

ANTENE IN RAZŠIRJANJE VALOV

PROFESOR: MATJAŽ VIDMAR

V SOVRAŽNIKE 'Z OBLAKOV.
RODÚ NAJ NAŠ'GA TREŠI GRÓN;
PROST, KO JE BIL OČAKOV,
NAPREJ NAS BO SLOVENCOV DEN;
NAJ ZDRŮŽÉ
NIH DOKÉ
SI SPONE KI JIH ŠE TEŽÉ!

JEZNEJ SORTA

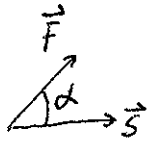
55755

IZ FIZIKE:

- 1) MERSKE ENOTE $\overset{\text{NPR}}{\uparrow} m[\text{kg}]$ $\overset{\text{NPR}}{\uparrow} \vec{F}[\text{N}]$
 2) VELIČINE SO LAHKO SKALARNI ALI VEKTORSKI

OPERACIJE:

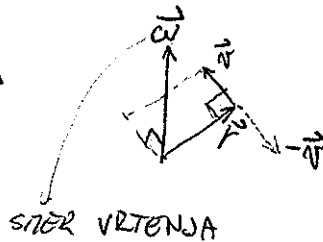
$$W = \vec{F} \cdot \vec{s}$$

SKALARNI PRODUKT:

$$W = |\vec{F}| \cdot |\vec{s}| \cdot \cos \alpha$$

VRTENJE:

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$$



SMER VRTENJA

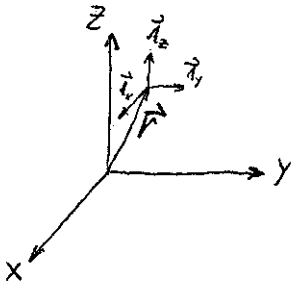
VEKTORSKI PRODUKT:

$$|\vec{v}| = |\vec{\omega}| \cdot |\vec{r}| \cdot \sin \alpha$$

ZA REŠEVANJE NALOG, POSKUŠAMO UVESTI PRIMEREN KOORDINATNI SISTEM.

ZAHTEVE:

- 3D

- PRAVOKOTNI $\rightarrow$ OSI SO MED SABO PRAVOKOTNE $\vec{i}_x \cdot \vec{i}_y = 0$ - DESNOROČNI: $\vec{i}_x \times \vec{i}_y = \vec{i}_z \rightarrow$ DA SI BOMO VEKATERE
STARI POENOSTAVILIKARTEZIČNI KOORDINATNI SISTEM (x, y, z)

$$\vec{r} = \vec{i}_x x + \vec{i}_y y + \vec{i}_z z = (x, y, z)$$

$$\vec{F} \cdot \vec{s} = F_x s_x + F_y s_y + F_z s_z \rightarrow \text{SKALARNI PRODUKT}$$

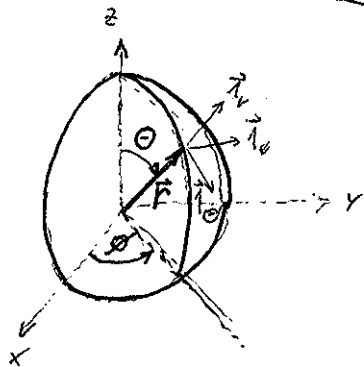
$$\vec{\omega} \times \vec{r} = \begin{vmatrix} \vec{i}_x & \vec{i}_y & \vec{i}_z \\ \omega_x & \omega_y & \omega_z \\ r_x & r_y & r_z \end{vmatrix}$$

 $\rightarrow$ VEKTORSKI PRODUKT

RAZDALJA MED DVETA TOČKATA:

$$d = |\vec{r}_2 - \vec{r}_1| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

KROGELNI KOORDINATNI SISTEM (r, Θ, ϕ)



$$r = |\vec{r}|$$

$$\vec{r} \times \vec{r}_\theta = \vec{r}_\phi$$

$$0 \leq r < \infty$$

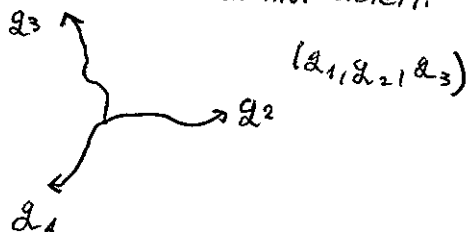
$$0 \leq \Theta \leq \pi$$

$$0 \leq \phi \leq 2\pi$$

RAZDALJA MED DVEMA TOČKAMA:

$$d = ?$$

KRIVOČRTNI KOORDINATNI SISTEMI:



ZA ~~MALE~~ MALIŠNE
POTIKE UVEDENO
LAMEJEVE KOEF.

$$dl_1 = h_1 dq_1$$

$$dl_2 = h_2 dq_2$$

$$dl_3 = h_3 dq_3$$

$$\Delta l = h_\Theta \Delta \Theta$$

LAMEJEVI KOEFICIENTI V SPLOŠNOSTI:

$$h_i = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial q_i}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial q_i}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial q_i}\right)^2}$$

$$x = x(q_1, q_2, q_3)$$

$$y = y(q_1, q_2, q_3)$$

$$z = z(q_1, q_2, q_3)$$

ZA KROGELNI K.S.:

$$x = r \cdot \sin \Theta \cos \phi$$

$$y = r \cdot \sin \Theta \sin \phi$$

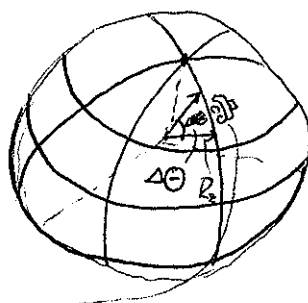
$$z = r \cdot \cos \Theta$$

$$\Downarrow$$

$$h_{r1} = 1$$

$$h_2 = r$$

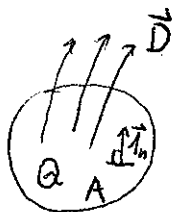
$$h_3 = r \cdot \sin \Theta$$



ČE SE ROKUŽAMO PO POLDNICNIKU:

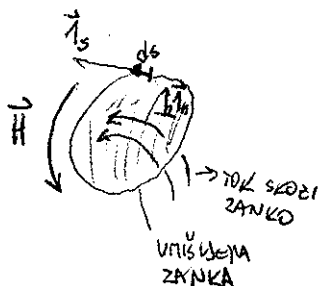
$$h_\Theta = r \sin \Theta = r_2 \cos \phi$$

KAKO SE NAŠE ZADEVE VEŽEJO NA OET?



GAUSSOV ZAKON

$$\oint_A \vec{D} \cdot \vec{n} \cdot dA = Q = \int_V \rho dv$$



AMPEROV ZAKON

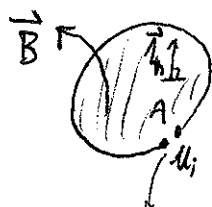
$$\oint_S \vec{H} \cdot \vec{t}_s ds = I = \int_A \vec{J} \cdot \vec{n} dA$$

VPRASLIV PREDZNAK

ČE JE ZANKA PRAVOMA

FARADAYEV ZAKON:

→ NORT BOM RAZLIČEN



$$U_i = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d}{dt} \int_A \vec{B} \cdot \vec{n} dA = \oint_S \vec{E} \cdot \vec{n} ds$$

VPRASLIV PREDZNAK

TEŽAVA JE, KOR ČIT ~~IMAMO~~ IMAMO POTI, PLOSKVE, ITN., MORAMO OPRAVITI NEKO POT IN BI MORALI UPOŠTEVATI RELATIVNOST. POSKUŠAMO OPRAVITI TO TEŽAVO Z UVEDRO (ZAPISOM) ENAČB V DIFERENCIALNI OBLIKI.

$$\text{IZVORNOST: } \text{div } \vec{D} = \lim_{v \rightarrow 0} \frac{\oint \vec{D} \cdot \vec{n} dA}{v} = \rho \Rightarrow \underline{\text{div } \vec{D} = \rho}$$

↳ MATEMATIČNA DEFINICIJA

$$\text{VRTINČENJE: } \vec{n} \cdot \text{rot } \vec{H} = \lim_{A \rightarrow 0} \frac{\oint_S \vec{H} \cdot \vec{t}_s ds}{A} \Rightarrow \underline{\text{rot } \vec{H} = \vec{J}}$$

ZA FARADAYEV ZAKON JE TEŽAVA, KER SE S ČASOM LAHKO SPREMINJA $\vec{B}$ ALI $\vec{A}$. PRI NAŠIH PRIMERIH SE NE BO NIK PRENIKALO ($\frac{dA}{dt} = 0$), KER BODO SPREMEMBE PREHITRE, DA BI SE KAS PRENIKALO.

$$\text{rot } \vec{E} = - \frac{d\vec{B}}{dt}$$

SPET TEŽAVA S PREDZNAKI

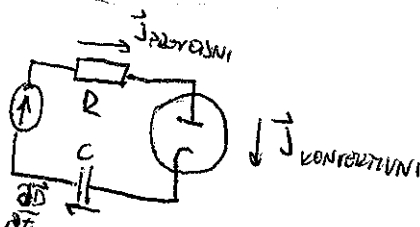
↳ SE DOGOVORIMO, DA BO TUKAJ "-"

KAZJEŠINO ŠE, KAS JE $\vec{J}$:

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{J}$$

$$\vec{J} = \vec{J}_{\text{PREVODNI}} + \vec{J}_{\text{KONDUKTIVNI}} + \frac{d\vec{D}}{dt}$$

↳ PRIDATEK DO POWA



ČE PREPISANO ENAČBE:

$$1) \operatorname{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$2) \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$3) \operatorname{div} \vec{D} = \rho$$

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{J} + j\omega \vec{D}$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -j\omega \vec{B}$$

ZA HARMONSKÉ VELIČINE

$$\vec{E}(t) = \vec{E} \cdot e^{j\omega t} \rightarrow \frac{\partial}{\partial t} = j\omega$$

KAKO IZRAČUNATI IZVORNOST, VRTINČENJE I.TN.?

IZVORNOST

$$\operatorname{div} \vec{D} = \frac{\partial D_x}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z} = \frac{1}{h_1 h_2 h_3} \left[\frac{\partial}{\partial x_1} (h_2 h_3 D_1) + \frac{\partial}{\partial x_2} (h_1 h_3 D_2) + \frac{\partial}{\partial x_3} (h_1 h_2 D_3) \right]$$

V KROGELNÝCH KOORDINATÁCH:

$$\operatorname{div} \vec{D} = \frac{1}{r^2 \sin \Theta} \left[\frac{\partial}{\partial r} (r^2 \sin \Theta D_r) + \frac{\partial}{\partial \Theta} (r \sin \Theta D_\Theta) + \frac{\partial}{\partial \varphi} (r D_\varphi) \right]$$

VRTINČENJE

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \begin{vmatrix} \vec{i}_x & \vec{i}_y & \vec{i}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ H_x & H_y & H_z \end{vmatrix}$$

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \frac{1}{h_1 h_2 h_3} \begin{vmatrix} \vec{i}_{x_1} h_1 & \vec{i}_{x_2} h_2 & \vec{i}_{x_3} h_3 \\ \frac{\partial}{\partial x_1} & \frac{\partial}{\partial x_2} & \frac{\partial}{\partial x_3} \\ h_1 H_1 & h_2 H_2 & h_3 H_3 \end{vmatrix}$$

KROGELNÉ KOO.:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \frac{1}{r^2 \sin \Theta} \begin{vmatrix} \vec{i}_r & \vec{i}_\Theta r & \vec{i}_\varphi r \sin \Theta \\ \frac{\partial}{\partial r} & \frac{\partial}{\partial \Theta} & \frac{\partial}{\partial \varphi} \\ H_r & H_\Theta r & r \sin \Theta H_\varphi \end{vmatrix}$$

VAZOVN

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$$

$$\vec{J}_{\text{povodni}} = 0 \Rightarrow \mu = 0$$

SNOV

$$\vec{B} = \mu \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} = \epsilon_r \epsilon_0 \vec{E}$$

$$\vec{J}_{\text{povodni}} = \gamma \vec{E}$$

POSKUŠAMO POENOSTAVITI:

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{J} + j\omega \epsilon \vec{E}$$

$$\text{rot } \vec{E} = -j\omega \mu \vec{H}$$

$$\text{div}(\epsilon \vec{E}) = \rho$$

TEŽAVNO ZA REŠEVANJE



UVEDENO POTENCIAL

POTENCIAL

$V \rightarrow$ SKALARNI POTENCIAL

UVEDENO ŠE:

$\vec{A} =$ VEKTORSKI POTENCIAL

$$\vec{B} = \text{rot } \vec{A}$$

KAKO DOBIMO $\vec{E}$?



$$\text{rot } \vec{E} = -j\omega \vec{B} = -j\omega (\text{rot } \vec{A})$$

$$\text{rot}(\vec{E} + j\omega \vec{A}) = 0$$

skalni odvod

TO JE LAMKO POJAVI SE GRADIENT

$$\text{rot}(\text{grad}(-V)) \rightarrow \vec{E} = -j\omega \vec{A} - \text{grad } V$$

PRI ELEKTRODINAMIKI SMO DOBILI: (Z LORENTZOVO VEKRO $\text{div } \vec{A}$)

$$\Delta V + \underbrace{\omega^2 \mu \epsilon}_{\kappa^2} V = -\rho / \epsilon \quad \Delta \vec{A} + \omega^2 \mu \epsilon \vec{A} = -\mu \vec{J}$$

ZAKASNILOSI ČLEN

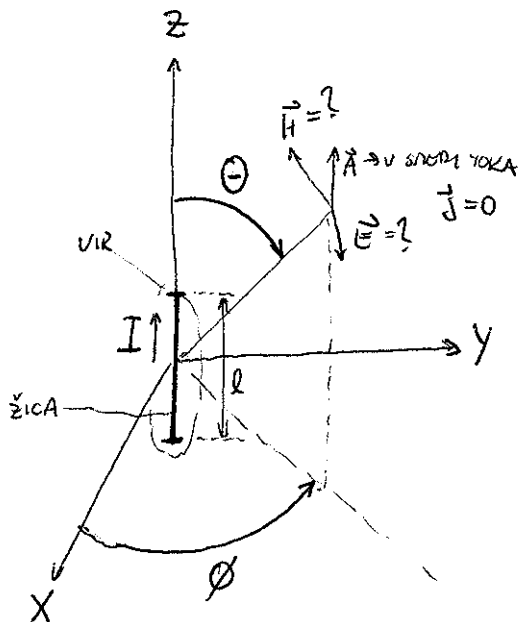
REŠITENI:

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_V \rho(\vec{r}') \frac{e^{-jk|\vec{r}-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|} d\tau'$$

OPAZOVANJE 12.10.21

$$\vec{A}(\vec{r}) = \frac{\mu}{4\pi} \int_V \vec{J}(\vec{r}') \frac{e^{-jk|\vec{r}-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|} d\tau'$$

2. GLED



$$\vec{J}(\vec{r}') = \vec{J}_z \frac{I}{A'}$$

$$\vec{A}(\vec{r}) = \frac{\mu}{4\pi} \int_V \vec{J}(\vec{r}') \frac{I}{A'} \frac{e^{-jk|\vec{r}-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|} \cdot A' d\vec{r}' =$$

$$= \frac{\mu}{4\pi} \vec{J}_z \cdot I \frac{e^{-jk r}}{r} \cdot l$$

SITNO, KER JE V KARTEZIČNIH

$$\vec{J}_z = \vec{J}_r \cos \theta - \vec{J}_\theta \sin \theta$$

SI POENOSTAVIMO

$l \ll r \rightarrow$ NARAVNO SE VIDEČ OD ŽICE, DA NAM DELUJE KOT TOČKAST

$l \ll \lambda \rightarrow$ TOL ENAK DO CEN ŽICE: $e^{-jk|\vec{r}-\vec{r}'|} \approx e^{-jk r}$

$$l \gg r' \rightarrow \frac{1}{|\vec{r}-\vec{r}'|} \approx \frac{1}{r}$$

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} \text{rot } \vec{A} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{1}{r^2 \sin \theta} \begin{vmatrix} \vec{J}_r & \vec{J}_\theta & \vec{J}_\phi \\ \frac{\partial}{\partial r} & \frac{\partial}{\partial \theta} & \frac{\partial}{\partial \phi} \\ \frac{\mu I l}{4\pi} \frac{e^{-jk r}}{r} \cos \theta & -r \frac{\mu I l}{4\pi} \frac{e^{-jk r}}{r} \sin \theta & r \sin \theta \cdot 0 \end{vmatrix} =$$

$$= \vec{J}_\phi \frac{1}{r} \left[jk \frac{I l}{4\pi} e^{-jk r} \sin \theta - \left(\frac{I l}{4\pi} \frac{1}{r} e^{-jk r} (-\sin \theta) \right) \right] = \vec{J}_\phi \frac{I l}{4\pi} \underbrace{e^{-jk r}}_{\text{ZAKASNITEV}} \underbrace{\left(\frac{jk}{r} + \frac{1}{r^2} \right)}_{\text{SESTAVJE } k \neq 0} \cdot \sin \theta$$

