



Волны. Интерференция. Дифракция. Линейная ОПТИКА.

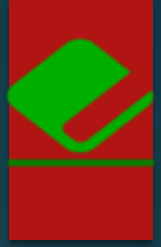
#ФизикаДляМенеджеров



Марат Авдыев
Marat@emediator.ru
Союз Сибирский Центр
медиации 2022

ФИЗИКА ДЛЯ МЕНЕДЖЕРОВ

МАССОВЫЕ ОТКРЫТЫЕ ОНЛАЙН КУРСЫ



univer.emediator.ru

YouTube.com/edogovor

emediator.ru

YouTube.com/emediator1

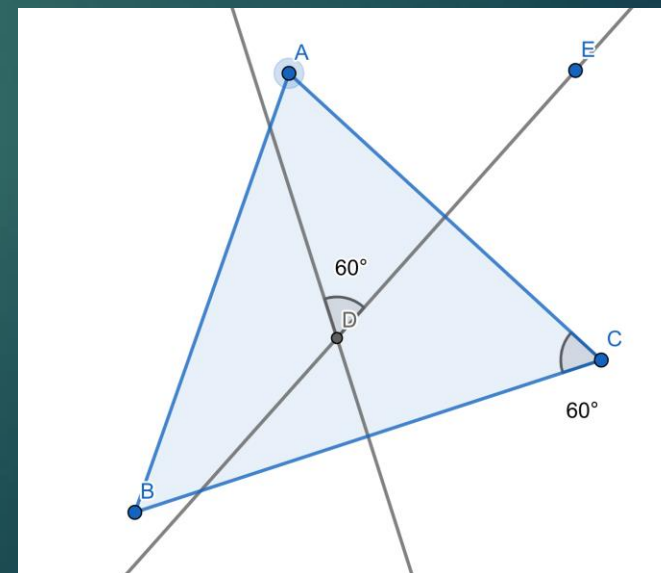
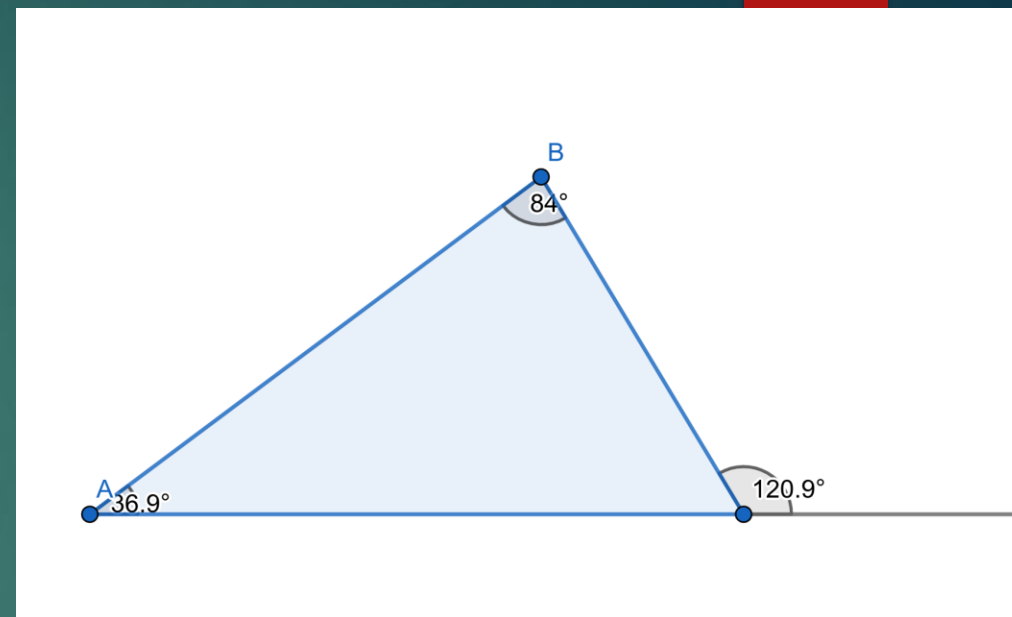
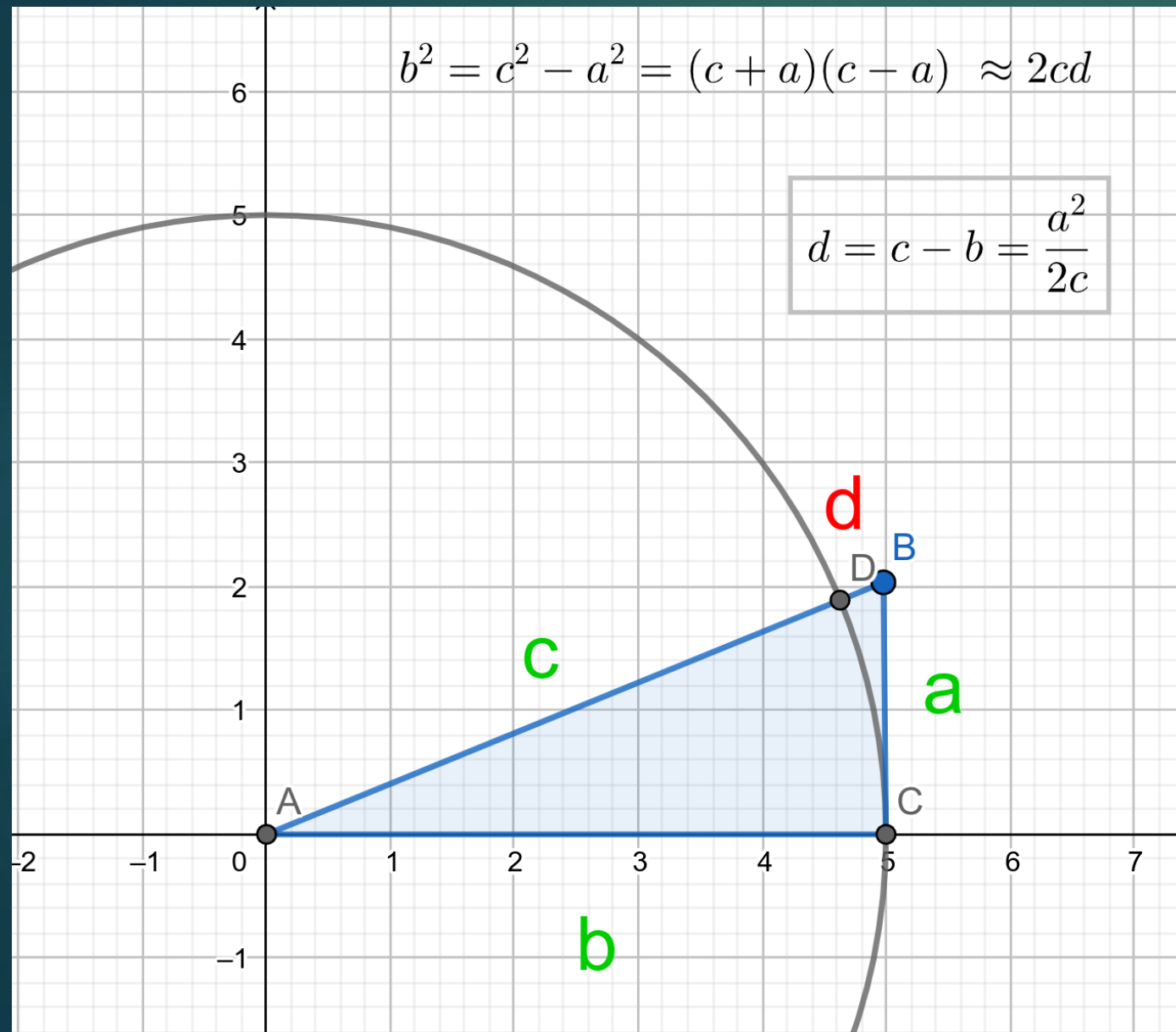
+79822263990

При поддержке Союз "Сибирский Центр медиации"
Марат Александрович Авдыев

2022



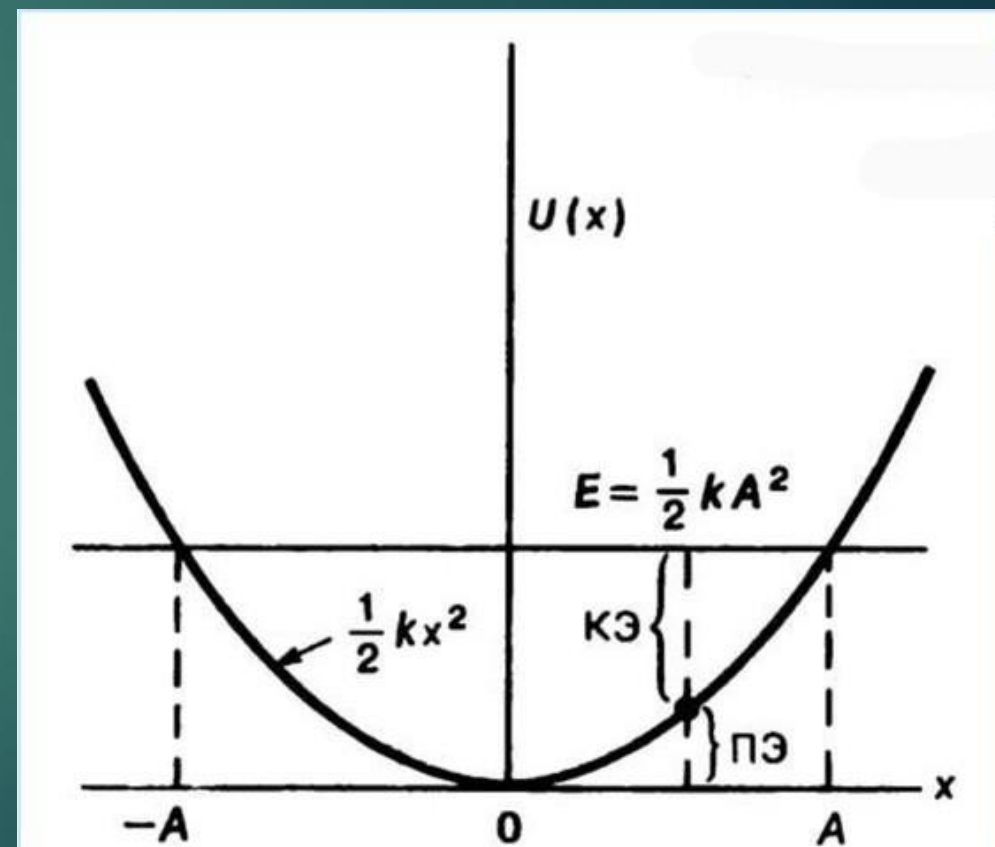
Из геометрии



Для справки



- ▶ $2\pi \sim 360$ град. $\pi \sim 180$ $\pi/2 \sim 90$
- ▶ $\cos(\pi - \alpha) = -\cos \alpha$
- ▶ $\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta$
- ▶ $F = -kx$ $U = \langle kx \rangle x = \frac{1}{2} kx^2$
- ▶ $E = K + \Pi = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} kx^2$
- ▶ $\langle K \rangle = \langle \Pi \rangle$
- ▶ $C = q/U$



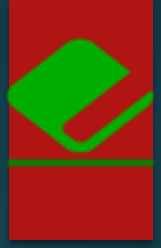
$$L = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

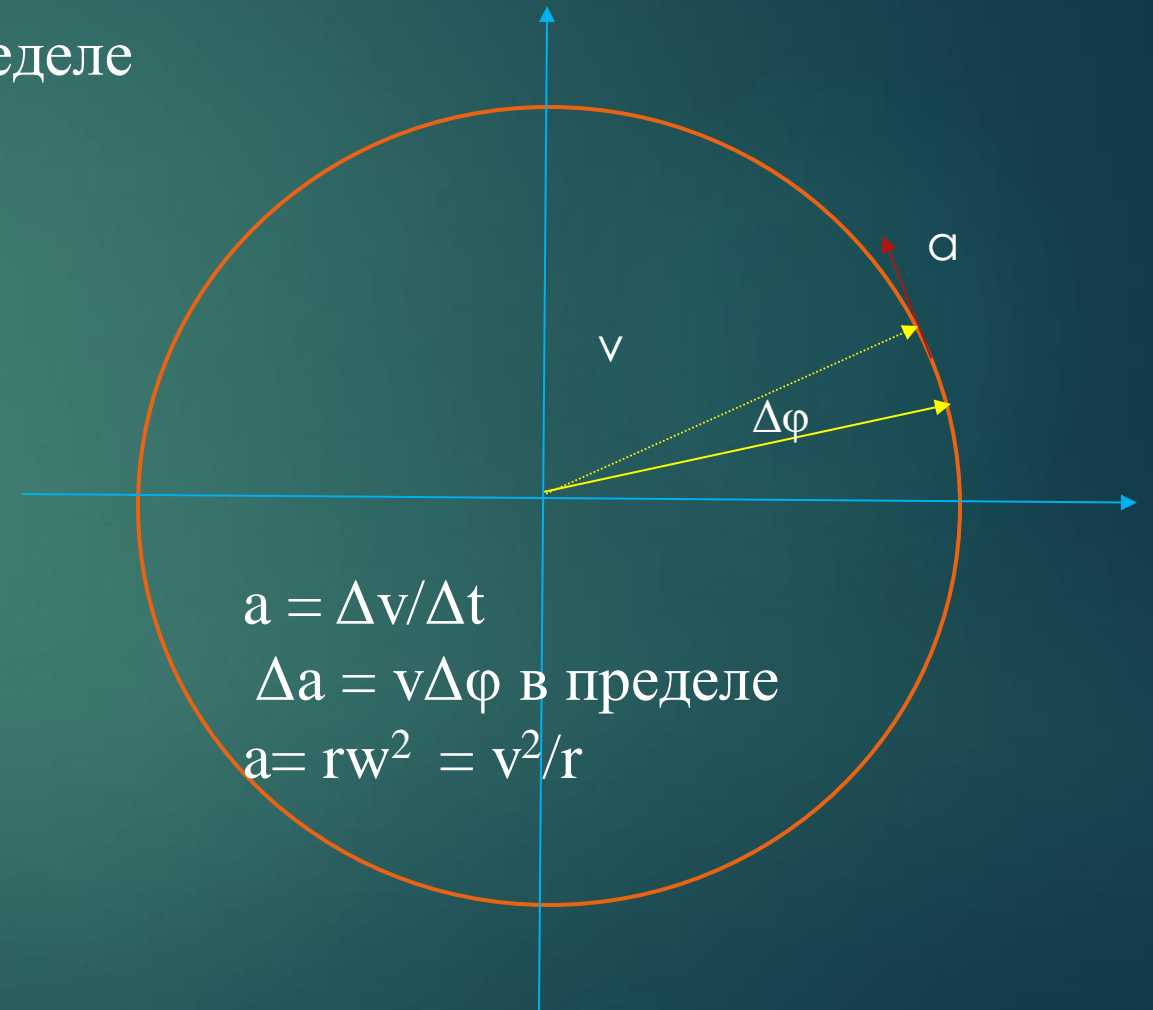
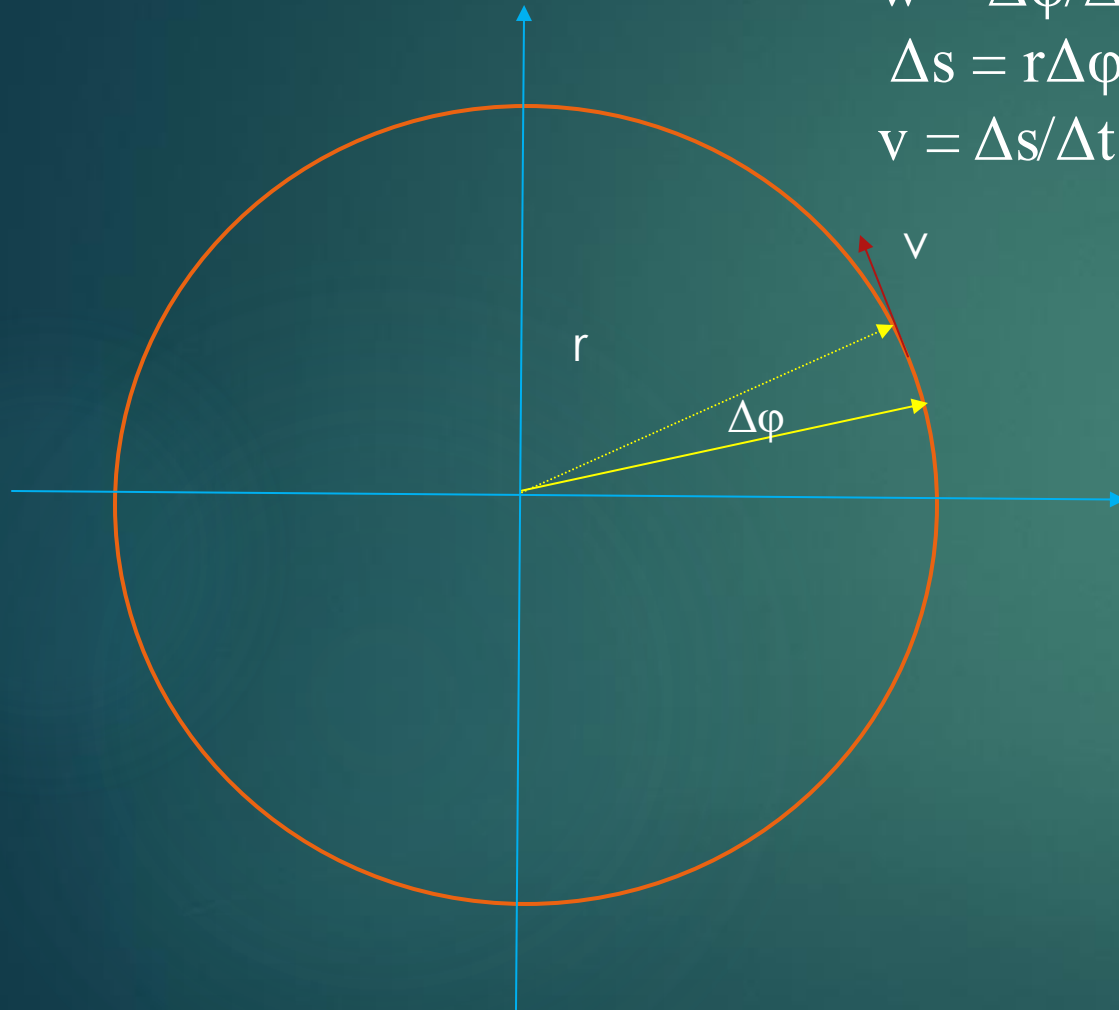
Круговая частота ω . Скорость v ...



