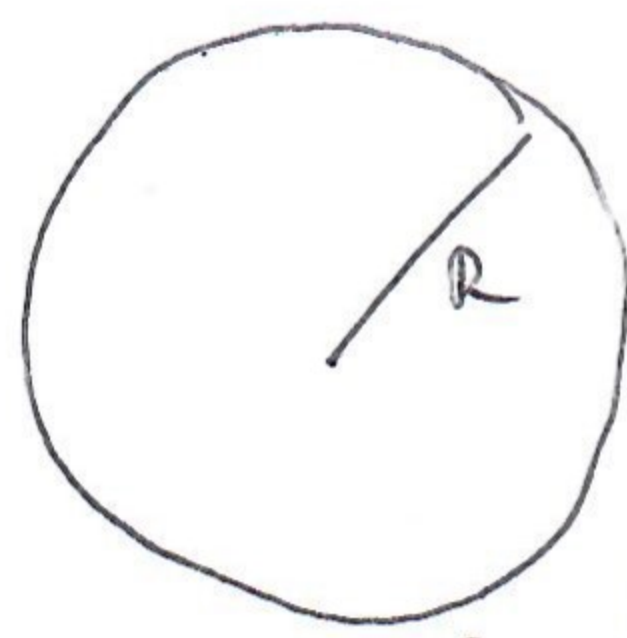


1



$$\epsilon = 4$$

$$\lambda \ll R$$

$$E_m = 200 \text{ В/м}$$

$$Q (\Delta t = 60 \text{ с}) = ?$$

$$\vec{S}_w = \vec{E} \times \vec{H}$$

$$E = E_m \cos(\omega t - kx)$$

$$H = H_m \cos(\omega t - kx)$$

$$S_w = H_m E_m \cos^2(\omega t - kx)$$

$\frac{1}{2}$  если усреднить

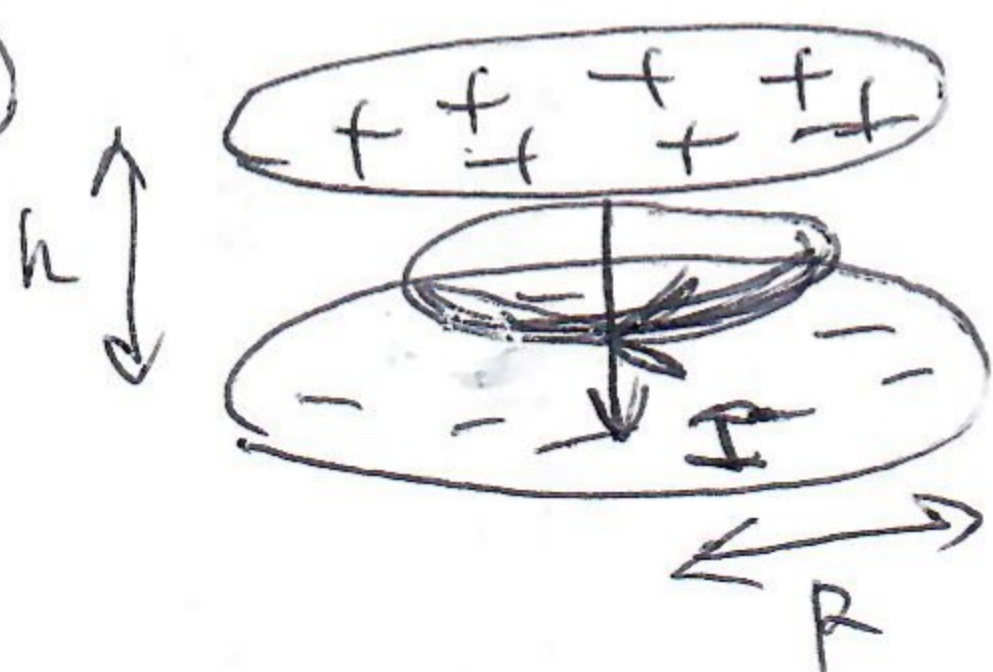
интенсивность

$$\rightarrow I = \langle S_w \rangle = \frac{E_m H_m}{2}, H = \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon}{\mu_0}} E \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I = \frac{E_m^2 \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon_0}{\mu_0}}}{2} \Rightarrow Q = I S t = \pi R^2 \frac{E_m^2 \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon_0}{\mu_0}}}{2} t$$

$$I = \frac{Q}{S t}$$

2



$$\oint_S S_w dS = \frac{dW}{dt} = S_w 2\pi R h \quad (1)$$

$$W_E = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} V - \text{энергия конденсатора} \quad (2)$$

$$\int_l H dl = I_{cu} = j_{cu} S = \frac{\partial D}{\partial t} S$$

$$2\pi R H = \frac{\partial D}{\partial t} S$$

$$H = \frac{\partial D}{\partial t} \cdot \frac{S}{2\pi R}$$

$$\Rightarrow \oint_S S_w dS = \frac{E \partial D}{\partial t} \cdot \frac{S \cdot 2\pi R h}{2\pi R} = \frac{E \partial D}{\partial t} V = E \epsilon_0 \epsilon \frac{\partial E}{\partial t} V$$