KOLIKO STA ČLENA ENAKO VELIKA?

$$\left| \frac{jk}{r} \right| = \frac{1}{r^2} \rightarrow k = \frac{1}{r} \rightarrow k = \frac{1}{k} = \frac{c}{\omega} = \frac{c}{2\pi f}$$

→ VONA SVEROTA

f	k	r
50 Hz	10^6 rad/m	1000 km
900 MHz	20 rad/m	5 cm
600 THz	$\approx 10^7 \text{ rad/m}$	0.1 μm

ZANIMA NAS JE ELEKTRIČNO POLJE V

$$I \uparrow \left. \begin{array}{l} \vec{Q}^+ \\ \vec{Q}^- \end{array} \right\} \begin{array}{l} \frac{dQ^+}{dt} = I \\ \frac{dQ^-}{dt} = -I \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \vec{Q}^+ \\ \vec{Q}^- \end{array}} \right\} j\omega Q = I$$

1. MAXWELL-OVA ENAČBA:

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{J} + j\omega \epsilon \vec{E} \rightarrow \vec{E} = \frac{1}{j\omega \epsilon} \text{rot } \vec{H}$$

(IMO POVEZANO MED) $\vec{H}$ IN $\vec{E}$

$$\vec{E} = \frac{1}{j\omega \epsilon} \frac{1}{r^2 \sin \Theta} \begin{vmatrix} \vec{r} & r\vec{\theta} & r \sin \Theta \vec{\phi} \\ \frac{\partial}{\partial r} & \frac{\partial}{\partial \Theta} & \frac{\partial}{\partial \phi} \\ 0 & r \cdot 0 & r \sin \Theta e^{-jkr} \left(\frac{j\omega}{r} + \frac{1}{r^2} \right) \frac{I l}{4\pi} \sin \Theta \end{vmatrix} =$$

ZANIMA NAS SAMO SEVANJE, ZATO
TA ČLEN ZANEMARIMO

$$= \frac{1}{j\omega \epsilon} \frac{1}{r \sin \Theta} jk \vec{r} e^{-jkr} \cdot jk \sin^2 \Theta \frac{I l}{4\pi} = \vec{r} \frac{j k^2}{\omega \epsilon} \frac{I l}{4\pi} \frac{e^{-kr}}{r} \sin \Theta$$

SAMO SEVANJE

$\frac{k^2}{\omega \epsilon} = \frac{\omega^2 \mu \epsilon}{\omega \epsilon} = \omega \mu = \frac{k \omega \sqrt{\mu \epsilon}}{\omega \epsilon} = k \cdot \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$
VALOVNA
IMPEDANCA
 $\underline{Z}$

KOLIKO MOČI SEVA?

$$\vec{S} = \frac{1}{2} \vec{E} \times \vec{H}^* = \vec{r} \cdot \frac{1}{2} jk Z \frac{I l}{4\pi} \frac{e^{-kr}}{r} \sin \Theta \times \vec{\theta} \frac{I l}{4\pi} \frac{e^{+jkr}}{r} \frac{(-jk)}{r} \sin \Theta$$

ZA EFektivno
Vrednost

JE LAKŠO KAZALEC

SAMO NASVEČI ČLEN

$$\vec{S} = \vec{r} \frac{k^2 Z}{2} \frac{|I|^2 l^2}{(4\pi)^2} \frac{\sin^2 \Theta}{r^2}$$

PRETEK MOČI

$\Rightarrow$ ČISTA DELAVNA MOČ, KI SE ŠIRI V PROSTOR
($\frac{1}{r^2}, \frac{1}{r^3}$ PRISPEVKI BI DALI JALOVO MOČ)

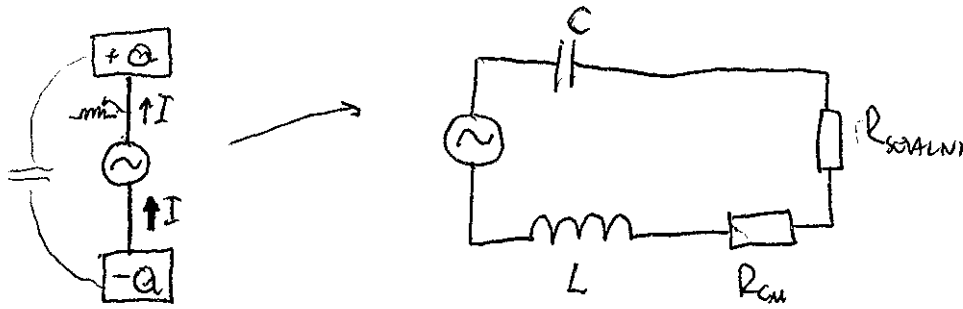
MOČ SEVANJA:

$$P = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \vec{S} \cdot \vec{r}_n r^2 \sin \Theta d\Theta d\phi \Rightarrow P = \frac{k^2 Z}{2} \frac{|I|^2 l^2}{(4\pi)^2} \frac{4}{3} 2\pi = \frac{|I|^2 l^2 k^2 Z}{12\pi}$$

SEVNA MOČ

$\int_0^\pi \sin^3 \Theta d\Theta = \frac{4}{3}$

KAKO IZGLADA TAKA NAPRAVA V PRAKSI?



$$P = \frac{1}{2} |I|^2 R_s = \frac{|I|^2 l^2 k^2 Z_0}{12\pi} \rightarrow R_s = \frac{l^2 k^2 Z_0}{6\pi} \rightarrow R_s = \frac{l^2 k^2 Z_0}{6\pi} = \frac{l^2 2\pi Z_0}{3\lambda^2} = \frac{2\pi Z_0}{3} \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2 \approx 8000 \Omega \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$$

NIKOLA TESLA: ~1885

$$\left. \begin{array}{l} l = 30\text{m} \\ f = 30\text{kHz} \\ R_{\text{cm}} \approx 60\Omega \end{array} \right\} R_s \approx 6\text{m}\Omega \rightarrow \left. \begin{array}{l} P = 10\text{kW} \\ P_s = 1\text{W} \end{array} \right\} \text{izkoristek } \eta_0 = 0.01\%$$

če $l \ll \lambda$ je slab izkoristek

KAKO DALEČ PRIDENO Z RADIJSKO ZVEZO S TAKO ANTENO?

13. 10. 8.

$P_0 = \eta P_G$

NEUSPEŠNI (IZOTRPOVNI) VIR

$$\vec{S} = \vec{r} \frac{P_0}{4\pi r^2} = \vec{r} \cdot \frac{P_0}{A_k}$$

$$P_s = P_0 \frac{A_s}{4\pi r^2} = P_G \frac{\eta A_s}{4\pi r^2} \cdot \eta_s$$

$P_s = \int \vec{S} \cdot \vec{A}_s dA = |\vec{S}| \cdot A_s \eta_s$

↑
ČE JE PLOŠČOV OBRNENA V SMER $\vec{S}$

PODATNO UPORABLJATI IZKORISTEK SPREJEMNIKA IN ODDAJNIKA, SAKI NISTA UČETNA

$A_k = 4\pi r^2$

4π srč

SPREJEMNIK

KAKO POVEČATI DOTIK?

- USTREDENO ODODAJNIK → DATO ŽAROTET

$$\vec{S} = \vec{r} \cdot \frac{P_0}{A} = \vec{r} \cdot \frac{P_0 \eta_0}{4\pi r^2}$$

$$P_s = |\vec{S}| A_s \eta_s = \frac{P_0 \eta_0 \eta_s A_s}{4\pi r^2} = P_G \frac{\eta_0 D A_s \eta_s}{4\pi r^2}$$

$\Omega < 4\pi$

IMA NEKO SMERNOST:

$D = \frac{|\vec{S}|}{|\vec{S}_0|} = \frac{4\pi}{\Omega}$

8

RESNIČNA LAPRAVA:

$\vec{E} = \vec{1}_r \cdot \alpha \cdot I \cdot \frac{e}{r} \cdot F(\theta, \phi)$

KAKO UGOTOVITI SMERNI DIAGRAM POLJUBNEGA IZVORA?
 UPORABNO SMOZNOST

SREDNI DIAGRAM (AMPLITUDNI)
 FIZIKALNA KONSTANTA
 VIR
 REDNO PRI SEVANJU

$\vec{S}_{\text{NAVEŠI}} = \frac{1}{2} \vec{E}_{\text{NAV}} \times \vec{H}_{\text{NAV}}^* = \vec{1}_r \frac{|\vec{E}_{\text{NAV}}| |\vec{H}_{\text{NAV}}|}{2} = \vec{1}_r \frac{|\vec{E}_{\text{NAV}}|^2}{2Z_0}$

$\vec{S}_i = \vec{1}_r \frac{P_0}{4\pi r^2} = \vec{1}_r \frac{\int_{4\pi} \vec{S} \cdot \vec{1}_n dA}{4\pi r^2} = \vec{1}_r \frac{\int_{4\pi} \vec{1}_r \frac{|\vec{E}|^2}{2Z_0} \cdot \vec{1}_r r^2 \sin \theta d\theta d\phi}{4\pi r^2}$

$D = \frac{\frac{|\vec{E}_{\text{NAV}}|^2}{2Z_0} 4\pi}{\int_{4\pi} \frac{|\vec{E}|^2}{2Z_0} \sin \theta d\theta d\phi} = \frac{4\pi |F(\theta, \phi)_{\text{NAV}}|^2}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi |F(\theta, \phi)|^2 \sin \theta d\theta d\phi} = \underline{\underline{D}}$

ZGLEDO

NAŠA ANTEMA:

$$F(\theta, \phi) = \sin \theta$$

$D = \frac{4\pi |F(\theta_{\text{NAV}}, \phi_{\text{NAV}})|^2}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi |\sin \theta|^2 \sin \theta d\theta d\phi} = \frac{2 \cdot 4\pi \cdot 1^2}{2\pi \int_0^\pi \sin^2 \theta \sin \theta d\theta} = \frac{2}{\int_0^\pi (1 - \cos^2 \theta) (-d\cos \theta)} = \frac{2}{\int_{-1}^1 (1 - u^2) (-du)} = \frac{2}{\int_{-1}^1 (u^2 - 1) du} = \frac{2}{\frac{1}{3} - 1} = \underline{\underline{\frac{3}{2}}}$

NI ODVISNO OD ϕ ,
 ZATO LAHKO TAKOJ
 INTEGRIRAMO

$u = \cos \theta$
 $du = -\sin \theta d\theta$

SMERNOST V POLJUBNI SMERNI:

$$D(\theta, \phi) = \frac{4\pi |F(\theta, \phi)|^2}{\int_{4\pi} |F(\theta, \phi)|^2 \sin \theta' d\theta' d\phi'}$$

DOREČENO JE ENO DEFINICIJO:

V IZRAZIH PRVODI NAŠTAPA SMERNOST IN IZKORISTEK:

$$P_s = \frac{P_0 \eta_0 D A_s \eta_s}{4\pi r^2}$$

UVEDENO DOBITER: $G = \eta_0 D$

DOBITER IN SMERNOST SE VELIKOKRAT PIŠETA V LOGARITMSKIH ENOTAH:

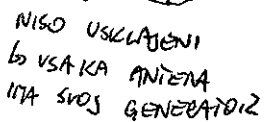
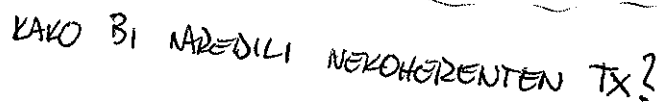
$$D_{\text{dB}} = 10 \log_{10} D [\text{dBi}]$$

MA NEUSMERENI ANTENI

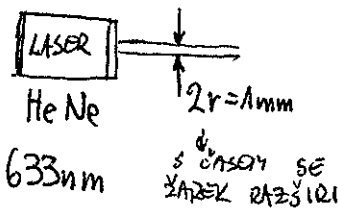
$$G_{\text{dB}} = 10 \log_{10} G [\text{dBi}]$$

KAJ JE SPLOH POUVRŠINA SPREJEMNIKA?

KAKO LAHKO MEDENO SPREJEMNIK?



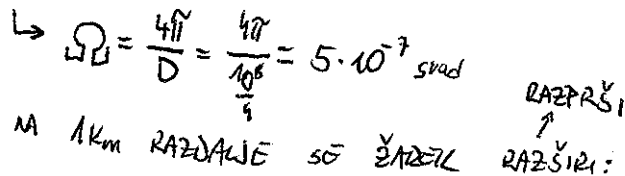
Koharentni TX naredimo tako, da z nekim resonatorjem prisilimo, da vse točke nihajo usklajeno! $\rightarrow$ npr. laser



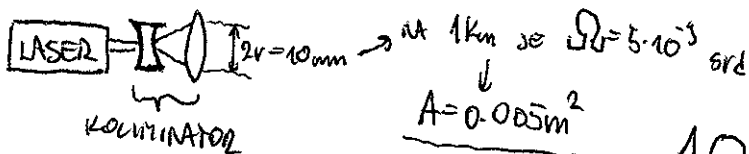
$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} A = \frac{4\pi}{(633\text{nm})^2} \cdot \pi \left(\frac{1}{2}\text{mm}\right)^2 \approx \frac{10^8}{4}$$

$$\approx 74\text{dB}$$

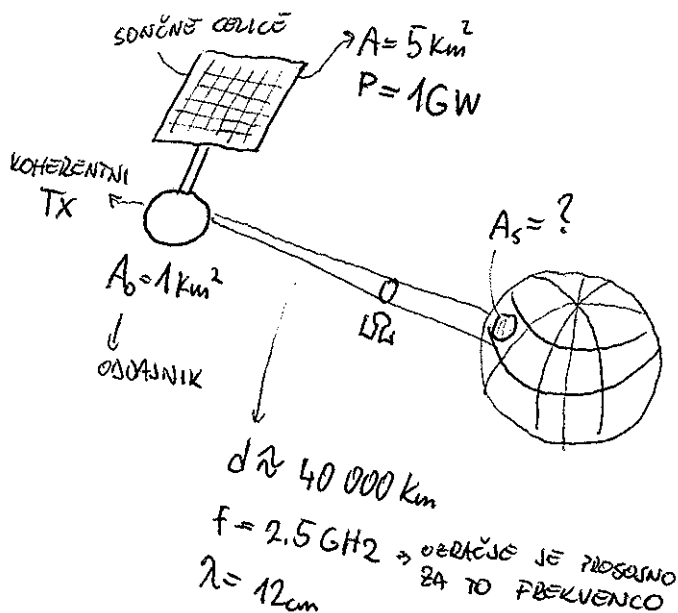
ZA BOLJŠO USMERENOST JE POTREBNO
ŠAREK RAZŠIRITI!



$$A = \mu_0 d^2 = 5 \cdot 10^{-7} (10^3 \text{ m})^2 = \underline{0.5 \text{ m}^2}$$



ZGLED: VESOLJSKA ELEKTRARNA

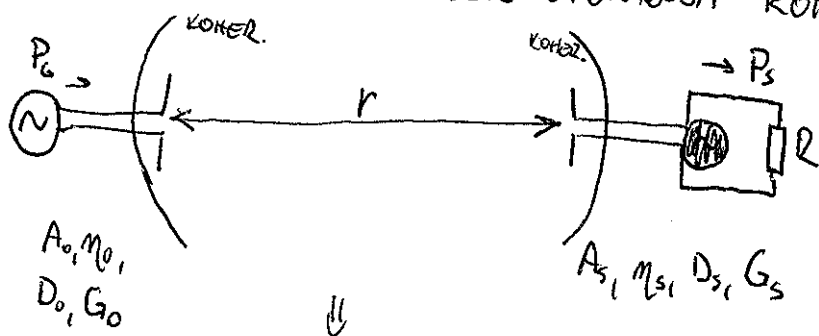


$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_0 \Rightarrow \Omega = \frac{4\pi}{D} = \frac{\lambda^2}{A_0}$$

$$A_s = \Omega r^2 = \frac{\lambda^2}{A_0} r^2 = \frac{(0.12 \text{ m})^2}{10^6 \text{ m}^2} (4 \cdot 10^7 \text{ m})^2 =$$

$$A_s = 0.2304 \cdot 10^8 \text{ m}^2 = \underline{23 \text{ km}^2}$$

V RADIJSKI TEHNIKI SE BOLJ UPORABLJA KOHERENTNI SPREJEM.



