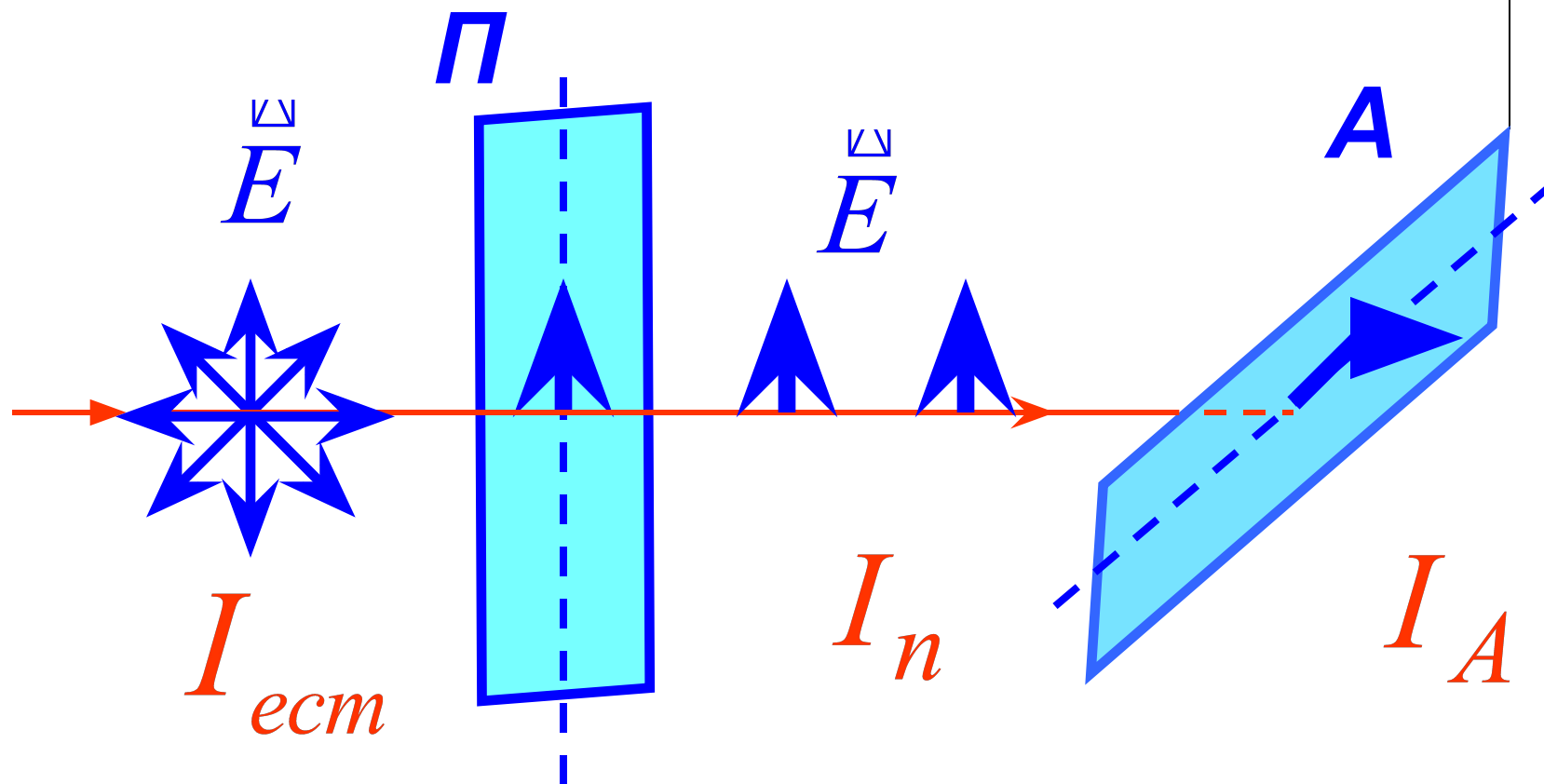


анализатор

$$I_A = I_P \cos^2 \alpha$$

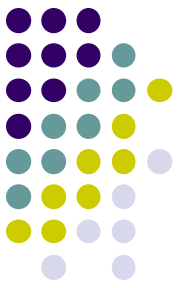
Интенсивность света, вышедшего из **А**, равна интенсивности света, вышедшего из **П**, умноженной на квадрат косинуса угла между плоскостями поляризации **П** и **А**.