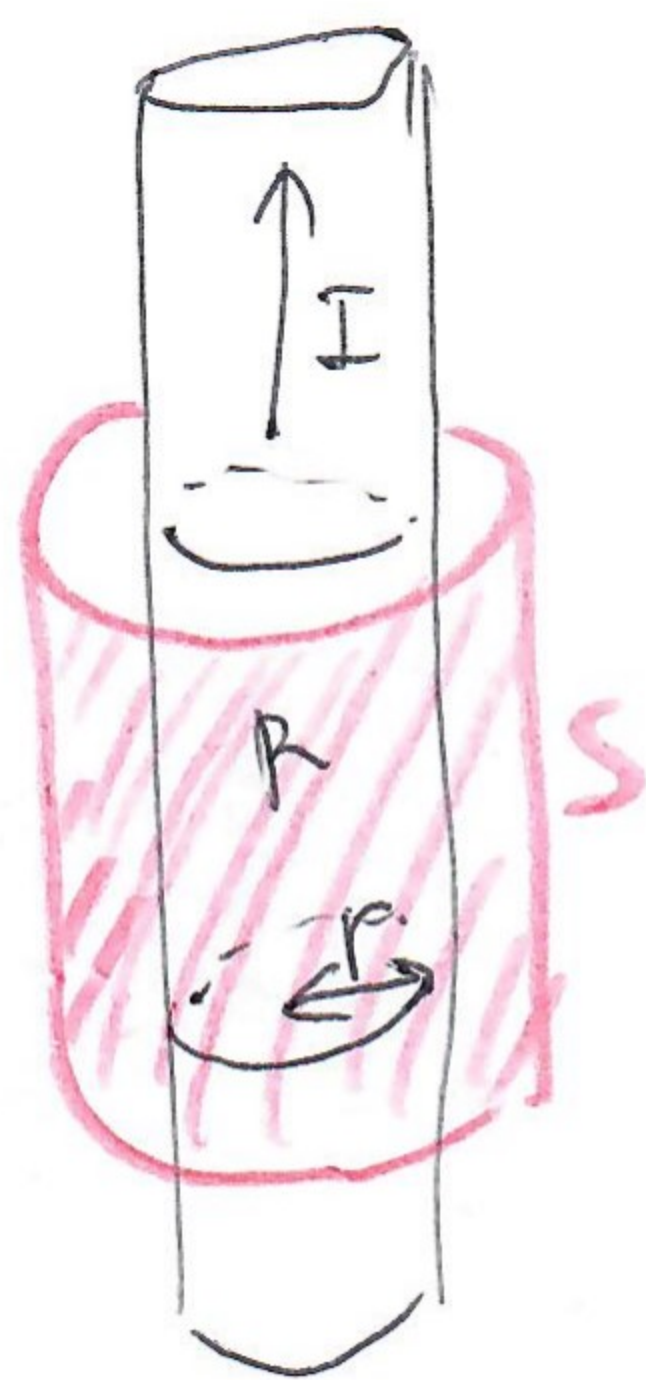
а это мы уже знаем (1)

$$S_w 2\pi R h = E \epsilon_0 \epsilon \frac{\partial E}{\partial t} V, \text{ и из (2)}$$

$$\frac{dW_E}{dt} = \frac{\epsilon \epsilon_0}{2} \frac{\partial E^2}{\partial t} V \Rightarrow \oint S_w dS = \frac{dW}{dt}$$

т.е. поток вектора  $S_w$  через любую поверхность конденсатора равен изменению энергии, которая добавляется конденсатору.