$$\omega = \Delta\varphi/\Delta t$$

$\Delta s = r\Delta\varphi$ в пределе

$$v = \Delta s/\Delta t = r\omega$$



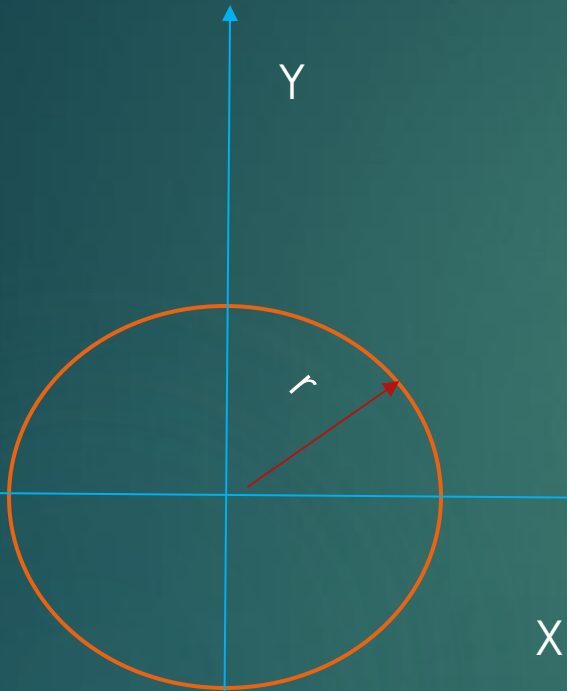
$$a = \Delta v/\Delta t$$

$\Delta a = v\Delta\varphi$ в пределе

$$a = r\omega^2 = v^2/r$$



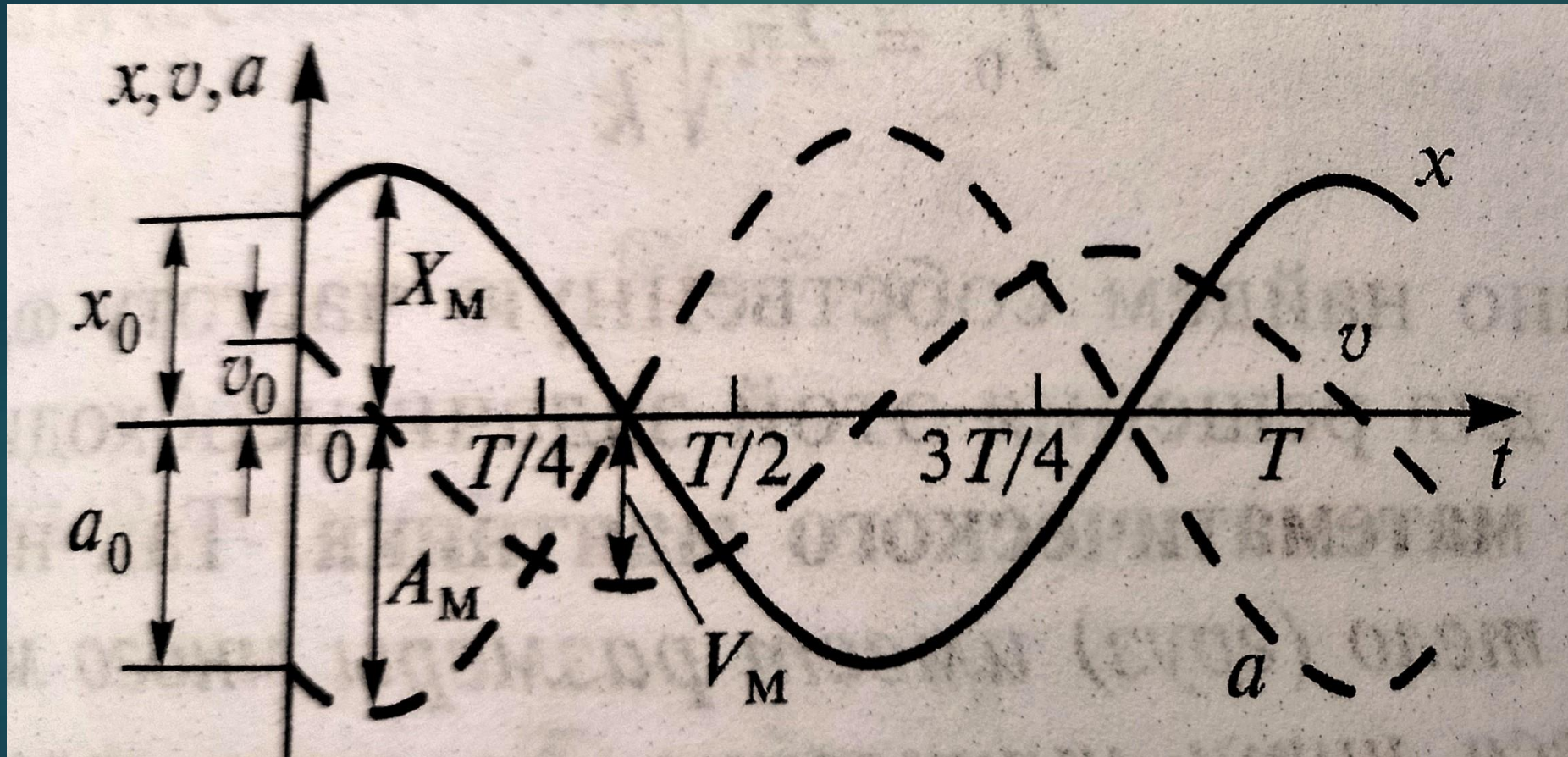
Фаза и амплитуда гармонических колебаний



$$\begin{aligned}x &= A(\cos \omega t + \varphi) \\y &= A(\sin \omega t + \varphi) \\v &= -\omega A(\sin \omega t + \varphi) \\a &= -\omega^2 A(\cos \omega t + \varphi)\end{aligned}$$

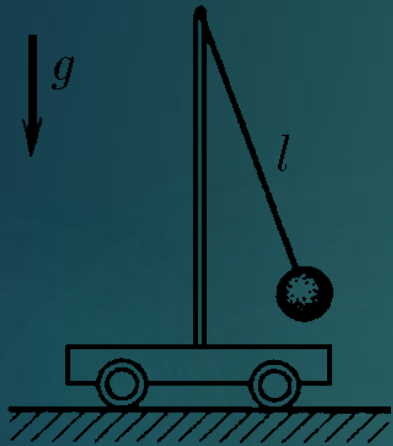
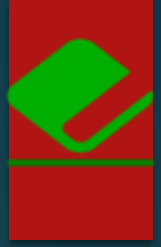


Отклонение. Скорость. Ускорение.



$$x = A(\cos \omega t + \varphi)$$
$$v = -\omega A(\sin \omega t + \varphi)$$
$$a = -\omega^2 A(\cos \omega t + \varphi)$$

Максимальная v маятника и тележки?



К задаче 3.1.15

- ▶ Амплитуда малых колебаний математического маятника, стоящего на тележке, равна x_0 , а амплитуда колебаний тележки y_0 . Длина нити маятника l .
- ▶ Определите амплитуды скоростей v

Решение



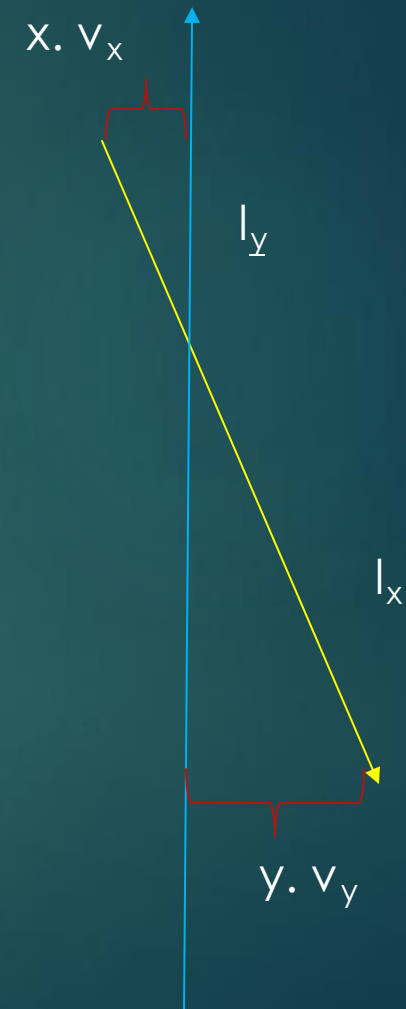
$$v_{max} = \omega \cdot A$$

$$l_y = l \frac{y_0}{(x_0 + y_0)} = \frac{l}{(1 + \frac{x_0}{y_0})}$$

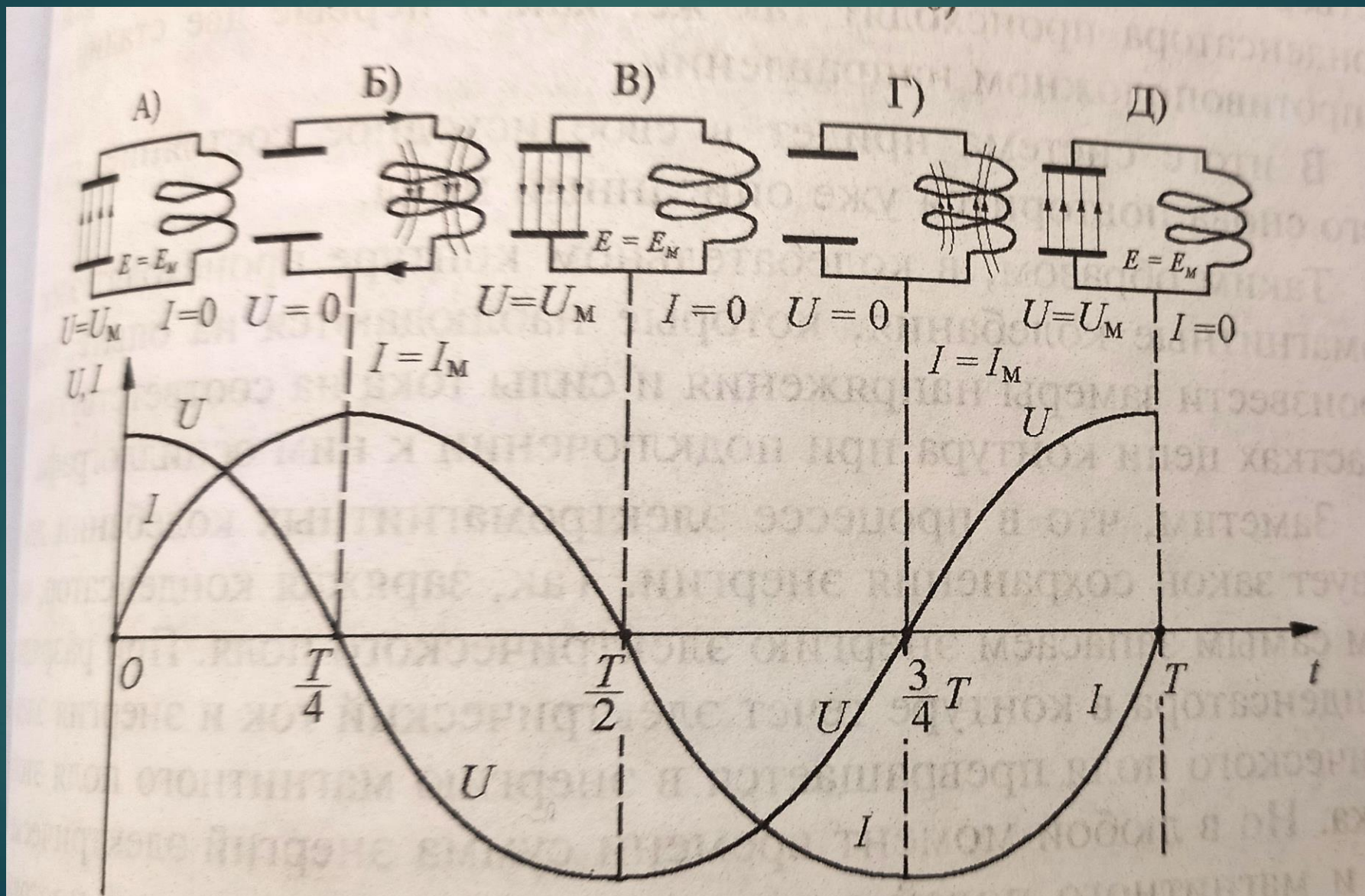
$$l_x = l \frac{x_0}{(x_0 + y_0)} = \frac{l}{(1 + \frac{y_0}{x_0})}$$

$$v_y = \omega \cdot y_0 = \sqrt{\frac{g}{l_y}} y_0 = y_0 \sqrt{\frac{g}{l} (1 + x_0/y_0)}$$

