

KÕRGSAGEDUSLIK ELEKTRIVÖÖL AINES. SKIN-EFEKT.

DIELEKTRILINE FUNKTSIOON:

$$\tilde{\epsilon}(\omega) = \epsilon_L(\omega) - \frac{\omega_p^2}{\omega_c^2 + \omega^2} + j \frac{\omega_p^2}{\omega_c \omega} \cdot \frac{\omega_c}{\omega_c^2 + \omega^2}$$

"VAHELDUVVÖÖL AINES", VALEM 13

SEOTUD ELEKTRONIDE

(AINE KRISTALLVÖRE)

DIELEKTRILINE LÄBITAVUS

$$\epsilon' = \text{Re } \tilde{\epsilon}(\omega)$$

KIRJELDAB ELEKTRIVÖÖLJA NÕRGENEMIST AINES POLARISEERUMISE TAGAJÄRDEL

$$\epsilon'' = \text{Im } \tilde{\epsilon}(\omega)$$

KIRJELDAB ELEKTRIVÖÖLJA ENERGIA PÖÖRDUMATUT ÜLEMINERUT TEISTEKS ENERGIALIIKIDEKS (SOOJUSEKS)

KOMPLEKSNE MURDUMISNÄITAJA:

$$\tilde{n}(\omega) = n + j\alpha$$

$n = \text{Re } \tilde{n}$ KIRJELDAB EM LAINE FAASIKIIRUSE KAHANEMIST AINES:

$$n = \frac{c}{v} \text{ (KIIRUS VAAKUMIS)} = \frac{cT}{vT} = \frac{\lambda_0 \text{ (VAAK.)}}{\lambda \text{ (AINE)}} = \frac{\frac{2\pi}{\lambda_0}}{\frac{2\pi}{\lambda}} = \frac{\lambda}{\lambda_0} \quad \text{AGA KEHTIB KA } \lambda = \tilde{n} \lambda_0$$

$\alpha = \text{Im } \tilde{n}$ KIRJELDAB EM LAINE AMPLITUUDI (VÄLJAVEKTORI $\vec{E}$ VÕI $\vec{B}$) KAHANEMIST AINES.

MAXWELLI VALEM $n = \sqrt{\epsilon}$ (EELDUSEL, ET $n \approx 1$)

KEHTIB KA $\tilde{n}$ JA $\tilde{\epsilon}$ KOHTA: $\tilde{\epsilon} = \tilde{n}^2$ [SEOB $\tilde{\epsilon}(\omega)$ JA $\tilde{n}(\omega)$]

$$(n + j\alpha)^2 = n^2 + j2n\alpha - \alpha^2 = \epsilon' + j\epsilon'' \Rightarrow \begin{cases} \epsilon' = n^2 - \alpha^2 \\ \epsilon'' = 2n\alpha \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{\epsilon''^2}{4\alpha^2} - \alpha^2 = \epsilon' ; \quad \epsilon''^2 - 4\alpha^4 - 4\alpha^2 \epsilon' = 0 \quad | :4 \quad \hookrightarrow n = \frac{\epsilon''}{2\alpha}$$

$$(\alpha^2)^2 + \alpha^2 \epsilon' - \left(\frac{\epsilon''}{2}\right)^2 = 0 \Rightarrow \alpha^2 = -\frac{\epsilon'}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\epsilon'}{2}\right)^2 + \left(\frac{\epsilon''}{2}\right)^2}$$

RUUTVÖRRAND α^2 JAKS

$$\alpha = \pm \sqrt{-\frac{\epsilon'}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\epsilon'}{2}\right)^2 + \left(\frac{\epsilon''}{2}\right)^2}} \rightarrow n = \dots$$

VEEL

α TÄHENDUSEST:

$$E(x, t) = E_m(0) e^{j(kx - \omega t)} = E_m(0) e^{j[k_0(n + j\alpha)x - \omega t]} = E_m(0) e^{-\alpha k_0 x} \cdot e^{j(k_0 n x - \omega t)}$$

EL. VÄLJA TUGEVUS AINES SÜGAVUSEL x HETKEL t

AMPLITUUD PINNAL ($x=0$)

AMPLITUUDI EKSP. KAHANEMINE

FAASIKIIRUSE MUUTUS

KUI AMPLITUUD

KAHANEB

KORDA:

$$E_m(x) = \frac{E_m(0)}{e}$$

$$\text{JA } \alpha = 1, \text{ SIIS KA } k_0 x = 1 \Rightarrow \frac{2\pi x}{\lambda_0} = 1$$

2,7183...