KOLIKO MOČI DOBIMO NA SPREJEMU?

$$1) P_s = P_g D_0 \eta_0 \frac{A_s \eta_s}{4\pi r^2} = P_g G_0 \frac{A_s \eta_s}{4\pi r^2} \Rightarrow \text{RADIODIFUZIJA}$$

$$A_s \eta_s = \frac{\lambda^2}{4\pi} D_s \eta_s = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_s$$

$$2) P_s = P_g D_0 \eta_0 D_s \eta_s \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 = P_g G_0 G_s \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \rightarrow \text{ZGODOVNA}$$

→ SO MISLILI, DA JE BOLJE VELIKA λ
ČE ZNANO MERITI VSTRESENE
ANTENE BO ZANIMIVO

LAHKO PA ZAPIŠENO S POVRŠINAMI:

$$D_0 = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_0$$

$$3) P_s = P_g \frac{A_0 \eta_0 A_s \eta_s}{\lambda^2 r^2}$$

→ ČE SMO OTEJENI 2 VELIKOSTI → $\lambda \downarrow$ → ZVEŽA TOČKA-TOČKA
→ TEŽAVE S CILJANOST

KAKŠNO λ UPORABITI ZA RADIJSKO ZVEŽO?

- 1) NI ODVISNO OD λ
 - 2) MERAČA 2 λ^2
 - 3) PADA 2 λ^2
- ZAVISI KAKŠNO ZVEŽO SI LAHKO PRIVOŠČIMO

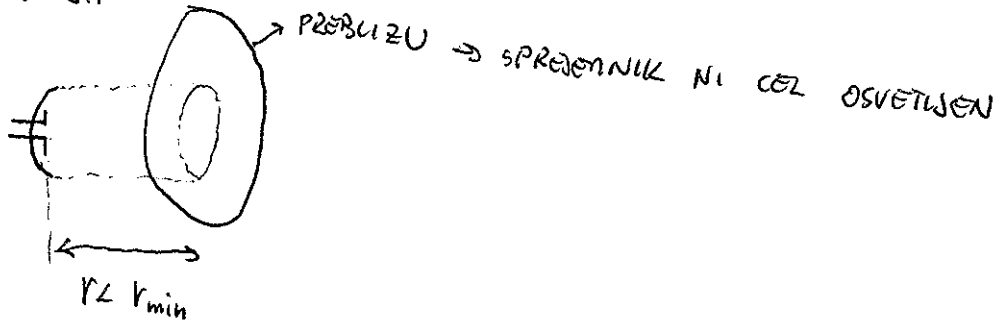
→ TEŽAVA: ČE NIŽANO λ DOBIMO OJAČANJE? → OČITNO IZRAZI VELJASO DO DOLOČENE PORE



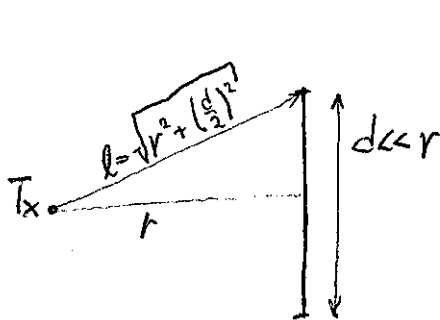
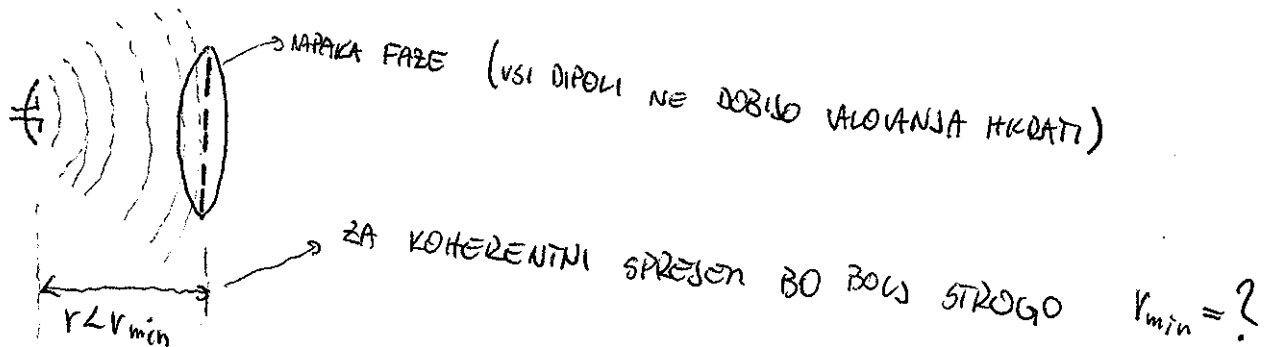
IZDAZI VELJASO ZA NEK $r > r_{min}$

$r_{min} = ?$

NE VELJA:



KOHERENTNI SPREJEN:



$$\sqrt{1+\epsilon} \approx 1 + \frac{\epsilon}{2}$$

$$\Delta l = \sqrt{r^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2} - r \approx r \left(1 + \frac{d^2}{8r^2}\right) - r = \frac{d^2}{8r}$$

$$\Delta \phi = k \cdot \Delta l = k \cdot \frac{d^2}{8r} = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{d^2}{8r} \Rightarrow \boxed{r = \frac{\pi d^2}{4\lambda \Delta \phi}}$$

↓
NAKAKA FAZE

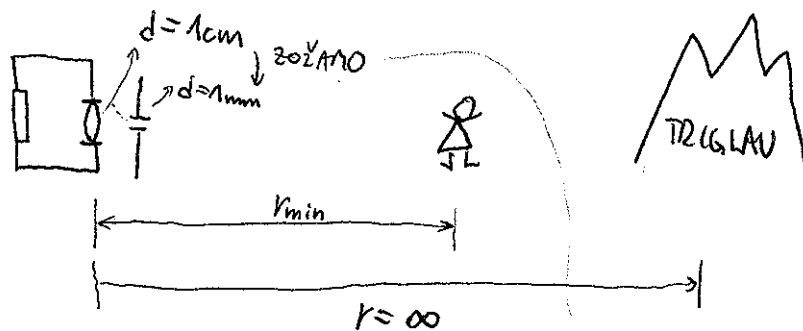
KAKO VELIKO $\Delta \phi$ SI LAHKO PRIVOŠČIMO?

$\Delta \phi$	r	ΔG
π	$d^2/4\lambda$	$\sim -4\text{dB}$
$\pi/2$	$d^2/2\lambda$	$\sim -1\text{dB}$
$\pi/4$	d^2/λ	$\sim -1/4\text{dB}$
$\pi/8$	$2d^2/\lambda$	$\sim -0.06\text{dB}$

→ ANTENE MERIMO NA $\sim 1/4\text{dB}$ NATANČNO

→ FRAUNHOFERSEV POGOJ: $r > \frac{2d^2}{\lambda}$

PRIMER KOHERENTNEGA SPREJEMA: OBJEKTIV



$$\lambda \approx 0.5 \mu\text{m}$$

$$r_{\min} = \frac{2d^2}{\lambda} = \frac{2 \cdot (0.01\text{m})^2}{0.5 \cdot 10^{-6}\text{m}} = 400\text{m}$$

↑ PREČEK
↓ KAD SNO
2 GOTOVILI
SNO VEČI PRESTREŽ
POGOS (FRAUNHOFER) → -0.06 dB

PRI OBJEKTIVIH JE DOVOLJ -40 dB

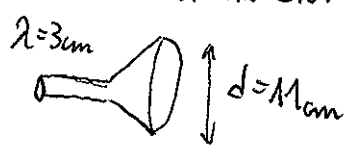
$$r_{\min} = 50\text{m}$$

SE VEDNO VELIKO
ZNAMENJATNO ZASLONKO

PODROČJE OSTRINE: $0.5\text{m} \rightarrow \infty$

PRI VAJAH:

TRUBENTASTA ANTENA



$$r_{\min} = \frac{2d^2}{\lambda} = \frac{2 \cdot (0.01\text{m})^2}{0.03\text{m}} \approx 0.8\text{m}$$

KER V ZVEZI POTREBUJEMO DVE ANTENI: $r_{\min} > 2 \cdot 0.8\text{m}$

SATELIT:

$$d = 1\text{m}$$

$$f = 12\text{GHz}$$

$$r_{\min} = ?$$

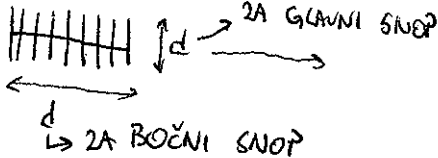
$$\lambda = \frac{c_0}{f} = 2.5\text{cm}$$

$$\Rightarrow r_{\min} = \frac{2d^2}{\lambda} = \frac{2 \cdot 1\text{m}^2}{0.025\text{m}} = 80\text{m}$$

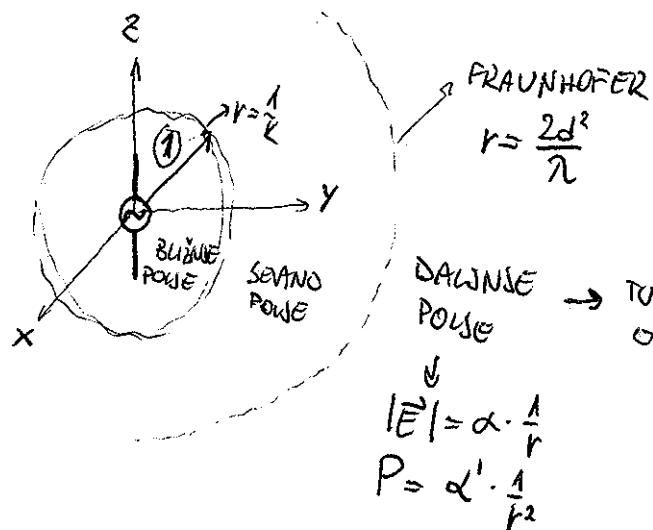
TEŠKO IZMERITI V LABORATORIJU

d = PREČNA RAZSEŽNOST

NPR: YAGI:



FRAUNHOFERJEV POGOJ NAM DA ŠE EN POGOJ ZA RAZDALJE

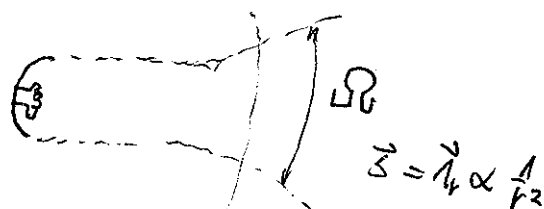


DAVNJE POVE → TU SE LAHKO KONAJ POGOVARJANO
 O SMERNEN DIAGRAMU
 $F(0,0)$

$$|E| = \alpha \cdot \frac{1}{r}$$

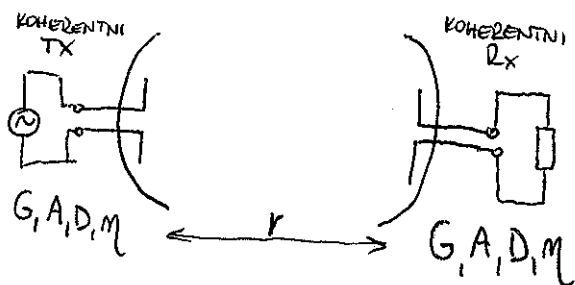
$$P = \alpha' \cdot \frac{1}{r^2}$$

RAZLIKA MED SEVANIM IN DAVNIM POVEN?
 NA PRIMER ŽARONET PRI

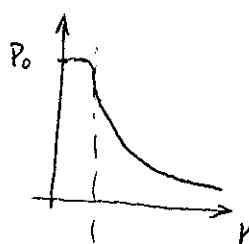


FRAUNHOFER → KO SE ZAČNE ŠIRITI → ZA NEKOHERENTNI VIR NEKOLIKO POK

PRESŠNJIČ:



$$V_{min} < V < \infty$$



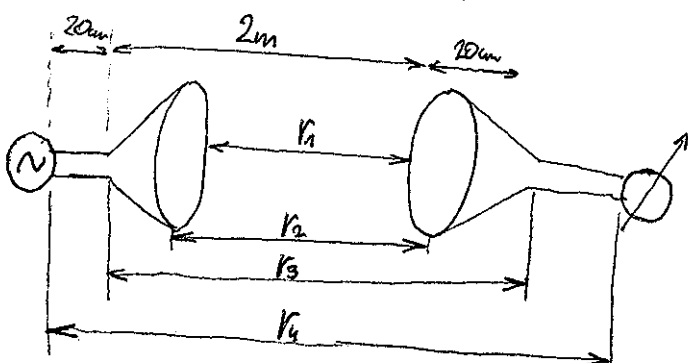
NAJBOLJ PREPROST IZDAZ

$$P_s = P_g G_o G_s \left(\frac{1}{4\pi r} \right)^2$$

POGOS:

$$V_{min} = \frac{2d^2}{\lambda} \rightarrow \text{V BISTVO GLOBINSKA OSTRINA}$$

PORAJA SE VPRAŠANJE:



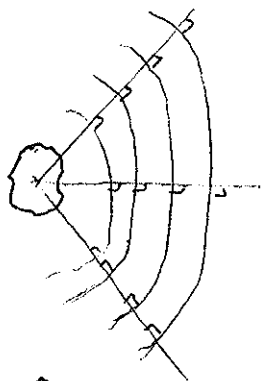
$$\frac{20m}{2m} = 10\% \rightarrow 1dB \text{ NAPAKE v MERITVI}$$

KATERO RAZDALJO VZET?

VZAMENO ~~RAZDALJO~~ RAZDALJO MED
 FAZNIKA SREDIŠČENA?



FAZNO SREDIŠČE



GLAVNI SNOP SEVANJA

→ KIER SE SEKAJO PRAVOKOTNICE NA VALOVNE FRONTE!

→ PRAVI r JE OS ENEGA DO DRUGEGA FAZNEGA SREDIŠČA

DEFINICIJA:

$$F(\theta, \phi) = A(\theta, \phi) \cdot e^{j\phi(\theta, \phi)}$$

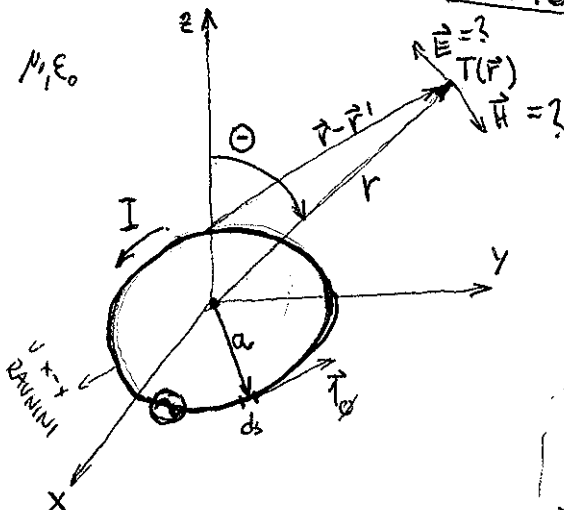
→ Če postavimo koordinatno izhodišče v fazno središče je $\phi(\theta, \phi) = \text{konst.}$

FAZNEGA SREDIŠČA NIMAJO VSE ANTENE!

SE VRNETO NA PREJŠNJE VPRAŠANJE: KAKO NAREDITI DOBR O ANTENO?

POSKUŠAMO DRUGE PRILOGE...