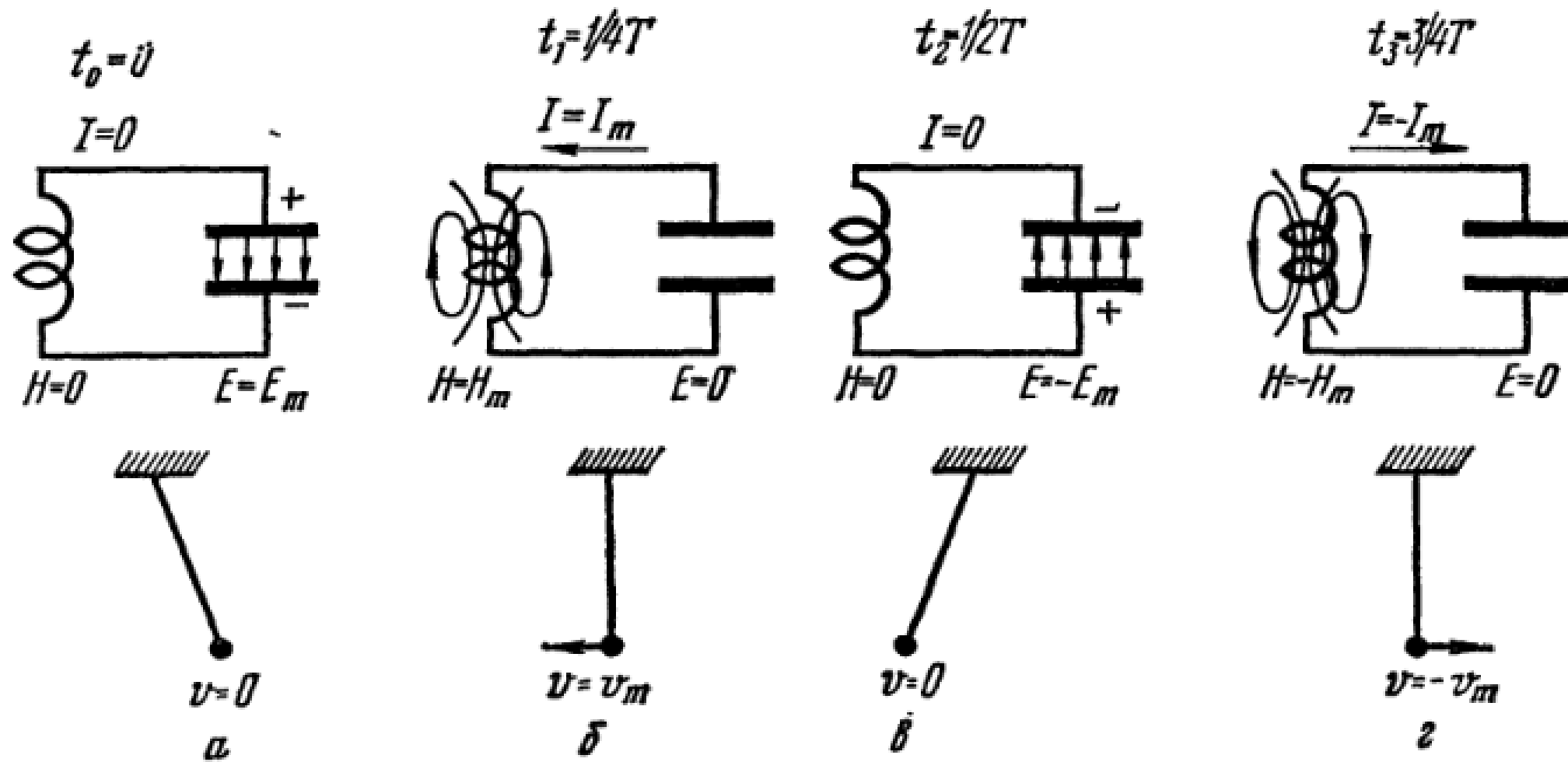
$$v_x = x_0 \sqrt{\frac{g}{l} (1 + y_0/x_0)}$$



Осциллятор. Фазы движения



ОСЦИЛЛЯТОР



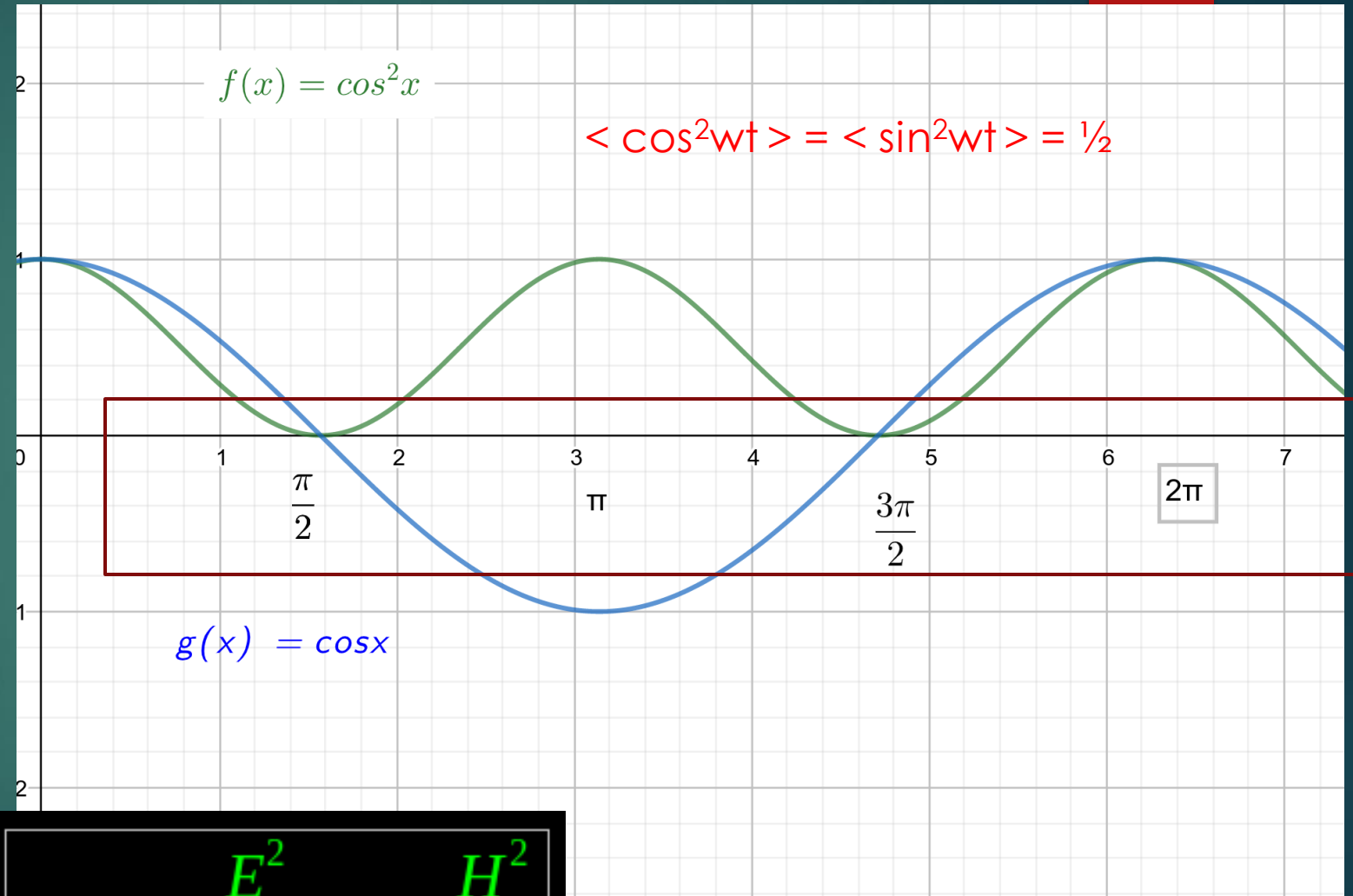
Энергия осциллятора

$$W = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2}$$

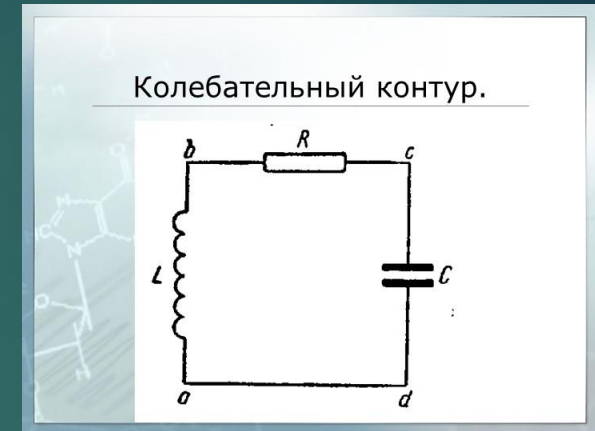
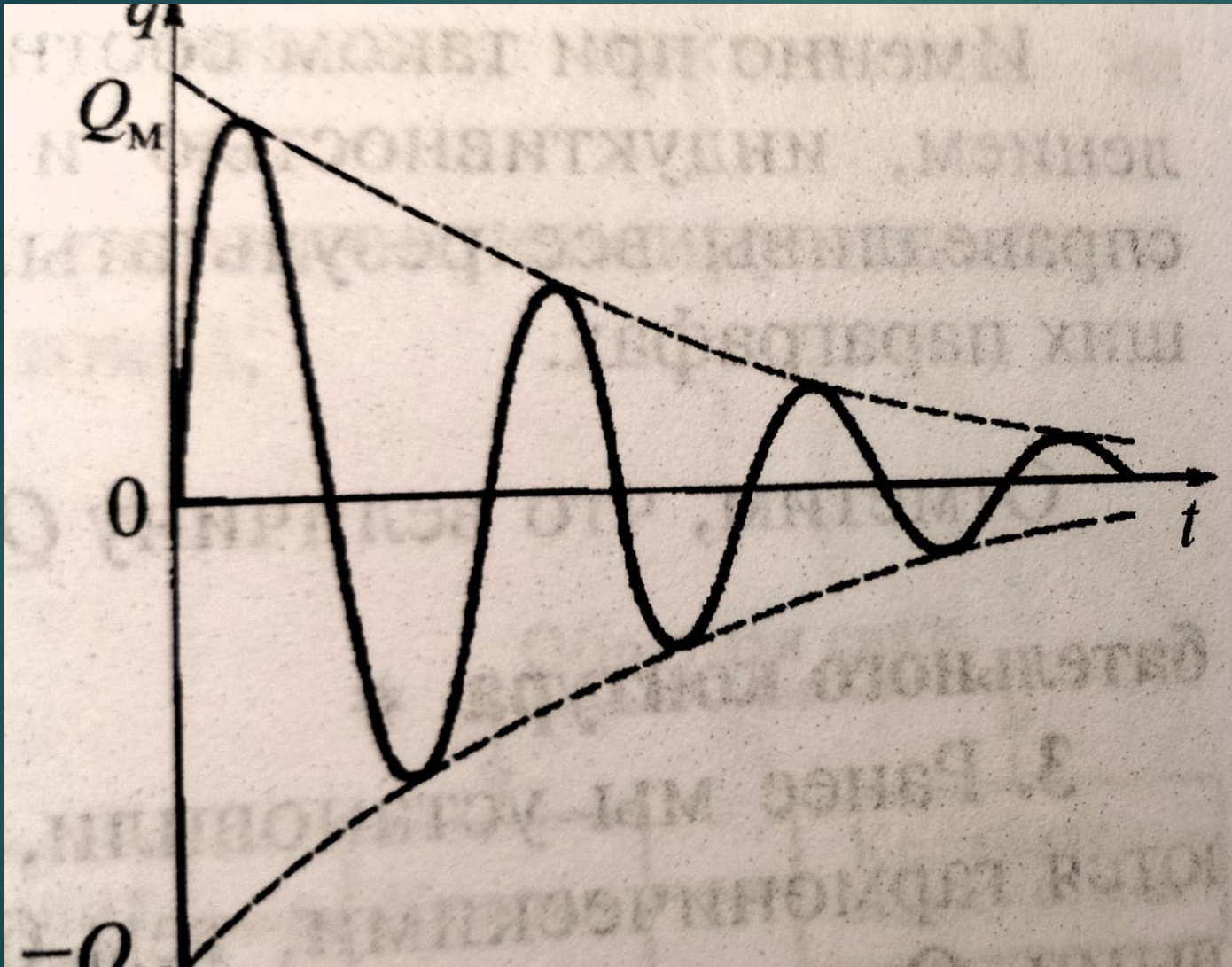
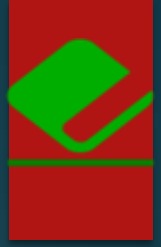
$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{U^2}{2C}$$

$$\langle K \rangle = \langle \Pi \rangle$$

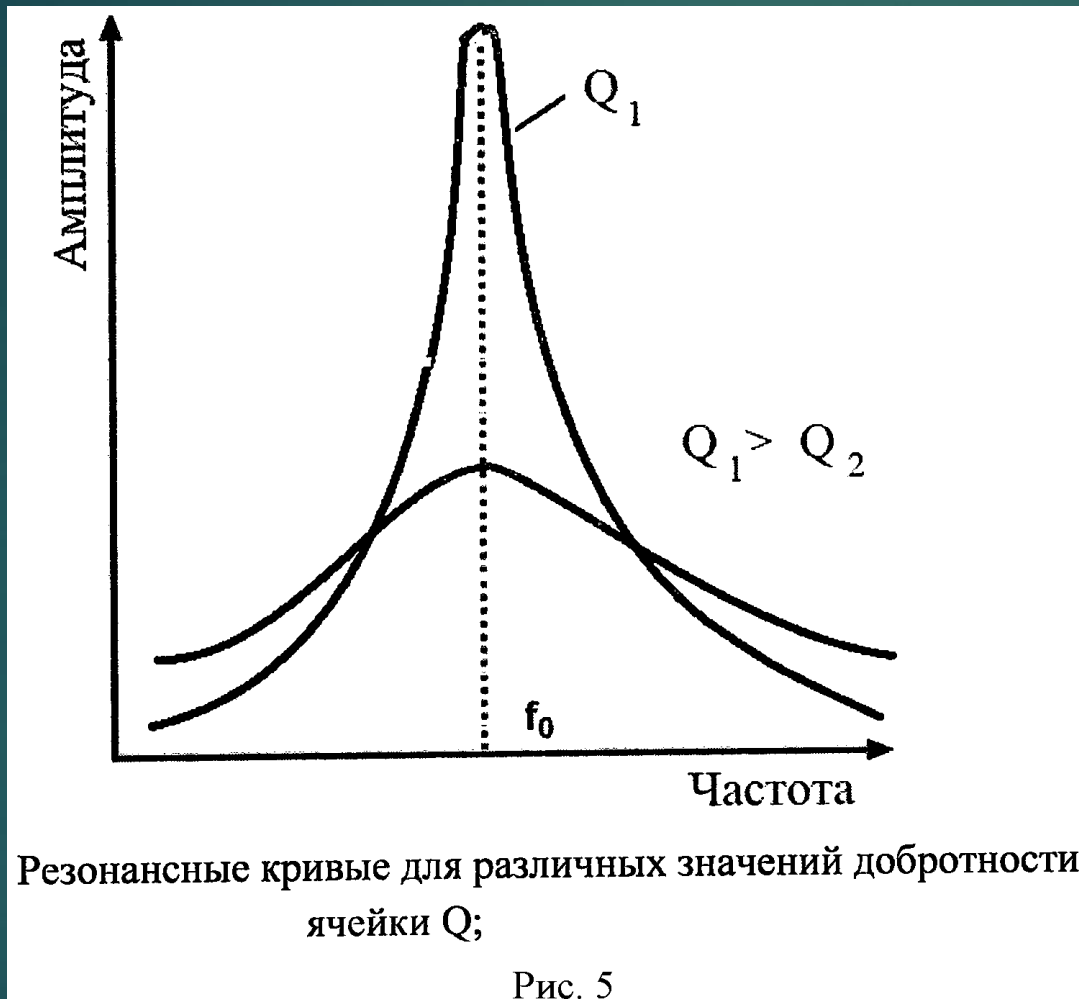
$$W = \epsilon \epsilon_0 \frac{E^2}{2} + \mu \mu_0 \frac{H^2}{2}$$