# К закону Малюса



$$I_n = \frac{1}{2} I_{ест}; \quad \alpha = \pi / 2, \quad I_A = 0.$$

$$I_A = \frac{1}{2} I_{\text{ест}} \cos^2 \alpha$$



- без учета потерь света в **П** и **А**;

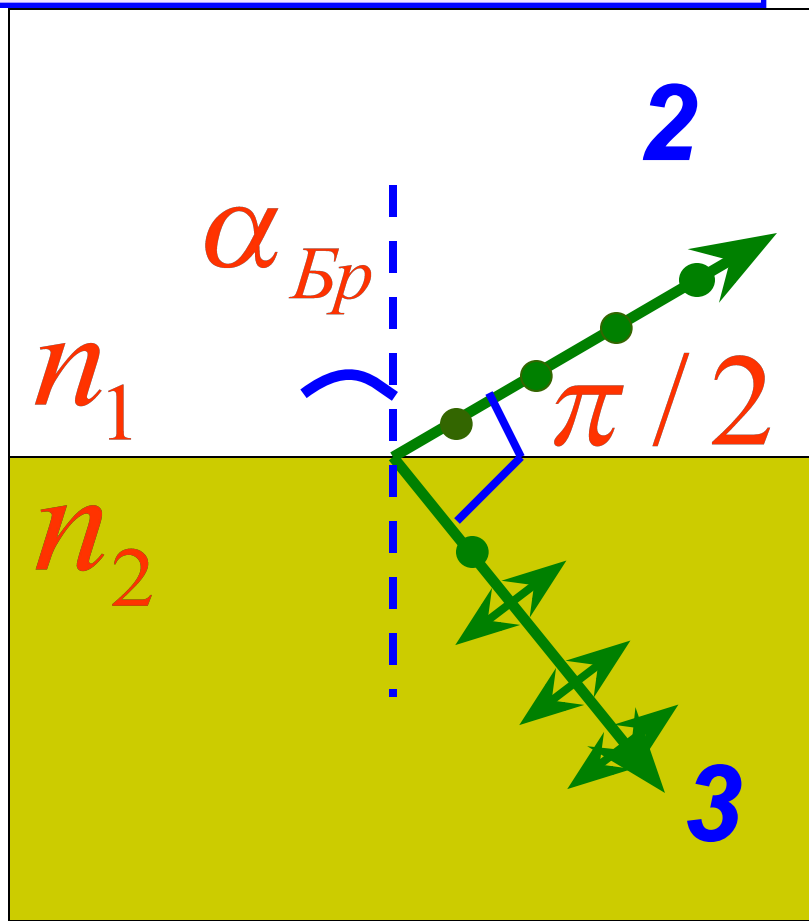
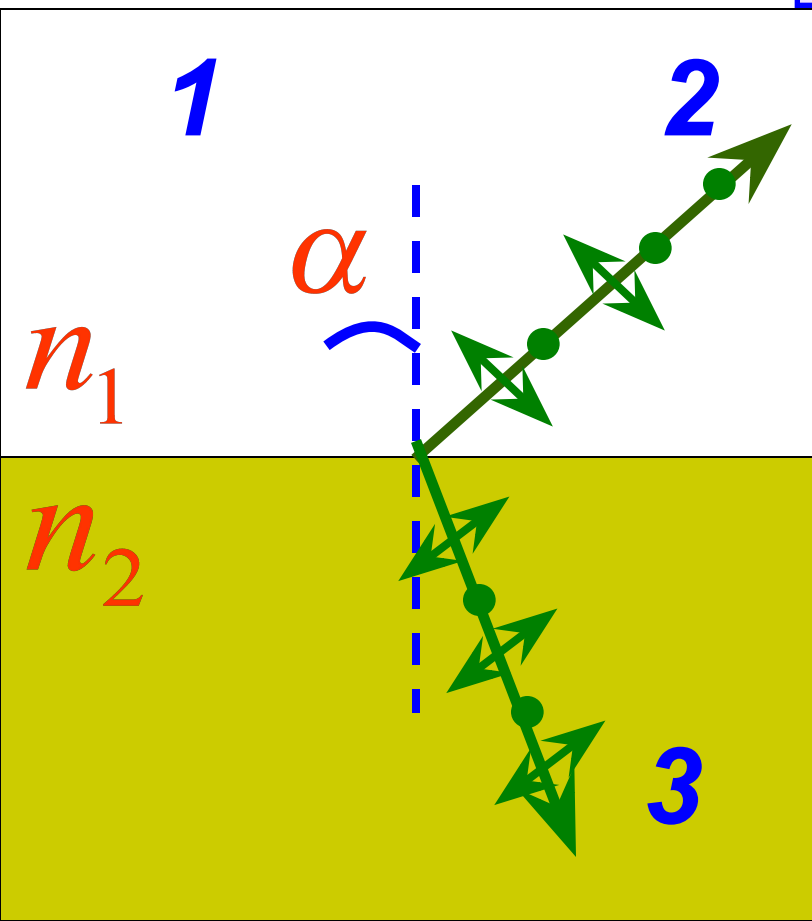
$$I_A = \frac{1}{2} I_{\text{ест}} (1 - k_1)(1 - k_2) \cos^2 \alpha$$

