

«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.

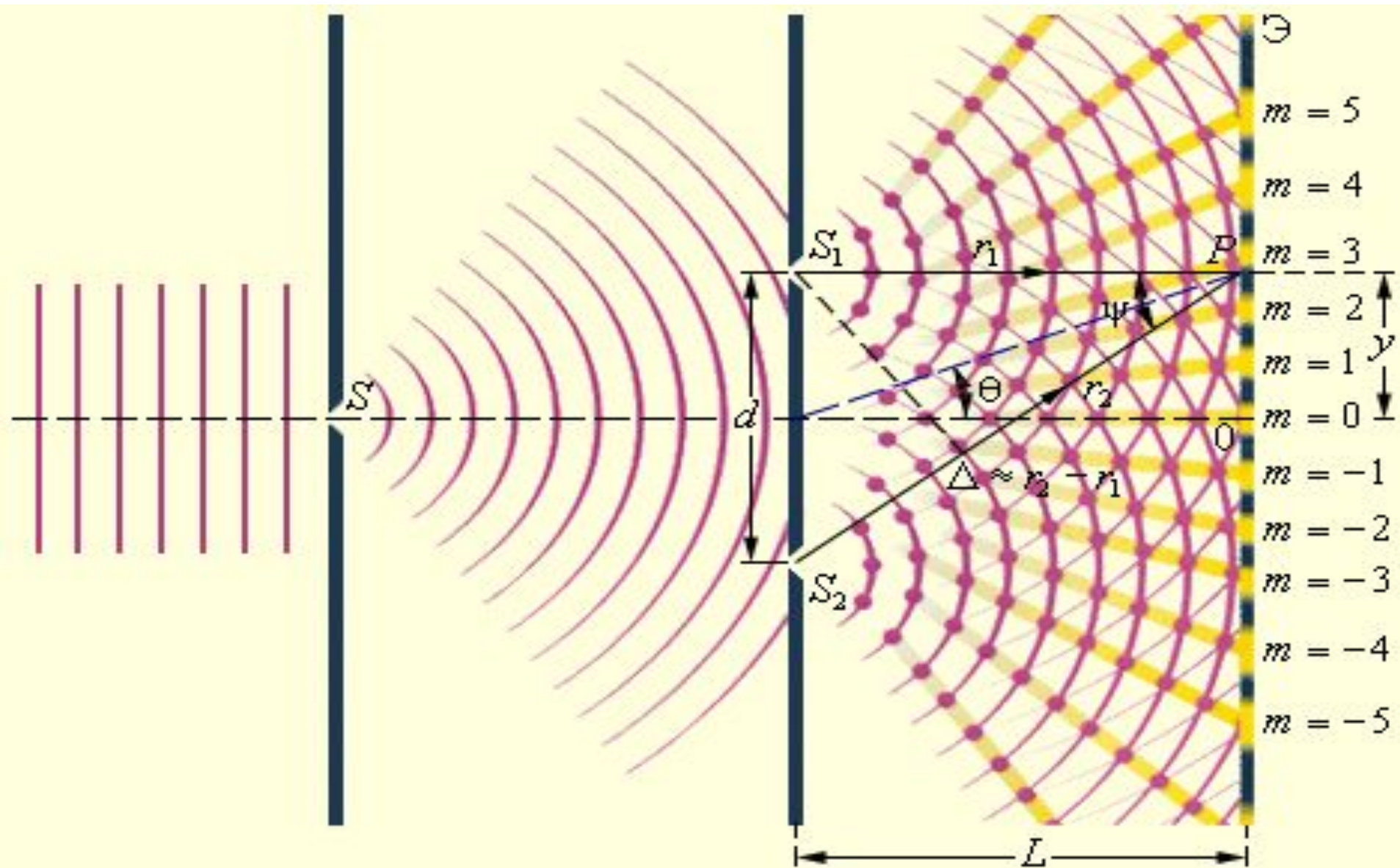
Используются: метод Юнга, бипризма или бизеркало Френеля, зеркало Ллойда, тонкие пленки...

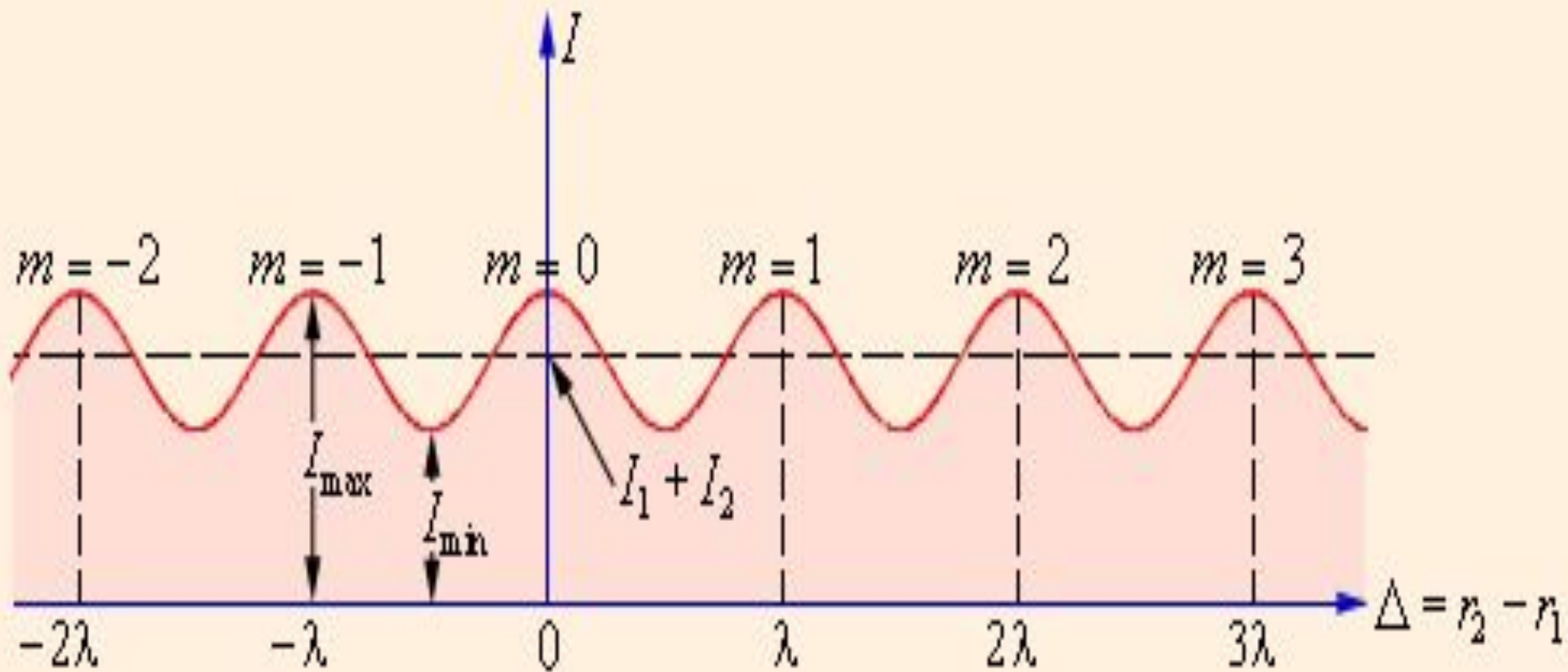
ТИПЫ КОГЕРЕНТНОСТИ:

- **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



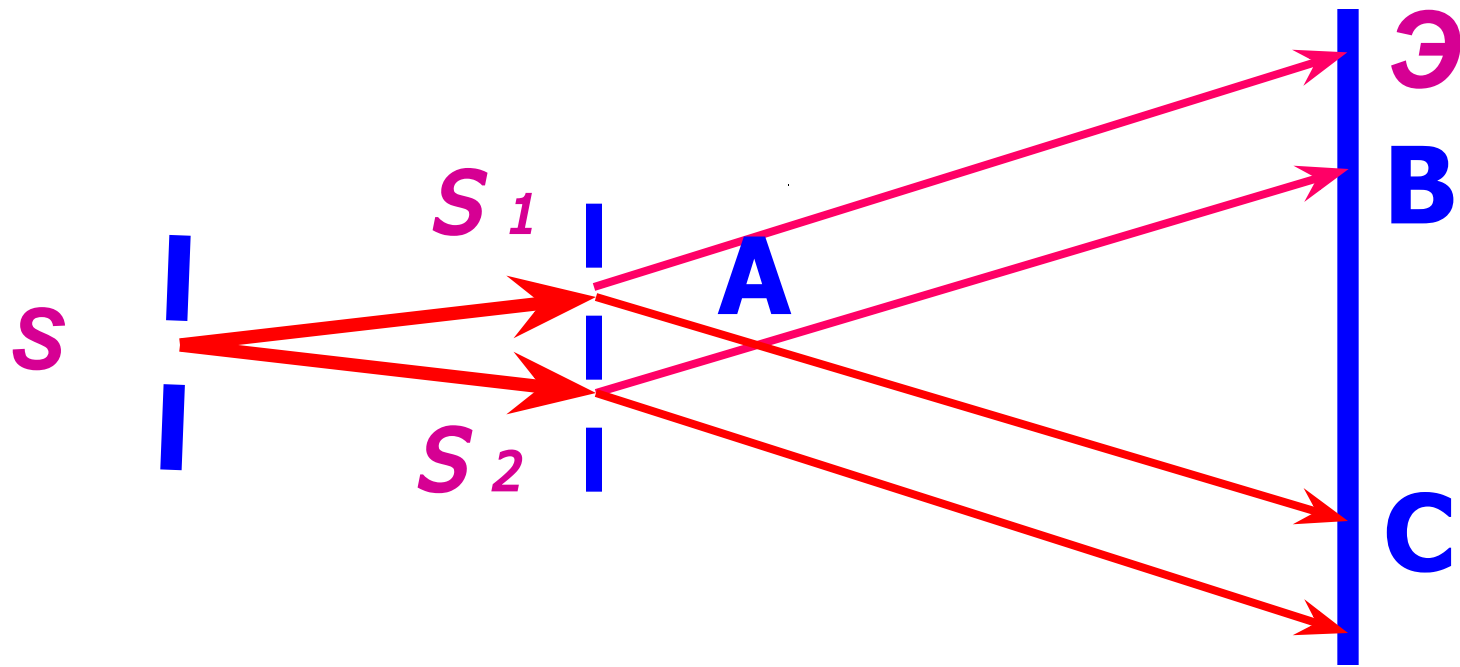


Распределение интенсивности в интерференционной картине.
Целое число m – порядок интерференционного максимума