LAHKO BI BILA MOGOČE ZANKICA:



VEKTORSKI POTENCIAL:

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int_V \vec{J}(\vec{r}') \frac{e^{-jk|\vec{r}-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|} dV' = \frac{\mu}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{I}{A_{zice}} \cdot \frac{e^{-jk|\vec{r}-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|} \cdot A_{zice} \cdot a d\phi'$$

$|\vec{r}-\vec{r}'| \rightarrow$ RAZDALJA

$$= \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + z^2} = \sqrt{(r \sin \theta \cos \phi - a \cos \phi')^2 + (r \sin \theta \sin \phi - a \sin \phi')^2 + r^2 \cos^2 \theta}$$

$$= \sqrt{(r \sin \theta \cos \phi - a \cos \phi')^2 + (r \sin \theta \sin \phi - a \sin \phi')^2 + r^2 \cos^2 \theta} = \sqrt{r^2 + a^2 - 2 \cdot r \cdot a \cdot \sin \theta \cos(\phi - \phi')} \approx \sqrt{r^2 (1 - \frac{2a}{r} \sin \theta \cos(\phi - \phi'))} =$$

$$= r (1 - \frac{a}{r} \sin \theta \cos(\phi - \phi')) \approx |\vec{r}-\vec{r}'|$$

REČENO JE:

$a \ll r, a \ll \lambda$

ZA $\epsilon \ll 1 \Rightarrow$ NAJHITREJ:

$$\sqrt{1+\epsilon} \approx 1 + \frac{\epsilon}{2}$$

$$\frac{1}{1+\epsilon} \approx 1 - \epsilon$$

$$\frac{1}{|\vec{r}-\vec{r}'|} \approx \frac{1}{r} (1 + \frac{a}{r} \sin \theta \cos(\phi - \phi'))$$

$$\underbrace{e^{-jk|\vec{r}-\vec{r}'|}}_{\substack{\text{UPORABIMO DA} \\ \text{ELENA PRI RAČUNU} \\ \text{V VRSTO}}} = e \cdot e \approx \underbrace{e^{-jkr}}_{\substack{\text{ZANEMARIMO}}} (1 + jka \sin \Theta \cos(\phi - \phi'))$$

$$e^{jx} = \cos(x) + j \sin(x) \approx 1 + jx$$

$$\vec{A} \approx \frac{\mu}{4\pi} I a \frac{e^{-jkr}}{r} \int_0^{2\pi} \vec{r}' (1 + jka \sin \Theta \cos(\phi - \phi')) \left(1 + \frac{a}{r} \sin \Theta \cos(\phi - \phi')\right) d\phi'$$

$$\vec{r}' = \vec{r}_x \sin \phi' + \vec{r}_y \cos \phi'$$

$$\int_0^{2\pi} \vec{r}' d\phi' = \int_0^{2\pi} \vec{r}_x \sin \phi' d\phi' + \int_0^{2\pi} \vec{r}_y \cos \phi' d\phi' = \vec{0}$$

$$\vec{A} \approx \frac{\mu}{4\pi} I a^2 \frac{e^{-jkr}}{r} \int_0^{2\pi} \vec{r}' (jk + \frac{1}{r}) \sin \Theta \cos(\phi - \phi') d\phi' = \frac{\mu}{4\pi} I a^2 \frac{e^{-jkr}}{r} (jk + \frac{1}{r}) \int_0^{2\pi} \sin \Theta (-\vec{r}_x \sin \phi' + \vec{r}_y \cos \phi') (\cos \phi \cos \phi' + \sin \phi \sin \phi') d\phi'$$

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} I a^2 \frac{e^{-jkr}}{r} (jk + \frac{1}{r}) \sin \Theta \int_0^{2\pi} (-\vec{r}_x \sin \phi' + \vec{r}_y \cos \phi') (\cos \phi \cos \phi' + \sin \phi \sin \phi') d\phi'$$

$$\begin{aligned} \int_0^{2\pi} (\vec{r}_x \sin \phi' + \vec{r}_y \cos \phi') (\cos \phi \cos \phi' + \sin \phi \sin \phi') d\phi' &= \int_0^{2\pi} [\vec{r}_x (\sin \phi' \sin \phi + \sin \phi' \cos \phi' \cos \phi) + \vec{r}_y (\cos \phi' \cos \phi + \sin \phi' \cos \phi' \sin \phi)] d\phi' = \\ &= \vec{r}_x \left[\sin \phi \int_0^{2\pi} \sin^2 \phi' d\phi' + \cos \phi \int_0^{2\pi} \sin \phi' \cos \phi' d\phi' \right] + \vec{r}_y \left[\cos \phi \int_0^{2\pi} \cos^2 \phi' d\phi' + \sin \phi \int_0^{2\pi} \sin \phi' \cos \phi' d\phi' \right] = \\ &= \vec{r}_x \left[\sin \phi \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} (\cos 2\phi' - \cos(0)) d\phi' + \cos \phi \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} (\sin 2\phi' + 0) d\phi' \right] + \vec{r}_y \left[\cos \phi \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} (\cos 2\phi' + 1) d\phi' + \sin \phi \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} (\sin 2\phi' + 0) d\phi' \right] = \\ &= -\vec{r}_x \cdot \sin \phi \cdot \pi + \vec{r}_y \cdot \cos \phi \cdot \pi = \pi \cdot \vec{r}_\phi \end{aligned}$$

$$\vec{A} = \vec{r}_\phi \frac{\mu}{4\pi} I \pi a^2 \frac{e^{-jkr}}{r} (jk + \frac{1}{r}) \sin \Theta$$

$$\vec{E} = j\omega \vec{A} - \text{grad } V \rightarrow \text{MIMO ELEKTRO, TOL SE KLEPO ZAKLJUČI} \Rightarrow V=0, \text{grad } V=0$$

$$\vec{E} = -\vec{r}_\phi \frac{j\omega \mu}{4\pi} I \pi a^2 \frac{e^{-jkr}}{r} (jk + \frac{1}{r}) \sin \Theta$$

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} \text{rot } \vec{A} = \dots \left(\frac{1}{r_1}, \frac{1}{r_2}, \frac{1}{r_3} \right)$$

IMA POČNO BLIŽNJE POLJE, ZATO
TAKI ZANKI REČENO TUDI MAGNETNA
ANTENA.

TESLA TRAFID: ELEKTRIČNA ANTENA

POGLEJMO SI, KOLIKO SELA (1 člen) ?

$$\vec{E} = \vec{1}_\phi \frac{\omega \mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot A \frac{e^{j\omega t}}{r} \sin \Theta = \rightarrow \omega \mu_0 = k^2 Z_0$$

$$\vec{E} = \vec{1}_\phi \frac{Z_0 k^2}{4\pi} I A \frac{e^{j\omega t}}{r} \sin \Theta$$

SELANA MOČ:

$$\vec{S} = \frac{1}{2} \vec{E} \times \vec{H} = \vec{1}_r \frac{|\vec{E}|^2}{2Z_0} = \vec{1}_r \frac{Z_0 k^4}{32\pi^2} |I|^2 A^2 \frac{\sin^2 \Theta}{r^2}$$

$$P = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \vec{S} \cdot \vec{n}_r \cdot dA = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \frac{Z_0 k^4}{32\pi^2} |I|^2 A^2 \frac{\sin^2 \Theta}{r^2} \cdot r^2 \sin \Theta \, d\Theta \, d\phi = \frac{Z_0 k^4}{12\pi} |I|^2 A^2$$

$$R_s = \frac{P}{\frac{1}{2}|I|^2} = \frac{Z_0 k^4 A^2}{6\pi} = \frac{8\pi^3 Z_0}{3} \cdot \frac{A^2}{\lambda^4} = \frac{8\pi^3}{3} Z_0 \left(\frac{a}{\lambda}\right)^4$$

TEŽAVA:

IMO PREPOSTAVILI $a \ll \lambda$

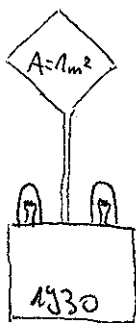
→ ZELO MAJHNA $R_s \Rightarrow$ SLABI IZKORISTKI

→ DOBRO: NI VISOKE NAPETOSTI IN NI KAPACITIVNOSTI ZA KOMPENZIRAT, SANO INDUKTIVNOST.

PRIMER

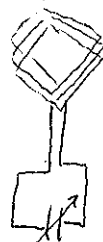
RADIO

$\lambda = 300m$



$$R_s = \frac{8\pi^3}{3} \cdot 120\pi \cdot \left(\frac{1m^2}{300^4}\right) \approx 4 \mu\Omega$$

KAKO IZBOLJŠATI ?
DANO VEČ OVOJEV

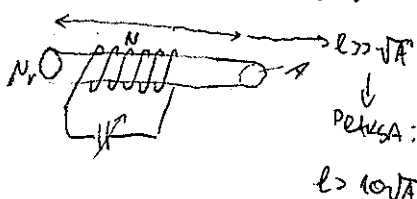


N-OVOJEV $\rightarrow$ LAHKO $N \cdot I$ ALI $N \cdot A \rightarrow$ TEŽAVA: $L_N = N^2 \cdot L_1$

$$R_s = \frac{8\pi^3}{3} \cdot Z_0 \left(\frac{(NA)^2}{\lambda^4}\right) \rightarrow \text{ZA } N=10: R_s \approx 0.4 m\Omega$$

POGLASIMO INDUKTIVNI DEL

LAHKO DANO FEROMAGNET:



$$R_s = \frac{8\pi^3}{3} Z_0 \left(\frac{(N_0 NA)^2}{\lambda^4}\right) \rightarrow \text{FERIT: } A = 1m^2 \text{ SE DA VREDI } N_0 = 100, \text{ ŽAL PA JE POSEBEN } \approx 1m^2$$

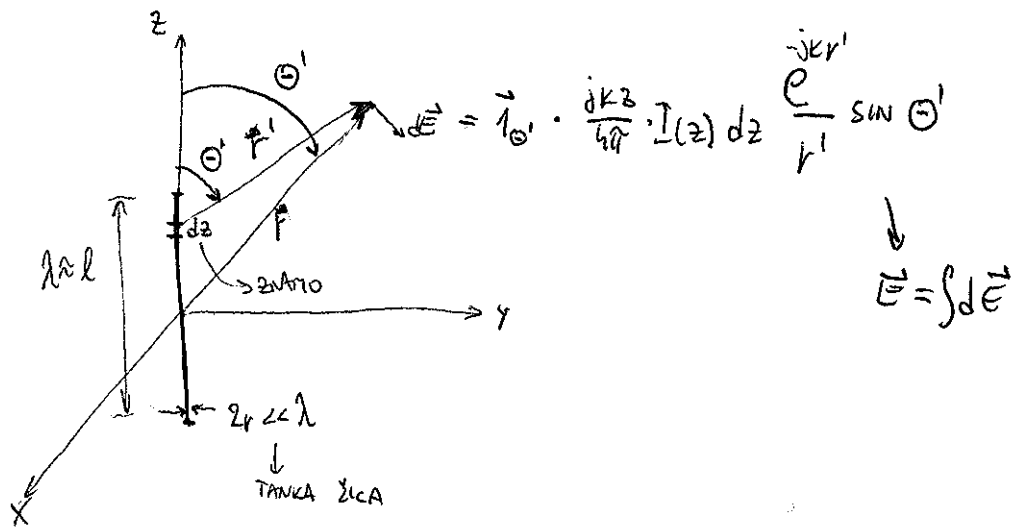
$$A_{\text{eff}} = N_0 A = 100m^2 = 0.01m^2$$

KJE SO SITNOSTI ?

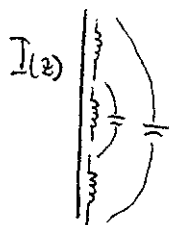
$a, l \ll \lambda \rightarrow$ VEDNO IN ZA VSE ANTENE SLAB IZKORISTEK

ČE SE ANTENA MAJHNA, IMAMO LAHKO EL. ANTENO ALI MAG. ANTENO. $\rightarrow$ IMAJEMO

MAJHNI MOJANO ANTENO, KI JE $\approx \lambda$



KAKŠNA JE PORAZDELITEV TOKA PO ŽICI?
PORAMO VEDETI!:

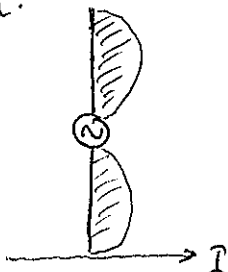


PRIMERI:

BLIŽNJE POLJE
STOJNI VAL NIMA VEZE S SEVANJEM.
LAHKO RAZLIČNO DOLG

$l \sim \lambda$:

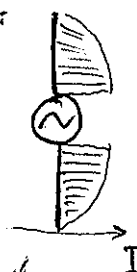
$I(z)$



$l \ll \lambda$:



$l \sim \frac{\lambda}{2}$:



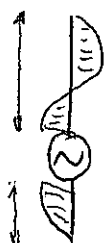
$l = \frac{3\lambda}{2}$:



ČE VIZ POSTAVIMO NEZRCALNO:

$\frac{3\lambda}{4}$

$\frac{\lambda}{4}$



$\frac{\lambda}{2}$

$\frac{\lambda}{4}$



$$I(z) = I_0 \cdot \cos k z$$



ZA $\lambda/2$ DIPOL:

$$\vec{E} = \int_{-\lambda/4}^{\lambda/4} \vec{I}_y \frac{jkz_0}{4\pi} \frac{e^{-jkr'}}{r'} \sin \Theta' dz$$

AMPLITUDE SPREJENJE

ZANIMA NAS SEVANJE V FRAUNHOFERJEVI PODROČJU: $r > \frac{2d^2}{\lambda} = \frac{2 \cdot (\frac{\lambda}{2})^2}{\lambda} = \frac{\lambda}{2}$

NE SMOGO ZANEMARITI $e^{-jkr'}$

r' PO KOSINUSNETI IZREKU:

$$r' = \sqrt{r^2 + z^2 - 2rz \cos \Theta}$$

ZA VEKKE RAZDALJE ($r \gg z$):

$$r' \approx \sqrt{r^2(1 - \frac{2z}{r} \cos \Theta)} \approx r(1 - \frac{z}{r} \cos \Theta) = \underline{r - z \cos \Theta}$$

PO FINITU SMO ŽE UPORABILI PRI POJBU ZANKI

$$e^{-jkr'} = e^{-jkr} \cdot e^{jkz \cos \Theta}$$

LAHKO ZANEMARIMO AMPLITUDE SPREJENJE:

$$\vec{I}_\Theta' = \vec{I}_\Theta$$

IN JE $\sin \Theta' \approx \sin \Theta$, $\frac{1}{r'} \approx \frac{1}{r}$

$$\vec{E} = \vec{I}_\Theta \frac{jkz_0}{4\pi} \frac{e^{-jkr}}{r} \sin \Theta \int_{-\lambda/4}^{\lambda/4} \cos kz e^{jkz \cos \Theta} dz$$

$$k \cdot \frac{\lambda}{4} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{4} = \frac{\pi}{2}$$

$$\int_{-\lambda/4}^{\lambda/4} \cos kz \cdot e^{jkz \cos \Theta} dz = \frac{1}{2} \int_{-\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{4}} (e^{j\frac{\pi}{2}(\cos \Theta + 1)} + e^{j\frac{\pi}{2}(\cos \Theta - 1)}) dz =$$

$$= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{jk(\cos \Theta + 1)} e^{jkz(\cos \Theta + 1)} + \frac{1}{jk(\cos \Theta - 1)} e^{jkz(\cos \Theta - 1)} \right]_{-\lambda/4}^{\lambda/4} =$$

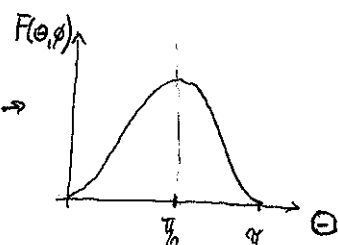
$$= \frac{e^{j\frac{\pi}{2}(\cos \Theta + 1)} - e^{-j\frac{\pi}{2}(\cos \Theta + 1)}}{2jk(\cos \Theta + 1)} + \frac{e^{j\frac{\pi}{2}(\cos \Theta - 1)} - e^{-j\frac{\pi}{2}(\cos \Theta - 1)}}{2jk(\cos \Theta - 1)} = \frac{2j \sin(\frac{\pi}{2}(\cos \Theta + 1))}{2jk(\cos \Theta + 1)} + \frac{2j \sin(\frac{\pi}{2}(\cos \Theta - 1))}{2jk(\cos \Theta - 1)} =$$

$$\sin(\frac{\pi}{2} \cos \Theta - \frac{\pi}{2}) = -\cos(\frac{\pi}{2} \cos \Theta)$$

$$= \frac{\cos(\frac{\pi}{2} \cos \Theta)}{k \cdot (\cos \Theta + 1)} - \frac{\cos(\frac{\pi}{2} \cos \Theta)}{k(\cos \Theta - 1)} = \frac{\cos(\frac{\pi}{2} \cos \Theta) [(\cos \Theta - 1) - (\cos \Theta + 1)]}{k(\cos^2 \Theta - 1)} = \frac{-2 \cos(\frac{\pi}{2} \cos \Theta)}{k \cdot \sin^2 \Theta}$$

$$\vec{E} = \vec{I}_\Theta \frac{jz_0}{2\pi} \frac{e^{-jkr}}{r} \frac{\cos(\frac{\pi}{2} \cos \Theta)}{\sin \Theta}$$

$$F(\Theta, \phi) = \frac{\cos(\frac{\pi}{2} \cos \Theta)}{\sin \Theta}$$



$$R_s = ?$$

$$\vec{S} = \vec{r} \frac{|\vec{E}|^2}{2Z_0} = \vec{r} \frac{Z_0}{8\pi^2} |\vec{I}_g|^2 \cdot \frac{1}{r^2} \left(\frac{\cos(\frac{\pi}{2} \cos \Theta)}{\sin \Theta} \right)^2$$

$$P = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \vec{S} \cdot \vec{r} \cdot r^2 \sin \Theta d\Theta d\varphi = \frac{Z_0}{8\pi^2} |\vec{I}_g|^2 \cdot 2\pi \int_0^\pi \frac{\cos^2(\frac{\pi}{2} \cos \Theta)}{\sin^3 \Theta} d\Theta =$$