3



$$\oint_S S_w dS = \frac{dW}{dt}, \text{ при этом, мы знаем, что}$$

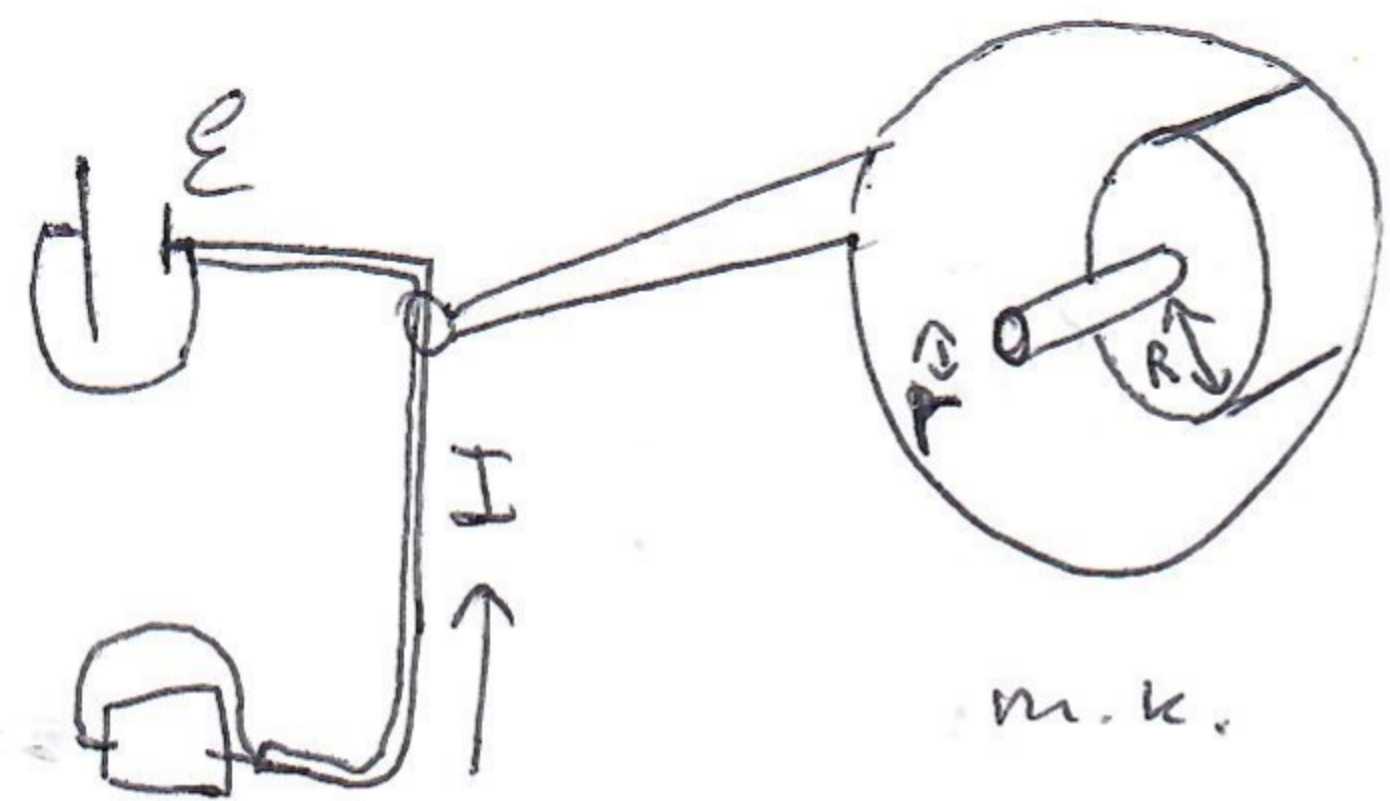
за  $\Delta t$  мощность выделяемая на участке провода

$$\Delta W = I^2 R \Delta t \Rightarrow Q = W = I^2 R \Delta t$$

$$\Rightarrow \oint_S S_w dS = \frac{I^2 R \Delta t}{\Delta t} = I^2 R$$



(4)



Коаксиальный кабель это такой  
длинный цилиндрический конденсатор...  
Найдём в нём магнитное и эл. поле

м.к.  $S_w = H \cdot E$

По теореме Гаусса для поверхности S:

$$\oint_S E \cdot dS = E(r) 2\pi r l = \frac{\gamma l}{\epsilon_0} \Rightarrow E(r) = \frac{\gamma}{2\pi \epsilon_0 r}$$

Магнитное поле создаваемое I будет  
равно  $H(r) = \frac{I}{2\pi r}$

$$\Rightarrow S_w = E(r) H(r) = \frac{I}{2\pi r} \cdot \frac{\gamma}{2\pi \epsilon_0 r}$$

Надо найти ещё  $\gamma$ .

Заметим, что  $\int E \cdot dr = U = \mathcal{E} \Rightarrow \mathcal{E} = \int_r^R E(r) dr = \int_r^R \frac{\gamma}{2\pi \epsilon_0 r} dr = \ln\left(\frac{R}{r}\right) \frac{\gamma}{2\pi \epsilon_0}$