Метод Юнга

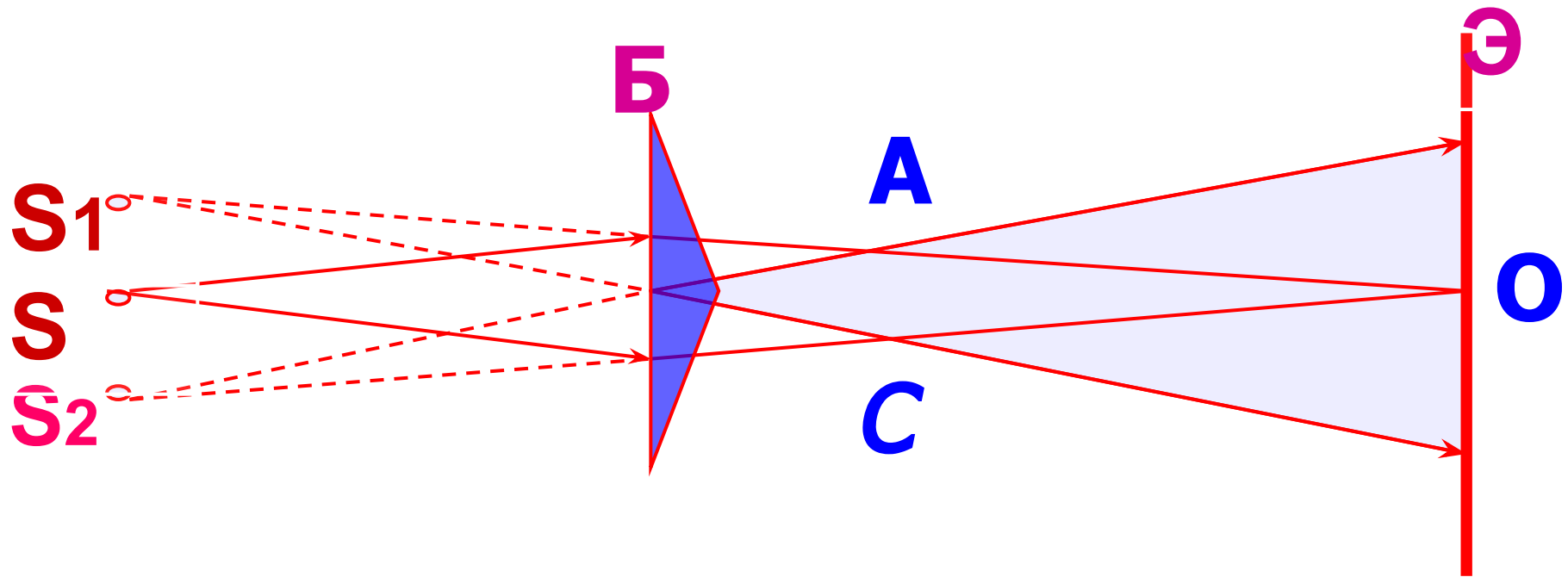
S – освещенная щель,

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**: $\Delta = m\lambda;$

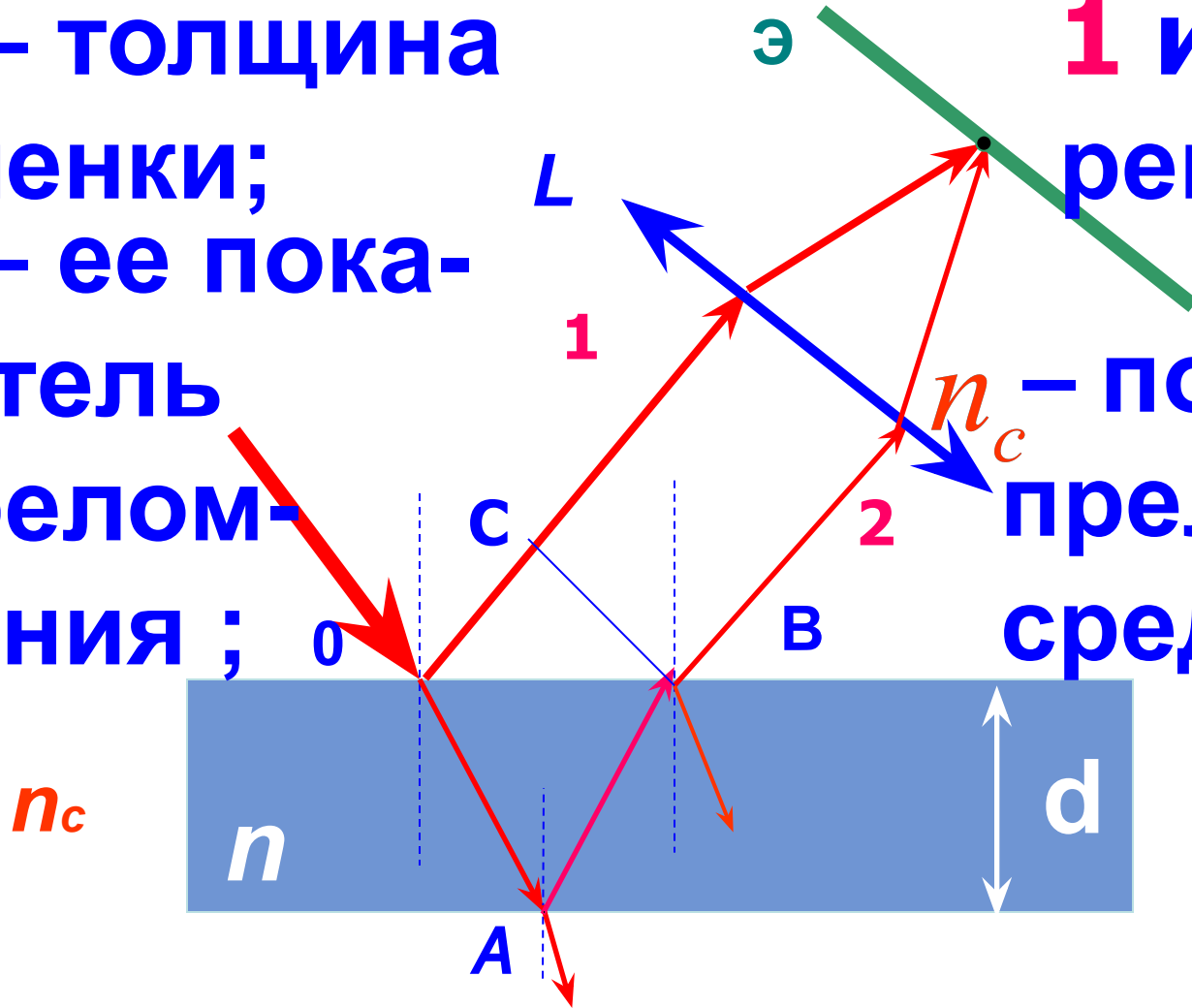
- Условие **min**: $\Delta = (2m + 1)\lambda / 2;$

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

Интерференция в тонких пленках

d – толщина пленки;
n – ее показатель преломления ;

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



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

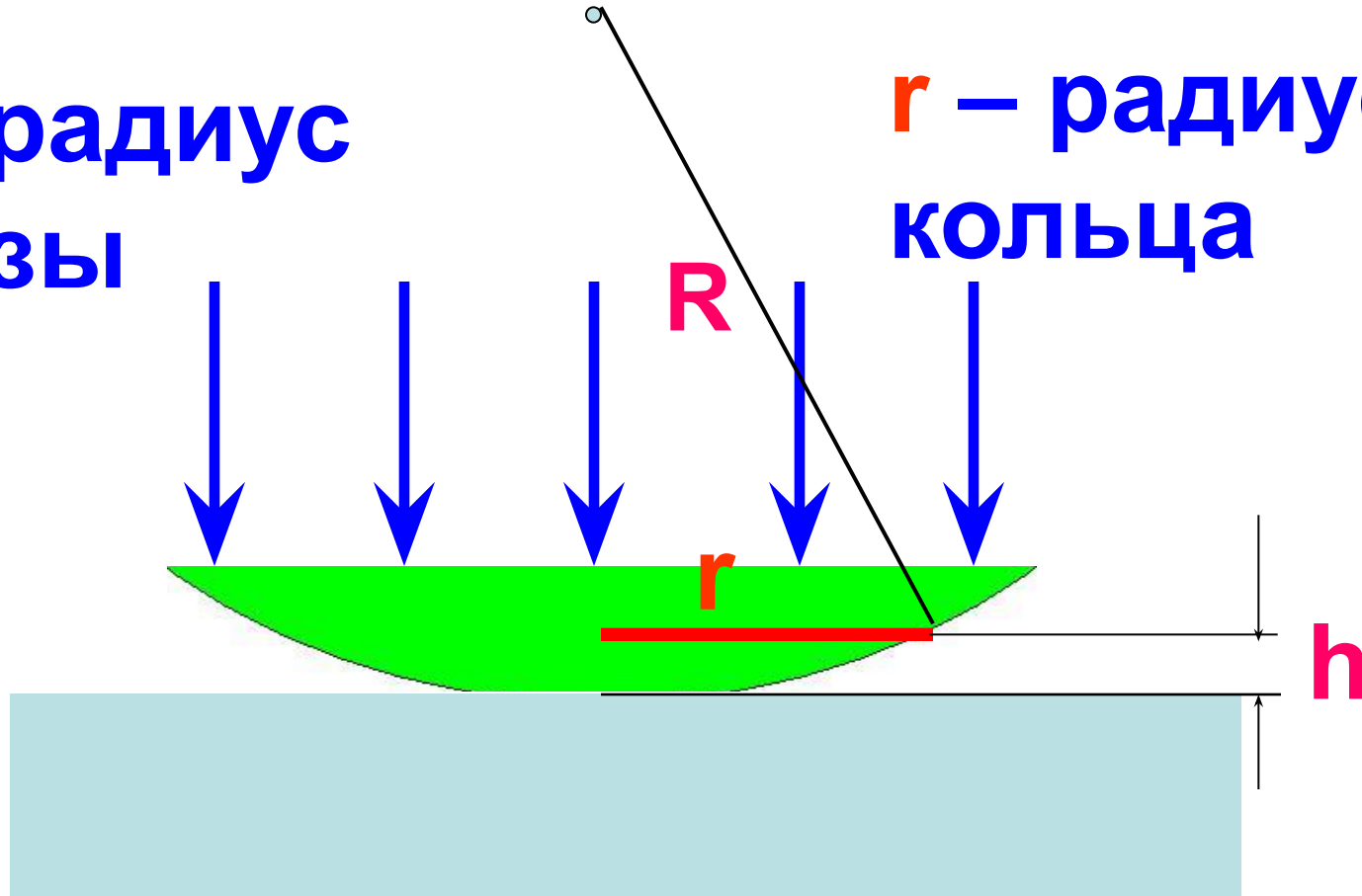
Интерференция возникает при сложении волн, отразившихся от двух сторон прослойки между линзой и пластинкой



Получение интерференционной картины «Кольца Ньютона»

R – радиус
линзы

r – радиус
кольца



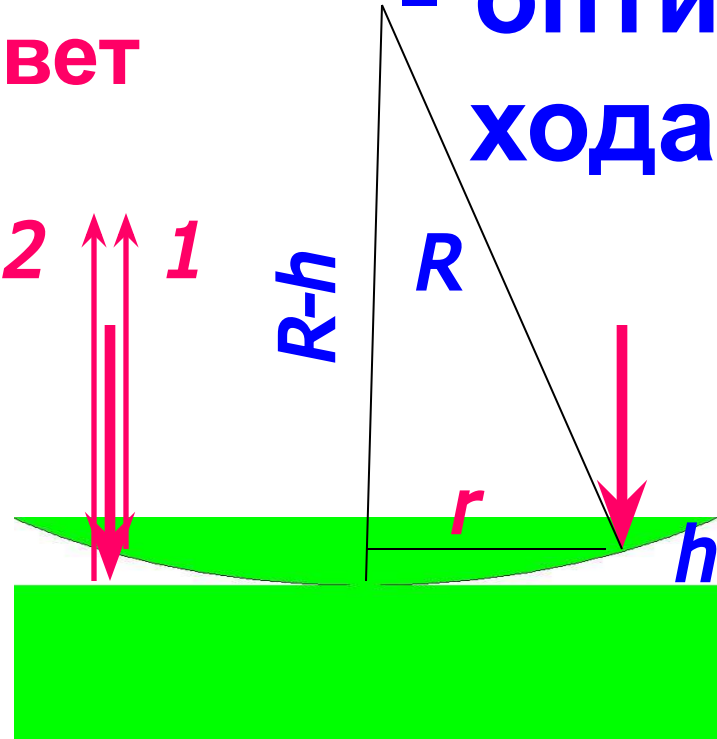
h - толщина зазора в месте
расположения кольца;

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

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

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

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

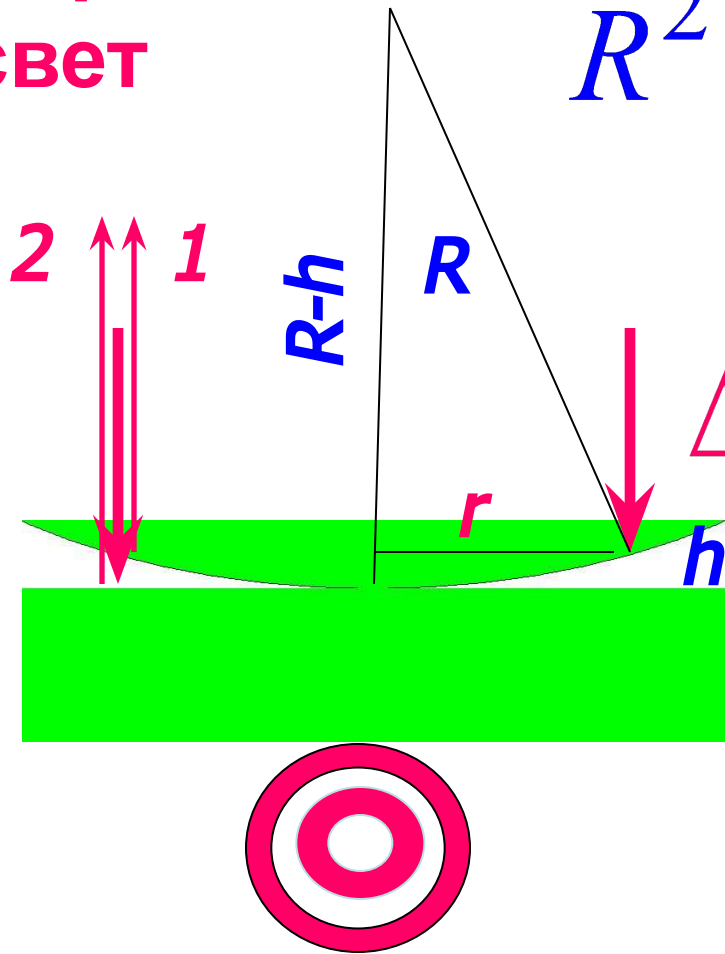
$$\Delta = (2m - 1)\lambda / 2 - \text{min};$$

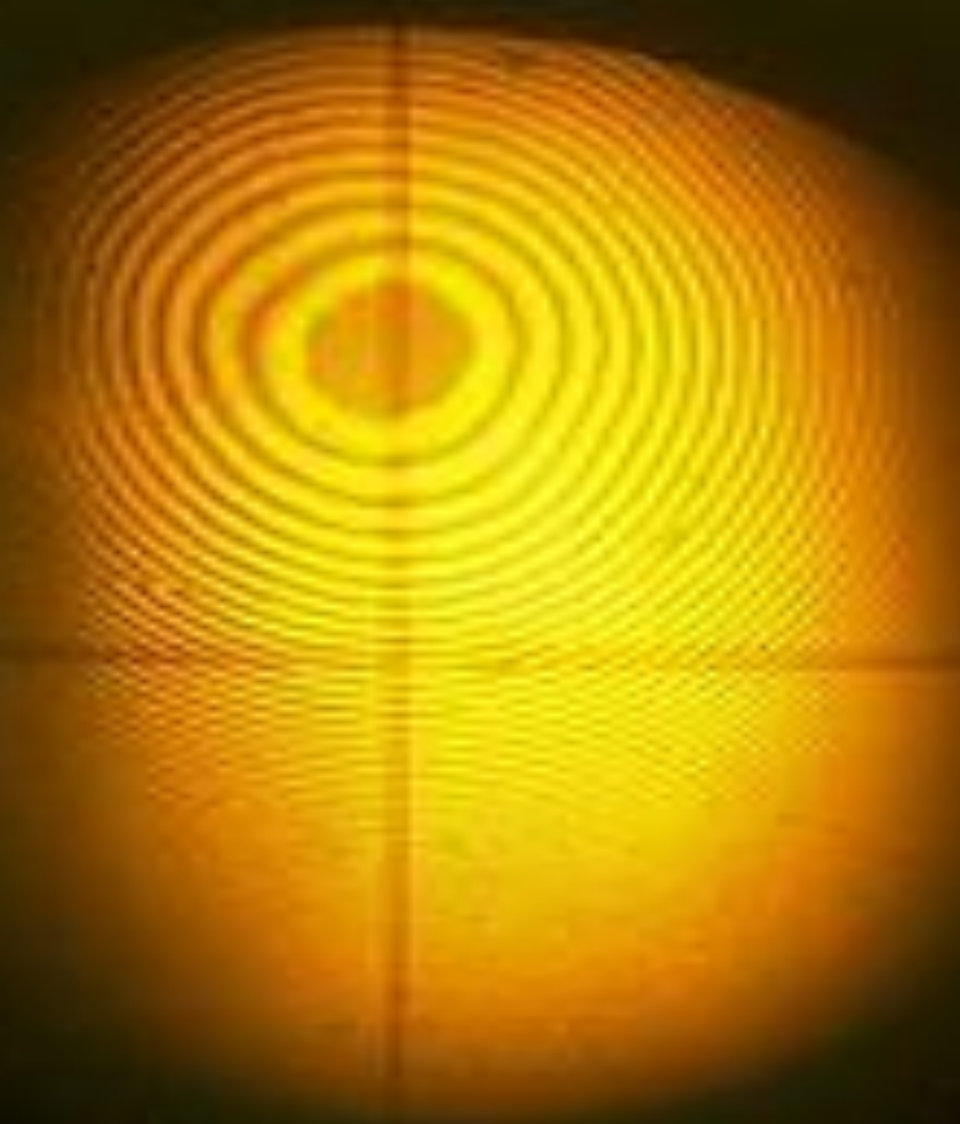
$m=1,2,3,\dots$ -

целое число;

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

- радиус темного кольца.