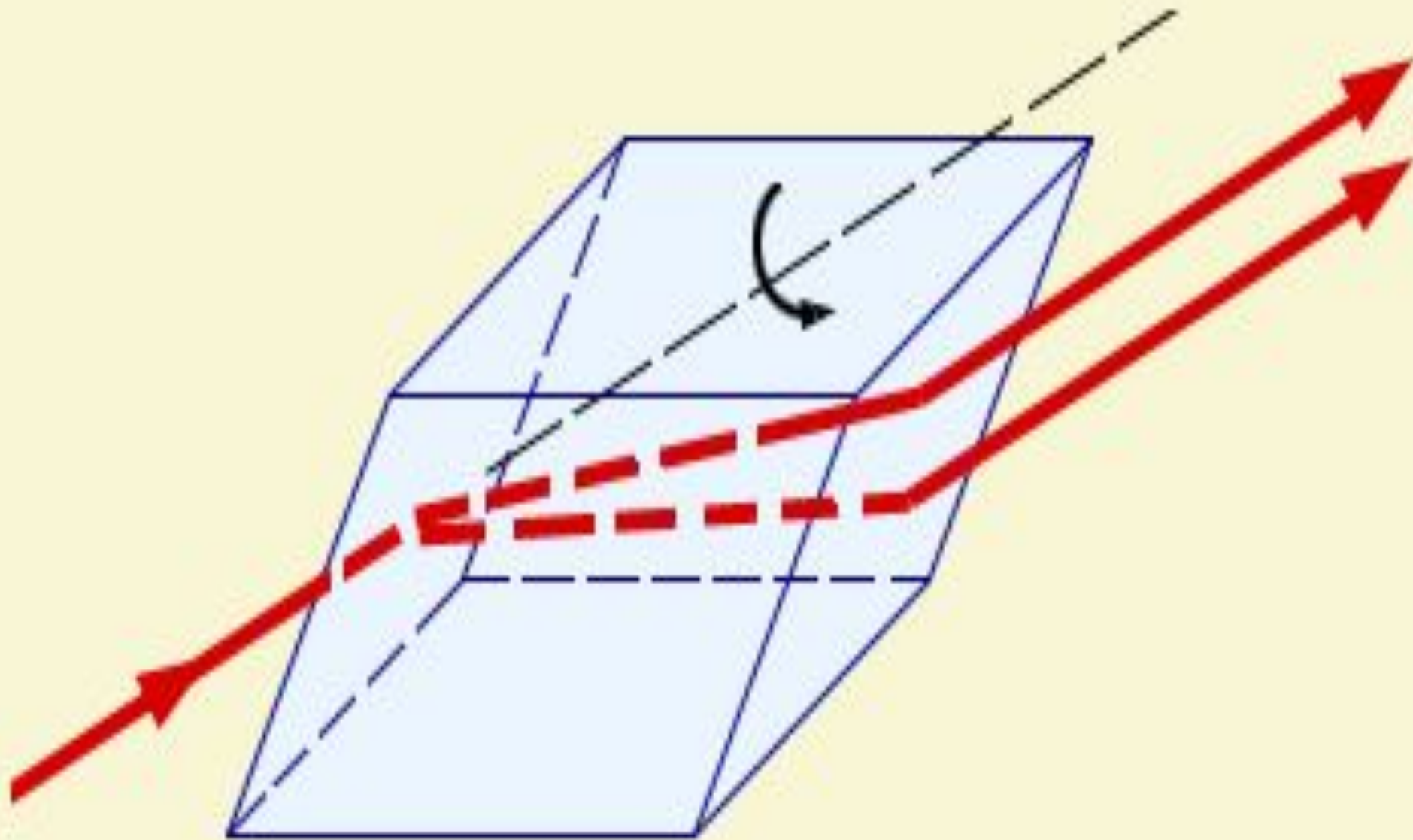
$k_1, k_2$  - коэффициенты поглощения света **П** и **А**.