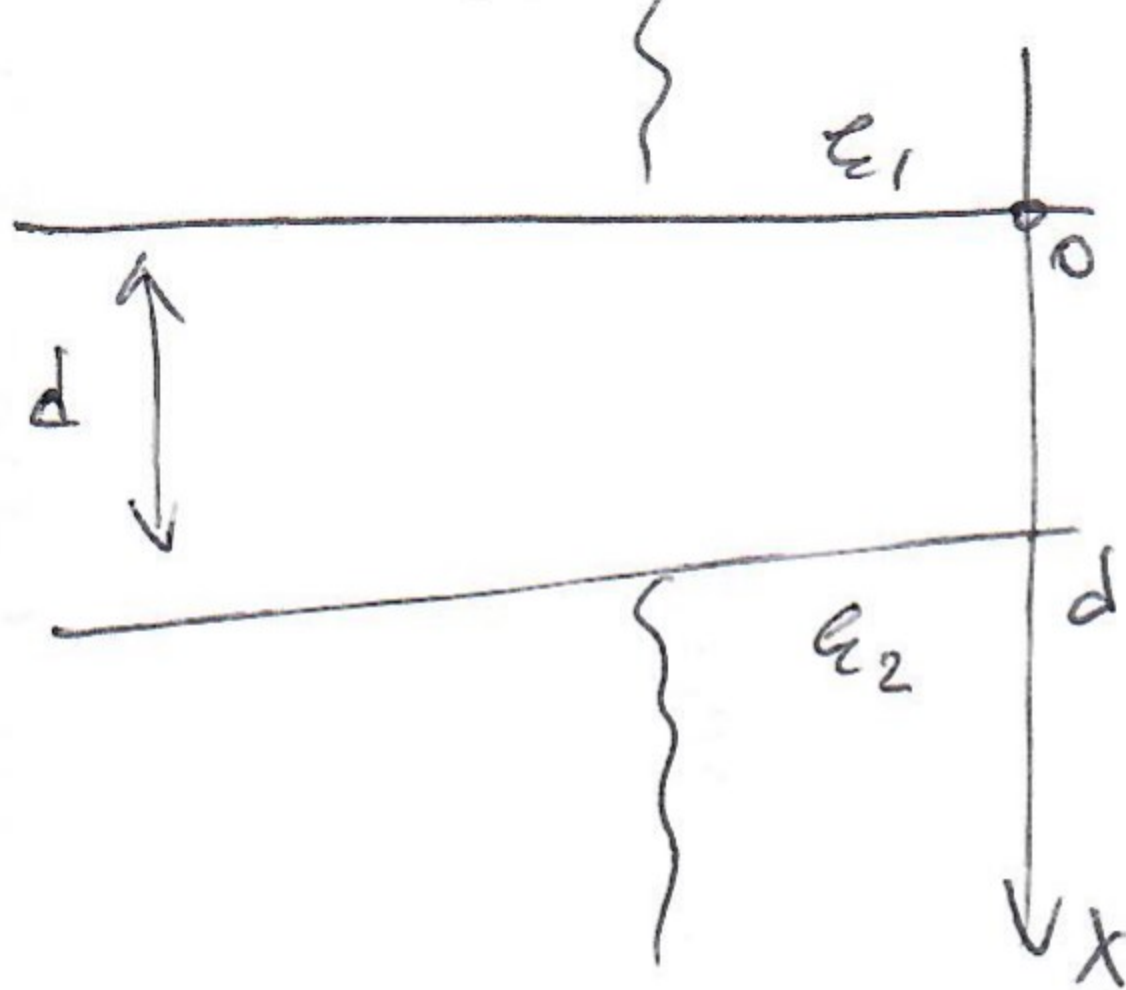
$\Rightarrow \gamma = \frac{2\pi \epsilon_0 \mathcal{E} U}{\ln(R/r)}$  ← *лучше брать путь U, чтобы не вытаскивать*

$$\Rightarrow E(r) = \frac{2\pi \epsilon_0 U}{\ln(R/r) \cdot 2\pi \epsilon_0 r} = \frac{U}{r \ln(R/r)}$$

$$\Rightarrow S_w = \frac{I}{2\pi r} \cdot \frac{U}{r \ln(R/r)} \Rightarrow \oint_S S_w dS = \int_r^R \frac{IU 2\pi r dr}{2\pi r^2 \ln(R/r)} =$$

$$= \frac{IU}{\ln(R/r)} \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right) = IU$$

(5)



$$E(x) = \alpha e^{-\beta x}$$

$$e^{-\beta \cdot 0} \cdot \alpha = \epsilon_1 = \alpha \quad \epsilon_2 = \epsilon_1 e^{-\beta d} \Rightarrow e^{-\beta d} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}$$

$$-\beta d = \ln(\epsilon_2/\epsilon_1) \Rightarrow \beta = -\frac{\ln(\epsilon_2/\epsilon_1)}{d}$$

$$\Rightarrow E(x) = \epsilon_1 e^{x/d \ln(\epsilon_2/\epsilon_1)} \quad \gamma = \frac{\ln(\epsilon_2/\epsilon_1)}{d} = \gamma$$

$$E(x) = \epsilon_1 e^{\gamma x}$$

$$\Rightarrow v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} = \frac{c e^{-\gamma x/2}}{\sqrt{\epsilon_1}}$$