**Радиус
кольца
зависит
от
длины
волны
света**

$$r_{кр} > r_{зел} \cdot$$

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

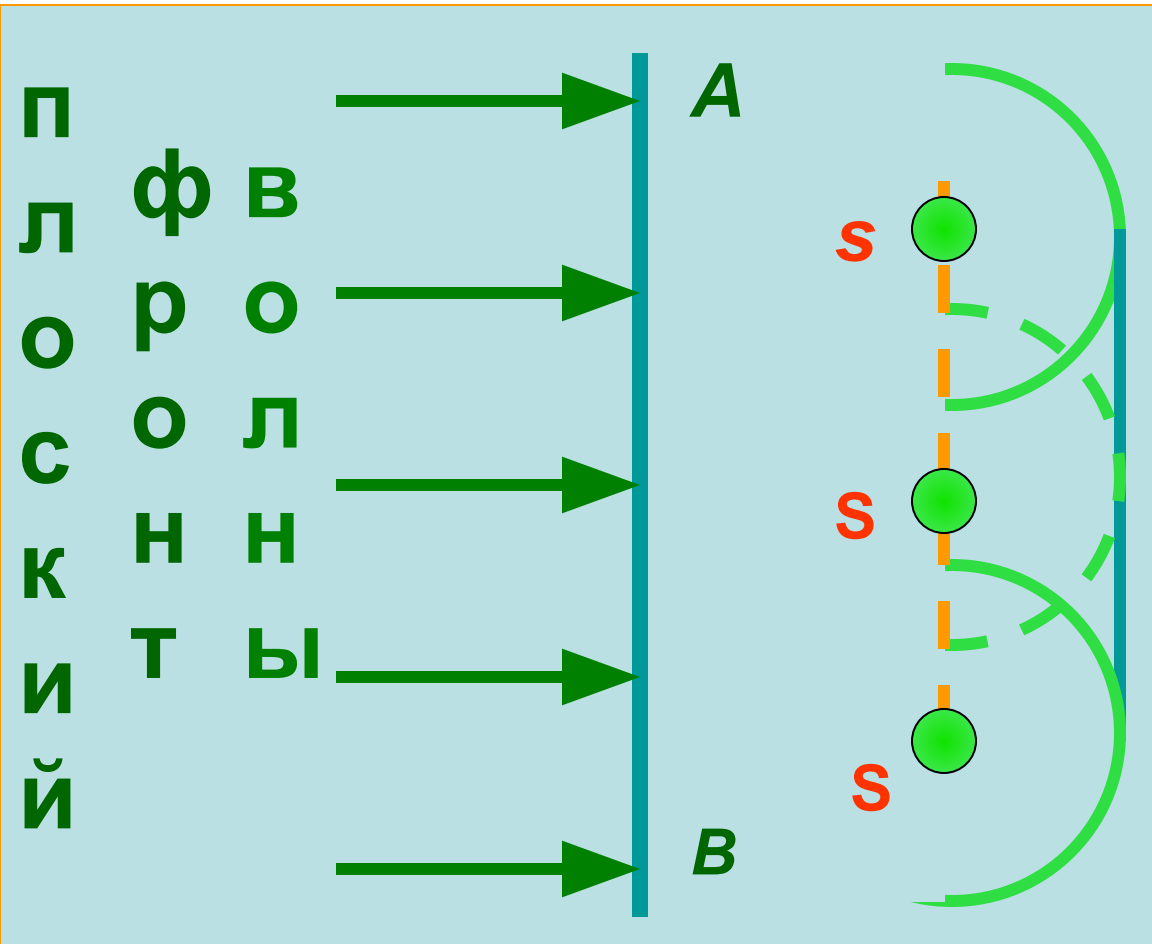
Дифракция Френеля:

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

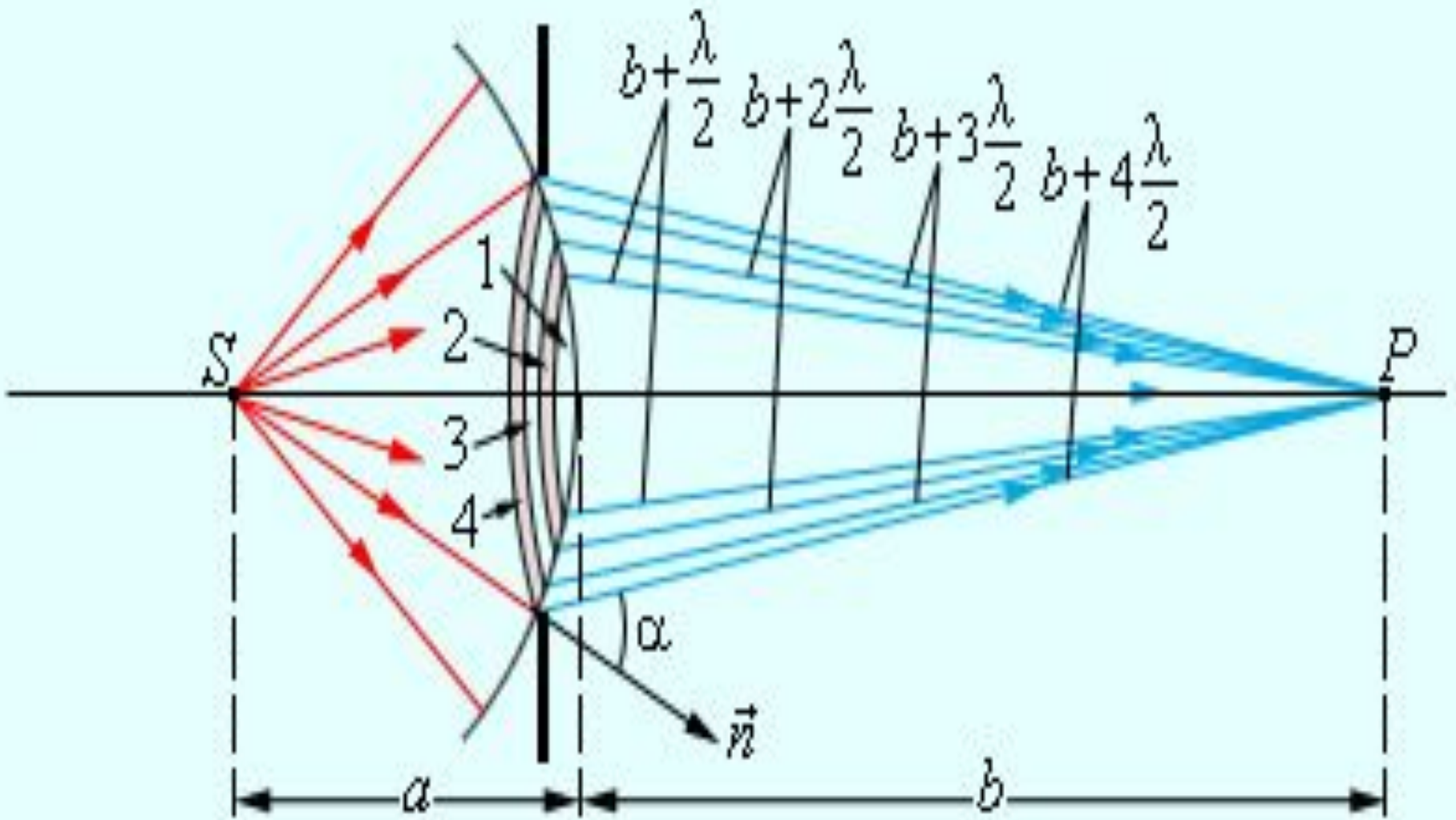


S –
точечные
источники
когерентных
вторичных
волн.

Принцип Гюйгенса - Френеля

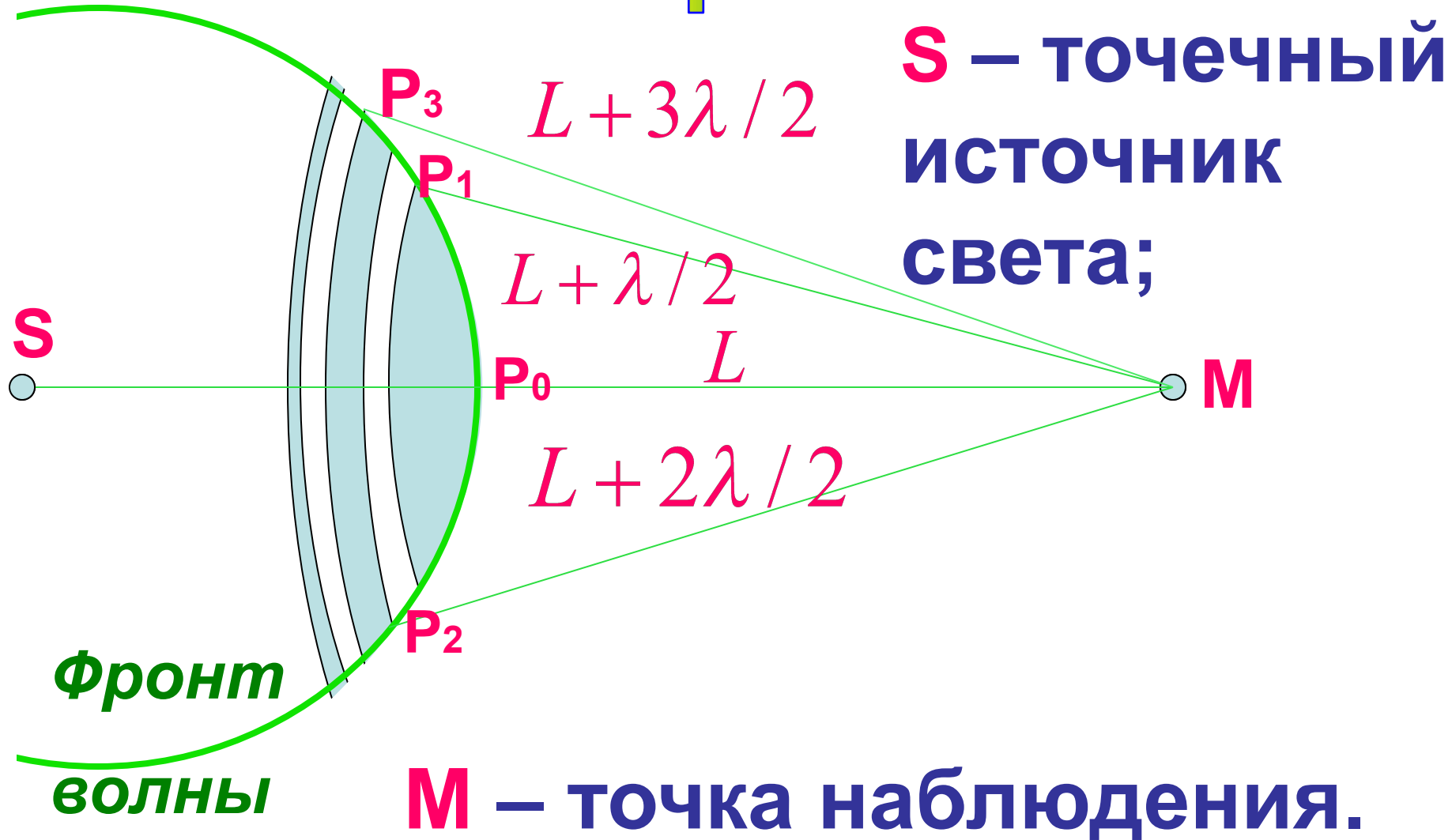
Каждая точка среды, до которой дошел волновой фронт, становится **точечным** источником вторичных волн.

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 φ_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:

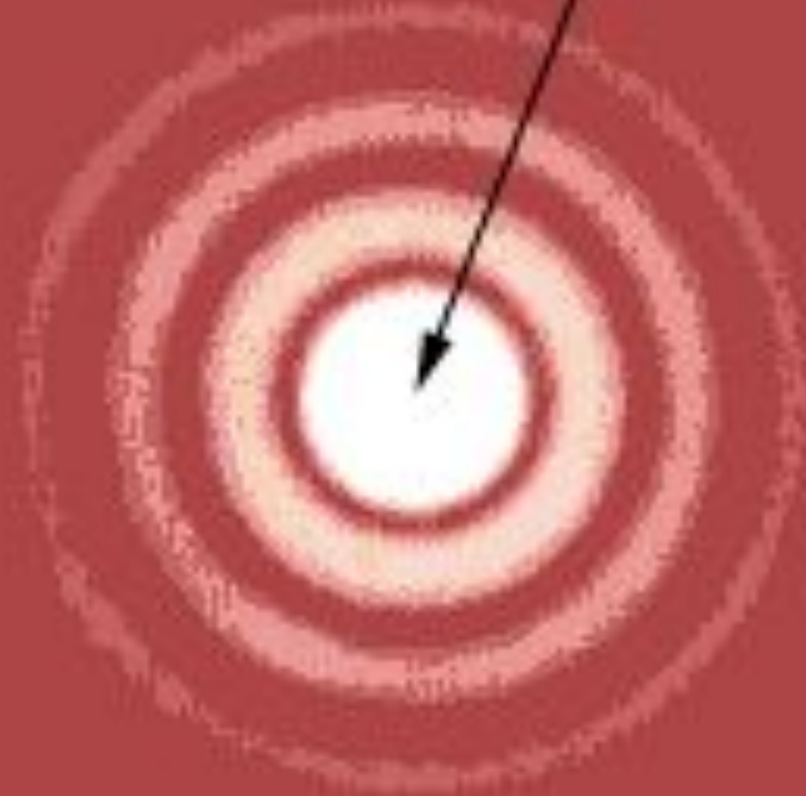
а) сферической волны

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

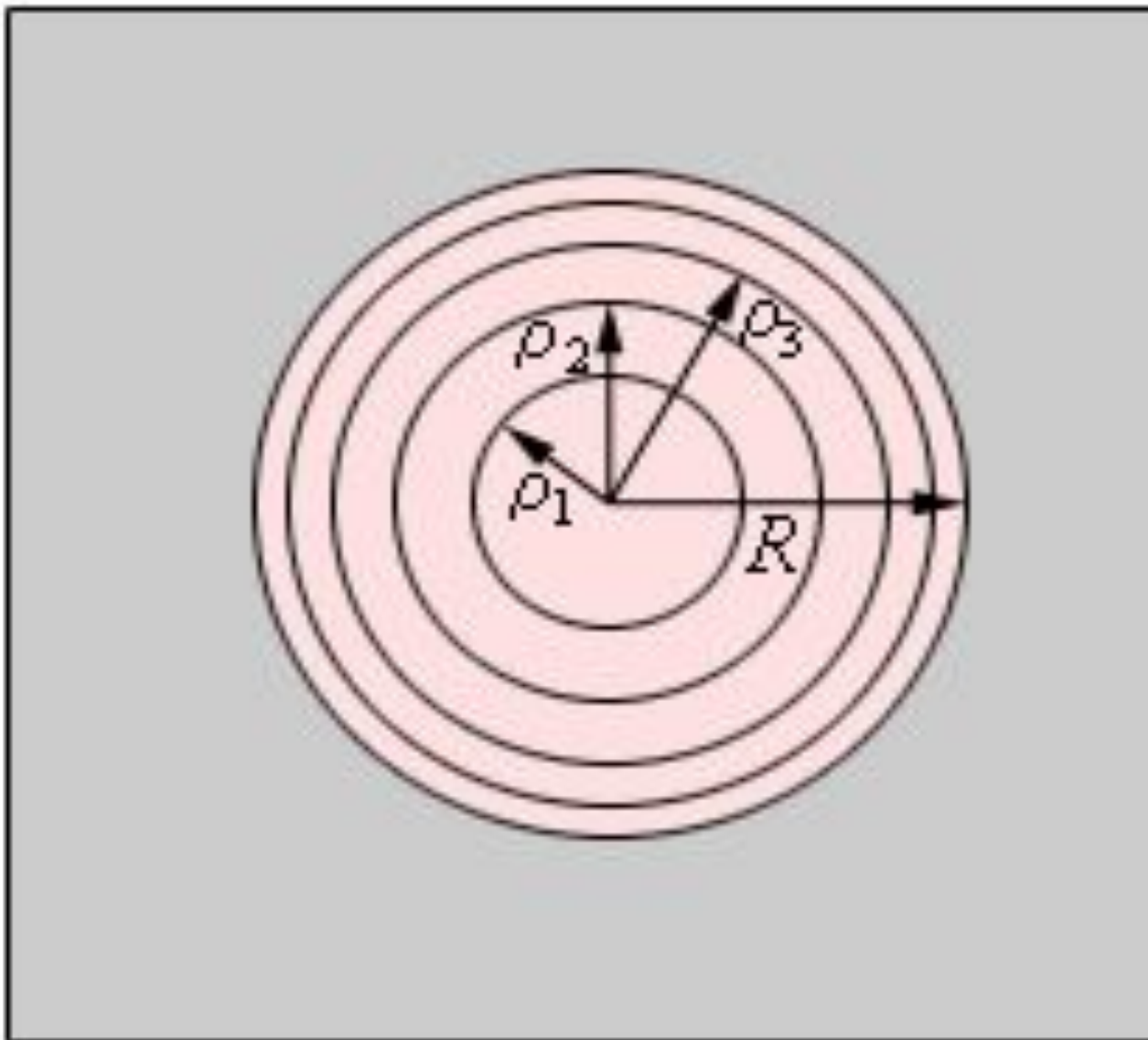
б) плоской волны ($R \rightarrow \infty$):

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

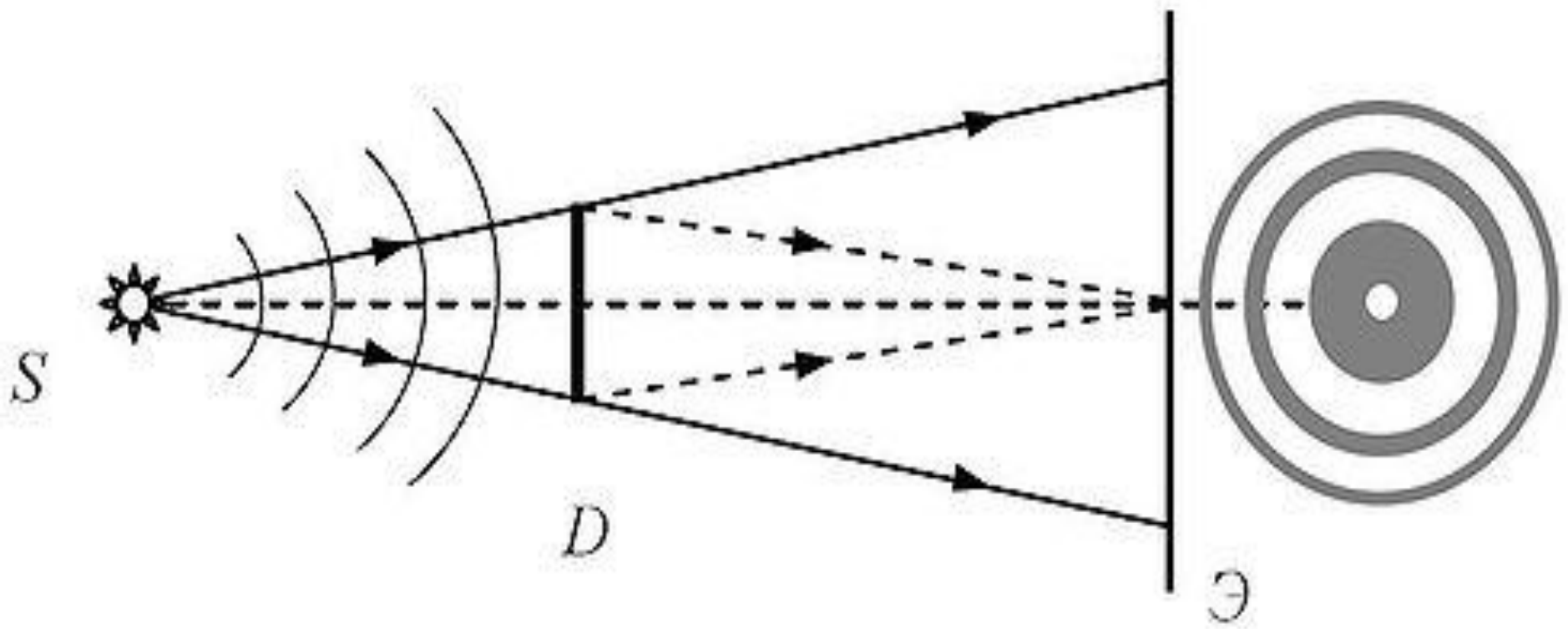
Диск Эйри



**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;

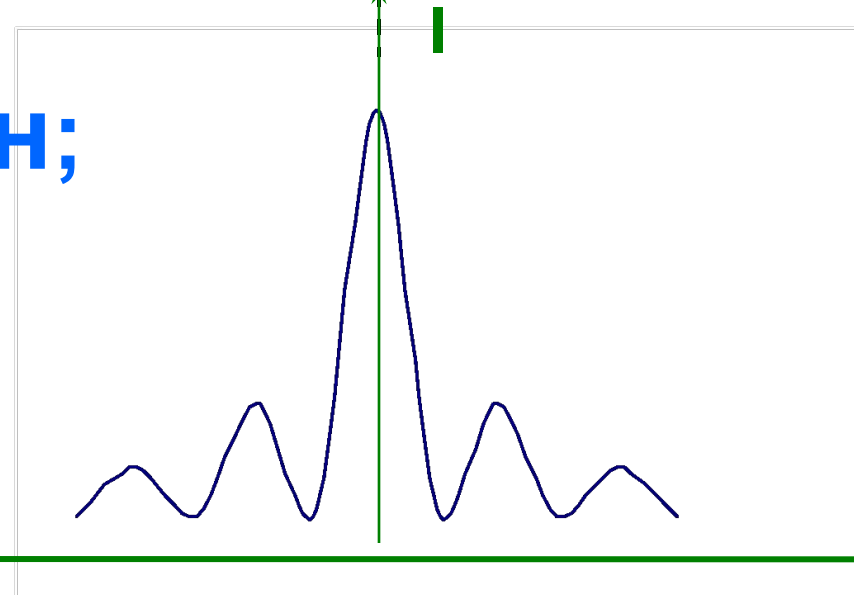
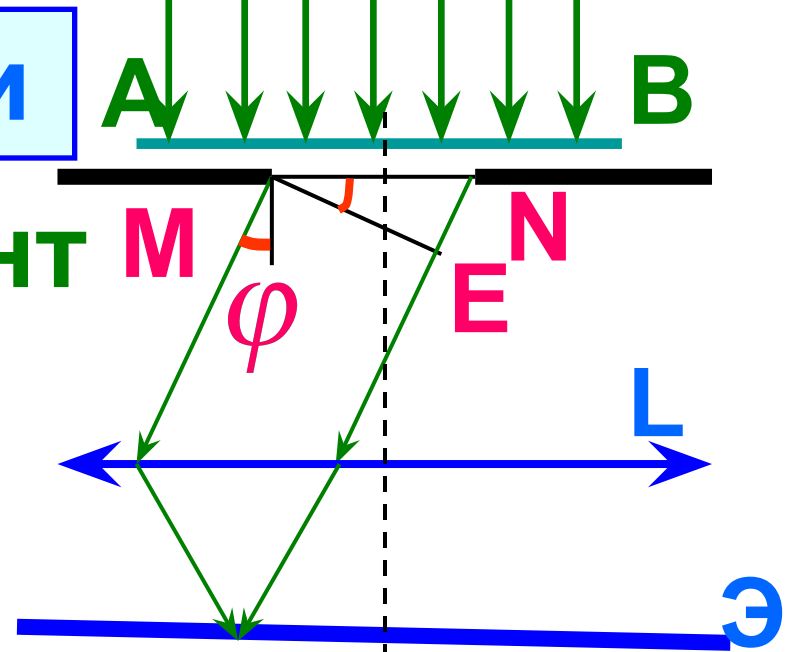
$MN = b$ – ширина

щели;

L – линза; \mathcal{E} – экран;

NE – оптическая

разность хода

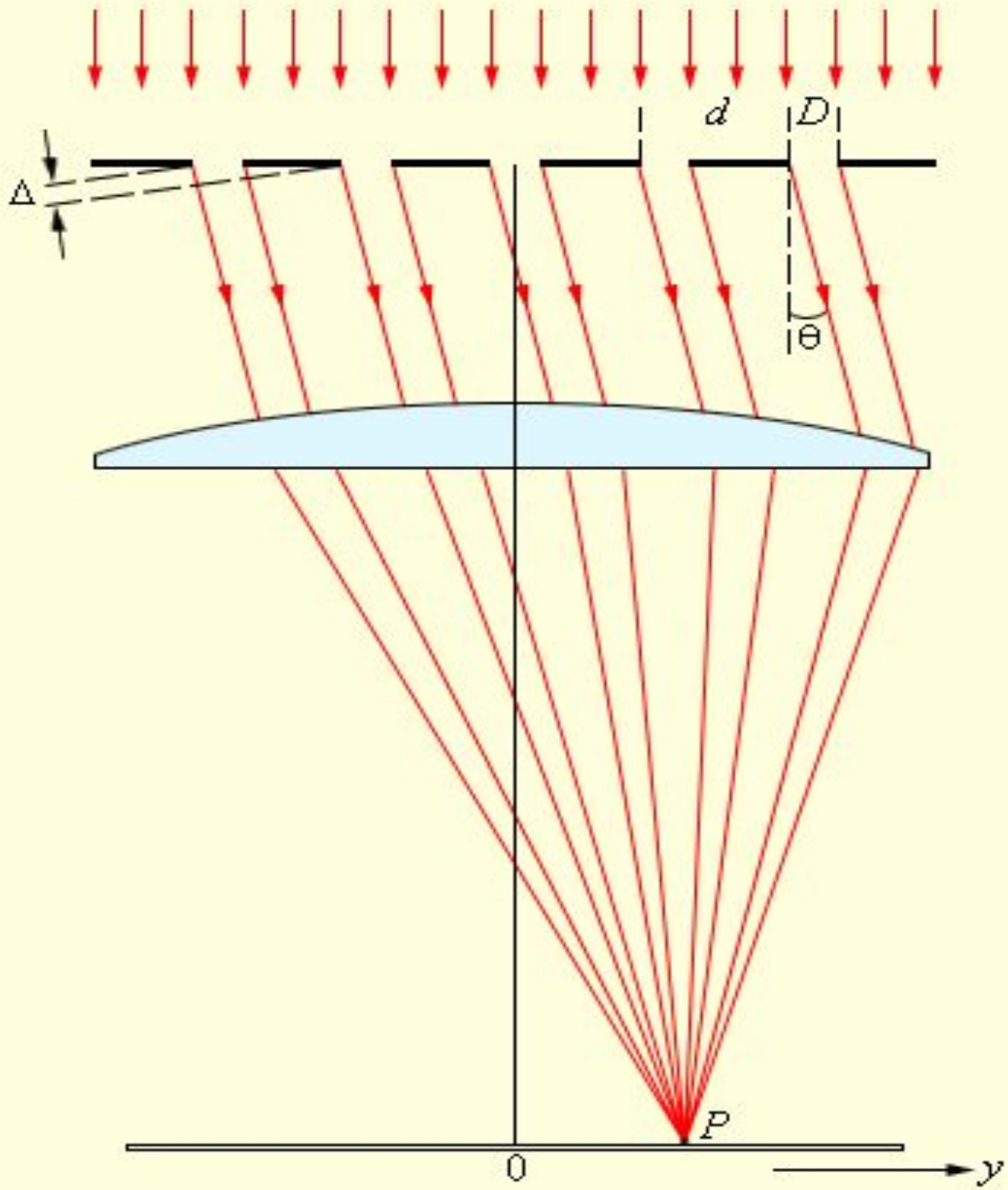


Условие *min* при дифракции на щели

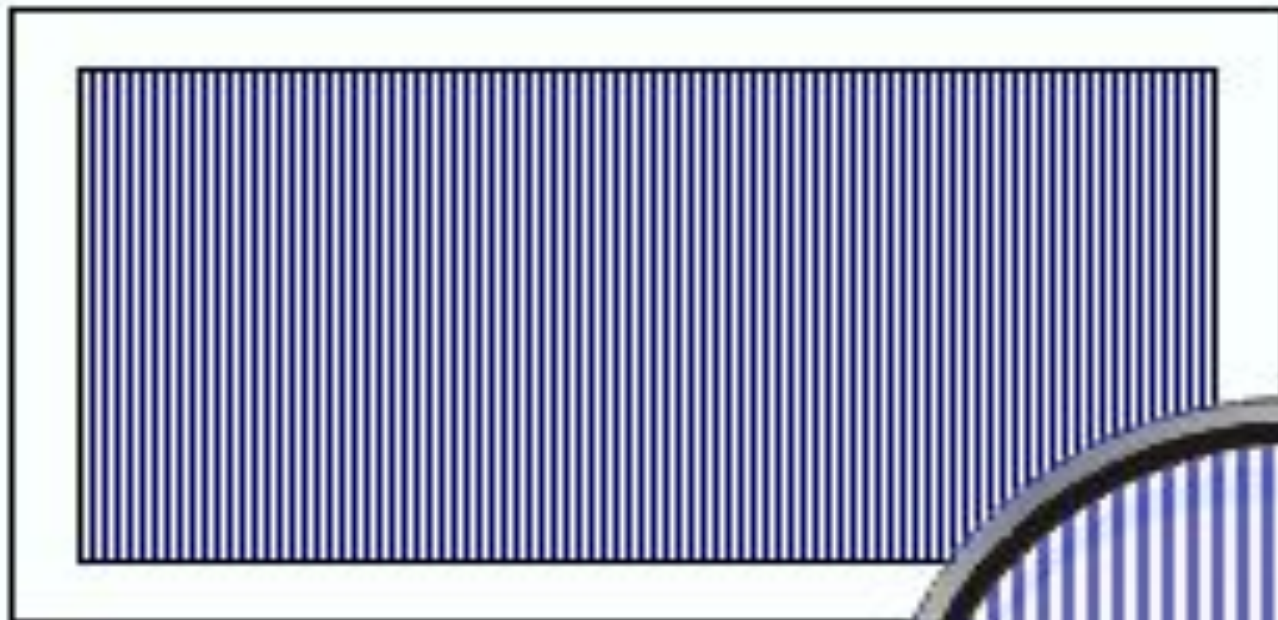
$$b \sin \varphi = \pm m \lambda$$

φ - угол дифракции;