Затухающие колебания



Резонансная кривая



$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$



Интенсивность света. Энергия ВОЛНЫ



$$w = \epsilon \epsilon_0 \frac{E^2}{2} + \mu \mu_0 \frac{H^2}{2}$$

$$\sqrt{\epsilon \epsilon_0} E = \sqrt{\mu \mu_0} H$$

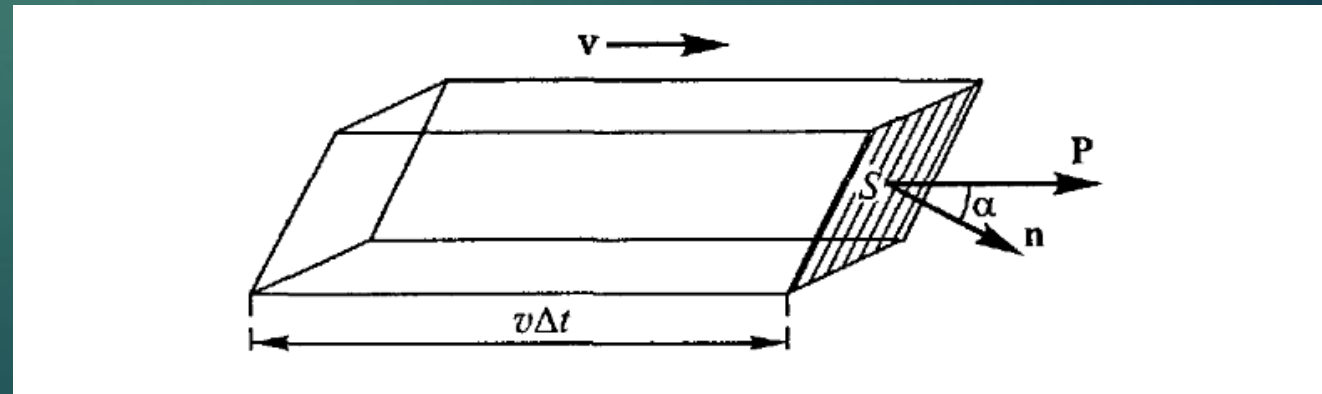
$$1/n * 1/c = 1/v$$

$$w = \epsilon \epsilon_0 E^2 = \mu \mu_0 H^2 = \sqrt{\epsilon \mu} \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} EH$$

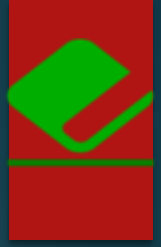
$$\Delta W = w * v * \Delta t * S \cos \alpha = \Delta t * EH S \cos \alpha$$

$$I = -\Delta W / \Delta t = P_n S$$

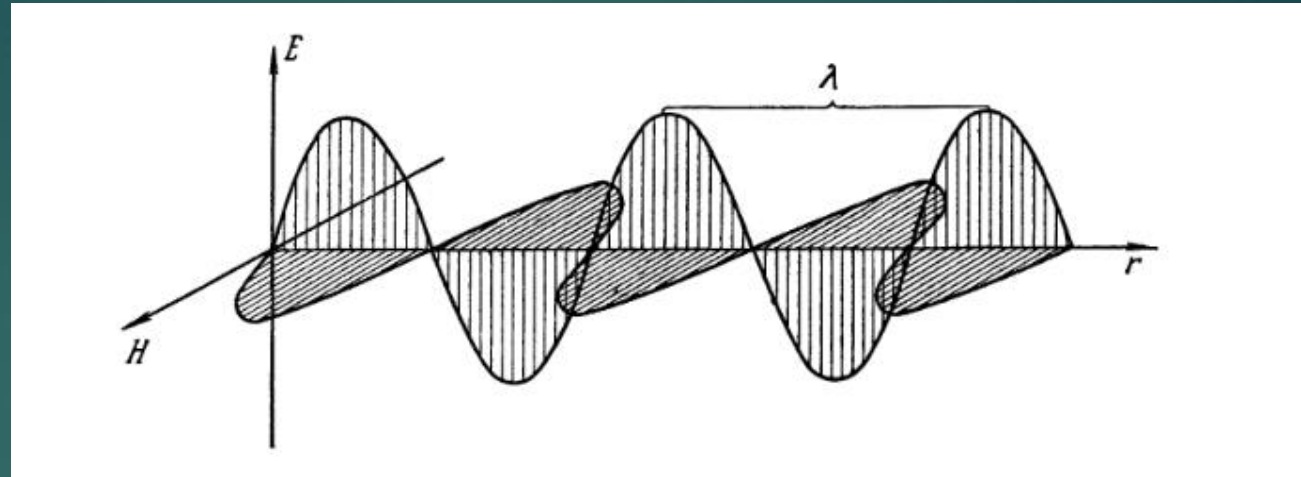
$$I \sim E^2 \quad I \sim H^2$$



Бегущая волна



Плоская



$$E = E_0 \cos(\mathbf{kx} - \omega t)$$

$$H = H_0 \cos(\mathbf{kx} - \omega t)$$

$$|\mathbf{k}| = 2\pi/\lambda$$

$$\lambda = c/v$$

$$\omega = 2\pi\nu$$

$$T = 1/\nu$$

$$T = 2\pi/\omega$$

Сферическая



$$I = \Delta W/S\Delta t \sim 1/r^2$$

$$E = E_0/r \cos(\mathbf{kr} - \omega t)$$

$$\omega t - kx = \text{const}$$

$$\omega\Delta t - k\Delta x = 0$$

$$\Delta x/\Delta t = \omega/k = v$$

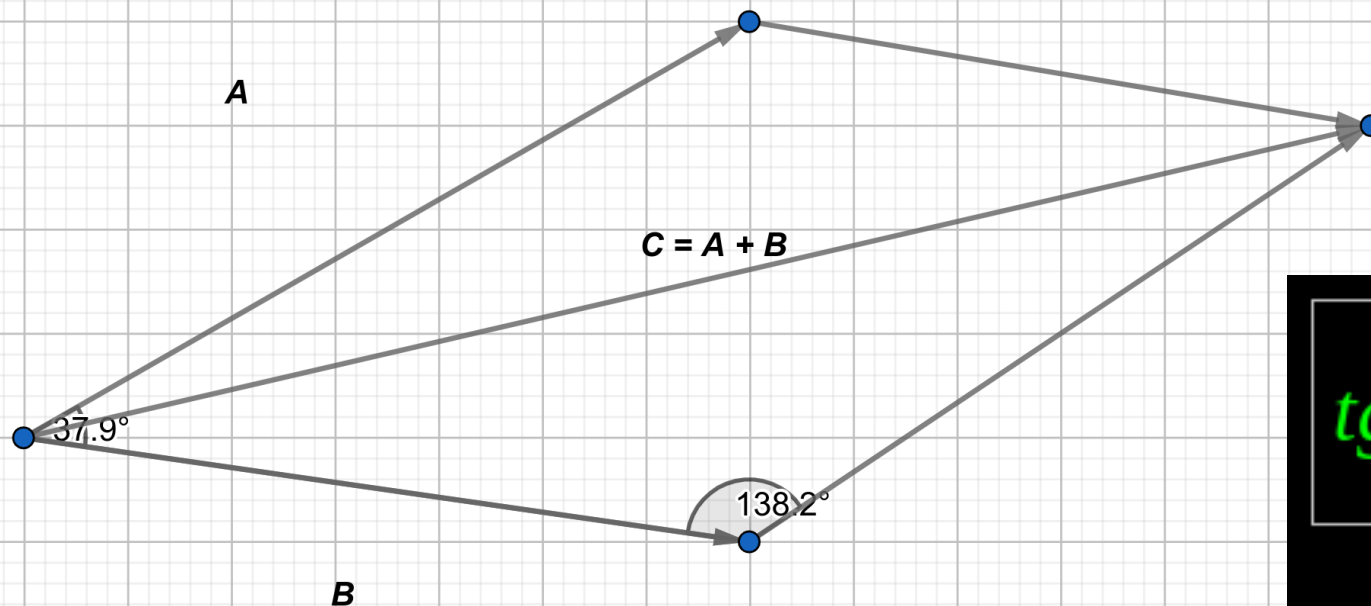
Интерференция волн



$$A = A_0 \cos(\mathbf{kx} - \omega t)$$

$$B = B_0 \cos(\mathbf{kx} - \omega t)$$

Сложение векторов $A + B = C$ через
построение параллелограмма

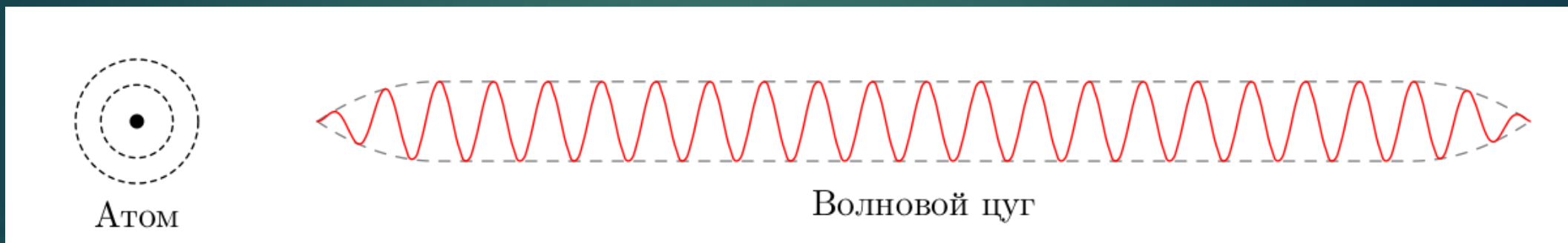


$$C^2 = A^2 + B^2 + 2AB \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{A \sin \phi_1 + B \sin \phi_2}{A \cos \phi_1 + B \cos \phi_2}$$

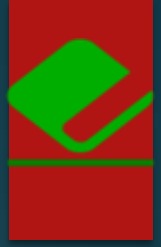
$$C = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos(\phi_2 - \phi_1)}$$

Волновой цуг. Когерентность. Поляризация



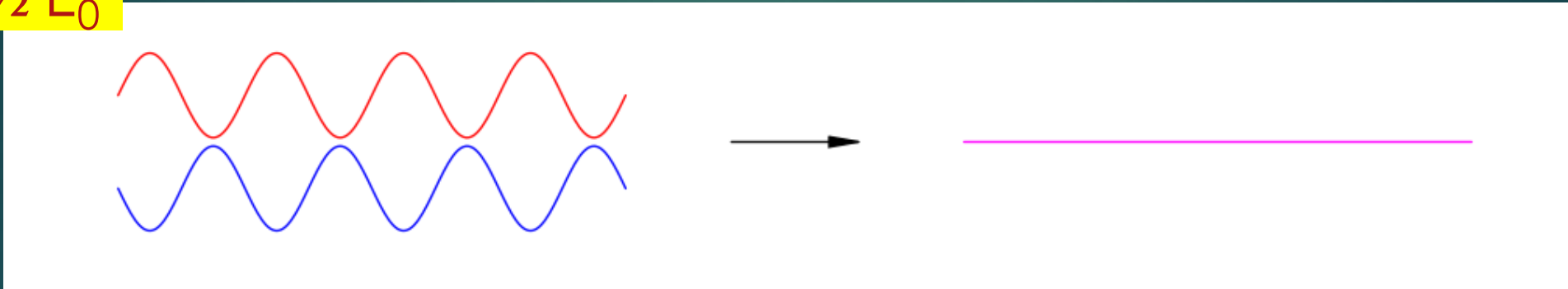
$$3 * 10^{10} \text{ см/сек} * 10^{-8} \text{ сек} = 3 \text{ м}$$

Волны в противофазе и фазе



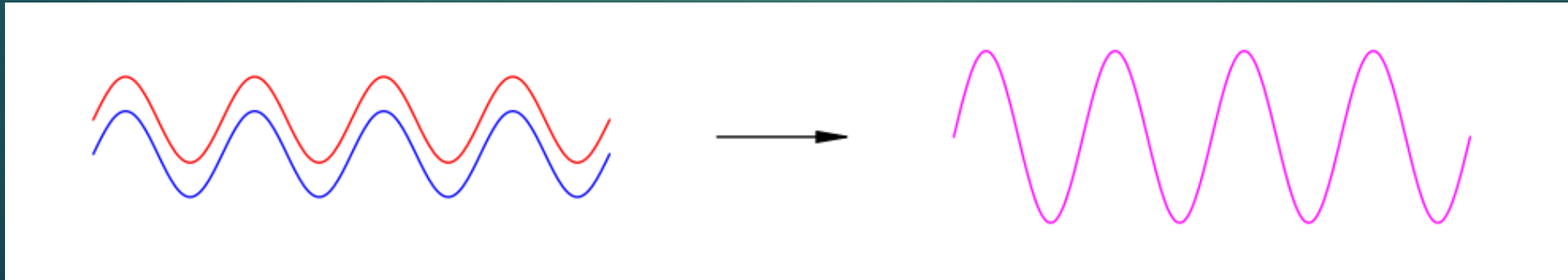
Одна волна: $P = E_0 H_0 \cos(kx - \omega t)^2$

$$I = \frac{1}{2} E_0^2$$

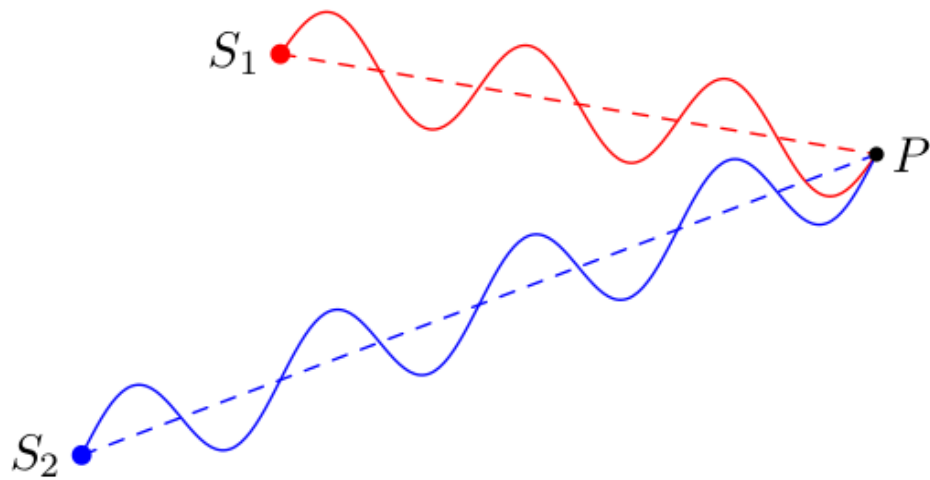
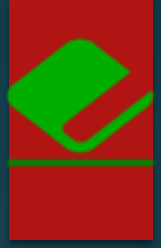


$$I_C = I_A + I_A = 0 \quad \Delta\varphi = \Delta\varphi = \pi, 3\pi \quad (2m + 1)\lambda/2$$

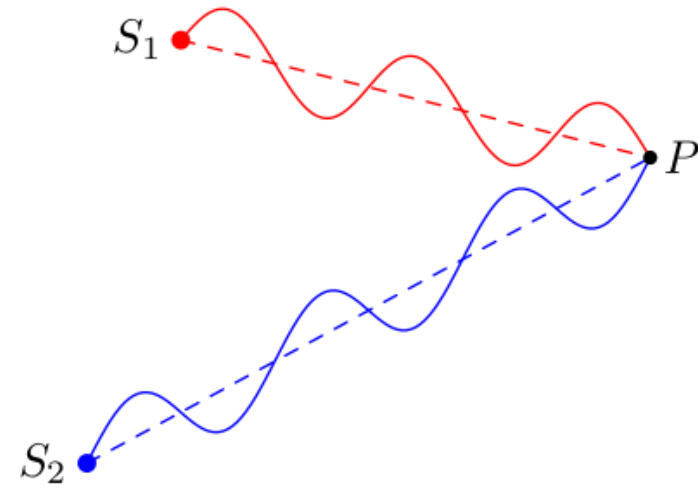
ИЛИ $4A^2 \quad \Delta\varphi = 0, 2\pi, 4\pi \dots \quad 2m\lambda/2$