TEŽKO ZA REŠIT

$\mathbf{I}$
↳ NE TOLDO

$$P = \frac{Z_0}{4\pi} |\vec{I}_g|^2 \cdot \mathbf{I}$$

$$\hookrightarrow R_s = \frac{Z_0}{2\pi} \cdot \mathbf{I}$$

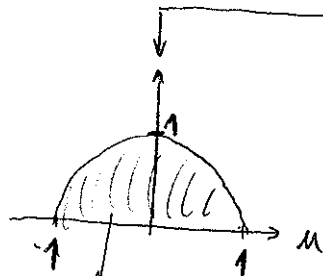
$\sim$
~60Ω

$$\int_0^\pi \frac{\cos^2(\frac{\pi}{2} \cos \Theta)}{\sin^3 \Theta} \sin \Theta d\Theta = \int_{-1}^1 \frac{\cos^2(\frac{\pi}{2} u)}{1-u^2} du \longrightarrow \text{POGLEJMO KASE VEĽIKOSTI}$$

$$u = \cos \Theta$$

$$du = -\sin \Theta d\Theta$$

$$C_i(x) = \int \frac{dx}{\cos x} = ?$$

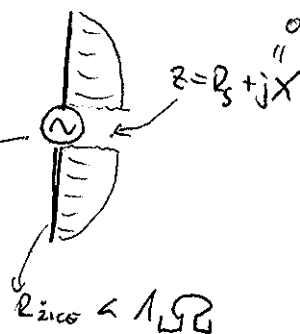


$\mathbf{I} \rightarrow \text{POVRŠINA}$

$$1 < \mathbf{I} < 2$$

$$\mathbf{I} = 1.23 \rightarrow R_s \approx 73 \Omega$$

SMO V HRBTU TOKA,
ZATO SE L IN C VNEITA

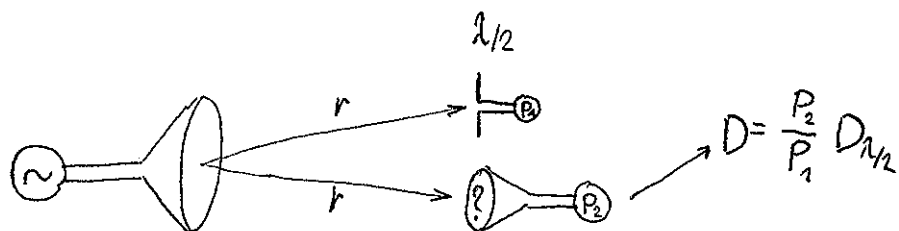


$$\eta = \frac{R_s}{R_s + R_{cm}} \approx 99\%$$

$$D = ?$$

$$D = \frac{4\pi |F(\Theta_{MSV}, \varphi_{MSV})|^2}{\int_{4\pi} |F(\Theta, \varphi)|^2 d\Omega} = \frac{4\pi}{2\pi \cdot \mathbf{I}} = \frac{2}{1.23} = 1.63 = 2.15 \text{ dB}$$

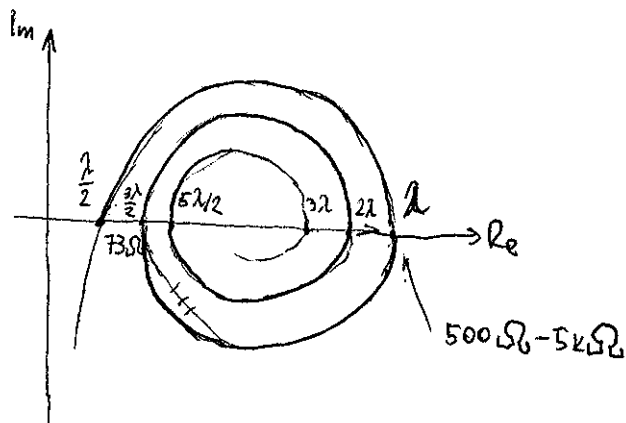
LJUDJE MERJO:



NAPIŠEJO: GLEDE NA DIPOL

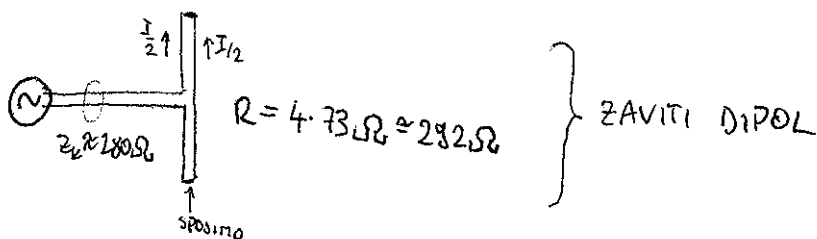
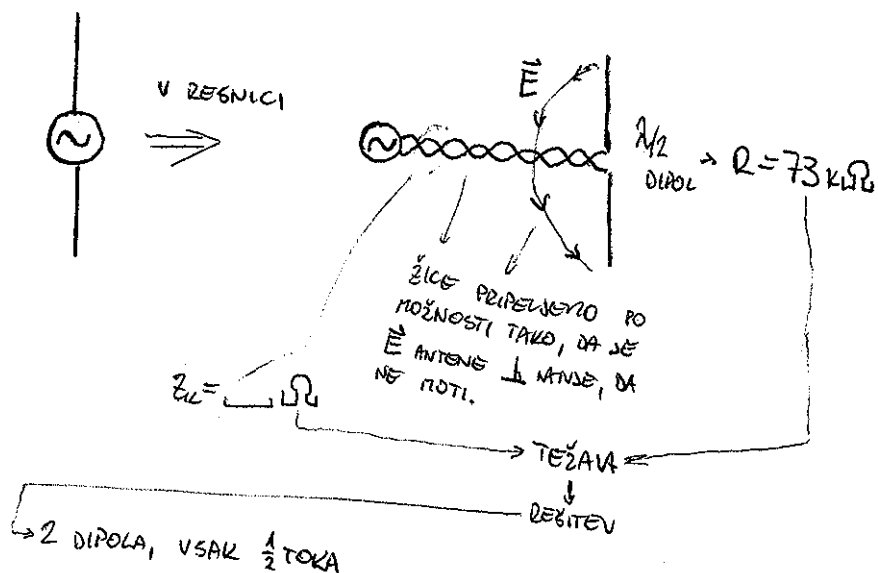
$$D[dB_d] = D[dB_i] - 2.15dB_i$$

IMPEDANCA DIPOLA:

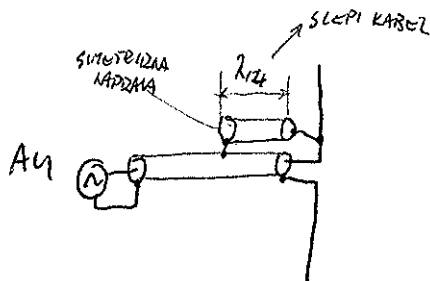
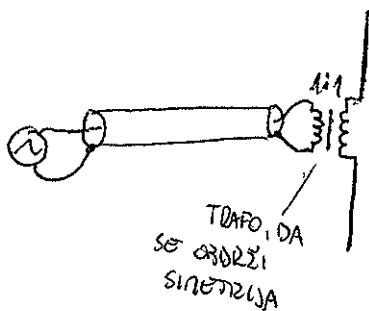


KAKO PRIKLJUČIMO GENERATOR?

SI PREDSTAVIMO:

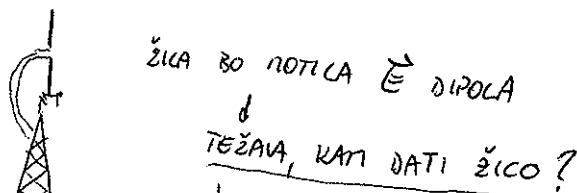
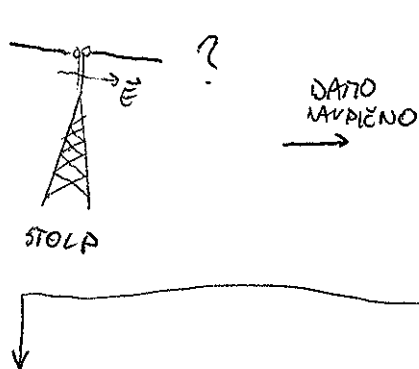


KOAKSIALNI VOD:

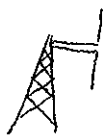


$\frac{\lambda}{4}$ KRATEK STIK PREDSTAVKA V ODPRTI SPONIKI

IMAMO TUJO TEŽAVO



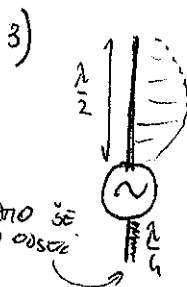
1) DANO DIPOL PROČ



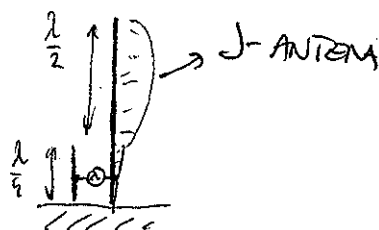
2) ROKAVNI DIPOL



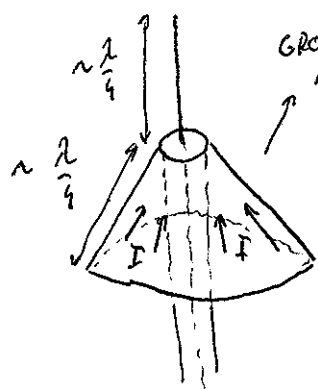
KOAKSIALNI VOD REZJETO PO NOTRANOSTI DIPOLA.
PLAŠČ SKLENENO NA ENI DELE DIPOLA, ŽILO PA NA DRUGI DELE.



→ PRAKSA:

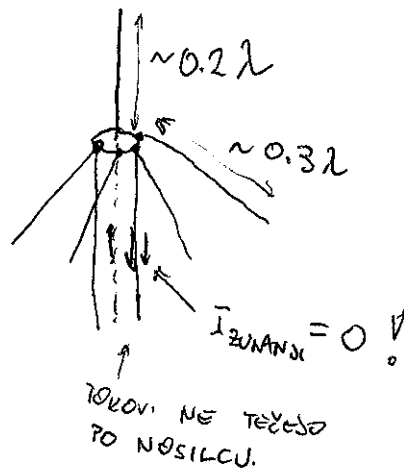


ROKAVNI DIPOL LAHKO NAREJIMO TUDI:



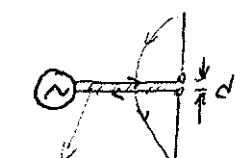
GROUND PLANE
ANTENA

TOK SMO V
RADIALNI SMERI
LAHKO DANO PALČKE



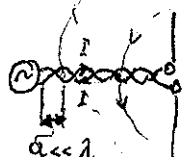
ZADNJIČ: KAKO NAPELJATI VODNIKE DO ANTENE?

13. 10. 22



ZANKICA
SEVA

KAJ LAHKO NAREJIMO?
- d DRŽIMO $\ll \lambda$
- ŽICE PREPLETENI



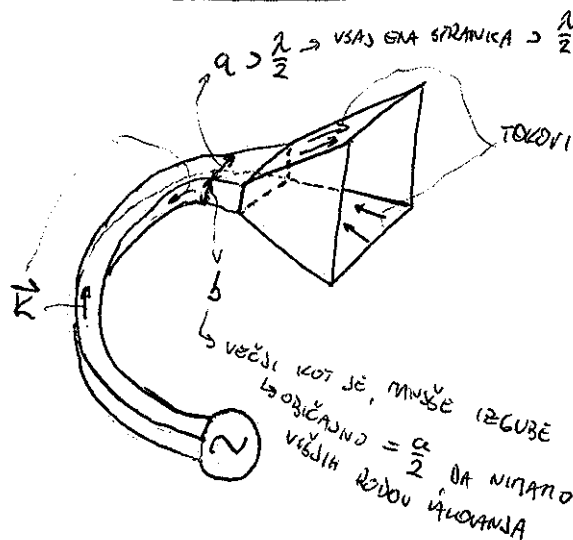
$a \ll \lambda$

POLE SE OOSTEJE

NI VSE REŠLJIVO NA TAK NAČIN

NPR: LIJAKASTE ANTENE

TOKOVI SO PRIMERLJIVI $\approx \lambda$

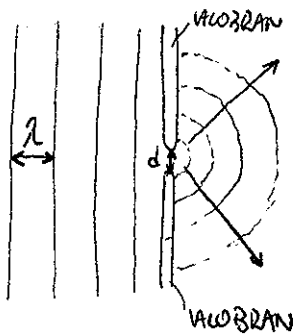


- VALOVOD JE PRIMERLJIV $\approx \lambda$, ZATO NE MOREMO ZANEMARITI
- ZUNAJ VALOVODA NI POLJA

KAKO TO REŠITI?

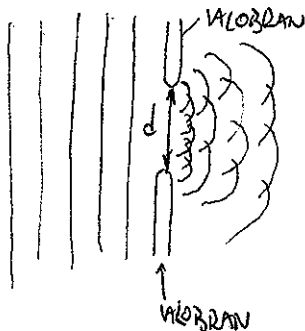
HUYGENS

ŽE 200 LET NAZAD OPAZOVAL VALOVANJE



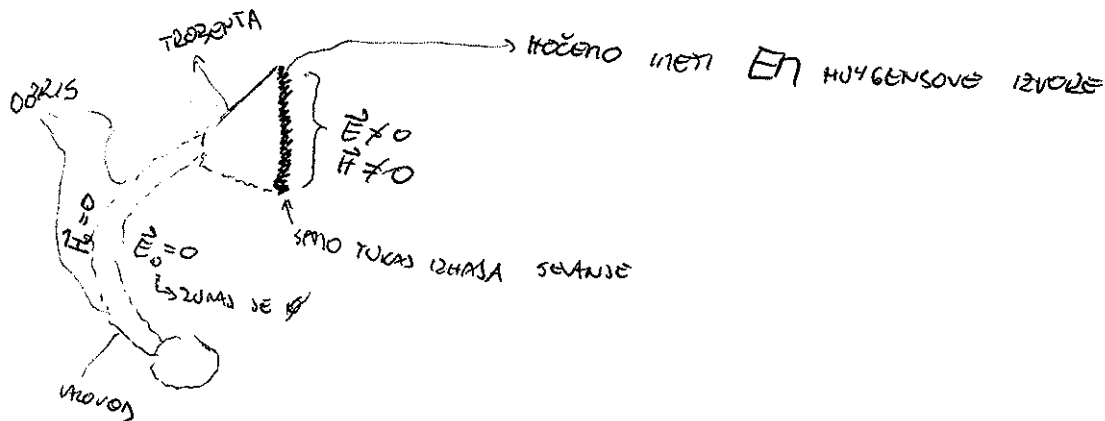
ČE SE $d \ll \lambda$, DOBIMO ZA ODPRTINO VALOVANJE KOT NEKEGA TOČKASTEGA IZVORA.

ČE IMAMO VEČJO ODPRTINO, $d \approx \lambda$:

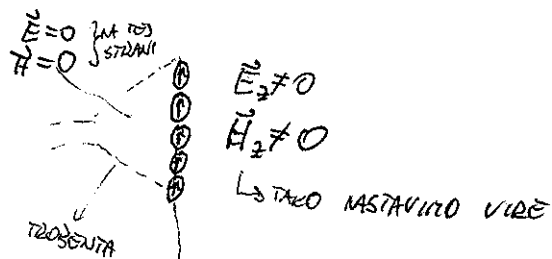


ZA ODPRTINO DOBIMO VSO TO TOČKASTIH (HUYGENSONOVIAH) IZVOROV

PODOBNO ZANISEL UPORABI MO:



$\vec{E}$ in $\vec{H}$ NA ODPRTINI BI MORALI NAPOVEDITI S TOKOVNIMI VIRI:



ZA DOBITI TE NAPOVEDNE VIRE, JE POTREBNO POGLEDATI PRESTOPE POGOJE:

PRESTOPNI POGOJI:

$$(\vec{E}_1 - \vec{E}_2) \times \vec{n} = 0 \rightarrow \text{NI TOROV MAGNETIN}$$

$$(\vec{D}_1 - \vec{D}_2) \cdot \vec{n} = \sigma$$

$$(\vec{H}_1 - \vec{H}_2) \times \vec{n} = \vec{K} \rightarrow \text{PLOSKOVINI TOK}$$

$$(\vec{B}_1 - \vec{B}_2) \cdot \vec{n} = 0 \rightarrow \text{NI MAGNETNIH MABOSEV}$$

TO JE 12. OET I IN OET II

SILNO NEPOJNO ZA NASO NALOGO: MI IMAMO, NA PRIMER, SKOK V $\vec{E}_t$ ($(\vec{E}_1 - \vec{E}_2) \times \vec{n} \neq 0$)
 AMPAK MI NE BOTO DALI RESNIČNIH IZVOROV?
 MI SANO MADDONESTIMO DOGASANJE. VIDI NISO NUJNO IZVEDLJIVI.