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



**Дифракция
света на
решетке**



**Дифракционная
решетка**

Дифракция на дифракционной решетке

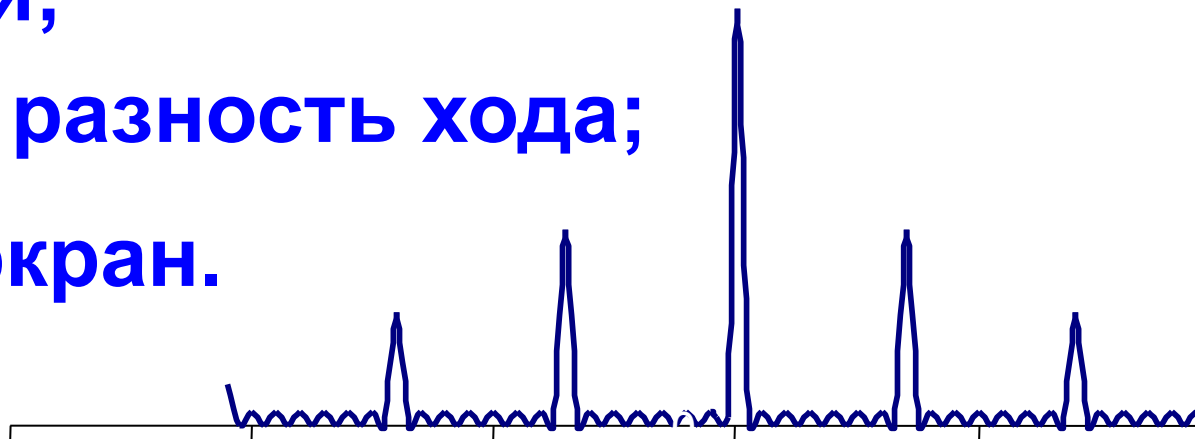
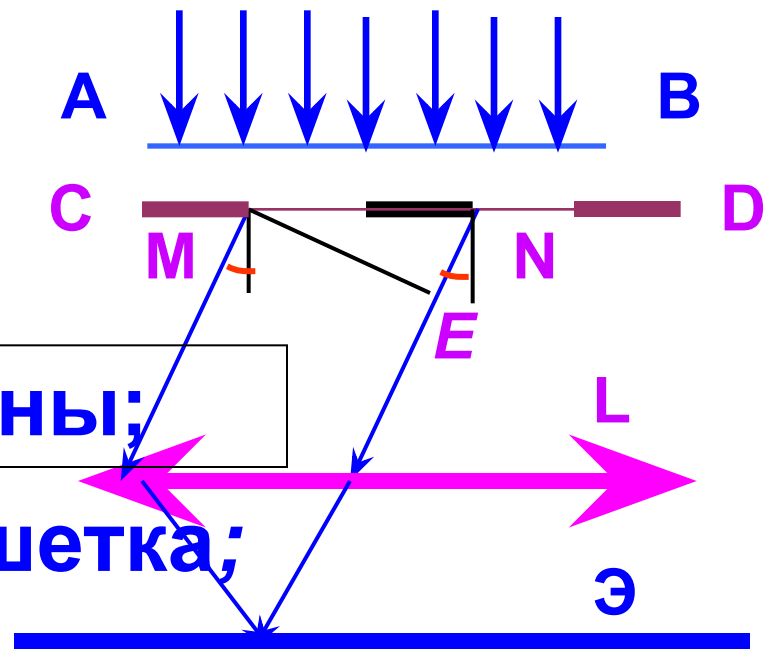
AB – плоский фронт волны;

CD – дифракционная решетка;

$MN = d$ – период дифракционной решетки;

EN – оптическая разность хода;

L – линза; \mathcal{E} – экран.



Условие главных максимумов:

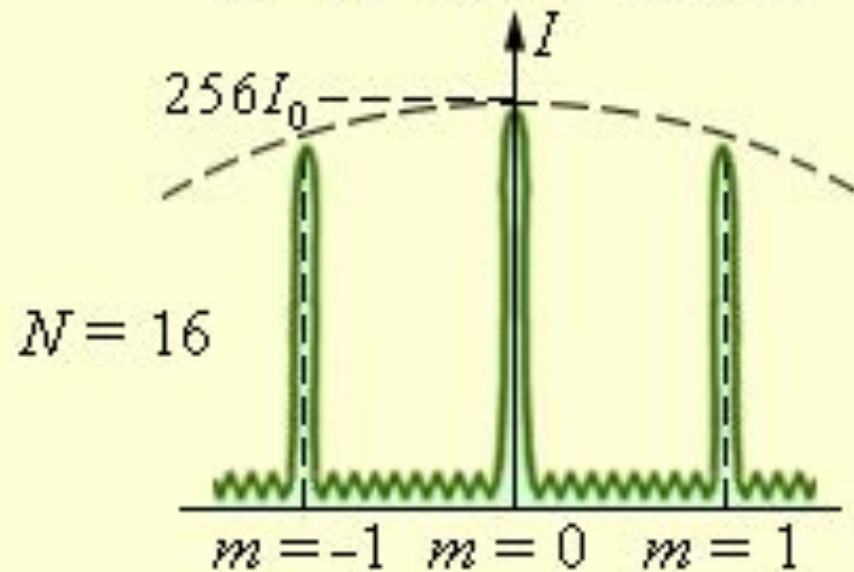
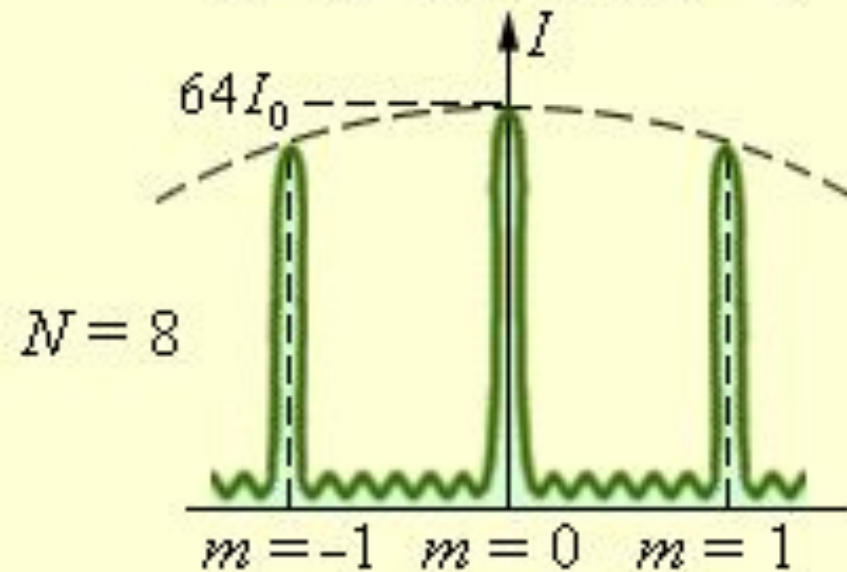
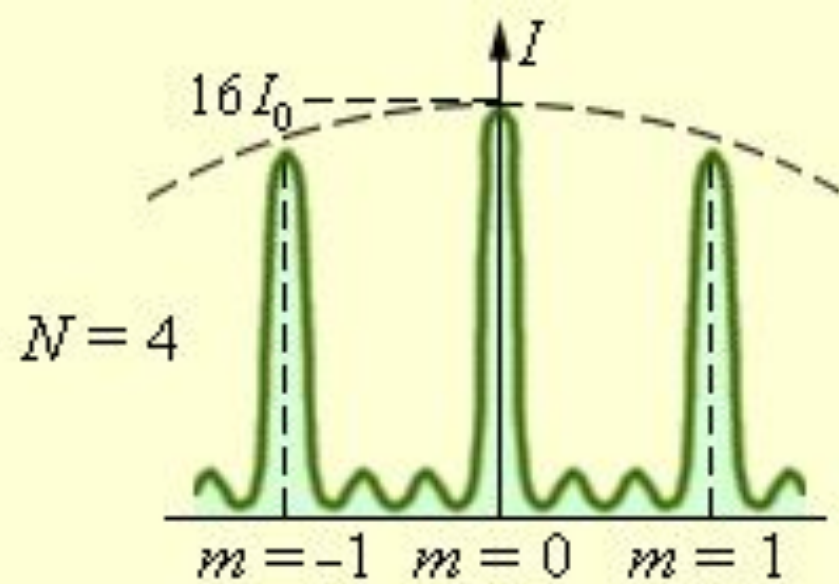
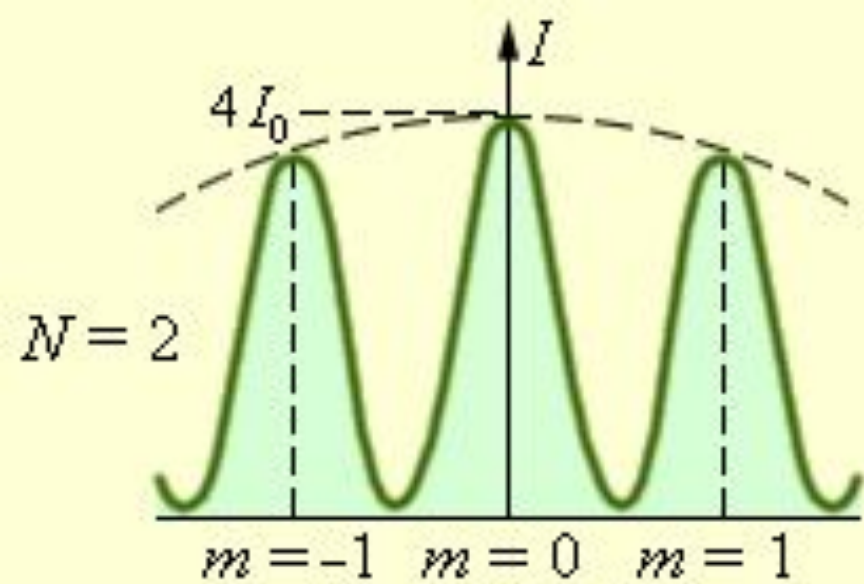
$$d \sin \varphi = \pm m \lambda,$$

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

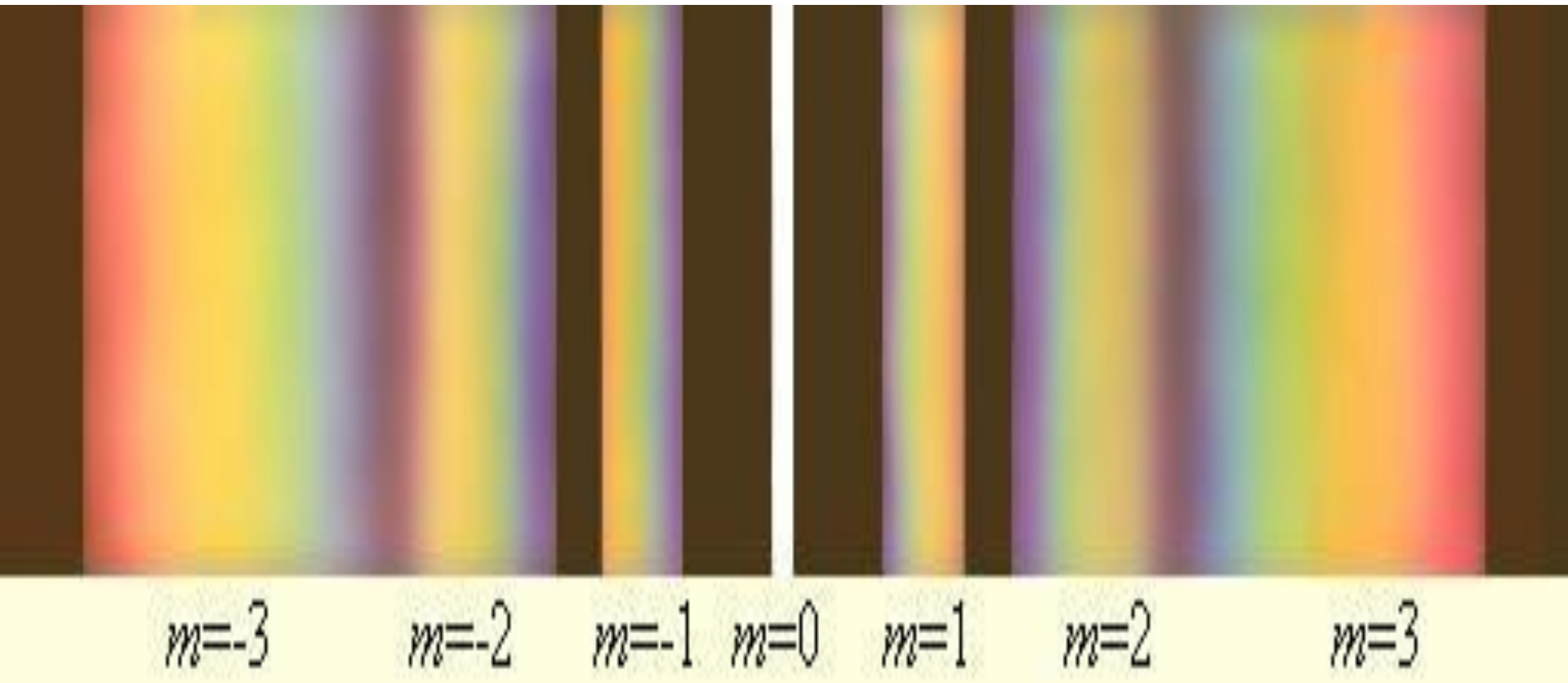
Условие главных минимумов:

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

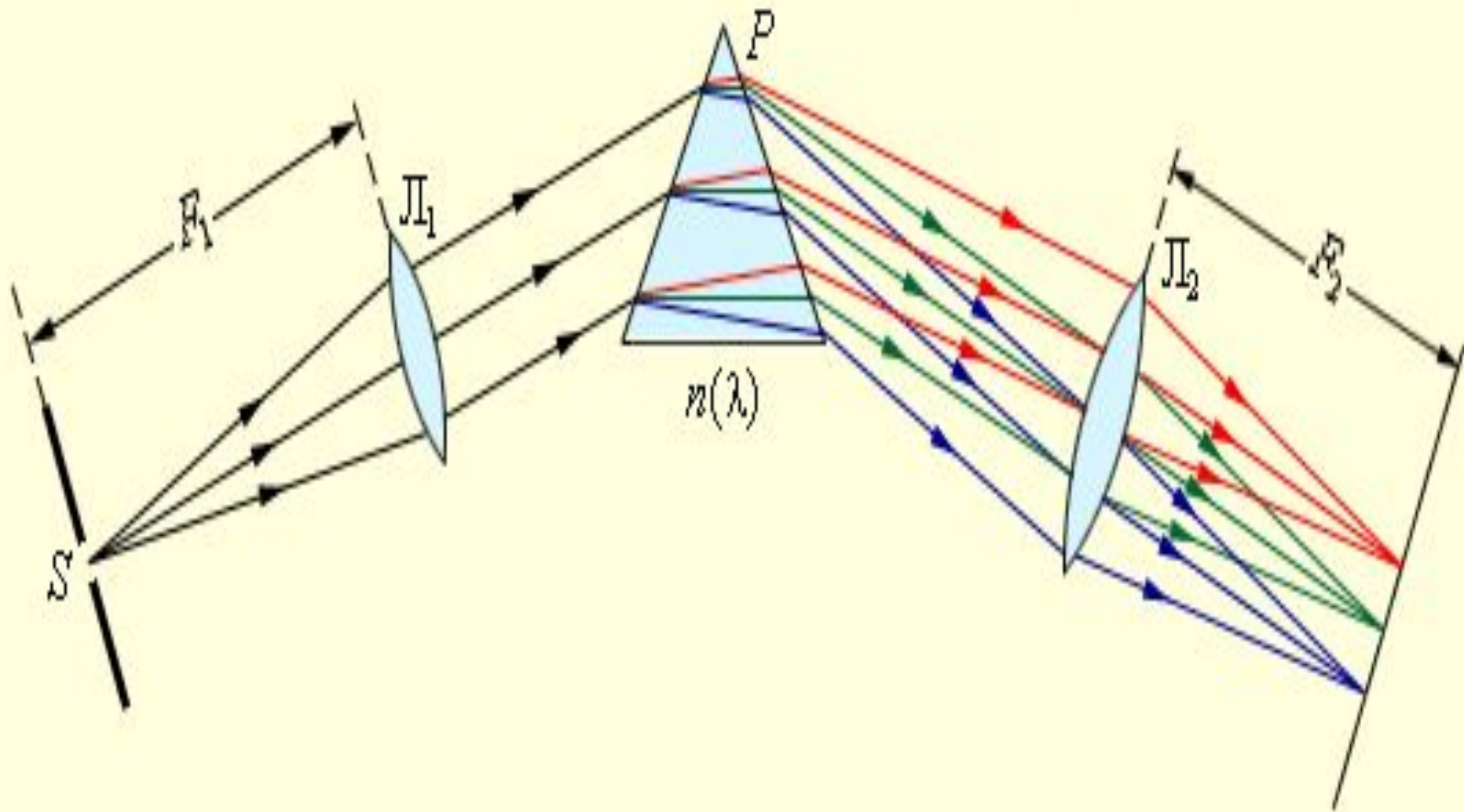
$$m = 1, 2, 3 \dots$$



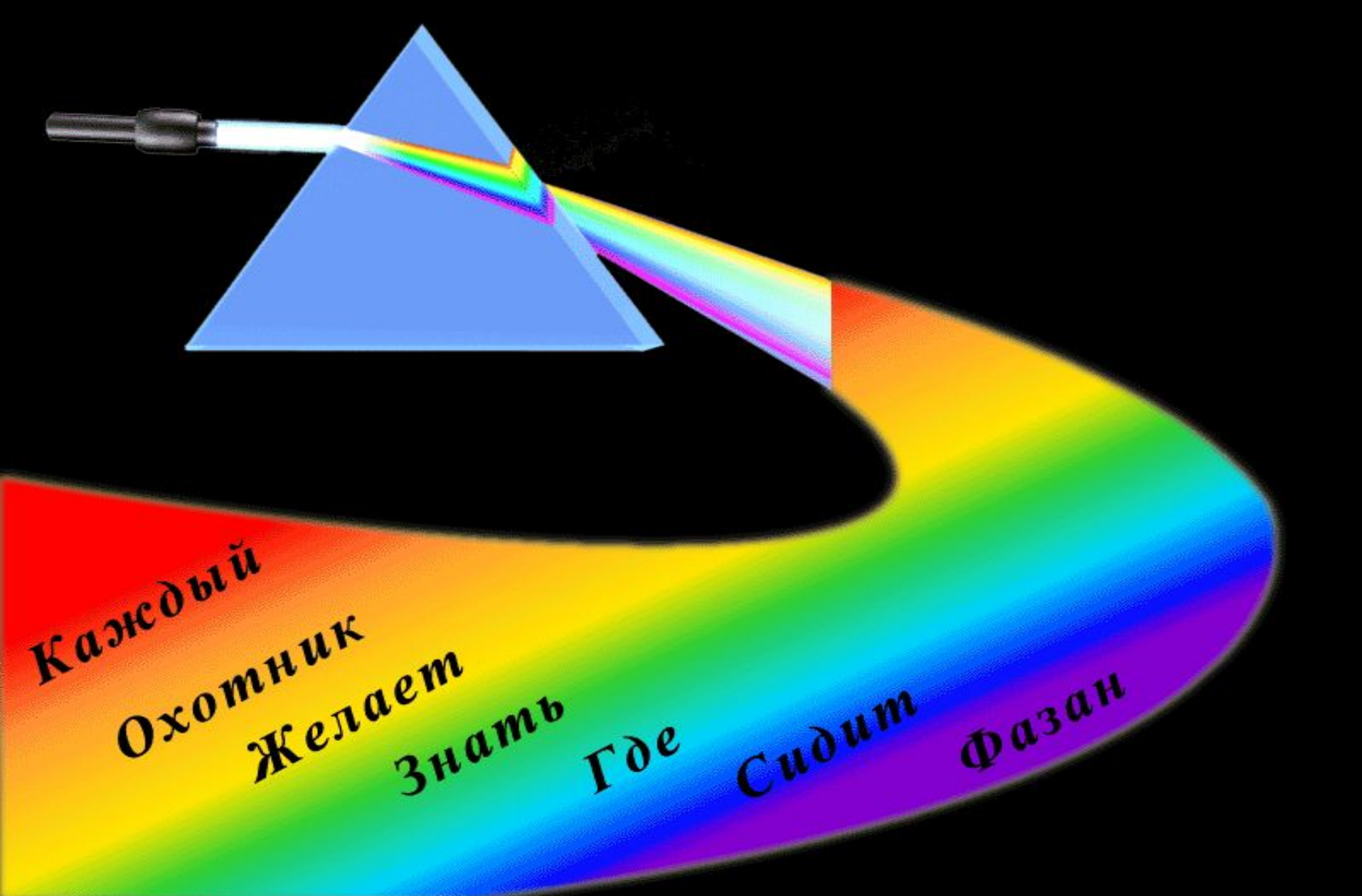
Дифракция на решетках с различным числом щелей; I_0 – на одной щели.



**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 ω имеет вид

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

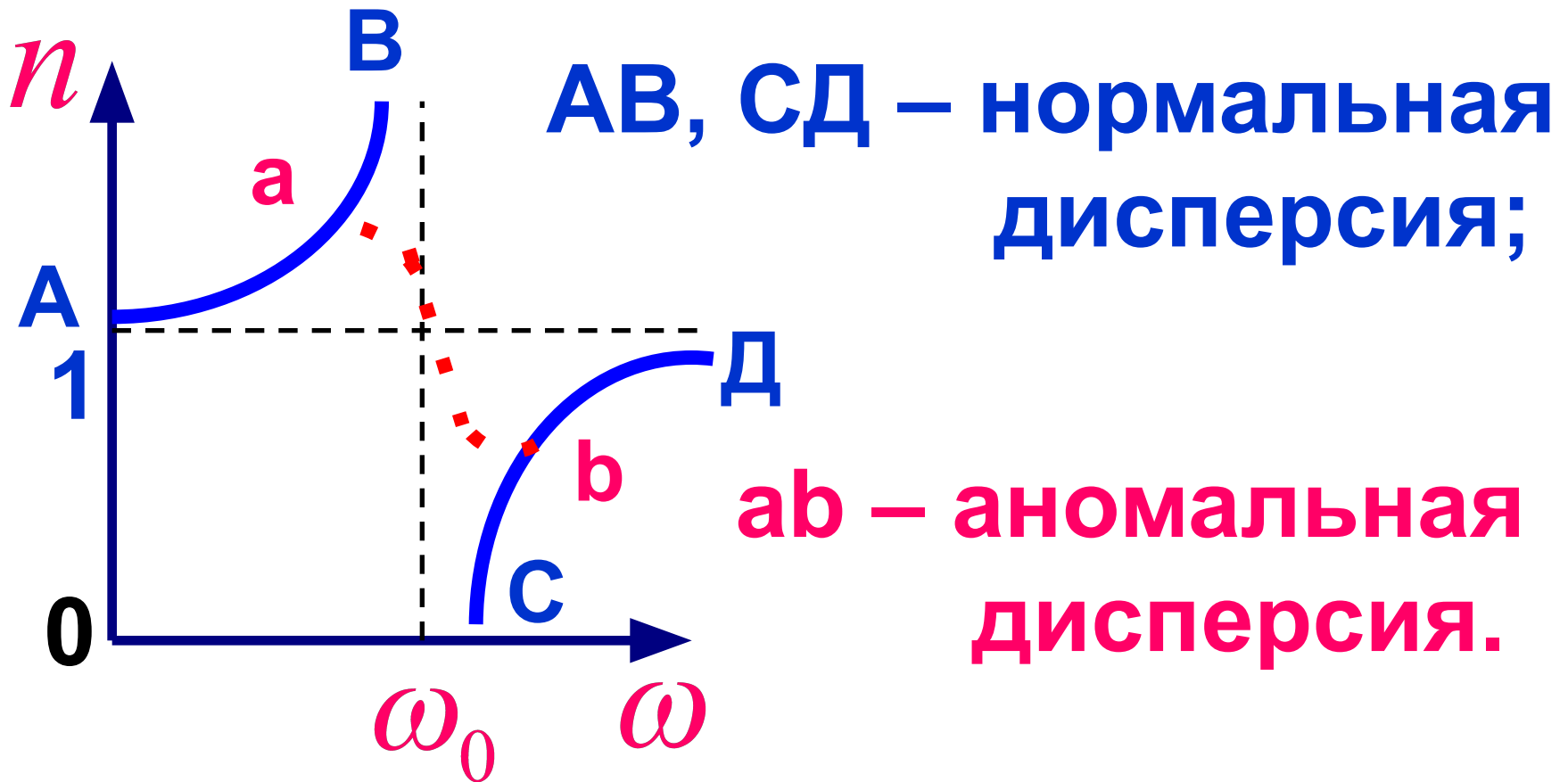
1) При изменении ω от 0 до ω_0

$n^2 > 1$ 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 $\omega \Rightarrow \infty$

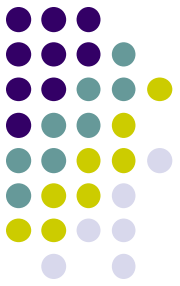
n изменяется от $-\infty$ до 1;




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.



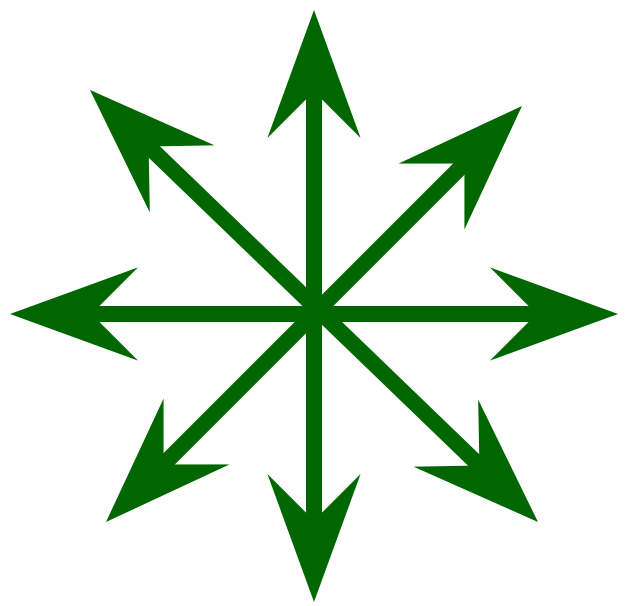
 получение света, в котором колебания вектора \vec{E} каким-либо образом упорядочены.

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

Естественный и поляризованный свет

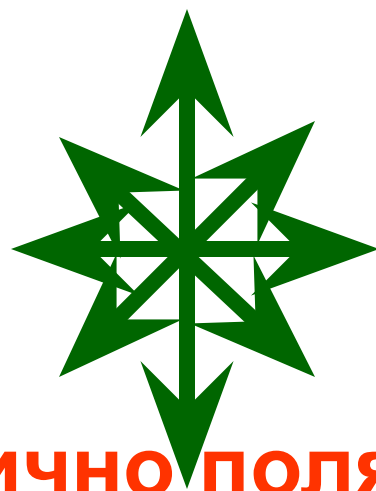


\vec{E}



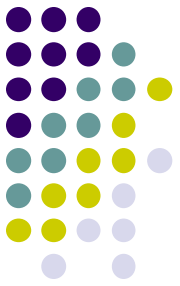
Естественный - свет с равновероятными ориентациями \vec{E} .

\vec{E}



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

Степень поляризации



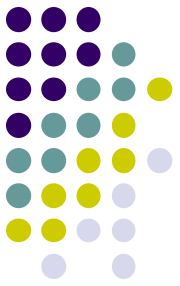
$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}},$$

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

$P = 0$ – для естественного света;

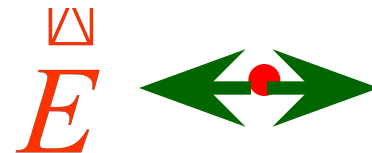
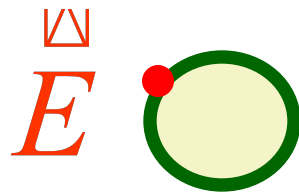
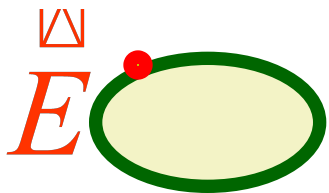
$P = 1$ - для поляризованного света.