Интерференция волн. Усиление и гашение интенсивности



$$I = I_1 - I_2 = 0$$

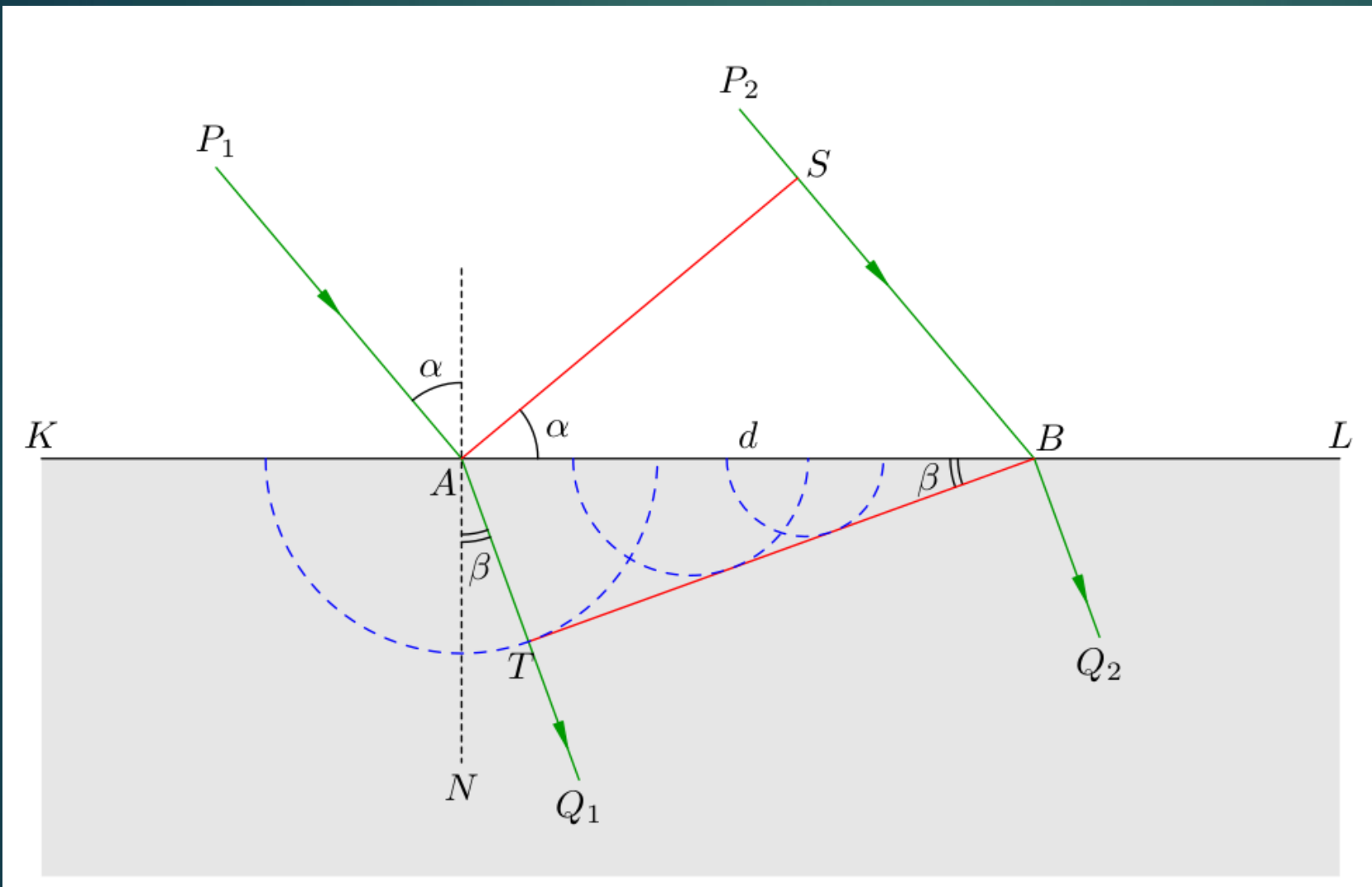


$$I = I_1 + I_2 = 4I$$

Преломление волны



Закон закон
Снеллиуса

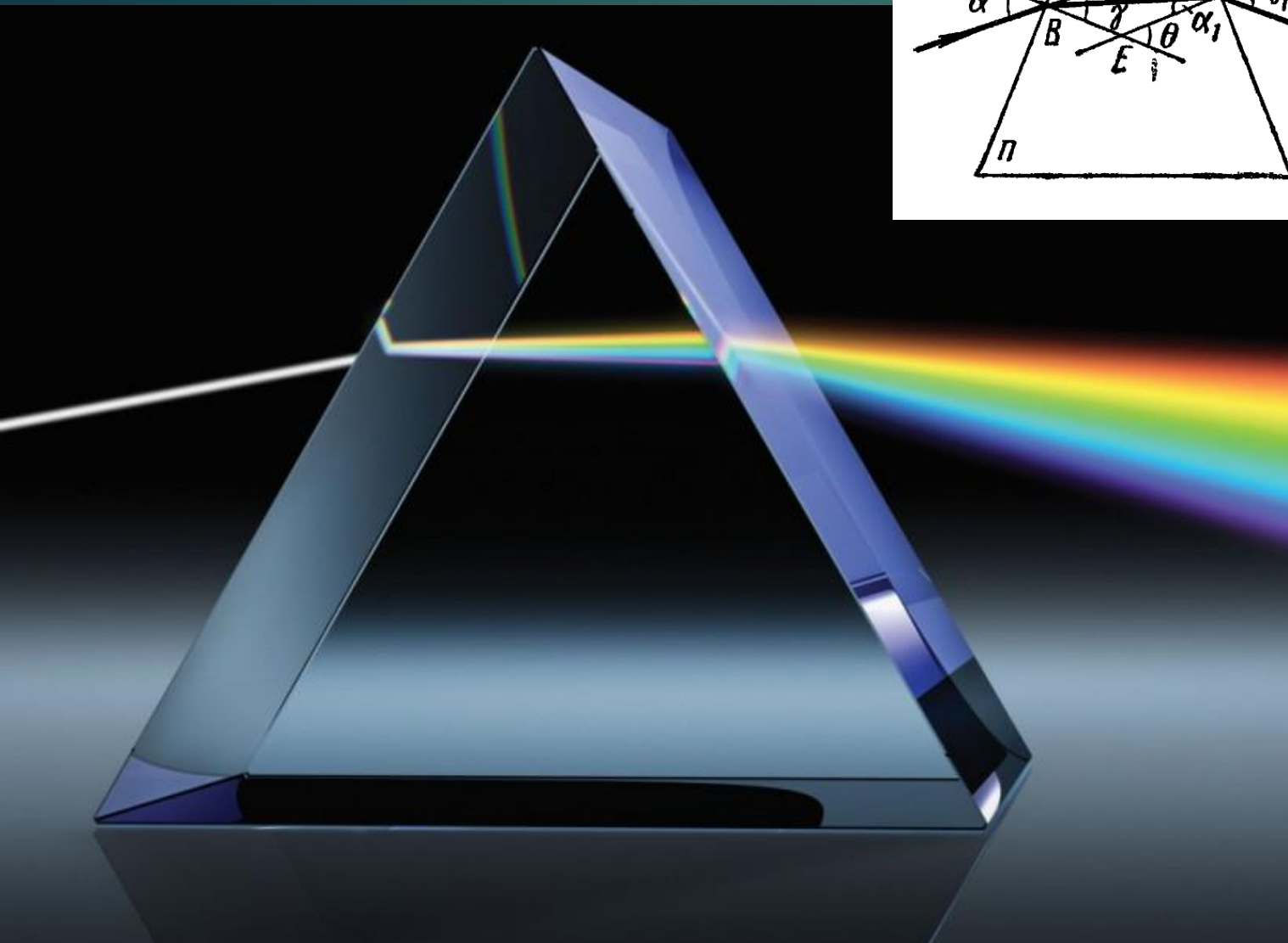
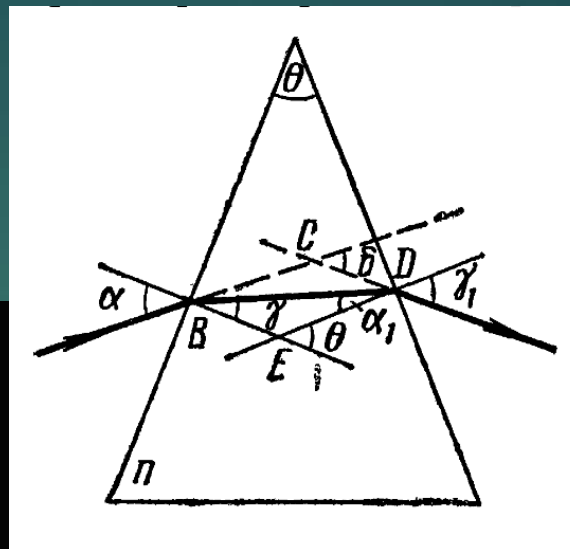


$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$



Христиан Гюйгенс
14.04.1629 - 8.07.1695

Призма



$$\sin \alpha = n \sin \gamma \quad \sin \alpha_1 = n \sin \gamma_1$$

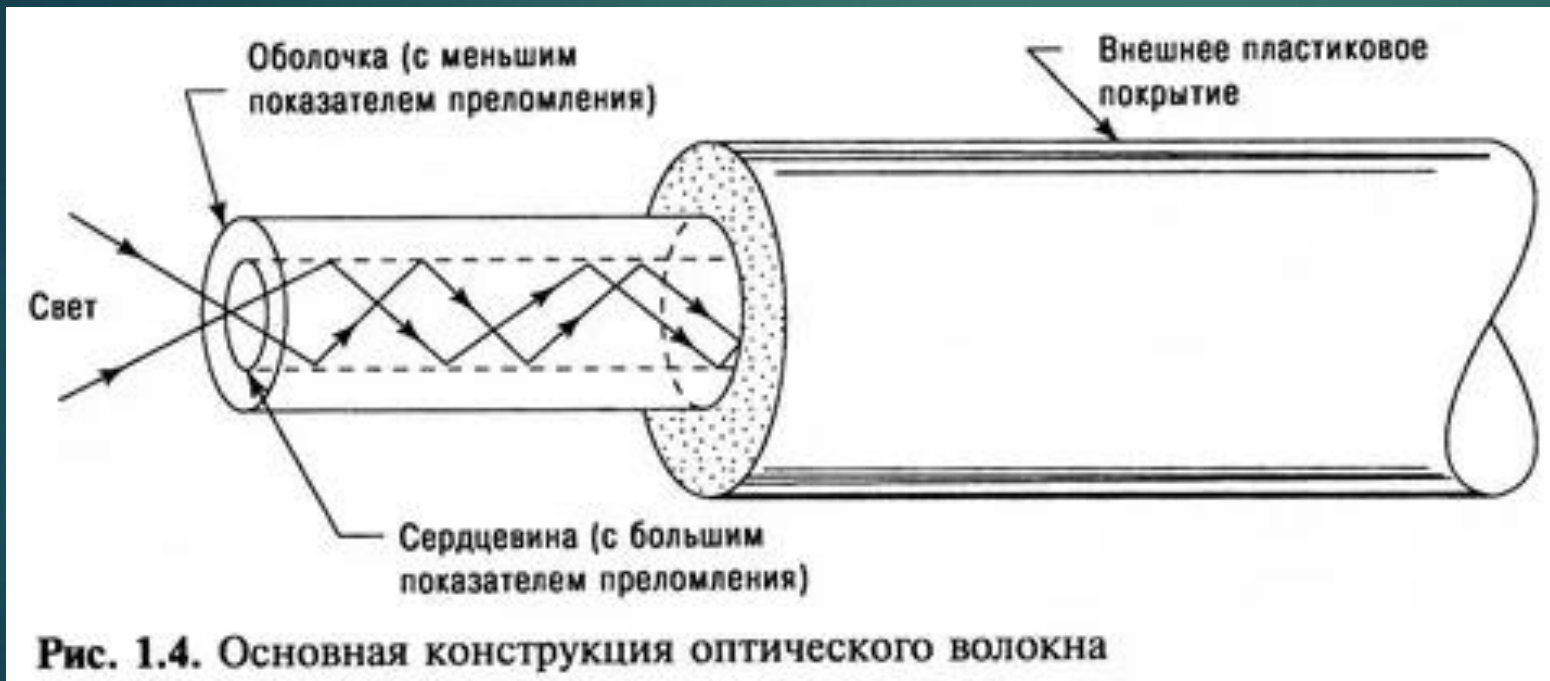
$$\theta = \gamma + \alpha_1$$

$$\delta = (\alpha - \gamma) + (\gamma_1 - \alpha_1)$$

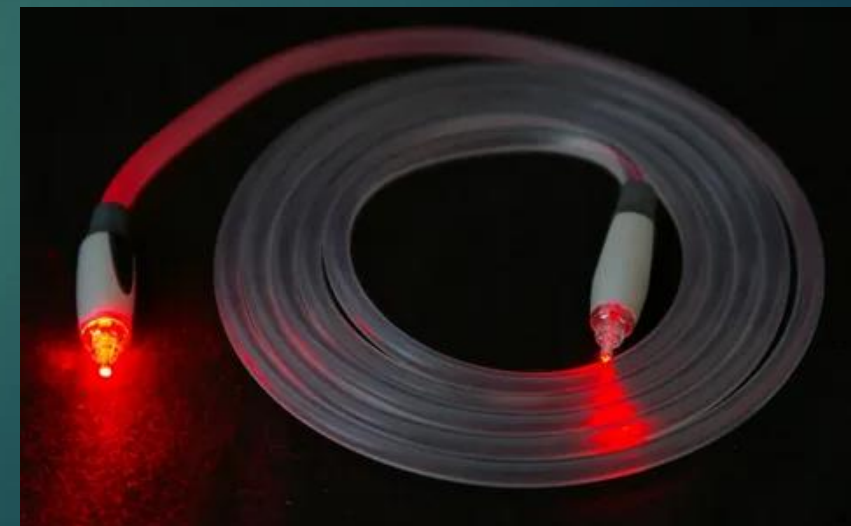
$$\alpha = n\gamma \quad \alpha_1 = n\gamma_1$$

$$\delta = (n-1)\theta$$

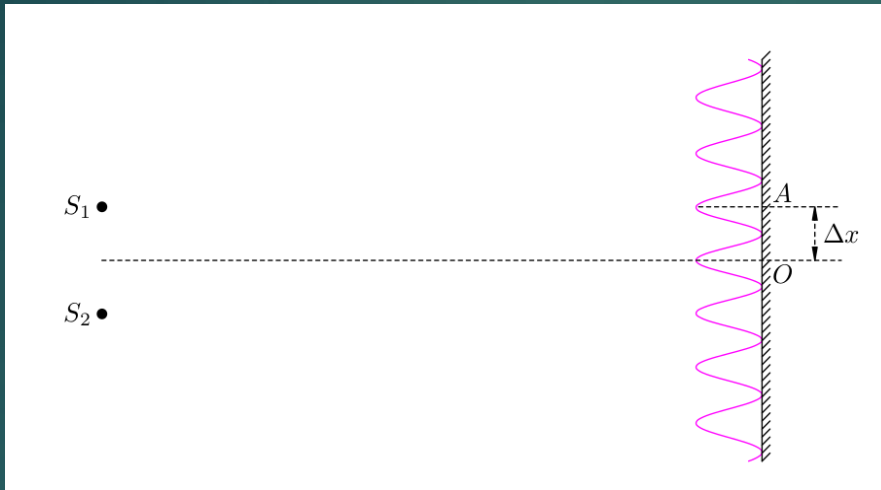
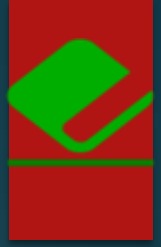
Полное отражение света. ОПТИЧЕСКИЙ ВОЛНОВОД