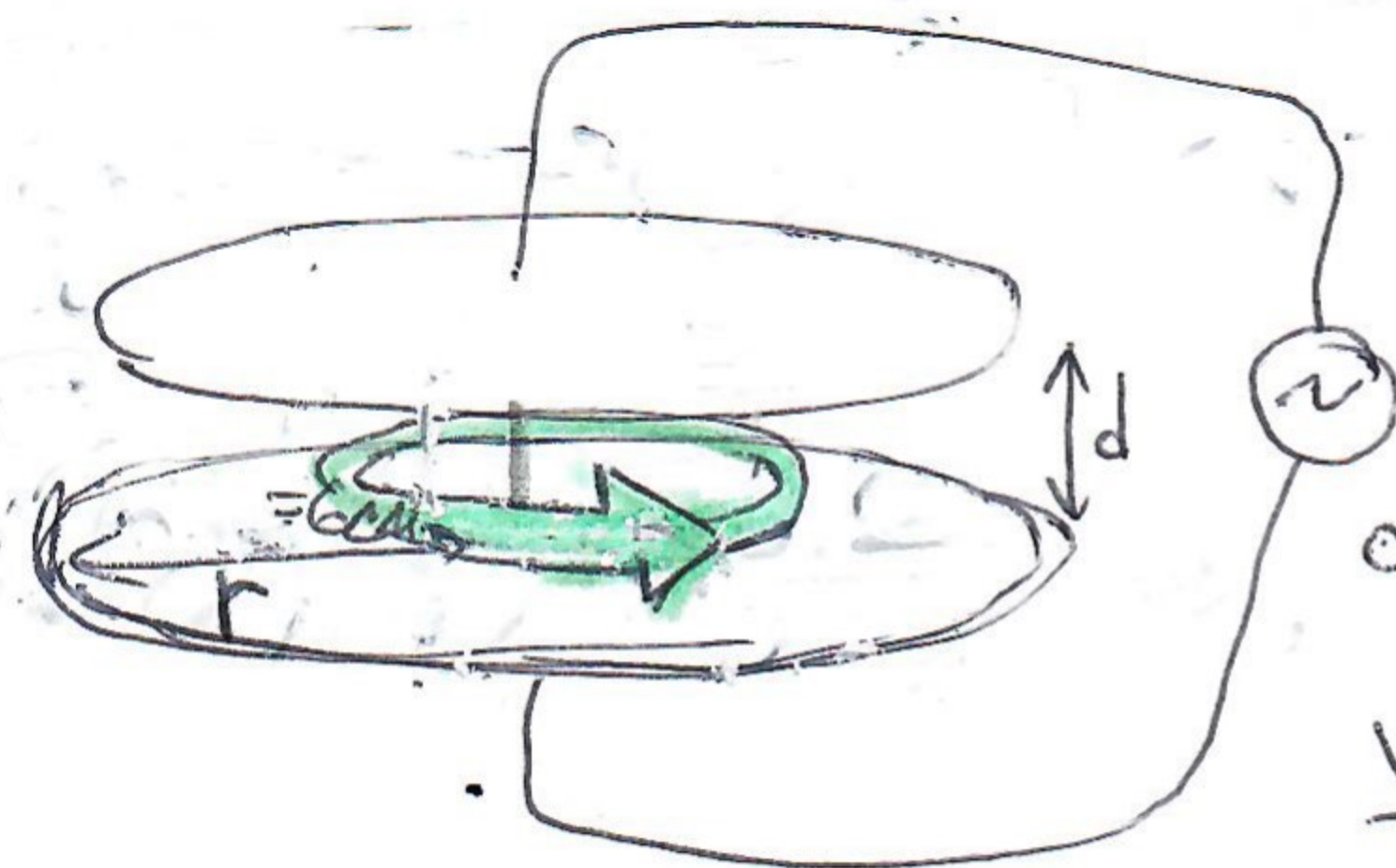
$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{c e^{-\gamma x/2}}{\sqrt{\epsilon_1}}$$

$$\Delta t = \int_0^t dt = \int_0^d \sqrt{\epsilon_1} \frac{1}{c e^{\gamma x/2}} = \frac{\sqrt{\epsilon_1}}{c} \int_0^d e^{\gamma x/2} = \frac{\sqrt{\epsilon_1}}{c \gamma} (e^{\gamma d} - 1) = t$$

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{\sqrt{\epsilon_1} d}{c \ln(\epsilon_2/\epsilon_1)} \left( e^{\ln(\epsilon_2/\epsilon_1)} - 1 \right)$$