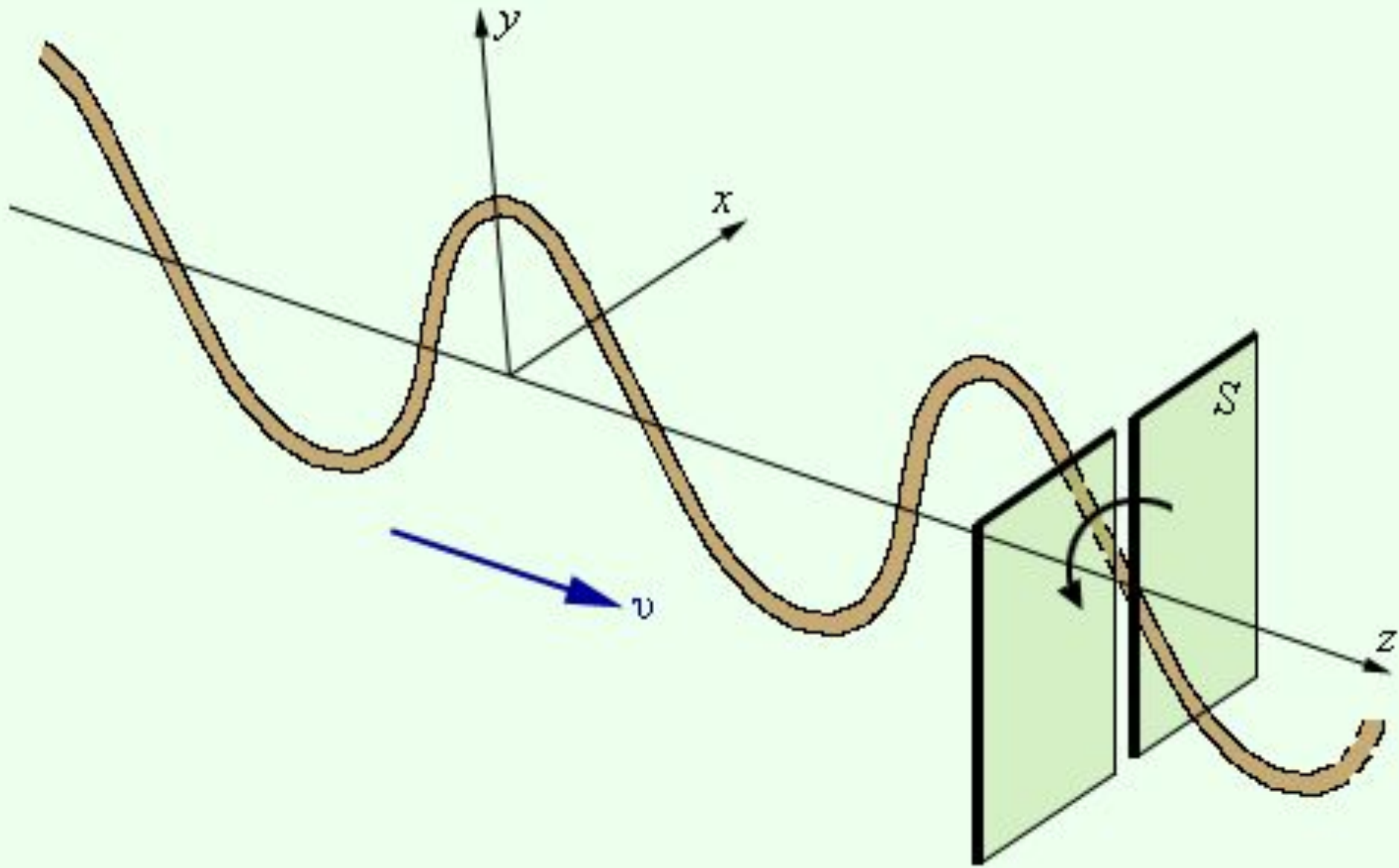
Получение поляризованного света



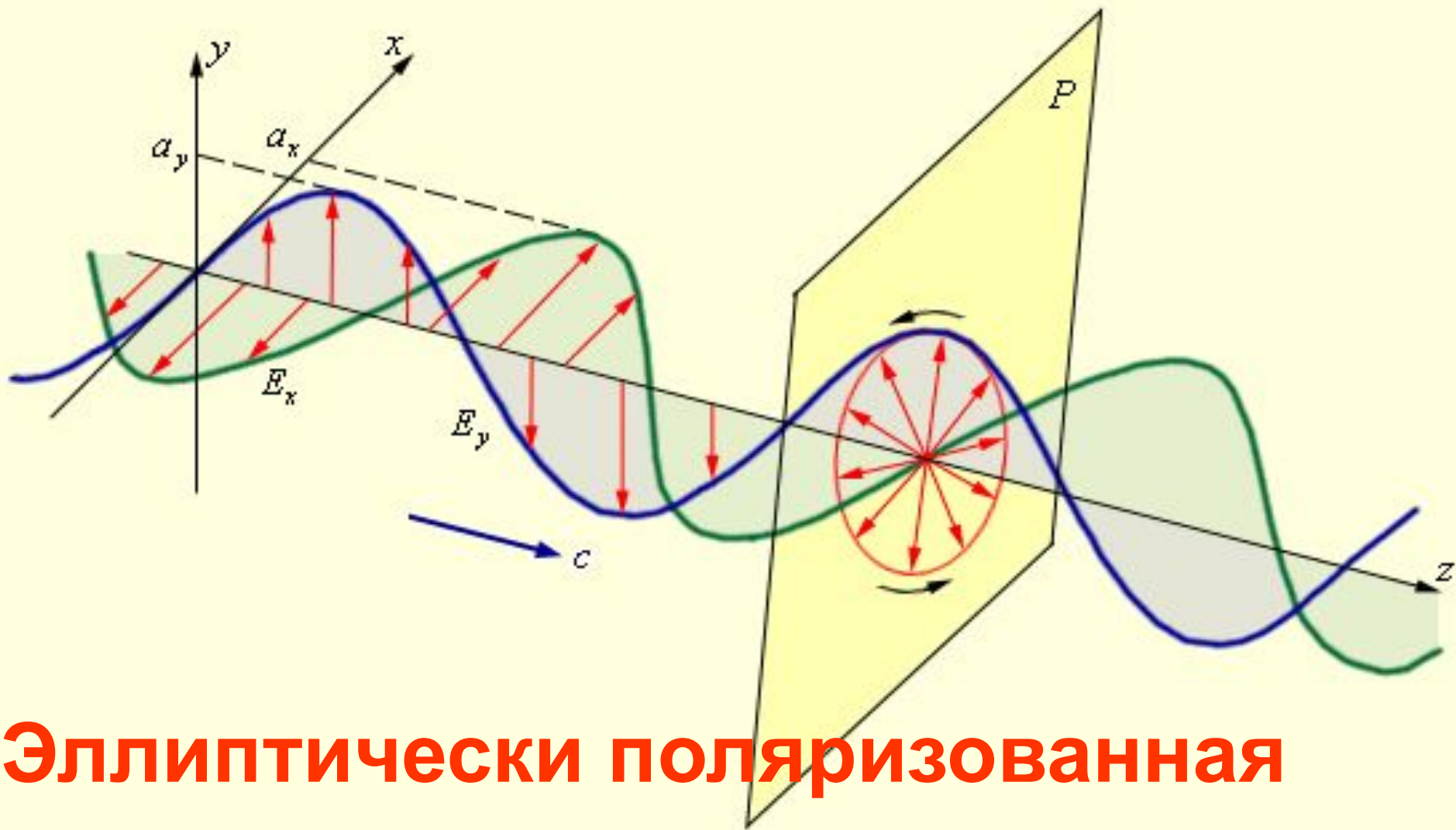
- При отражении и преломлении на границе раздела двух изотропных сред.
- При прохождении света через анизотропную среду (двойное лучепреломление).

ТИПЫ ПОЛЯРИЗАЦИИ

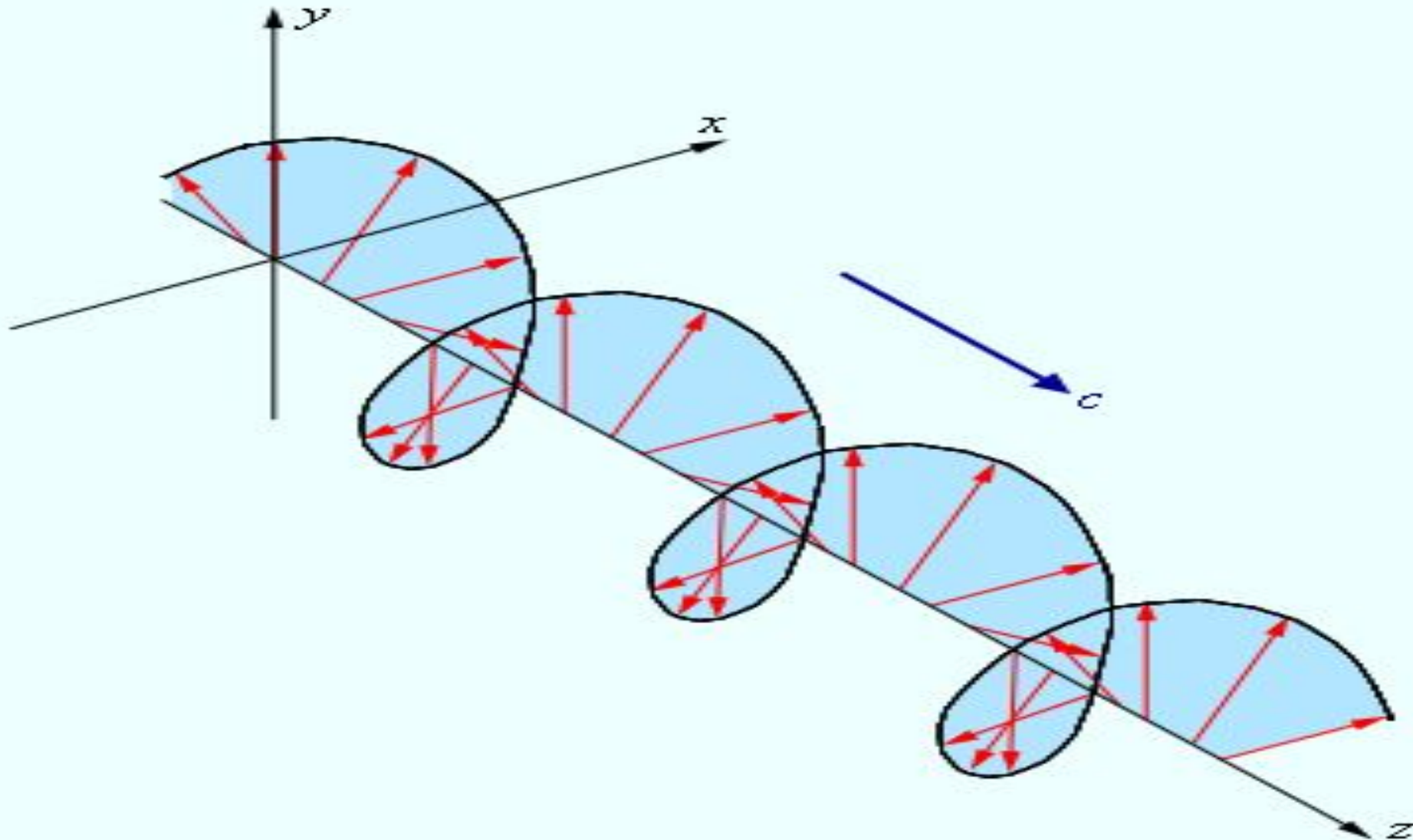




Поперечная волна в резиновом жгуте



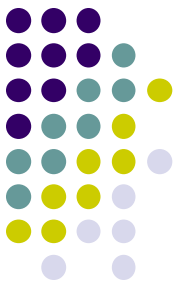
Эллиптически поляризованная волна при сложении взаимно перпендикулярных поляризованных волн



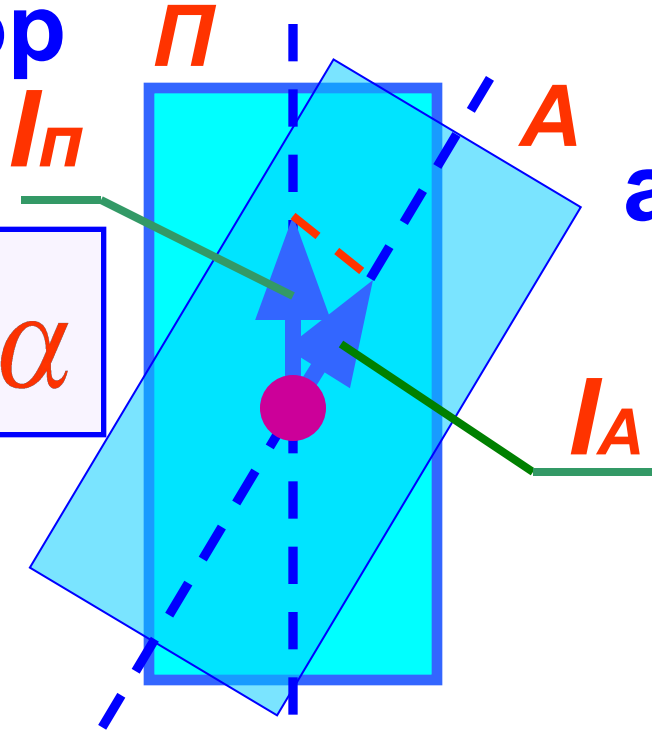
Электрическое поле в эллиптически поляризованной волне

1810г.