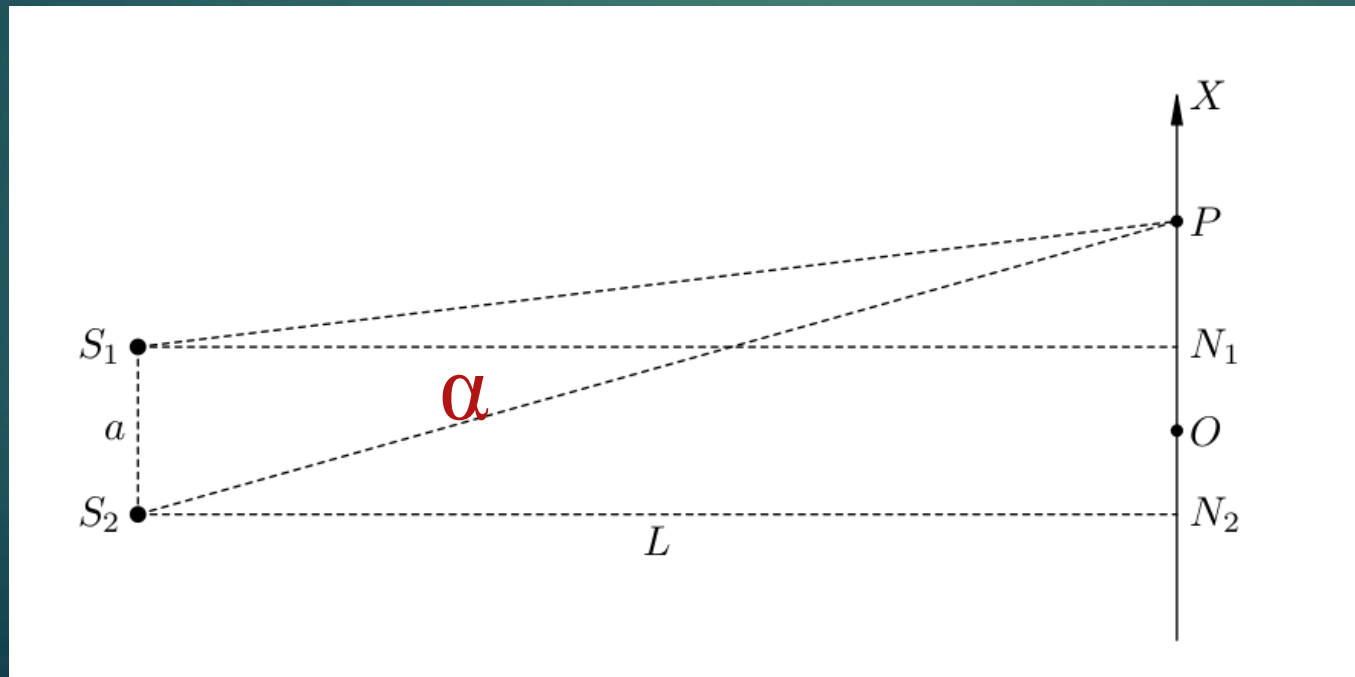
$$n_1 \sin \alpha = n_2 * 1$$



Опыт Юнга. Когерентные источники

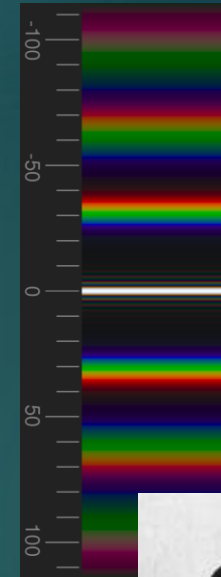
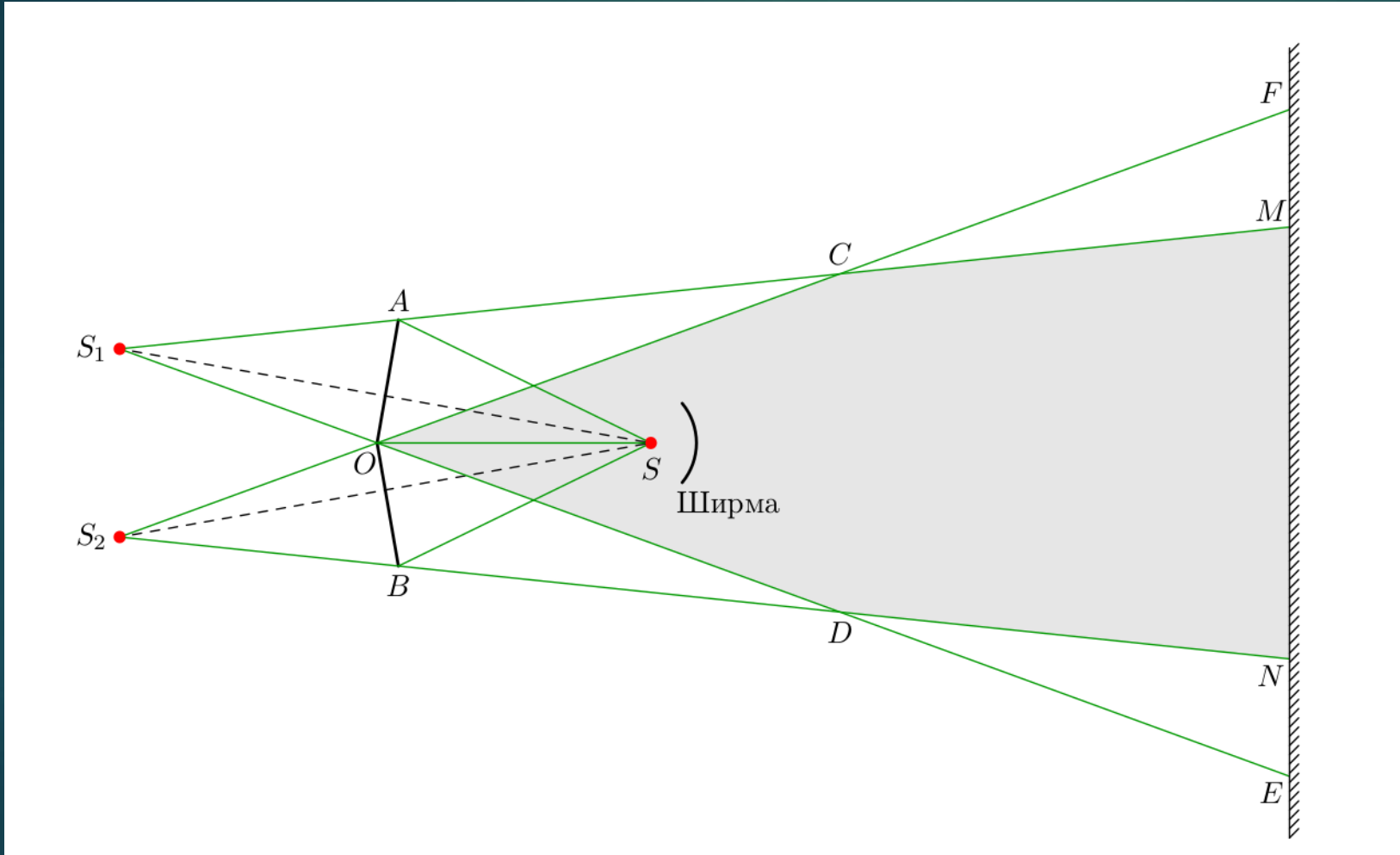
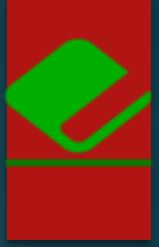


$$d = a \sin \alpha = a \Delta x / L$$



Томас Юнг 1773-1792

Опыт Френеля



Огюстен Жан Френель
10.05.1788 - 14.07.1827

Ширина полос $\lambda L/a$, где $a = |S_1, S_2|$ и L

ТОНКАЯ ЛИНЗА

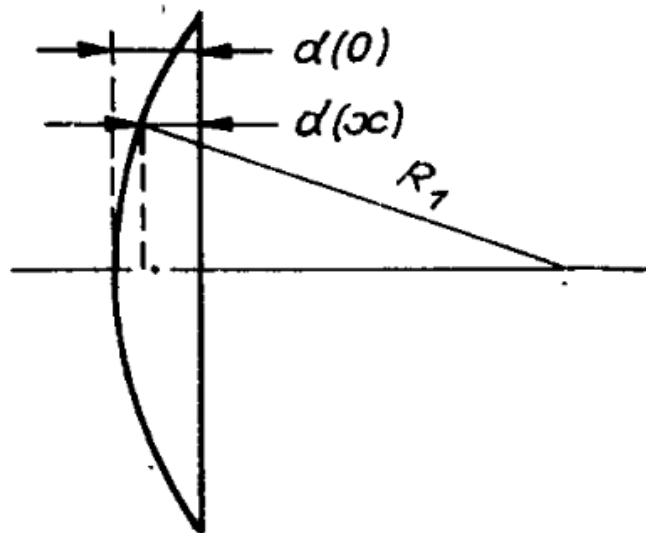


Рис. XV.21. К расчету прохождения плоской волны через тонкую линзу (показана половина линзы).

ТОНКОЙ ЛИНЗЫ, ОПИСЫВАЕТСЯ СООТНОШЕНИЕМ

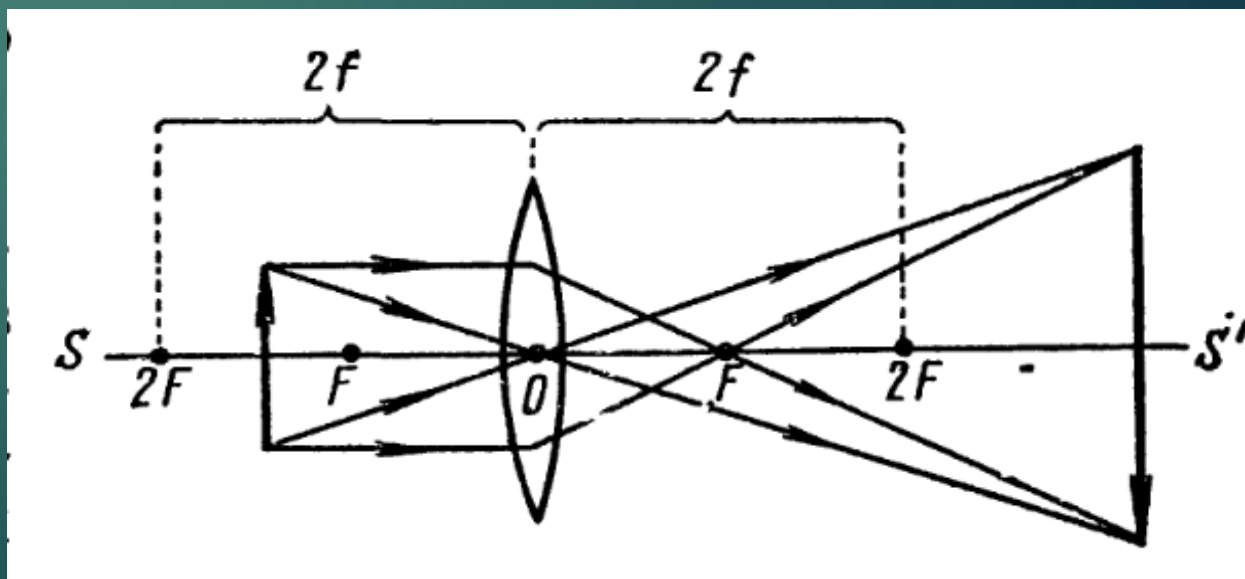
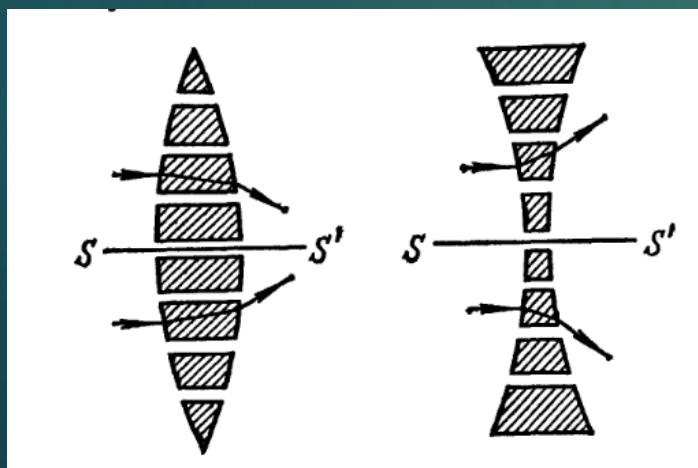
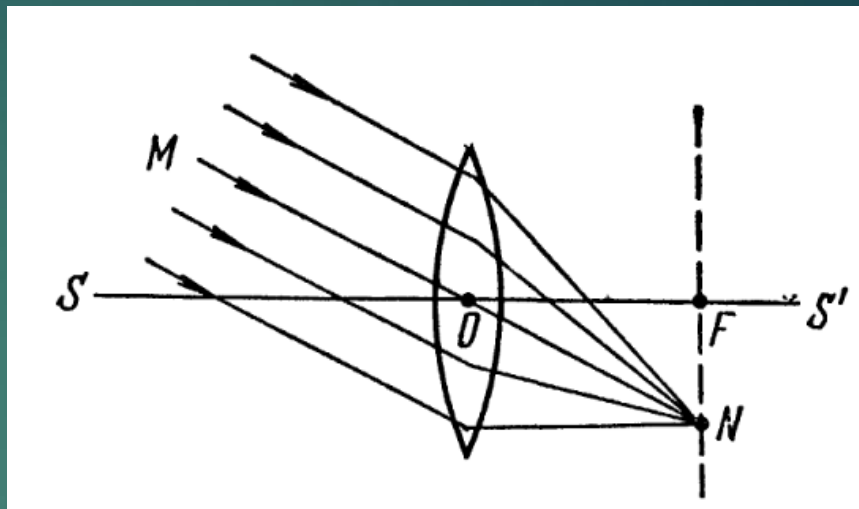
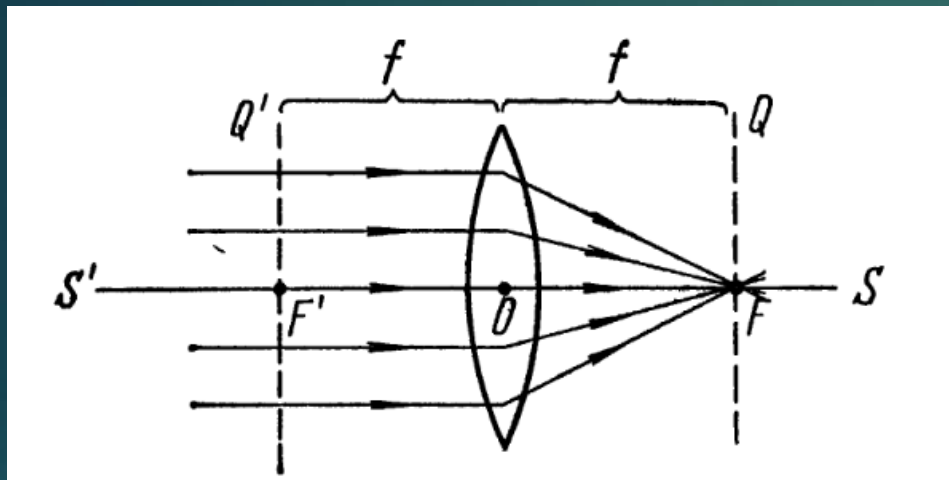
$$\begin{aligned} \varphi(x) &= k(d(0) - d(x)) + knd(x) \approx knd - k(n-1) \times \\ &\times \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \frac{x^2}{2} = k \left(nd - \frac{x^2}{2F} \right); \\ F^{-1} &= (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \end{aligned}$$