6



$$\omega = 1000 \text{ c}^{-1}$$

$$\frac{W_M}{W_{\text{ЭН}}}$$

Энергетическое напряжение конденсатора:

$$W_E(t) = \frac{CU(t)^2}{2}$$

$$U(t) = U_m \cos(\omega t)$$

При этом:  $\text{div} \vec{H} = \vec{j} + \vec{j}_{\text{св}}$

$$E(t) = E_m \cos(\omega t) = \frac{V(t)}{d} = \frac{U_m \cos(\omega t)}{d} \quad j_{\text{св}} = \frac{\partial D}{\partial t} = \frac{\partial E \epsilon_0}{\partial t} = -\sin(\omega t) \cdot \omega \frac{U_m \epsilon_0}{d}$$

Энергетическое поле  $\rightarrow$  по формуле максвелла:  $\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \oint \vec{j}_{\text{св}} \cdot d\vec{S} \Rightarrow H(2\pi R) = -\sin(\omega t) \omega \frac{U_m \epsilon_0}{d} \pi R^2$

$$H(t) = -\frac{\sin(\omega t) \omega U_m \epsilon_0 \pi R^2}{2\pi R d}$$

Причем:  $H(t) \mu_0 = B(t) \Rightarrow B(t) = \frac{\omega U_m \mu_0 \epsilon_0}{d} (-\sin \omega t) = -\frac{\omega U_m \mu_0 \epsilon_0}{d} \sin(\omega t)$

суммарный объем с переменным магнитным полем  $dV = \pi R^2 dR = \pi (R+dR) dR = 2\pi R dR$

$$A \quad W_M = \int_0^r \frac{B^2}{2\mu_0} dV = \int_0^r -(\sin(\omega t) \frac{\omega U_m \mu_0 \epsilon_0}{d})^2 \pi R dR \frac{1}{2\mu_0} =$$

$$= \int_0^r \frac{\sin^2(\omega t) \omega^2 U_m^2 \mu_0^2 \epsilon_0^2 \pi}{4 d^2 \cdot 2\mu_0} R^2 dR = \frac{\sin^2(\omega t) \omega^2 U_m^2 \mu_0 \epsilon_0^2 \pi}{4 d} \cdot \frac{r^4}{4} =$$

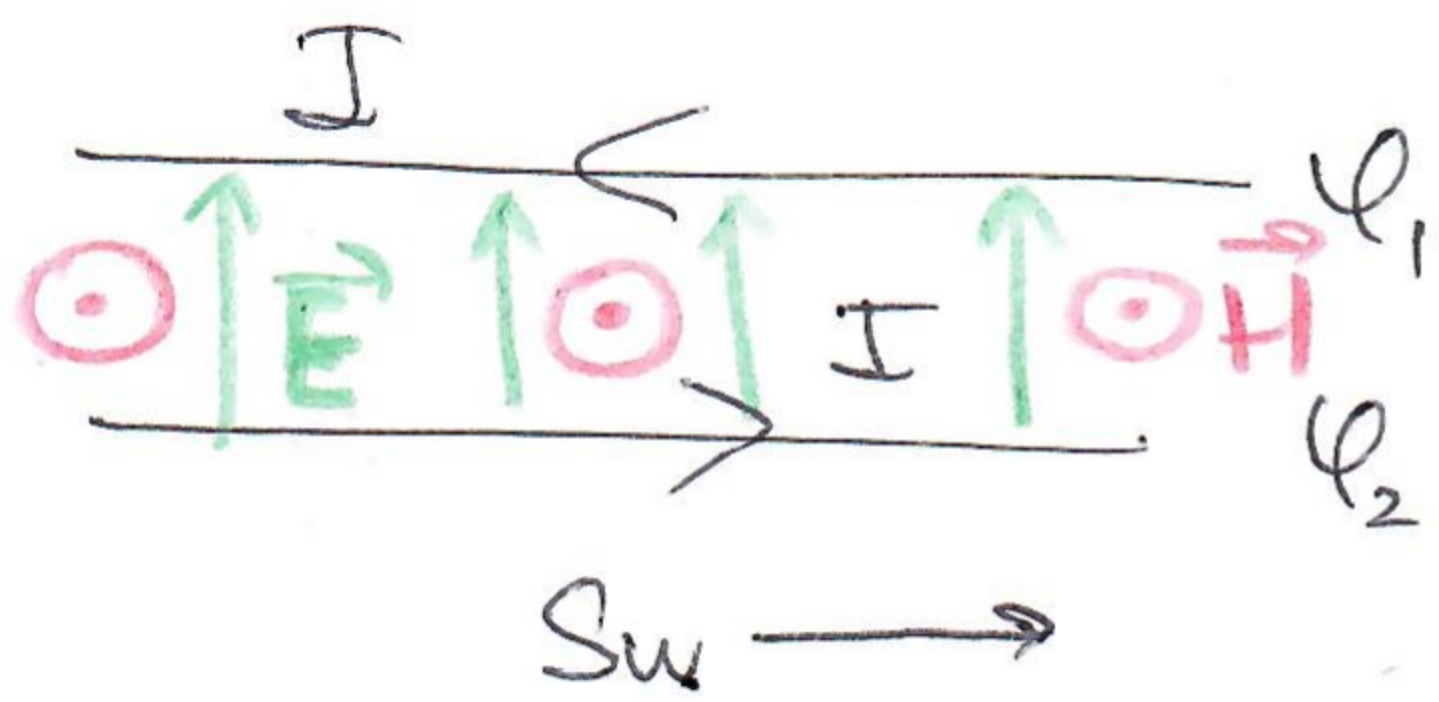
$$= \frac{\sin^2(\omega t) \omega^2 U_m^2 \mu_0 \epsilon_0^2 \pi}{d} \frac{r^4}{16}$$