Закон Малюса



поляризатор

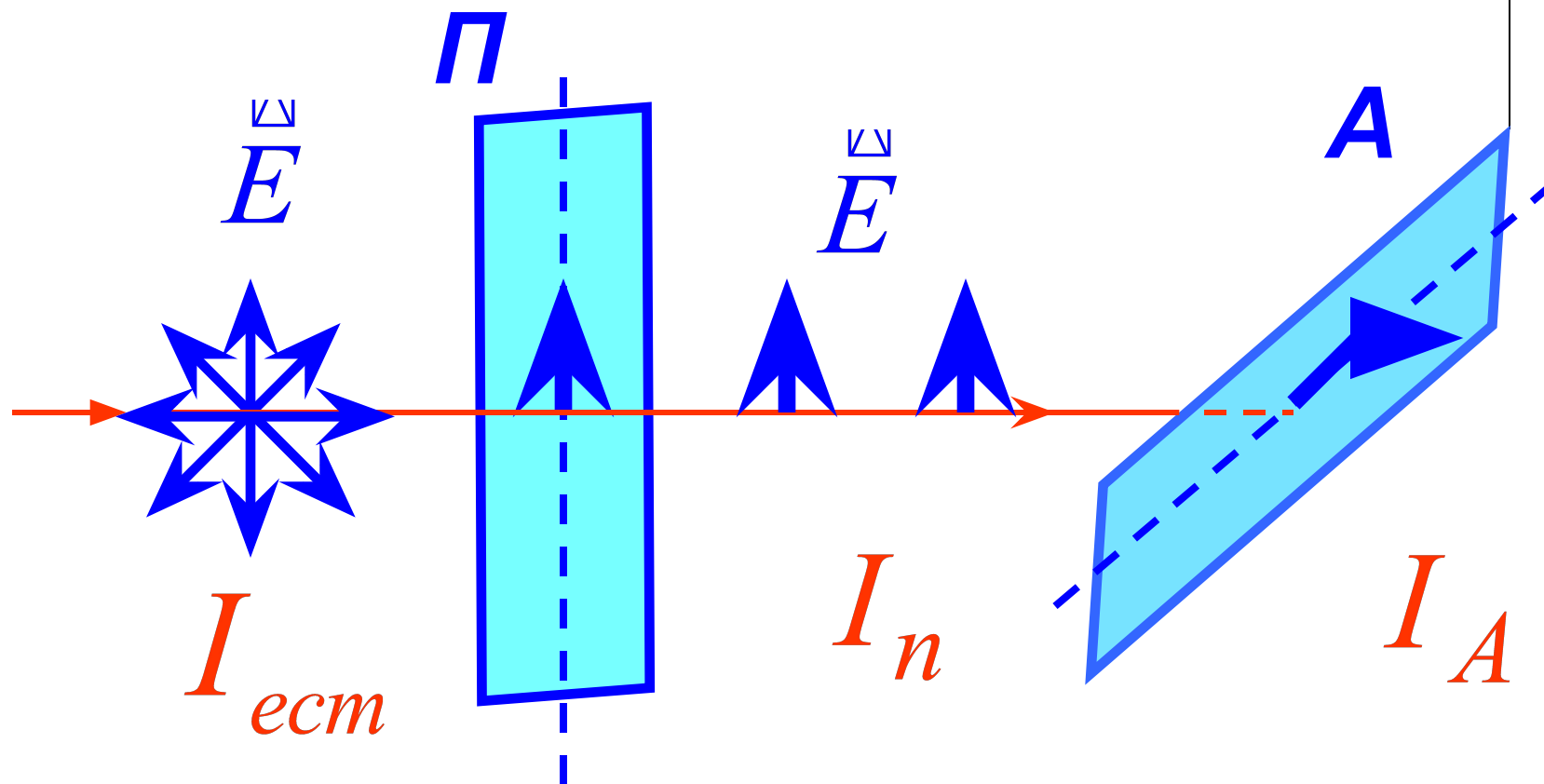


анализатор

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

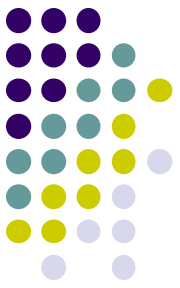
Интенсивность света, вышедшего из **А**, равна интенсивности света, вышедшего из **П**, умноженной на квадрат косинуса угла между плоскостями поляризации **П** и **А**.

К закону Малюса



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

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



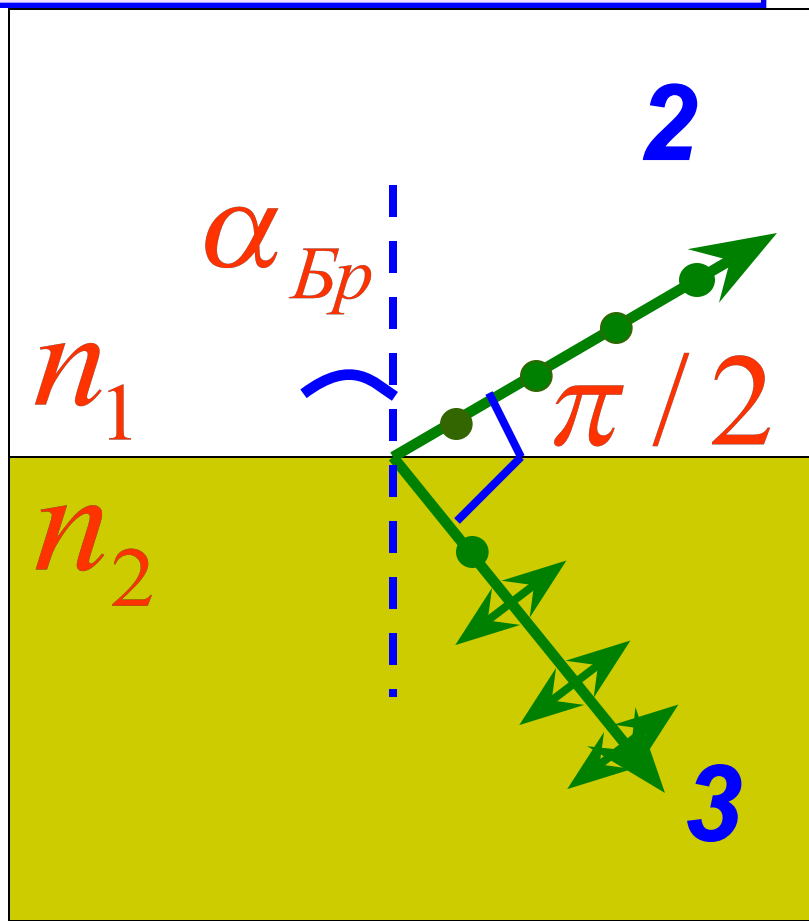
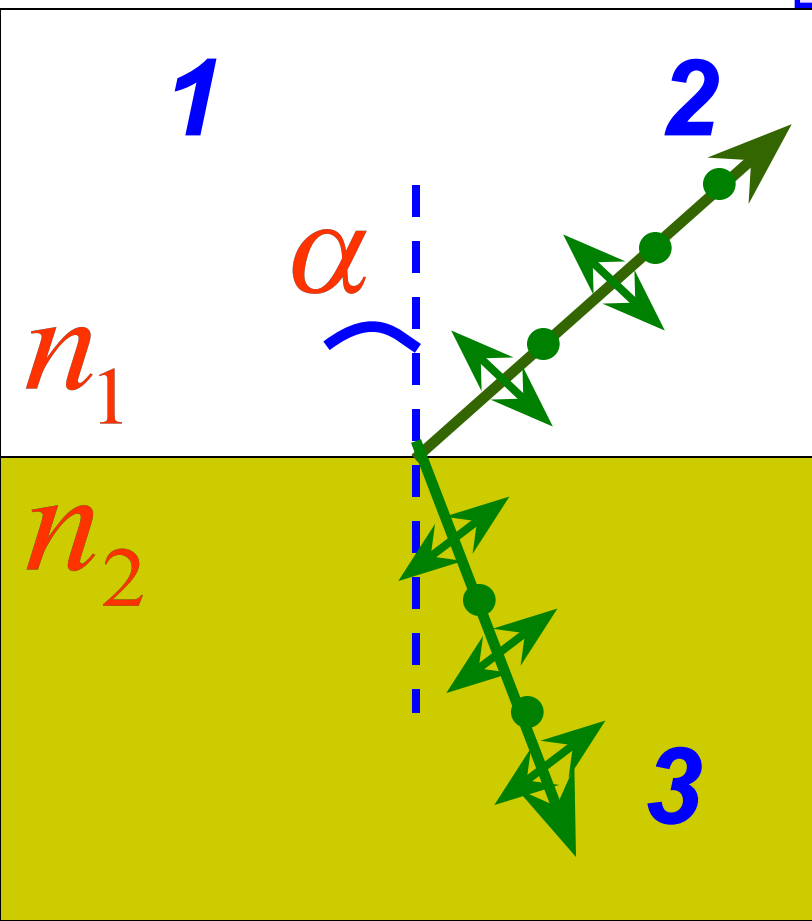
- без учета потерь света в **П** и **А**;

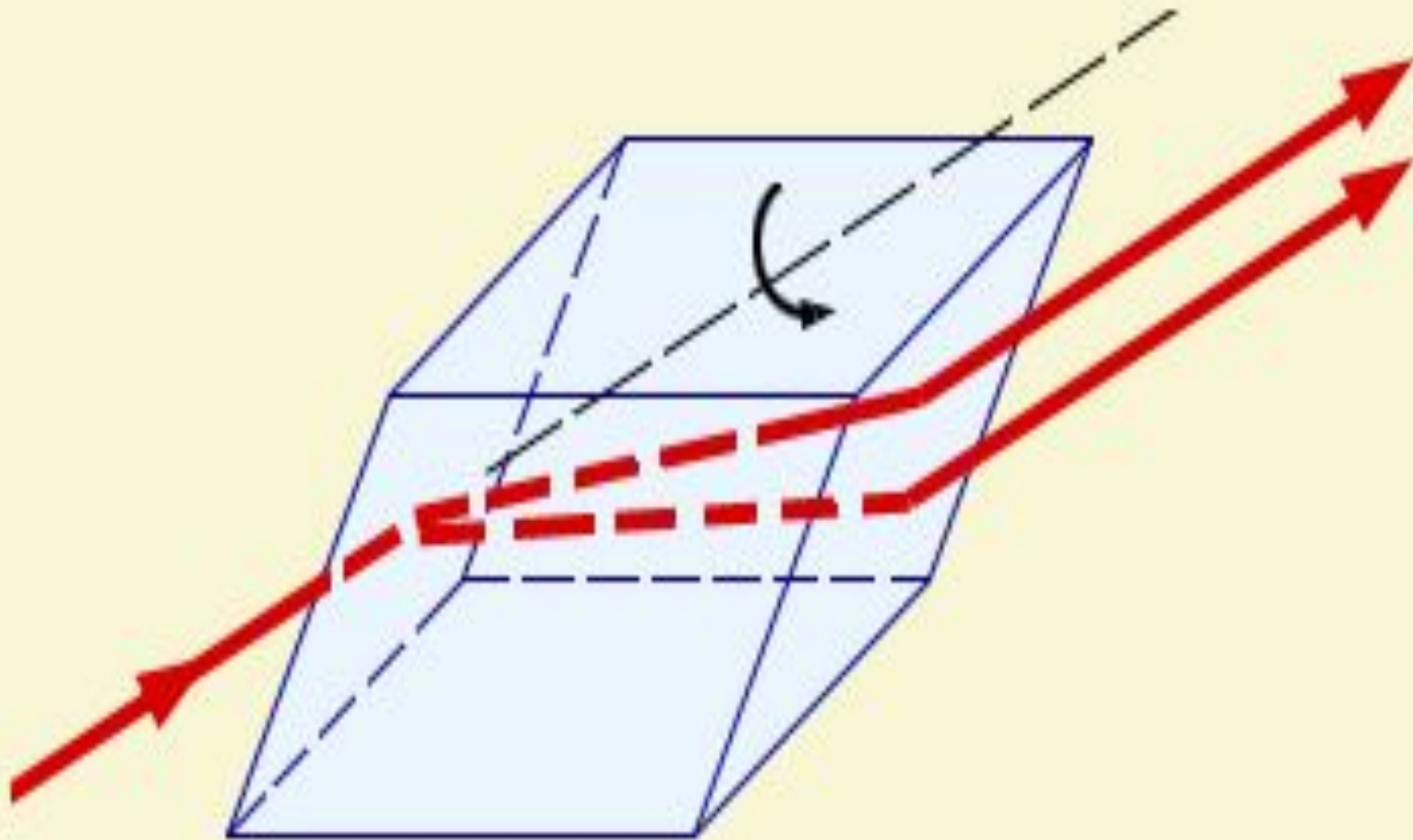
$$I_A = \frac{1}{2} I_{\text{ест}} (1 - k_1)(1 - k_2) \cos^2 \alpha$$

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

Закон Брюстера

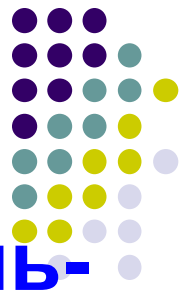
$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{Бр}} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$



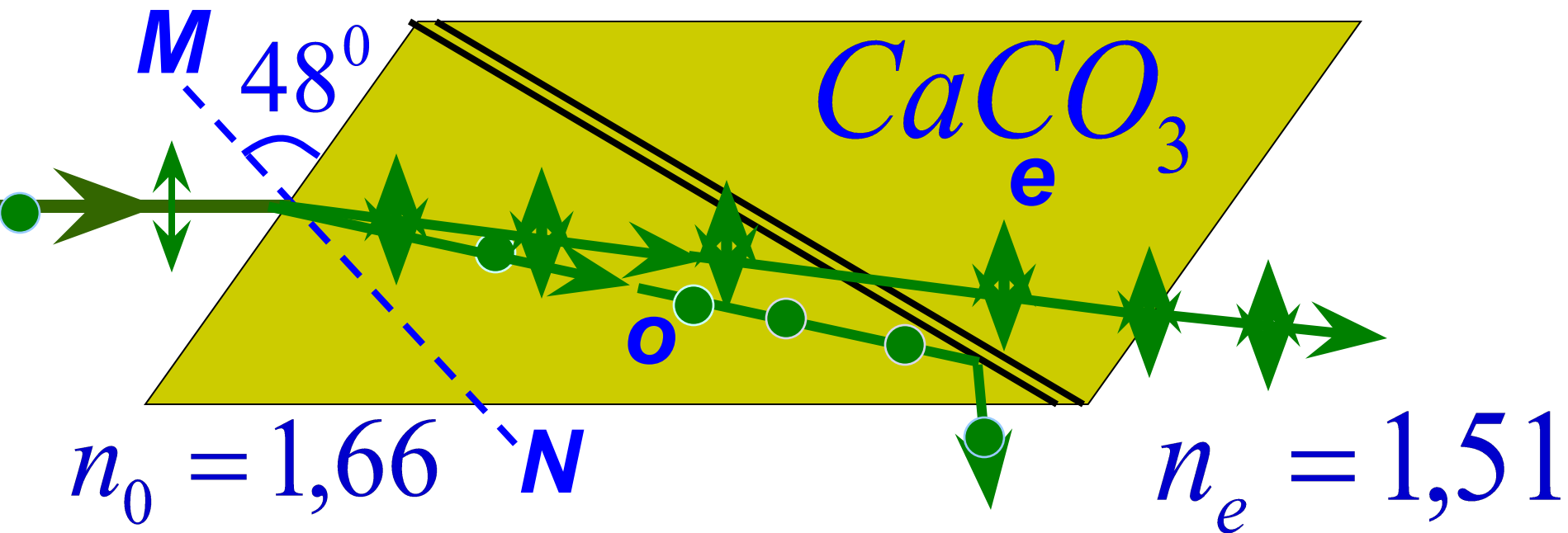


Двойное лучепреломление на кристалле исландского шпата

Призма Николя



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



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