Здесь n — показатель преломления материала линзы. Для простоты

СВОЙСТВА ЛИНЗ

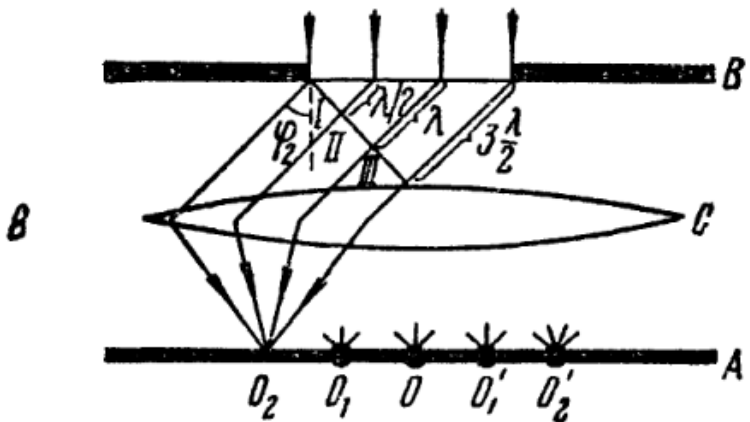
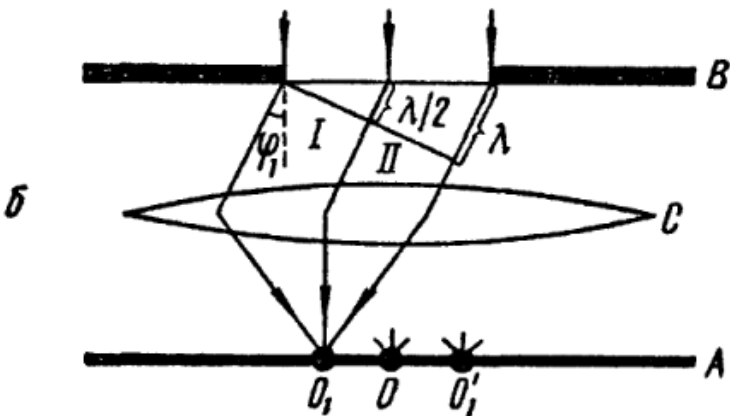
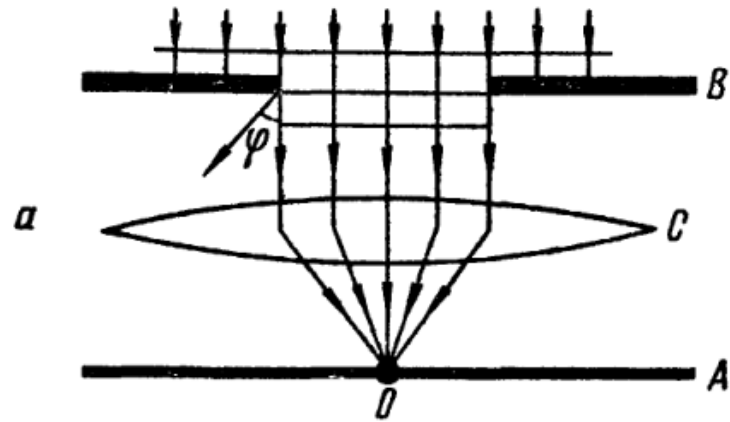
$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} = D$$

$$f = \frac{R_1 \cdot R_2}{(n-1)(R_1 + R_2)}$$





Дифракция от щели



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

$$\Delta l = 2m \frac{\lambda}{2}$$

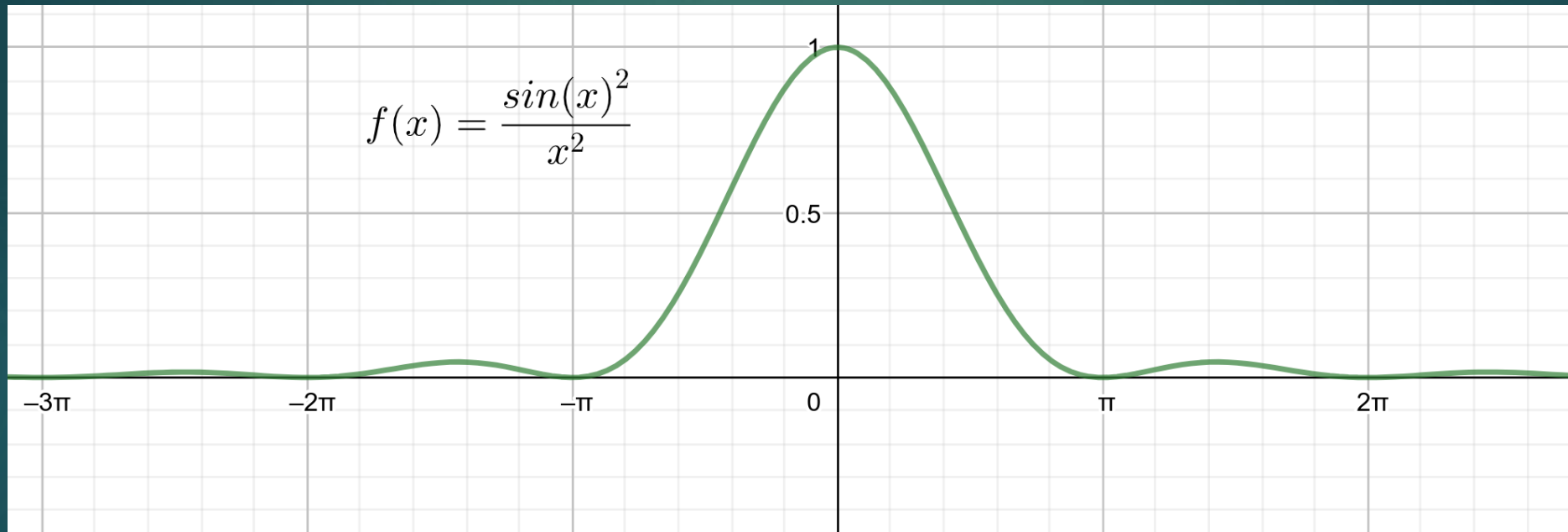
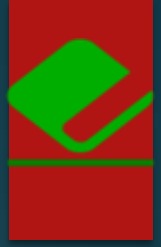
Максимум

Минимум

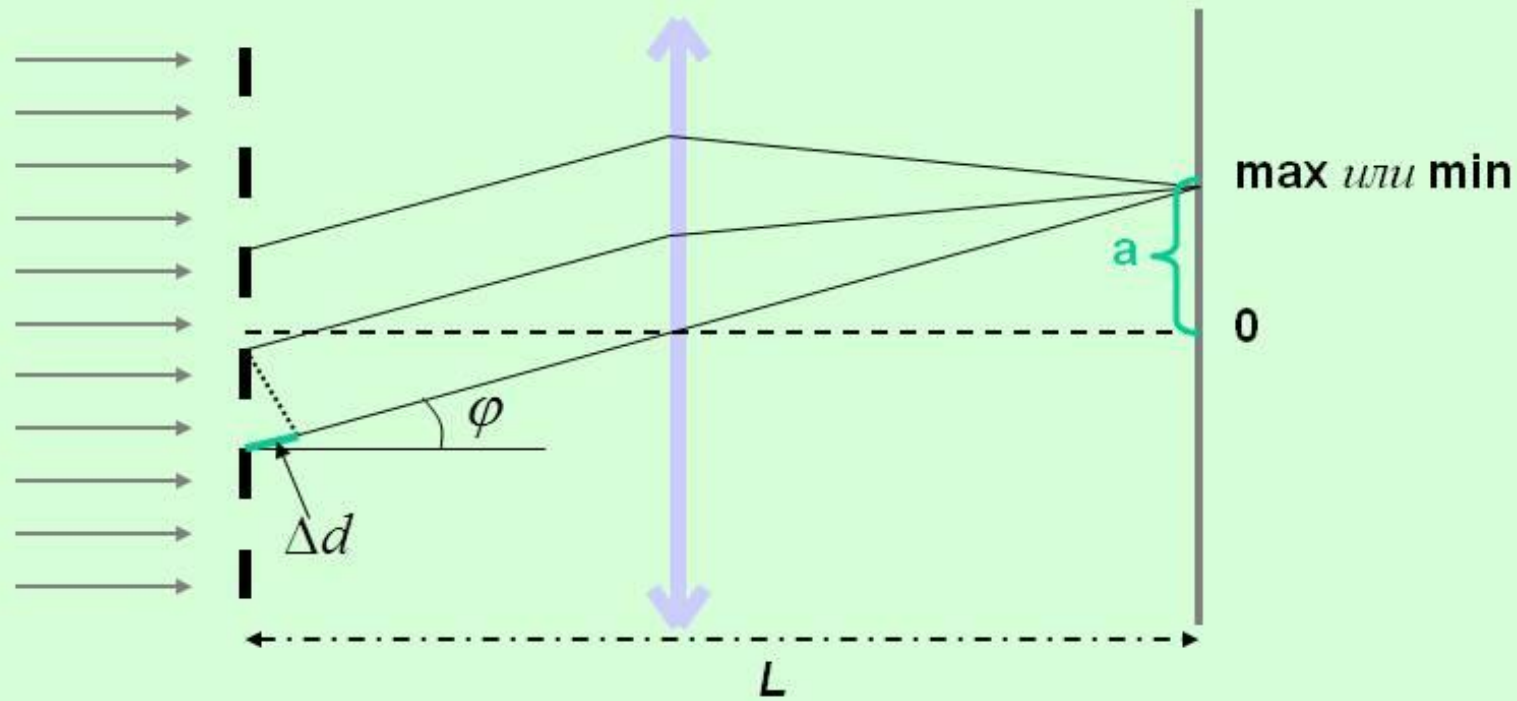
$$\sin \phi = (2m+1) \frac{\lambda}{2a}$$

$$\sin \phi = 2m \frac{\lambda}{2a}$$

Интенсивность света в результате дифракции от щели



Дифракционная решетка

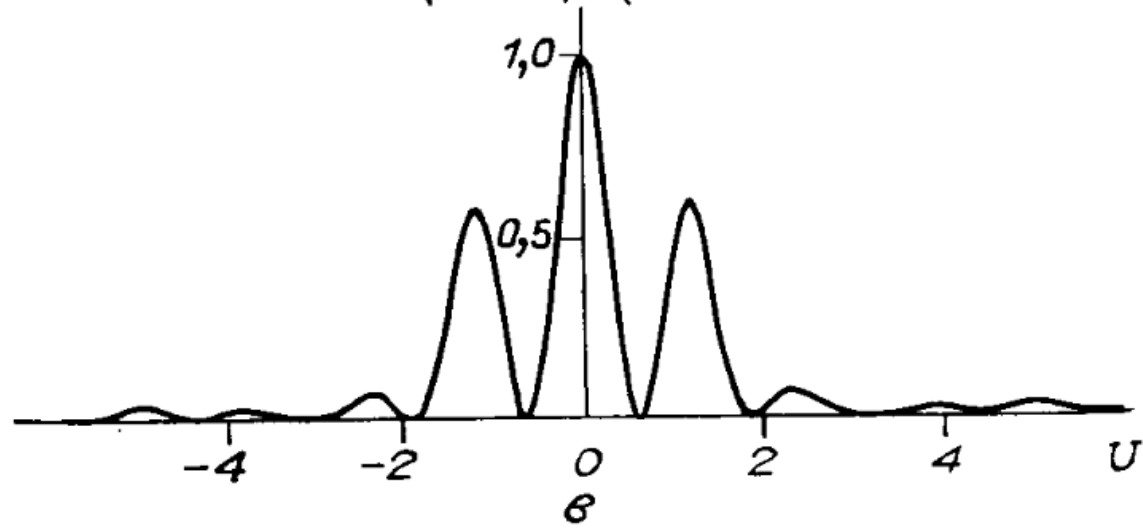


$$\left. \begin{array}{l} \Delta d = k\lambda \\ \Delta d = d \cdot \sin \varphi \end{array} \right\} d \cdot \sin \varphi = k\lambda$$