$$\Rightarrow \frac{W_M}{W_{\text{ЭН}}} = \frac{\sin^2(\omega t) \omega^2 U_m^2 \mu_0 \epsilon_0^2 \pi \frac{r^4}{16}}{\frac{1}{8} \cdot \frac{\epsilon_0 R^2 \pi}{d} \cdot U_m^2 \cos^2(\omega t)} =$$

$$= \frac{\sin^2(\omega t) \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 d^2}{\cos^2(\omega t) \cdot 8} = \frac{\omega^2 r^2 \mu_0 \epsilon_0}{8}$$



7



Отметим на рисунке куда  
Направлены поле

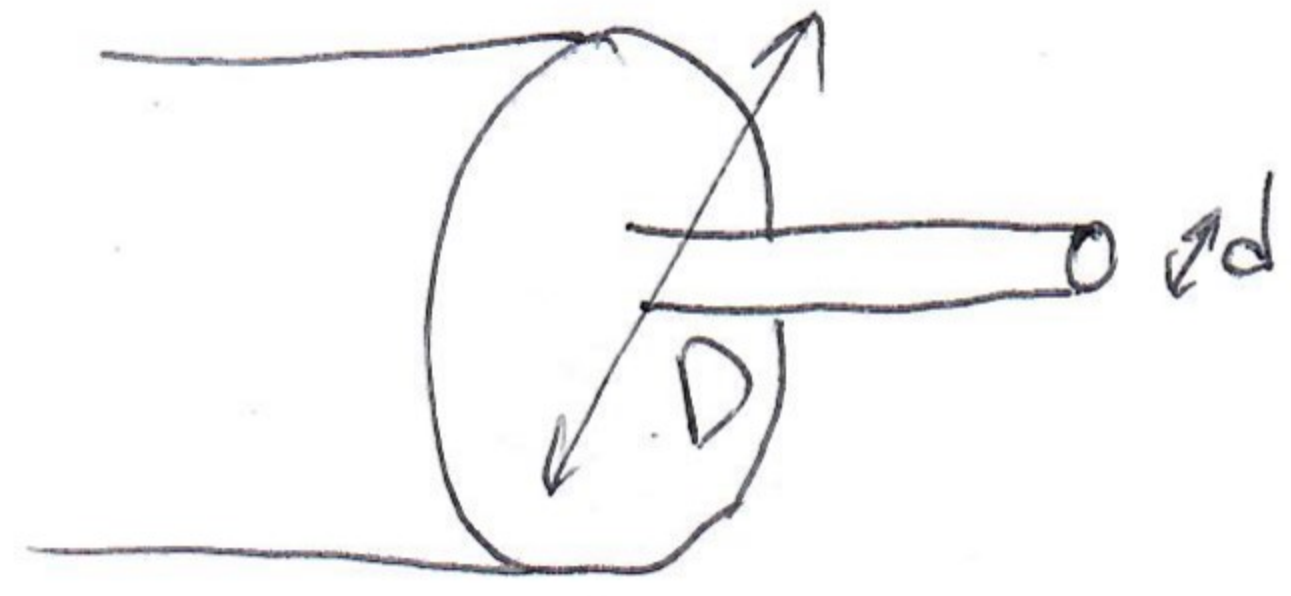
$$\vec{J}_w = \vec{E} \times \vec{H} \Rightarrow \vec{S}_w \text{ направлен } \rightarrow$$

⇒ Генератор тока находится наоборот — слева.

8

$$U(t) = U_0 \cos(\omega t)$$

$$I(t) = I_0 \cos(\omega t - \varphi)$$



поток через боковую  
стенку

Средний  $\Rightarrow$  Сред.