# Закон Брюстера

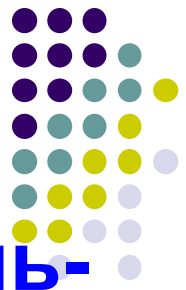
$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{Бр}} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$



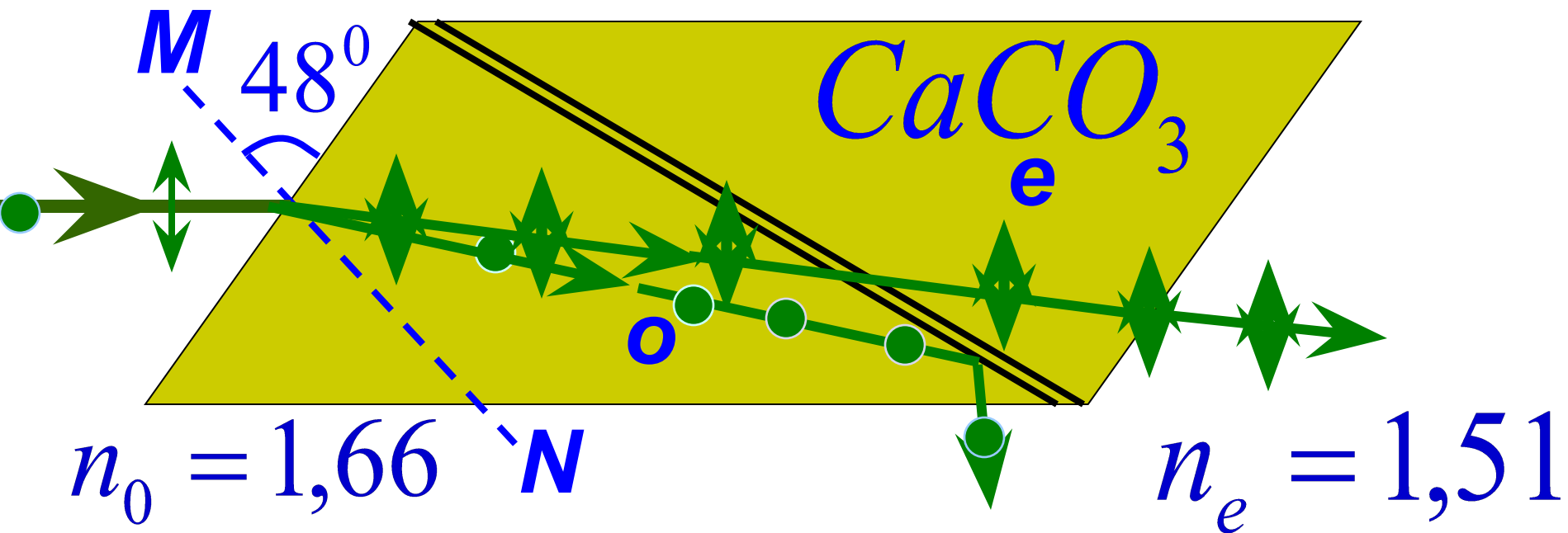


**Двойное лучепреломление на кристалле исландского шпата**

# Призма Николя



- поляризационная призма, в ней используется принцип полного внутреннего отражения.



Углы при основании призмы  $22^\circ$  и  $68^\circ$ ,  
клей – канадский бальзам ( $n = 1,55$ ).