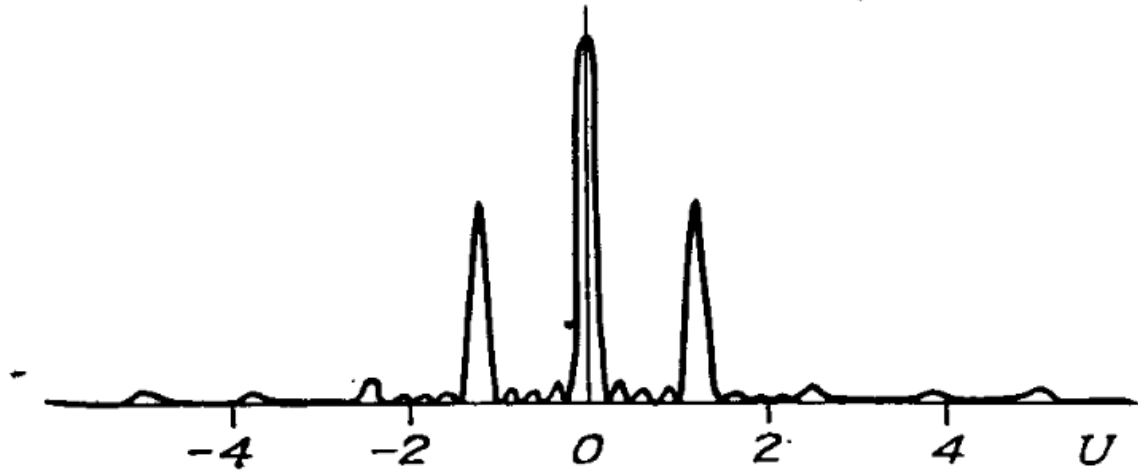




$$\left(\frac{\sin U}{U}\right)^2 \left(\frac{\sin 2kU}{2\sin kU}\right)^2$$

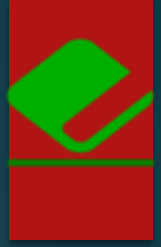


$$\left(\frac{\sin U}{U}\right)^2 \left(\frac{\sin 5kU}{5\sin kU}\right)^2$$

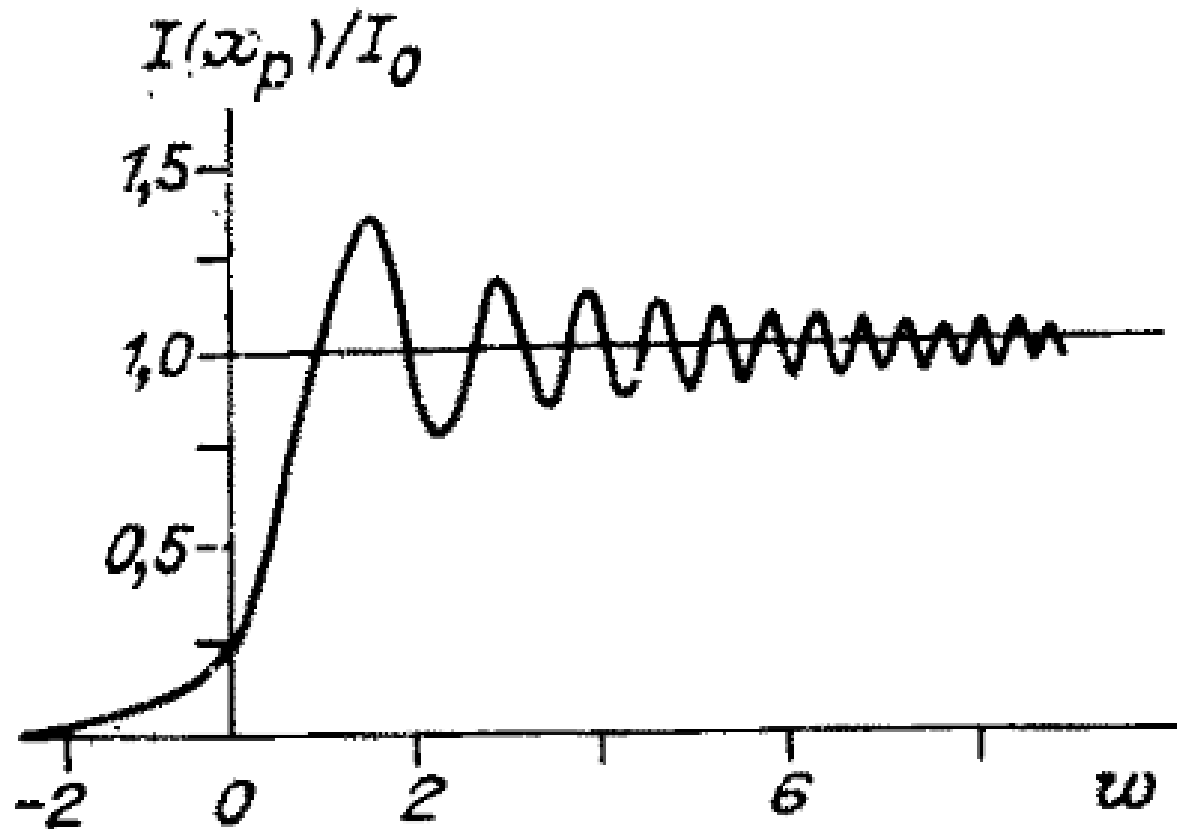


Дифракционная решетка

Позволяет наблюдать спектры



Интенсивность волны на краю полубесконечного экрана



Огюстен Жан Френель
10.05.1788 - 14.07.1827

Зоны Френеля. Дополнительные экраны

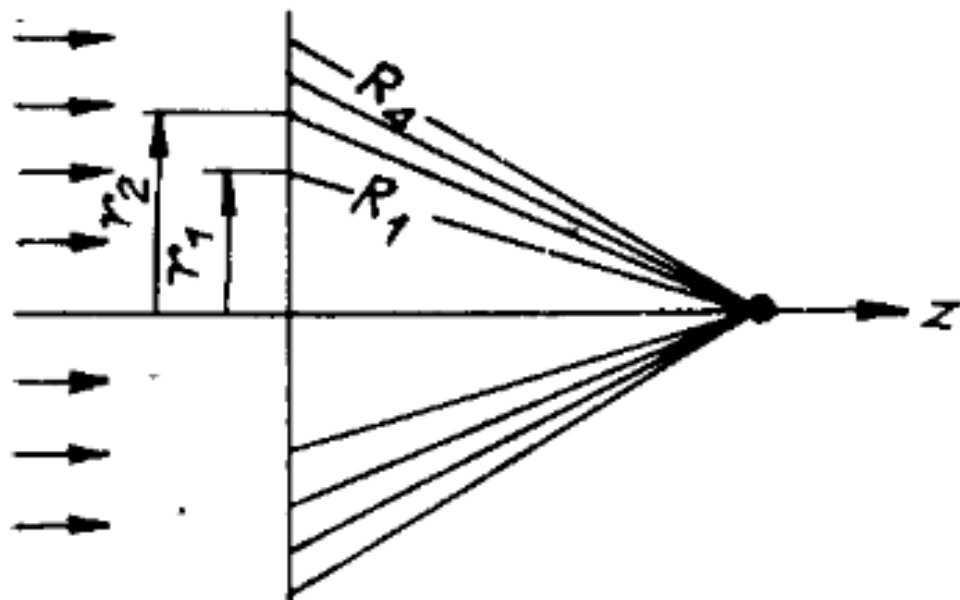


Рис. XV.11. Зоны Френеля;
 $r_n = \sqrt{n\lambda z_p}$.

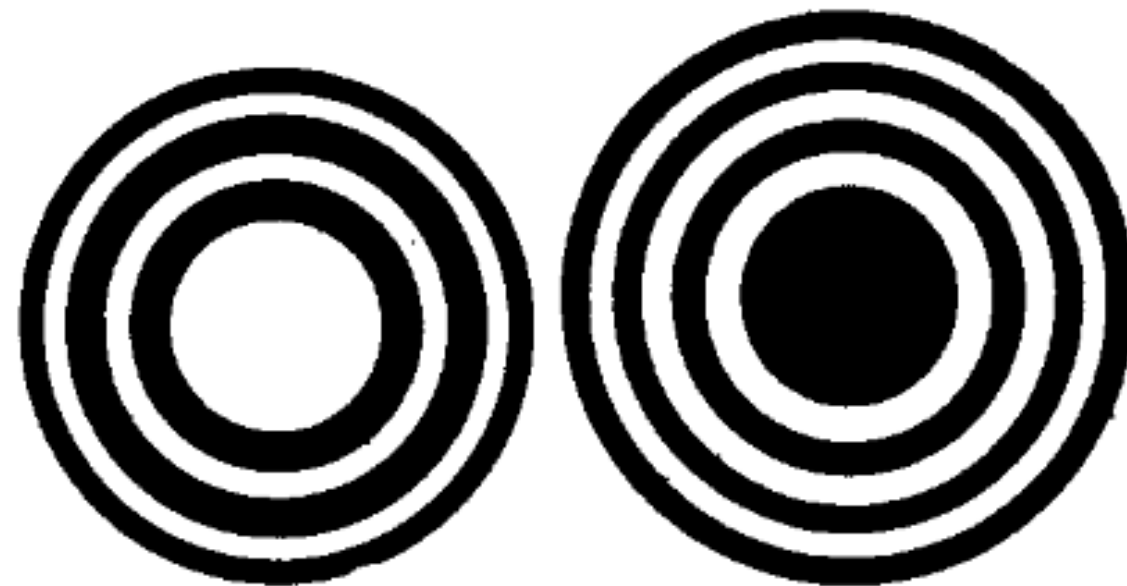


Рис. XV.12. Зонные пластинки.

обязаны в (98.13) перейти от сферических волн к цилиндрическим (см. (98.11)):

Вычислить в Mathcad интеграл Кирхгоффа

$$E(x_p) = \sqrt{\frac{k}{2\pi iz}} E_0 e^{i(kz - \omega t)} \int_0^{\infty} e^{ik(x-x_p)^2/2z} dx. \quad (99.1)$$

Проведя замену переменных, представим (99.1) в виде

$$E(x_p) = \frac{E_0}{\sqrt{\pi i}} e^{i(kz - \omega t)} \int_{-w}^{\infty} e^{i\xi^2} d\xi;$$

$$\xi = \sqrt{\frac{k}{2z}} (x - x_p); \quad w = x_p \sqrt{\frac{k}{2z}} = x_p \sqrt{\frac{\pi}{\lambda z}}. \quad (99.2)$$

Таким образом, решение задачи о дифракции плоской волны на краю экрана сведено к так называемым *интегралам Френеля* (рис. XV.8):

$$C(w) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^w \cos \xi^2 d\xi; \quad S(w) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^w \sin \xi^2 d\xi. \quad (99.3)$$

Их асимптотики при больших значениях w имеют вид

$$C(w) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\sin w^2}{w} + O\left(\frac{1}{w^2}\right);$$

$$S(w) = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\cos w^2}{w} + O\left(\frac{1}{w^2}\right). \quad (99.4)$$



alamy stock photo

Густав Роберт Кирхгоф
1824-1887

Кольца Ньютона

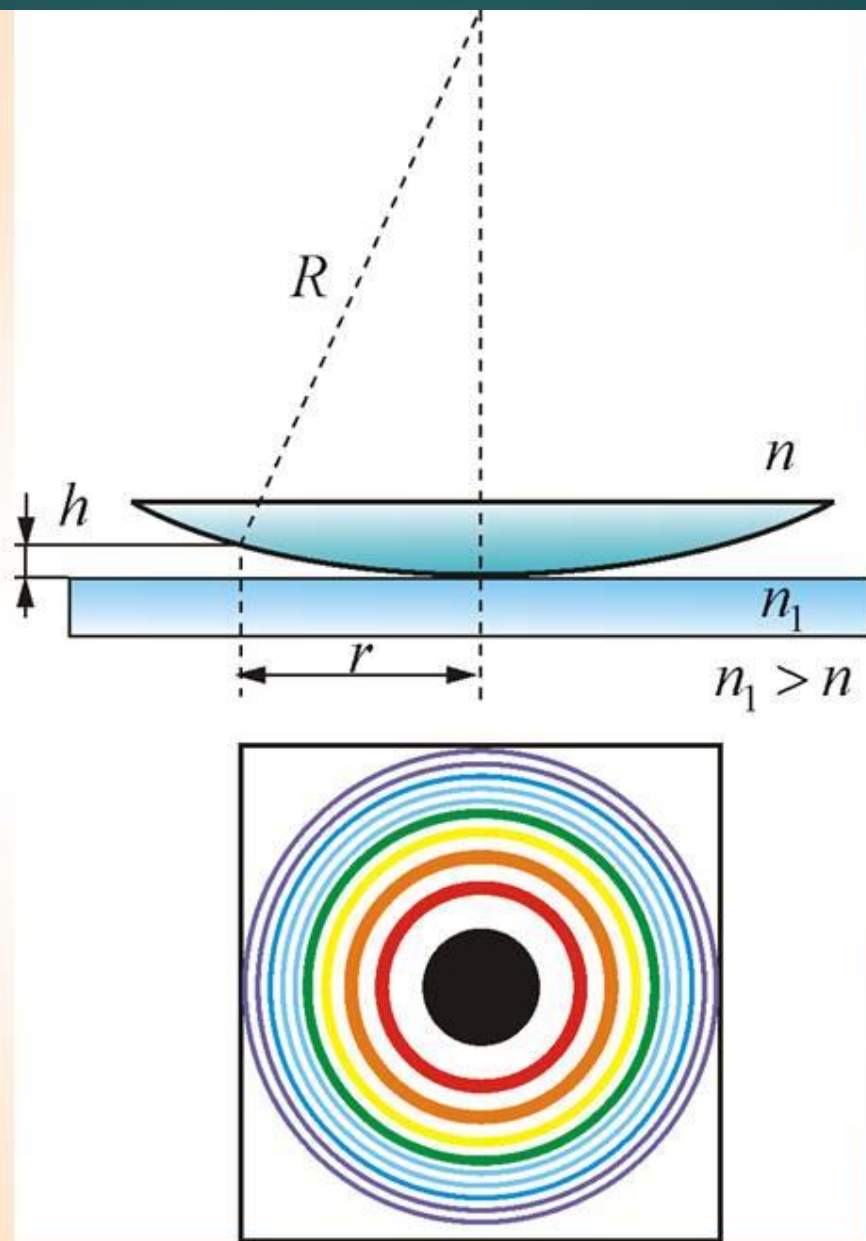
$$e = R - \sqrt{R^2 - r^2} \approx \frac{r^2}{2R}$$

$$h = \frac{m\lambda}{2}$$

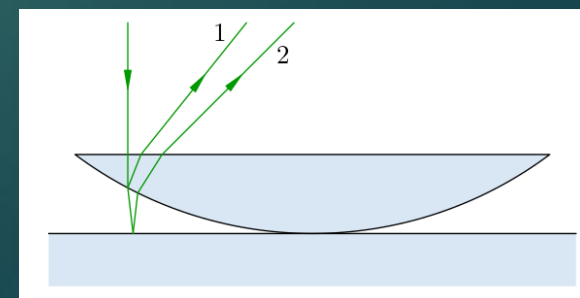
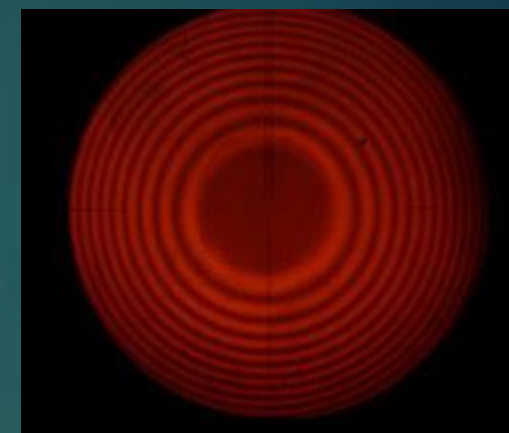
$$r_m = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda_0 R}$$

- Радиус m -го
светлого кольца

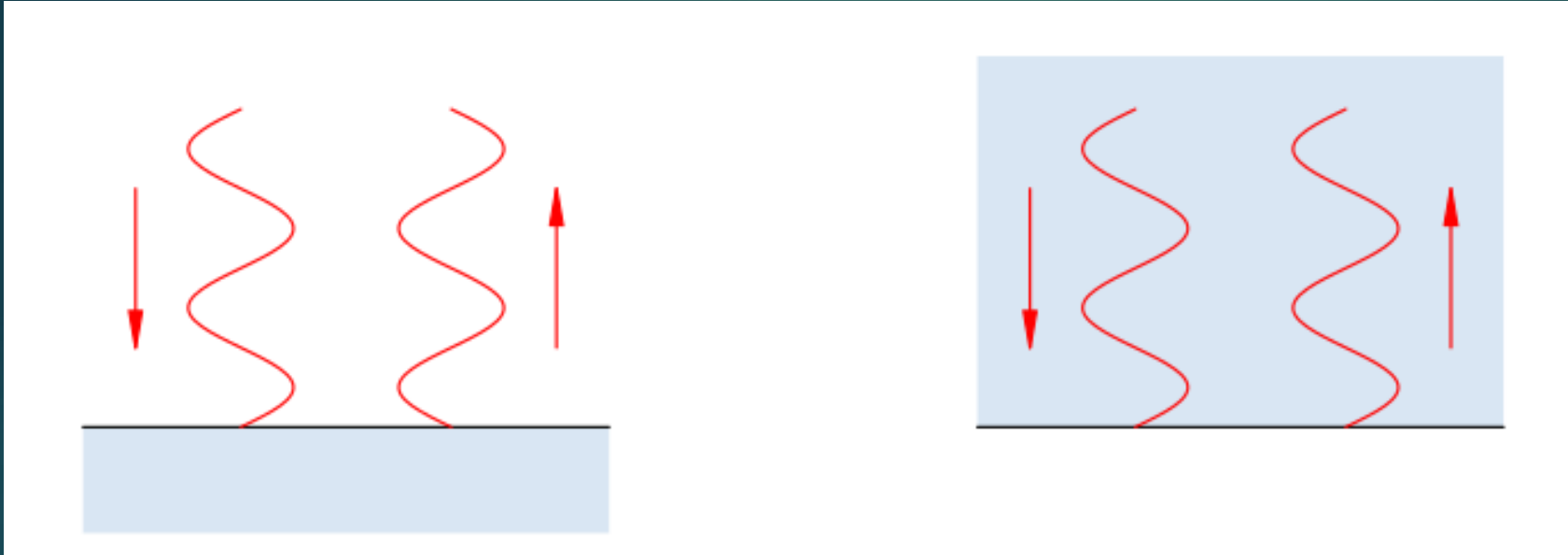
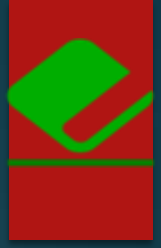
$$r_m = \sqrt{mR\lambda_0} \quad \text{- Радиус } m\text{-го темного кольца}$$



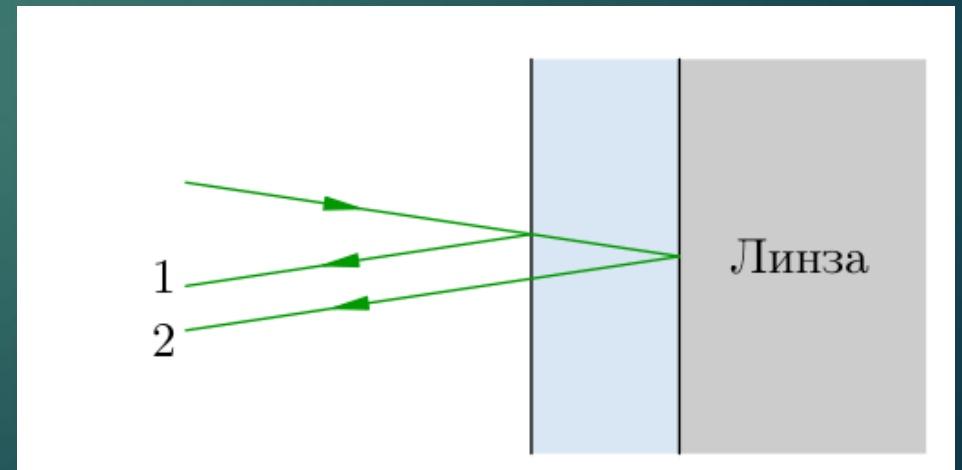
55



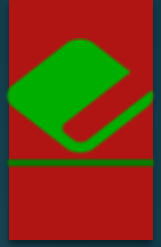
Просветление оптики



Отражение от более плотной среды - сдвиг фазы на π



Физика для менеджеров



МАССОВЫЕ ОТКРЫТЫЕ ОНЛАЙН КУРСЫ

univer.emediator.ru

YouTube.com/edogovor

emediator.ru

YouTube.com/emediator1

+79822263990

При поддержке Союз "Сибирский Центр медиации"

Марат Александрович Авдыев

Ноябрь 2022