мощность

т.к. d и D малы,

⇒ у провода большое  
сопротивление

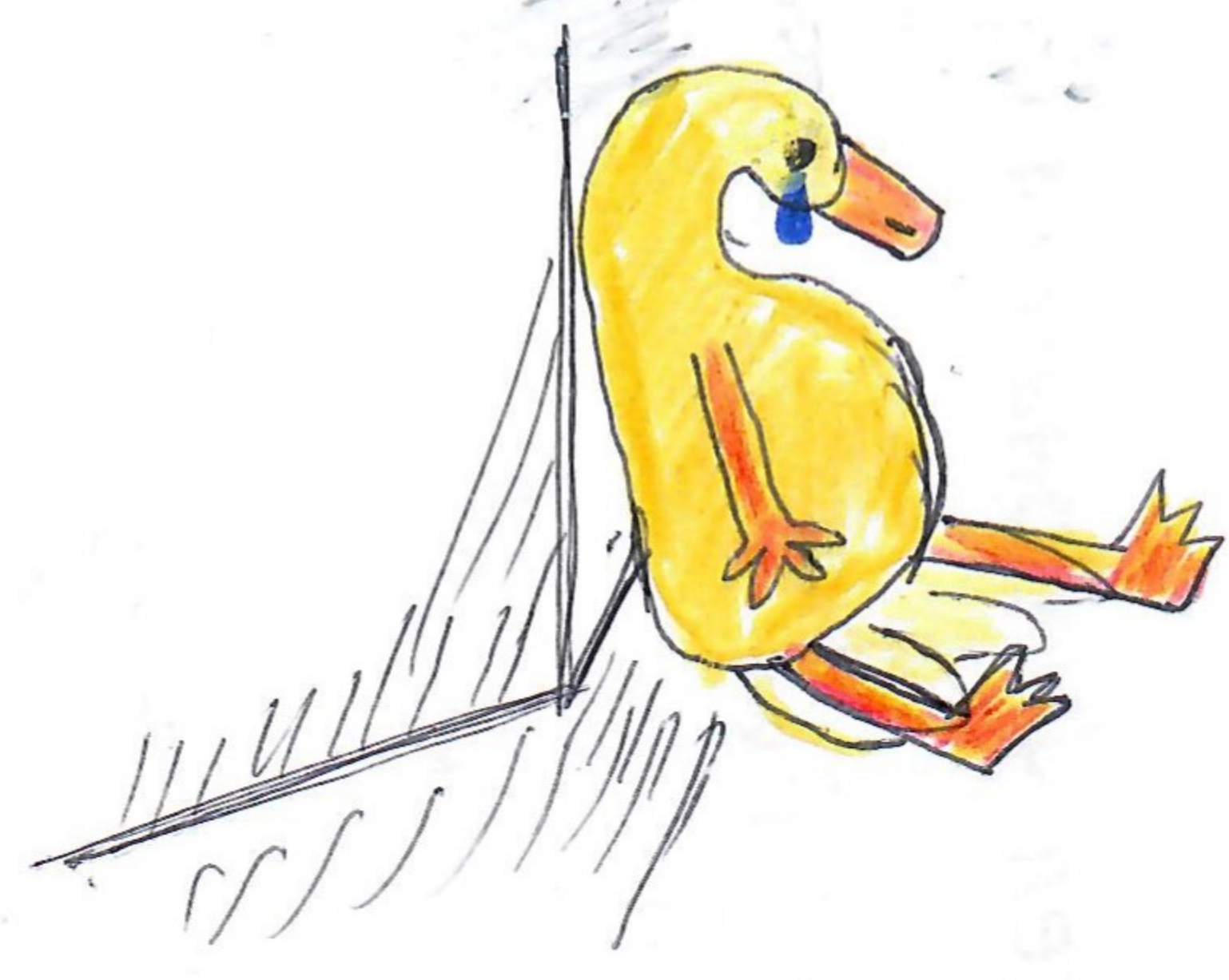
$$R = \ln\left(\frac{D}{d}\right) \cdot \sqrt{\frac{\mu_0 \mu}{\epsilon \epsilon_0}}$$

$$P_{\text{средний}} = P_{\text{сред.}} = \left( \int_0^{\tau} U(t) I(t) dt \right) \cdot \frac{1}{\tau} =$$

$$= \frac{\int_0^{\tau} U_0 \cos(\omega t) I_0 \cos(\omega t - \varphi) dt}{\tau = \frac{2\pi}{\omega}} =$$

$$= \frac{U_0 I_0 \int_0^{\tau} \cos(\omega t) \cos(\omega t - \varphi) dt}{\tau = \frac{2\pi}{\omega}} =$$

у меня  
болит голова,  
я не знаю, как считать  
такие интегралы



Грустная  
утка