RAZŠIRIMO PRESTOPNE POGOJE:

$$(\vec{E}_1 - \vec{E}_2) \times \vec{n} = -\vec{K}_m \rightarrow \text{PLOSKOVINI TOK MAGNETNIH MABOSEV}$$

$$(\vec{D}_1 - \vec{D}_2) \cdot \vec{n} = \sigma$$

$$(\vec{H}_1 - \vec{H}_2) \times \vec{n} = \vec{K}$$

$$(\vec{B}_1 - \vec{B}_2) \cdot \vec{n} = \sigma_m \rightarrow \text{PLOSKOVINI GOSTOTA MAGNETIN}$$

RAČUNSKI PRIPOMOČEK

DOBIMO RAZŠIRJENE MAXWELL-OVE ENAČBE:

$$1) \text{rot } \vec{H} = \vec{J} + j\omega \epsilon \vec{E}$$

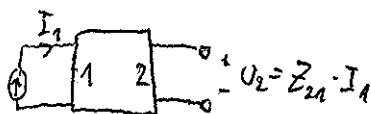
$$2) \text{rot } \vec{E} = -\vec{J}_n - j\omega \vec{H}$$

$$3) \text{div}(\epsilon \vec{E}) = \rho$$

$$4) \text{div}(\mu \vec{H}) = S_m$$

ČE EN RAČUNSKI PRIPOMOČEK BOTO POTREBOVALI:

RECIPROČNOST (LORENTZ)



$$\text{RECIPROČNOST: } Z_{21} = Z_{12}$$

RECIPROČNOST ZA POLJE V PROSTORU:

1) $\text{rot } \vec{H}_1 = \vec{J}_1 + j\omega \epsilon \vec{E}_1 / \vec{E}_2$
 $\text{rot } \vec{E}_1 = -\vec{J}_{m1} - j\omega \mu \vec{H}_1 / \vec{H}_2$

2) $\text{rot } \vec{H}_2 = \vec{J}_2 + j\omega \epsilon \vec{E}_2 / \vec{E}_1$
 $\text{rot } \vec{E}_2 = -\vec{J}_{m2} - j\omega \mu \vec{H}_2 / \vec{H}_1$

POMNOSTI
2 LEVE

$$\vec{E}_2 \cdot \text{rot } \vec{H}_1 = \vec{E}_2 \cdot \vec{J}_1 + j\omega \vec{E}_2 \epsilon \vec{E}_1$$

JE LAHKO TENZOR, ZATO GA PIŠEMO K $\vec{E}_1$

$$\vec{E}_1 \cdot \text{rot } \vec{H}_2 = \vec{E}_1 \cdot \vec{J}_2 + j\omega \vec{E}_1 \epsilon \vec{E}_2$$

ČE JE ϵ SKALAR, JE PREPROST SKALARNI PRODUKT

ODŠTEJENO

SKALAR ALI RECIPROČNI TENZOR

$$\vec{E}_2 \cdot \vec{E}_1 = \vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2$$

$$\vec{E}_2 \cdot \text{rot } \vec{H}_1 - \vec{E}_1 \cdot \text{rot } \vec{H}_2 = \vec{E}_2 \cdot \vec{J}_1 - \vec{E}_1 \cdot \vec{J}_2 + 0$$

PRIVZEMEMO ŠE, DA JE μ SKALAR ALI RECIPROČNI TENZOR:

$$\vec{H}_2 \cdot \text{rot } \vec{E}_1 - \vec{H}_1 \cdot \text{rot } \vec{E}_2 = -\vec{H}_2 \cdot \vec{J}_{m1} + \vec{H}_1 \cdot \vec{J}_{m2} + 0$$

SE SPRAČA INTEG.
PO PROSTORU

$$(\vec{E}_2 \cdot \text{rot } \vec{H}_1 - \vec{H}_1 \cdot \text{rot } \vec{E}_2) + (\vec{H}_2 \cdot \text{rot } \vec{E}_1 - \vec{E}_1 \cdot \text{rot } \vec{H}_2) = \vec{E}_2 \cdot \vec{J}_1 - \vec{E}_1 \cdot \vec{J}_2 - \vec{H}_2 \cdot \vec{J}_{m1} + \vec{H}_1 \cdot \vec{J}_{m2} / \int_V$$

$$\int_V ((\vec{E}_2 \cdot \text{rot } \vec{H}_1 - \vec{H}_1 \cdot \text{rot } \vec{E}_2) + (\vec{H}_2 \cdot \text{rot } \vec{E}_1 - \vec{E}_1 \cdot \text{rot } \vec{H}_2)) dV = \int_V [\text{div}(\vec{H}_1 \times \vec{E}_2) + \text{div}(\vec{E}_1 \times \vec{H}_2)] dV =$$

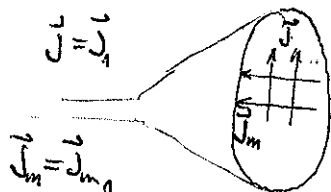
↑
STOKES
LO?

GAUSS

$$= \oint_{A=\infty} [\vec{H}_1 \times \vec{E}_2 + \vec{E}_1 \times \vec{H}_2] \cdot \vec{n} dA = 0 = \int_V (\vec{E}_2 \cdot \vec{J}_1 - \vec{E}_1 \cdot \vec{J}_2 - \vec{H}_2 \cdot \vec{J}_{m1} + \vec{H}_1 \cdot \vec{J}_{m2}) dV$$

V NESKONČNOSTI IMAMO EN $\vec{E}_1$ EN $\vec{H}_1$,
 KI STA $\perp$ MED SABO.
 TA DVA ČLENA IMATA ZATO ENAKO VELIKOST,
 A RAZLIČEN POKLONILNOST IN SE UNIČITA.

1) ANTENA



2) SONDA

$$\left. \begin{matrix} \vec{J}_s = \vec{J}_2 \\ \vec{J}_{m2} = 0 \end{matrix} \right\} \text{SI IZBEREMO TAKO SONDO}$$

↓

$$\int_V (\vec{E}_s \cdot \vec{J} - \vec{E} \cdot \vec{J}_s - \vec{H}_s \cdot \vec{J}_m + 0) = 0$$

→ SMO SI IZBRALI, DA $\vec{J}_m = 0$

$$\int_V (\vec{E}_s \cdot \vec{J}_s) dV = \int_V (\vec{E}_s \cdot \vec{J} - \vec{H}_s \cdot \vec{J}_m) dV$$

→ $\neq 0$ SMO PO V SONDE

→ $\neq 0$ SMO PO V PORENCA

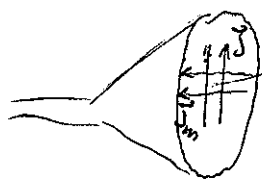
NAJ BO SONDA TOKOVNI ELEMENT: $l \ll \lambda$

$$\int_{V_{\text{SONDE}}} \vec{E} \cdot \vec{J}_s dV \approx \vec{E} \cdot \vec{J}_s \cdot I_s l_s = \vec{E} \cdot \vec{J}_s I_s l_s \quad \left(= \int_V (\vec{E}_s \cdot \vec{J} - \vec{H}_s \cdot \vec{J}_m) dV \right)$$

→ KUR JE
TOKOVNI ELEMENT
MASHINEN

$$J = \frac{I}{A}$$

$$J \cdot V = I \cdot l$$



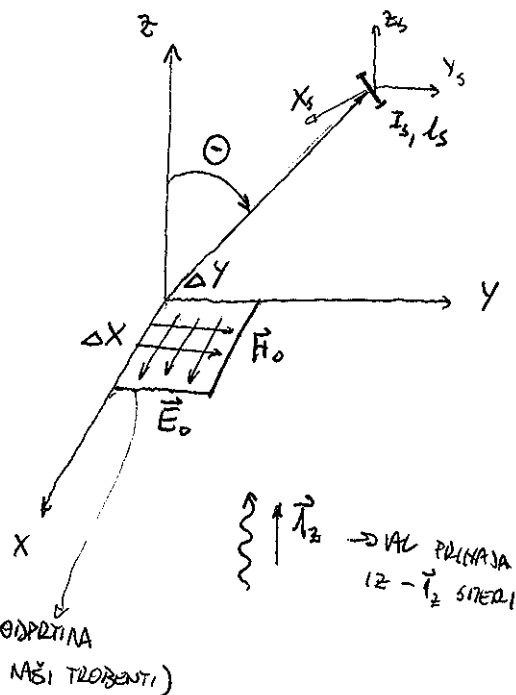
$$\begin{cases} \vec{E}_s = \vec{r}_0 \frac{j k^2}{4\pi} I_s l_s \frac{e^{-jkr}}{r} \sin \Theta_s \\ \vec{H}_s = \vec{r}_0 \frac{jk}{4\pi} I_s l_s \frac{e^{-jkr}}{r} \sin \Theta_s \end{cases}$$

POLE TOKOVNEGA EL.
→ SMO SONDE

$$\vec{E} \cdot \vec{J}_s = \frac{1}{I_s l_s} \int_V (\vec{E}_s \cdot \vec{J} - \vec{H}_s \cdot \vec{J}_m) dV$$

EL. POLE IMA VEČ KOMPONENT
→ BO TREBA OBRACATI SONDO

EN HUYGENSONOV IZVOR → $\Delta x, \Delta y \ll \lambda$



$$\begin{cases} \vec{E}_0 = \vec{r}_0 E_0 \\ \vec{H}_0 = \vec{r}_0 \frac{E_0}{Z_0} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \vec{E}_1 = \vec{r}_0 \frac{j k^2}{4\pi} I_s l_s \frac{e^{-jkr}}{r} \sin \Theta_s \\ \vec{H}_1 = \vec{r}_0 \frac{jk}{4\pi} I_s l_s \frac{e^{-jkr}}{r} \sin \Theta_s \end{cases} \quad \left. \begin{array}{l} \text{SAMO} \\ \text{SONDE} \end{array} \right\}$$

SONDA IMA LASTEN KOOR. SISTEM, ~~BARJAKA~~

RAZDALJA JE ENAKA: $r = r_s$

POLEJ MORAMO MADOTESTITI S TOKOM:

$$\begin{aligned} \vec{k} &= \vec{r}_2 \times \vec{H}_0 = -\vec{r}_1 \frac{E_0}{Z_0} \\ \vec{k}_m &= -\vec{r}_2 \times \vec{E}_0 = -\vec{r}_1 E_0 \end{aligned}$$

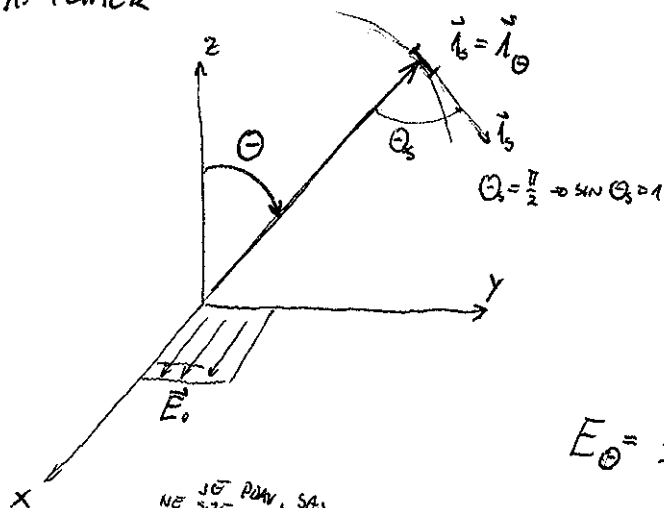
POGLEJTO, KAJ BOMO RAČUNALI ZA SONDO:

$$E_r \rightarrow \vec{l}_s = \vec{l}_r \quad (\text{SONDA NI} \Rightarrow E_r = 0)$$

$$E_\theta \rightarrow \vec{l}_s = \vec{l}_\theta \quad \left. \vphantom{E_\theta} \right\} ?$$

$$E_\phi \rightarrow \vec{l}_s = \vec{l}_\phi$$

1. PRIMER



$$\vec{E}_s = \vec{l}_{\theta_s} \frac{j k z_0}{4\pi} \vec{l}_s \cdot \vec{l}_s \frac{e^{-jkr}}{r}$$

$$\vec{H}_s = \vec{l}_{\phi_s} \frac{j k}{4\pi} \vec{l}_s l_s \frac{e^{-jkr}}{r}$$

SONDA JE V SMERU $\vec{l}_\theta$, Torej RAČUNAMO $\vec{E}_\theta$:

$$E_\theta = \frac{1}{\vec{l}_s l_s} \int_V (\vec{E}_s \cdot \vec{l}_s - \vec{H}_s \cdot \vec{l}_m) dV = \frac{1}{\vec{l}_s l_s} \int_A (\vec{E}_s \cdot \vec{k} - \vec{H}_s \cdot \vec{k}_m) \cdot dA =$$

$$E_\theta = \frac{1}{\vec{l}_s l_s} \int_{\Delta x, \Delta y} \left(\frac{j k z_0}{4\pi} \vec{l}_s l_s \frac{e^{-jkr}}{r} \vec{l}_{\theta_s} \cdot (-\vec{l}_x) \frac{E_0}{z_0} - \frac{j k}{4\pi} \vec{l}_s l_s \frac{e^{-jkr}}{r} \vec{l}_{\phi_s} \cdot (\vec{l}_y) E_0 \right) dx dy$$

$$E_\theta = \frac{j k}{4\pi} E_0 \Delta x \Delta y \left[-\vec{l}_{\theta_s} \cdot \vec{l}_x + \vec{l}_{\phi_s} \cdot \vec{l}_y \right] \frac{e^{-jkr}}{r} = \frac{j}{2\lambda} E_0 \Delta x \Delta y \frac{e^{-jkr}}{r} [\cos \theta \cos \phi + \cos \phi]$$

ZA MAJHNE PLOŠČINE

$$E_\phi = \frac{j k}{4\pi} E_0 \Delta x \Delta y \left[-\vec{l}_{\theta_s} \cdot \vec{l}_x + \vec{l}_{\phi_s} \cdot \vec{l}_y \right] = \frac{j}{2\lambda} E_0 \Delta x \Delta y \frac{e^{-jkr}}{r} [-\cos \theta \sin \phi - \sin \phi]$$

SONDA V SMERU $\vec{l}_\phi$

$$E_r = 0$$

$$\vec{E} = (\vec{l}_\theta \cos \phi - \vec{l}_\phi \sin \phi) \frac{j}{2\lambda} E_0 \Delta x \Delta y \frac{e^{-jkr}}{r} (\cos \theta + 1) \rightarrow F(\theta, \phi) \rightarrow \text{NI PRAV TOČKAST}$$