$\alpha = 1$ TÄHENDAB, ET $E_m(x)$

KAHANEB ARV e KORDA FAASIMUUTUSEL 1 RADIAAN: $x = \frac{\lambda_0}{2\pi}$

(2)

NÄIDE: VASK (Cu) ÜHEVALENTSUSE EELDUSEL:

$$\tau = 2,5 \cdot 10^{-14} \text{ s} = 25 \text{ fs} ; \quad \omega_{\tau} = \frac{1}{\tau} = 4 \cdot 10^{13} \text{ s}^{-1}$$

UURIME SAGEDUST, MIS HAJUMISSAGEDUS (HAI. PROT. TÖENÄOSUS)
ON VÄIKSEMA RADARISAGEDUSEST 9 GHz ($\lambda = 3 \text{ cm}$), MILLEL

$$\omega = 6,28 \cdot 9 \cdot 10^9 \approx 6 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1} \ll \omega_{\tau}, \quad \frac{\omega_{\tau}}{\omega} = \frac{4000}{6} \text{ või ROHKEM}$$

$$\frac{\omega_p^2}{\omega_{\tau}^2} = \frac{e^2 n}{\epsilon_0 m} \cdot \tau^2 = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2 \cdot 8,5 \cdot 10^{28}}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (2,5 \cdot 10^{-14})^2} \approx 1,7 \cdot 10^5$$

$$\approx 2,7 \cdot 10^{32} \Rightarrow \omega_p \approx 1,64 \cdot 10^{16} \text{ s}^{-1}$$

SEEGA VALITUD SAGEDUSTEL $\omega_p^2 \gg \omega_{\tau}^2 \gg \omega^2$

JA JÄRELIKULT

$$\epsilon' \approx \epsilon_L - \frac{\omega_p^2}{\omega_{\tau}^2} \approx -1,7 \cdot 10^5 ; \quad \epsilon'' \approx \frac{\omega_p^2}{\omega_{\tau} \omega} = \frac{2,7 \cdot 10^{32}}{4 \cdot 10^{13} \cdot 6 \cdot 10^{10}} \approx 1,1 \cdot 10^8$$

(AATOMJÄÄGID EI
POLARISEERU)

$\epsilon'^2 \ll \epsilon''^2$ JA SEEGA

$$\alpha \approx \sqrt{-\frac{\epsilon'}{2} \pm \sqrt{\frac{\epsilon'^2 + \epsilon''^2}{2}}} \approx \sqrt{\frac{\epsilon''}{2}} \approx 7,3 \cdot 10^3$$

EL. VÄLIEITUNGI AINESSE, NT.

JUBA TÜHISEL FAASIMUUTUSEL ($\frac{1}{7300} \text{ rad}$) NÖRGENE B KORDA,
SEDA NIM. SKIN-EFEKTIKS [ELEKTRIT JUHIB VÄID ÕHUKES
PINNÄLÄHEDANE KIHT NAGU NAHK (SKIN)].

SKIN-KIHI PAKSUSE, E. SISENEMISSÜGAVUSE (PENETRATION

DEPTH) d_p SAAME SEOSTEST $\alpha k_0 d_p = 1$ [$E_m(d_p) = \frac{E_n(0)}{e}$]

$$\Rightarrow d_p = \frac{1}{\alpha k_0} ; \quad \epsilon'' = \frac{\omega_p^2}{\omega_{\tau} \omega} = \frac{e^2 n}{\epsilon_0 m} \tau \cdot \frac{1}{\omega} = \frac{e^2 n \tau}{\epsilon_0 m \omega}$$

$$\text{SEEGA } \alpha \approx \sqrt{\frac{\epsilon''}{2}} = \sqrt{\frac{\sigma_0}{2 \epsilon_0 \omega}}$$

$$\text{JA } d_p = \sqrt{\frac{2 \epsilon_0 \omega}{\sigma_0}} \cdot \frac{c}{\omega} ; \quad c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

$$\Rightarrow d_p = \sqrt{\frac{2 \epsilon_0 \omega}{\sigma_0} \cdot \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0 \omega^2}} = \sqrt{\frac{2}{\sigma_0 \mu_0 \omega}}$$

$$\Rightarrow d_p = \sqrt{\frac{\sigma_0}{\mu_0 \pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{f}}$$

Cu(I) JAKS:

$$d_p = \sqrt{\frac{1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}}{1,256 \cdot 10^{-6} \frac{\text{H}}{\text{m}} \cdot 3,14}} \cdot \frac{1}{f}$$

$$d_p(\text{CuI}) \approx \frac{6,6 \text{ cm}}{\sqrt{f(\text{Hz})}}$$

VÖRGUSAGEDUSEL 50 Hz $d_p \approx 9 \text{ mm}$

EI SEGA!