JAKOST IZVORA

→ SMO SEVANJE

MA SMERNI DIAGRAM

ENOTNI VEKTOR

↓
POLARIZACIJA

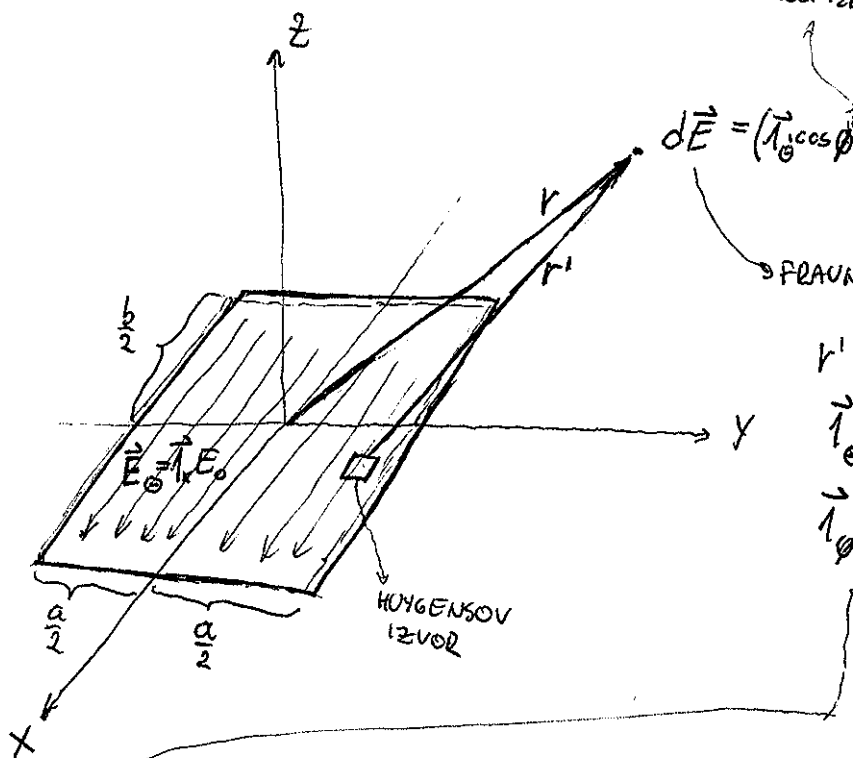
$$\text{ZA MAJHNE } \theta: \vec{l}_\theta \cos \phi - \vec{l}_\phi \sin \phi \approx \vec{l}_x$$

PAI OSI Z

MI IMAMO VEČJO ODPRTINO:

ČRTE, KER NIŠTO
V KOA IZHODIŠČU

KER NI NUSNO, DA JE
ODPRTINA ENAKOTIČNO OSVETLENA



$$d\vec{E} = (\vec{i}_\theta \cos \theta' - \vec{j}_\phi \sin \theta') \frac{j}{2\lambda} E_0(x, y) dx dy \frac{e^{-jk r'}}{r'} (\cos \theta' + 1)$$

FRAUNHOFER: $r \gg \frac{2d^2}{\lambda}$

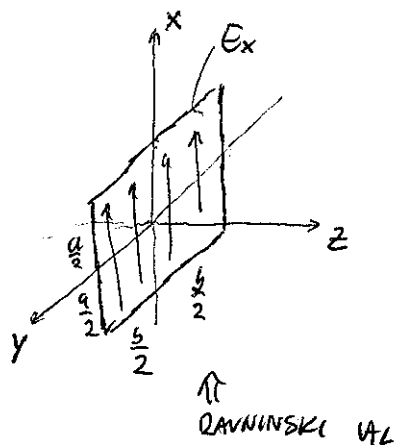
r' NI BO SPREMENIL SMO FAZO:

$$\begin{aligned} \vec{i}_\theta &\approx \vec{i}_0 & \theta &\approx 0 & \frac{1}{r} &\approx \frac{1}{r} \\ \vec{i}_{\theta'} &\approx \vec{i}_\theta & \theta' &\approx \theta & e^{-jk r'} &\neq e^{-jk r} \end{aligned}$$

$$\vec{E} = \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} d\vec{E} = (\vec{i}_\theta \cos \theta - \vec{j}_\phi \sin \theta) \frac{j}{2\lambda} (\cos \theta + 1) \frac{1}{r} \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} E_0(x, y) e^{-jk r'} dx dy$$

POGLEJTO SI TA ZANIMIVO STVAR.

ALI LAHKO NAJDEMO KARKOLI OD SREDNOSTI?



POGLEJTO SI SREDNOSTI V Z-SMERI.
(UPAMO, DA BO E NAVSEJA V TEJ SMERI)

$$D(\theta=0, \phi)$$

$$D = \frac{|\vec{S}_{max}|}{|\vec{S}_i|} = \frac{\frac{|\vec{E}_{max}|^2}{2Z_0}}{\frac{P}{4\pi r^2}} = \frac{4\pi r^2 \frac{1}{4\lambda^2} (1+1)^2 \cdot \frac{1}{r^2} \left| \int_A E_0(x, y) e^{-jk r'} dA \right|^2}{2Z_0 \int_A \frac{|E_0(x, y)|^2}{2Z_0} dx dy}$$

$$\left\{ P = \text{moč skozi} = \int_{a,b} S_0 dA = \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} \frac{|E_0(x, y)|^2}{2Z_0} dx dy \right\}$$

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} \frac{\left| \int_A |E_0(x, y)| dx dy \right|^2}{\int_A |E_0(x, y)|^2 dx dy}$$

$\theta=0 \Rightarrow e^{-jk r'} \approx e^{-jk r}$
↓
Kvadratna
Mreža
faze
↓
konst. pri $\int$

$$D = D(E_0(x, y))$$

OSVETLITEV
ODPRTINE

ZGLEDI

$$E_0(x, y) = E_0 = \text{konst} \rightarrow \text{ENAKOMERNO OSVETLJENA ODPRITINA}$$

↓
ODPRITINE

$$D = \frac{4\pi |E_0|^2 \cdot A^2}{\lambda^2 |E_0|^2 \cdot A} = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A \rightarrow \text{DRŽI TAKRAT, KO SE ODPRITINA ENAKOMERNO OSVETLJENA}$$

ČE $E_0(x, y) = A(x, y) e^{j\phi(x, y)} \rightarrow$ DOBIMO MANJ, KER SE FAZNA ODVISNOST POZNA NA GORNJEM INTEGRALU
 ↳ DOBIMO MANJ, KER SE INTEGRAL V IMENOVALCU VEČJI

KOBI SE APIŠE:

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{\text{eff}}^2$$

$$A_{\text{eff}} = \eta_0 A$$

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} \eta_0^2 A$$

ZA NEKO
DRUGO ANTENO

↳ "MAGNETIZIRAN ODPRITINE"

ČE $E_0 = \text{konst}$

$\eta_0 = 100\%$

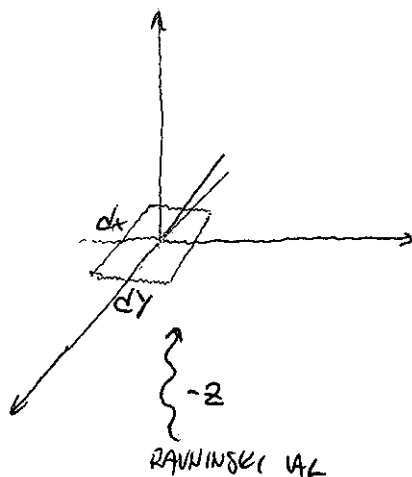
$$A_{\text{eff}} = \frac{\left| \int_A E_0(x, y) dx dy \right|^2}{A \cdot \int_A |E_0(x, y)|^2 dx dy}$$

$$\eta_0 = \frac{A_{\text{eff}}}{A} = \frac{\left| \int_A E_0(x, y) dx dy \right|^2}{A \cdot \int_A |E_0(x, y)|^2 dx dy}$$

ZADANJE:

13. 10. 29

EM HUYGENSOV IZVOR



$$d\vec{E} = (\vec{I}_0 \cos \phi - \vec{I}_0 \sin \phi) \frac{j}{2\lambda} E_0 dx dy \frac{e^{jkr}}{r} (1 + \cos \theta) @ \vec{E}_0 = E_0 \vec{I}_x$$

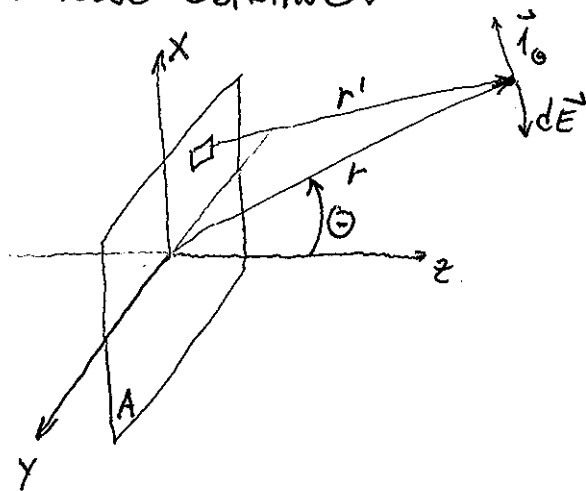
$$d\vec{E} = (\vec{I}_0 \sin \phi + \vec{I}_0 \cos \phi) \frac{j}{2\lambda} E_0 dx dy \frac{e^{jkr}}{r} (1 + \cos \theta) @ \vec{E}_0 = E_0 \vec{I}_y$$

ČE IMAMO POLJE V OBEH SMEREH, SEŠTEJENO OBE KONONENTI.

TO VELJA ZA MAJHNO ODPRITINO.



ZA VEČJO ODPRTINO:



FRAUNHOFER:

$$\vec{r}' \approx \vec{r}$$

$$\vec{r}' \approx \vec{r}$$

$$\frac{1}{r'} \approx \frac{1}{r}$$

$$e^{-jkr'} \neq e^{-jkr}$$

ZADNJO SMO GLEDALI POLJE NA OSI Z IN RAČUNALI SREDNOST:

$$D = \frac{4\pi \left| \int_A E_0(x,y) dx dy \right|^2}{\lambda^2 \int_A |E_0(x,y)|^2 dx dy} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{eff} \rightarrow \text{SEDAS VENO, KAKO NAREDITI POLOVNO SREDNOST}$$

$$A_{eff} = A \cdot m_0$$

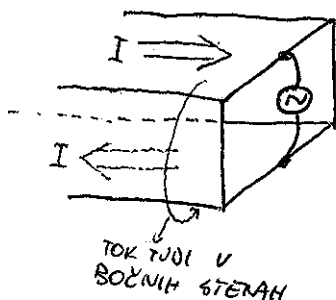
TEŽAVA JE, DA JE VEČINO VALOVANJA IZGUBLJENEGA → VENO DOBIMO SAMO, KAR PRIDE SKOZI ODPRTINO.
SI MORAMO POGLADATI NAPRAVO, KI BI NA SAMI ODPRTINI USTVARJALA TAKO E IN H POLJE KOT ZASLON:

VALOVOD

→ VISOKE FREKVENCE GLEDJO SKOZI (NPR SVETLOBA), NIZKE NE.

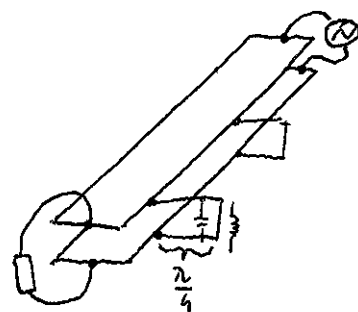
PONOVI TEV IZ ELEKTRODINAMIKE:

PRAVOKOTNI KOVINSKI VALOVOD:

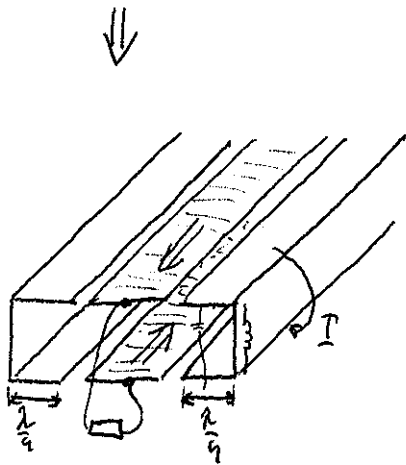


OD KJE JE PRIŠLO?

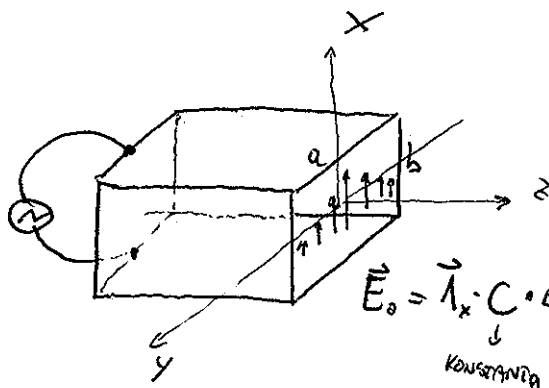
TRAKASTI DVOVOD ⇒



TEŽAVA: DVOVOD NE SPODI SKUPAJ, → DAMO PODPORNIKE, KOT KRATEK STIK. ČE NAREDIMO, DA BOSTA L IN C KOT NIHAJNI KROG, NE BO POTNO. NIHAJNI KROG BO, KO BO $l = \frac{\lambda}{4}$.



BOLJ TOČNA RAZLAGA:



$$\vec{E}_0 = \underbrace{\vec{\lambda}_x \cdot C}_{\text{konstantna}} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{a}y\right) e^{-j\beta z} \rightarrow \text{POLJE PRA PROTI ROBU.}$$

REKLI SMO ŠE, DA MORAJ BITI:

$$\left(\frac{\pi}{a}\right)^2 + \beta^2 = k^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0$$

$$\downarrow \text{če } a > \frac{\lambda}{2} \rightarrow \beta > 0$$

KAK PA $\vec{H}$?

2. MAXWELL-OVA ENAČBA:

$$\vec{H} = \frac{j}{\omega \mu} \text{rot } \vec{E} = \frac{j}{\omega \mu} \begin{vmatrix} \vec{\lambda}_x & \vec{\lambda}_y & \vec{\lambda}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ C \cos \frac{\pi}{a} y \cdot e^{-j\beta z} & 0 & 0 \end{vmatrix} = \underbrace{\vec{\lambda}_y \frac{\beta}{\omega \mu} \cdot C \cdot \cos \frac{\pi}{a} y \cdot e^{-j\beta z}}_{\text{DELOVNA KOMPONENTA}} + \underbrace{\vec{\lambda}_z \frac{j \frac{\pi}{a}}{\omega \mu} \cdot C \cdot \sin \frac{\pi}{a} y \cdot e^{-j\beta z}}_{\substack{\text{JALOVA KOMPONENTA} \\ \downarrow \\ \text{ TOKOVI PO 4 STRANSKI STENI}}}$$

ČE SE VOJ KONČA, SO TO ODPRIJE STRANKE?

PR. VALOVNI NE!

ČE SE OV KONČA IN a, b, λ ZAČNE SEVATI $\rightarrow$ HUYGENISOV IZVOR!

ZA OBČAJEN VALOV:

90% PREPUŠČAJA VALA SE IZSEVA, 10% SE ODPRIJE $\rightarrow$ DOBRA ANTENA!

ZA VEČJE SE ODPRIJE MANJ.

LANKO IZRAČUNANO D

$$\eta_0 = \frac{|\int_A E_0 dx dy|^2}{A \cdot \int_A |E_0|^2 dx dy} = \frac{|\int_A C \cdot \cos(\frac{\pi}{a} y) dx dy|^2}{A \cdot \int_A |C \cdot \cos(\frac{\pi}{a} y)|^2 dx dy} = \frac{|\int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} C \cdot \cos \frac{\pi}{a} y dx dy|^2}{a \cdot b \cdot \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} |C|^2 \cos^2 \frac{\pi}{a} y dx dy} =$$

$$= \frac{|C|^2 b^2 \left| \frac{a}{\pi} \sin(\frac{\pi}{a} y) \right|_{-a/2}^{a/2}|^2}{a \cdot b \cdot |C|^2 b \int_{-a/2}^{a/2} (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos(\frac{2\pi}{a} y)) dy} = \frac{\frac{a^2}{\pi^2} \cdot 2^2}{a \cdot \frac{a}{2}} = \frac{8}{\pi^2} \approx 82\%$$

→ če smo na osi z=0

ZGLED:

KOLIKO BI BILA SREDNOST TAKE ANTENE:

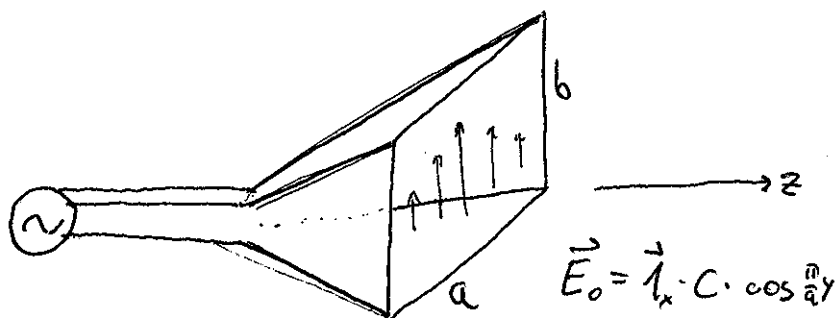
$a = \lambda$, $b = \frac{\lambda}{2}$ → NA PRIMER

$$A = a \cdot b = \frac{\lambda^2}{2}$$

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A \cdot \eta_0 = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot \frac{\lambda^2}{2} \cdot \frac{8}{\pi^2} = \frac{16}{\pi} \approx 5 = 7 \text{ dBi}$$

KAM SEDAJ TA STAR SVETI?
(SMO GLEDALI SAMO NA OSI Z...)

ČE ŽELIMO VEČJO SREDNOST, MORAMO DATI TROBEVITO → GA RAZŠIRIMO
ČE ODPRITNO POČASI ŠIRIMO, SE SLIKA PEČJA OHRANJA, (NE DOBIMO VIŠJIH ZODOV)



ZANIMA NAS SREDNI DIAGRAM.

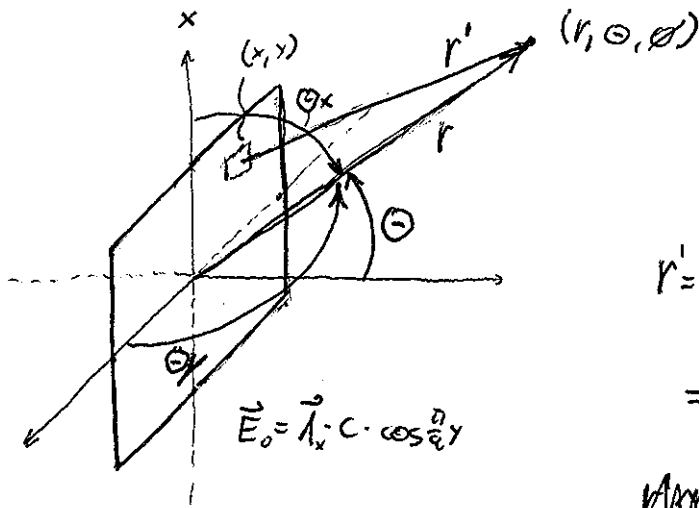
$$\vec{E} = \int d\vec{E} = \int_A (\vec{i}_\theta \cos \varphi - \vec{i}_\phi \sin \varphi) \frac{j}{2\lambda} E_0(x, y) dx dy \cdot \frac{e^{-jk_0 r}}{r} (1 + \cos \Theta)$$

$$= \underbrace{(\vec{i}_\theta \cos \varphi - \vec{i}_\phi \sin \varphi) \frac{j}{2\lambda} \cdot \frac{1}{r}}_{\text{KONSTANTA PA I INTEGRIRANJE}} \int_A E_0(x, y) dx dy$$

$$r' = ?$$



r' :



$$r' = \sqrt{(r \sin \Theta \cos \phi - x)^2 + (r \sin \Theta \sin \phi - y)^2 + (r \cos \Theta)^2} =$$

$$= \sqrt{\underbrace{r^2}_{\text{value}} + \underbrace{x^2 + y^2}_{\text{maxima}} - 2rx \sin \Theta \cos \phi - 2ry \sin \Theta \sin \phi} =$$

$r \gg x, y$

$$r' = r - x \sin \Theta \cos \phi - y \sin \Theta \sin \phi =$$

$$= r - x \cos \Theta_x - y \cos \Theta_y,$$

FRAUNHOFER: $r \gg \frac{2d^2}{\lambda}$

$$\rightarrow e^{-jkr'} = e^{-jkr} \cdot e^{jkx \cos \Theta_x} \cdot e^{jky \cos \Theta_y}$$

$$\vec{E} = (\vec{\lambda}_\theta \cos \phi - \vec{\lambda}_\phi \sin \phi) \frac{j}{2\lambda} C \frac{e^{-jkr}}{r} (1 + \cos \Theta) \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} \cos \frac{\pi}{2} y e^{jkx \cos \Theta_x} e^{jky \cos \Theta_y} dx dy$$

↑ INTEGRATE TO X

$$\Rightarrow I_x = \int_{-b/2}^{b/2} e^{jk \cos \Theta_x} dx = \frac{1}{jk \cos \Theta_x} e^{jkx \cos \Theta_x} \Big|_{-b/2}^{b/2} = \frac{e^{jk \frac{b}{2} \cos \Theta_x} - e^{-jk \frac{b}{2} \cos \Theta_x}}{jk \cos \Theta_x} = \frac{2j \sin(\frac{kb}{2} \cos \Theta_x)}{jk \cos \Theta_x} \cdot \frac{b}{2} =$$

$$I_x = b \cdot \frac{\sin(\frac{kb}{2} \cos \Theta_x)}{\frac{kb}{2} \cos \Theta_x}$$

$$I_y = \int_{-a/2}^{a/2} \cos(\frac{\pi}{2} y) e^{jky \cos \Theta_y} dy = \frac{1}{2} \int_{-a/2}^{a/2} [e^{j(k \cos \Theta_y + \frac{\pi}{a})y} + e^{j(k \cos \Theta_y - \frac{\pi}{a})y}] dy =$$

$$= \frac{2j \sin(\frac{a}{2}(k \cos \Theta_y + \frac{\pi}{a}))}{2j(k \cos \Theta_y + \frac{\pi}{a})} + \frac{2j \sin(\frac{a}{2}(k \cos \Theta_y - \frac{\pi}{a}))}{2j(k \cos \Theta_y - \frac{\pi}{a})} = \frac{\cos(\frac{ka}{2} \cos \Theta_y)}{k \cos \Theta_y + \frac{\pi}{a}} - \frac{\cos(\frac{ka}{2} \cos \Theta_y)}{k \cos \Theta_y - \frac{\pi}{a}} =$$

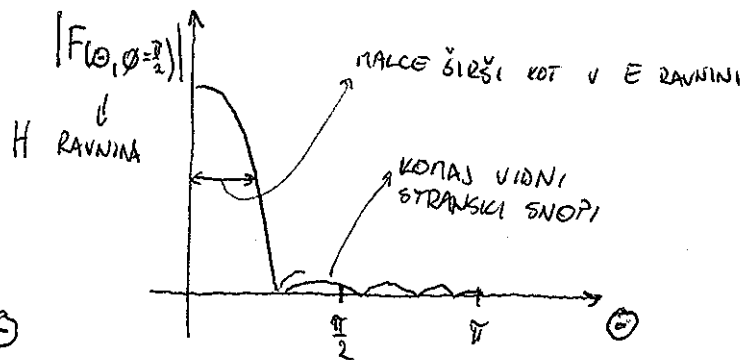
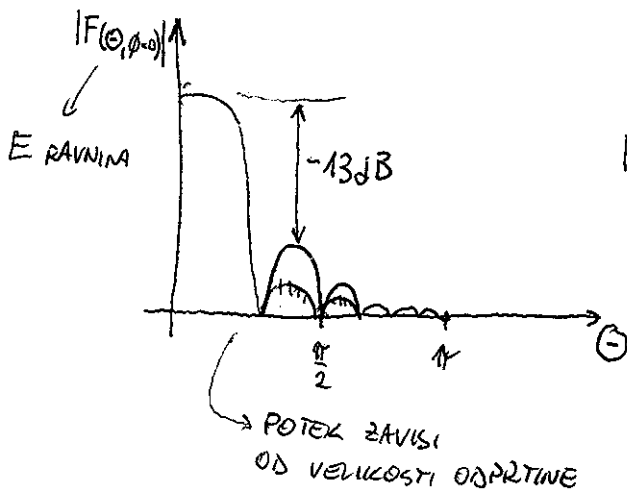
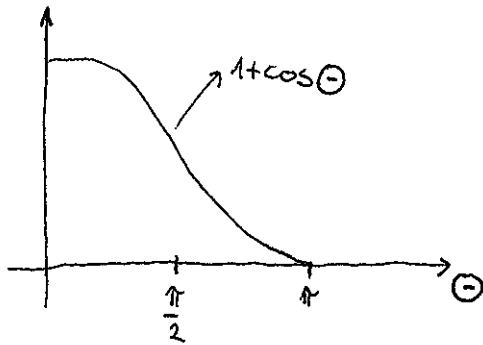
$$I_y = \frac{-2 \cdot \frac{\pi}{a} \cos(\frac{ka}{2} \cos \Theta_y)}{k^2 \cos^2 \Theta_y - (\frac{\pi}{a})^2} \cdot \left(\frac{a}{\pi}\right)^2 = a \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\cos(\frac{ka}{2} \cos \Theta_y)}{1 - \left(\frac{ka}{\pi}\right)^2 \cos^2 \Theta_y}$$

ZAPIŠIMO ČEZ $\vec{E}$:

$$\vec{E} = (\vec{I}_0 \cos \phi - \vec{I}_\phi \sin \phi) \frac{jC}{2\lambda} \left(\frac{2ab}{\pi} \right) \frac{e^{-jkr}}{r} \underbrace{(1 + \cos \Theta) \frac{\sin(\frac{k_b}{2} \cos \Theta_x)}{\frac{k_b}{2} \cos \Theta_x} \cdot \frac{\cos(\frac{k_a}{2} \cos \Theta_y)}{1 - (\frac{k_a}{\pi})^2 \cos^2 \Theta_y}}_{\substack{\text{SREDNI} \\ \text{DIAGRAM} \\ F(\Theta, \phi)}}$$

↑
JAKOST
IZVORA

ČE SI POSKUSIMO SKICIRAT:

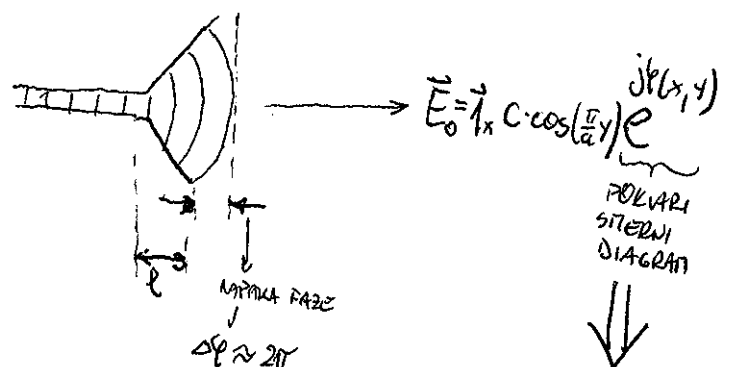
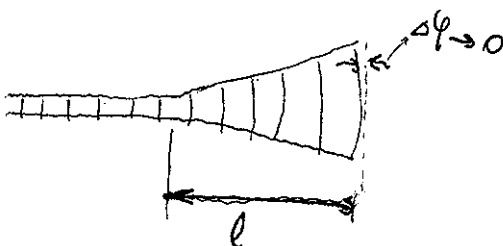


PRI VSEH TEH SMO PREDPOSTAVILI DOLGO ANTENO! (POČASNA RAZŠIRITEV TROBENTE)

KAJ NAS PRI TEH ANTENAH V BISTVU NAJBOLJ BOLE?

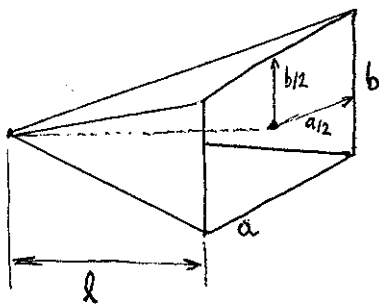
FRAUNHOFER...

STRANSKI RIS:



KOLIKO JE LAHKO TA FAZNA NAPAKA?

NARIŠIMO SI PIRAMIDNO TROBENTO:



$l \gg a, b$

$$r = \sqrt{l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2} \approx l + \frac{a^2 + b^2}{8l}$$

$$\Delta \phi_{\text{NAJUV}} = (k \cdot r) - (k \cdot l) \approx k \cdot \frac{a^2 + b^2}{8l} = \frac{\pi(a^2 + b^2)}{4l \cdot \lambda}$$

KVADRAT
PREŽNIH
RAZSEŽNOSTI } KVADRATNA
NAPAKA
FAZE

KAKO POMENITNA JE TA NAPAKA?

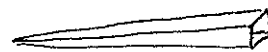
$\Delta \phi$	$\approx \Delta G$ → KOLIKO DOBITKA IZGUBIMO → ZA ENAKOSTRANNO KROŽNO OSMERTINO
2π	$-\infty \text{ dB} \rightarrow ?$ NE VEMO, KER JE TOLIKO NAPAKE
π	-4 dB
$\pi/2$	$-1 \text{ dB} \rightarrow$ SI IZBEREMO ZA MERILO $\rightarrow \Delta \phi_{\text{NAJUV}} = \frac{\pi}{2} = \frac{\pi(a^2 + b^2)}{4l \cdot \lambda}$
$\pi/4$	$-\frac{1}{4} \text{ dB}$

$$l_u = \frac{a^2 + b^2}{2\lambda}$$

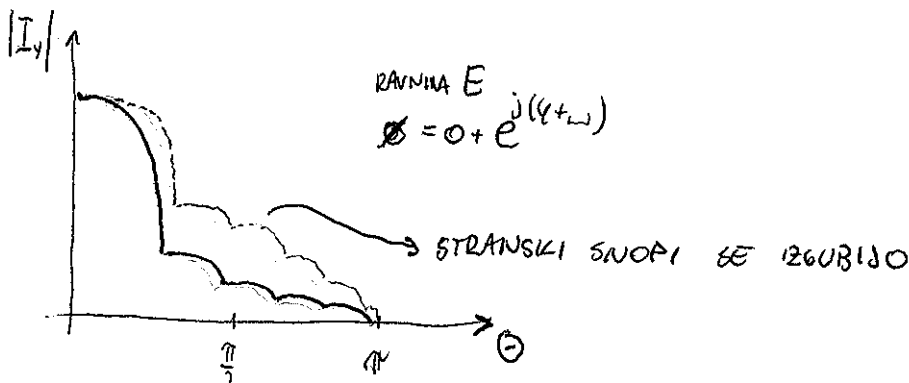
ZGLED:

SPREJEMNIK ZA SATELITSKO TELEVIZIJO, $f = 12 \text{ GHz}$ ($\lambda = 2.5 \text{ cm}$), $a = b = 50 \text{ cm} \rightarrow$ SI IZBEREMO

$$l_u = \frac{2500 \text{ cm}^2 + 2500 \text{ cm}^2}{2 \cdot 2.5 \text{ cm}} = 1000 \text{ cm} = 10 \text{ m} \rightarrow \text{DOLGO}$$

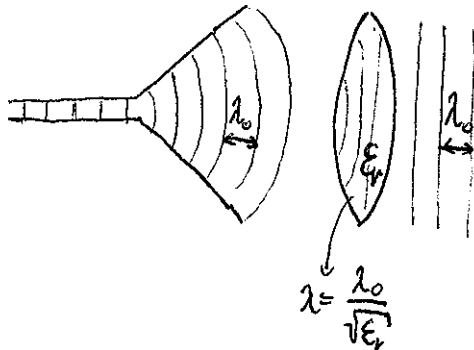


ŠE EN STRANSKI POJAV, KI SE ZGODI PRI NAPAKI FAZE:

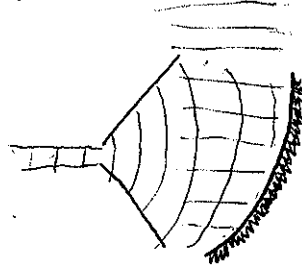


MORAMO ŠE REŠITI: KAKO NAREĐITI MANJŠO ANTENO?
 KAKŠNE PROTIUKREPE IMAMO?
 KAKO POPRAVITI KVADRATNO NAPAKO FAZE?

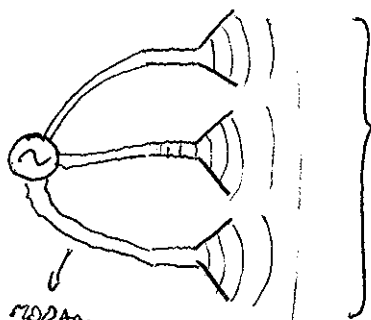
1) ZBIRALNA LEČA Z DIELEKTRIKOM



2) ODOBNO ZRCALO



3) VEČ MANJŠIH ANTEN VZPOREDNO



SKUPINA
MANJŠIH
VIROV

→ KER NAPAKA FAZE NARAŠČA S KVADRATOM RAZSEŽNOSTI,
 DOBIMO Z MANJŠANJEM RAZSEŽNOSTI UPAD NAPAKE
 S KVADRATOM

↳ MANJŠE ANTENE, MANJ NAPAKE

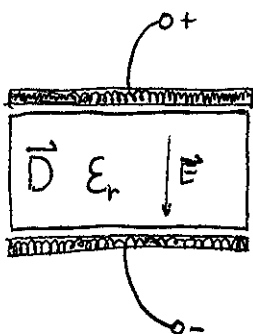
POGLEJMO SI 1. REŠITEV:

TEŽAVA: POTREBUJEMO VELIKO DIELEKTRIKA ZA VELIKO ANTENO (VELIKOST, MASA → NEPODOBNO)

KAKO REŠITI?

↳ ZA LEČO POTREBUJEMO DIELEKTRIK.

POMAGAJO SI S KONDEZATORJETI:



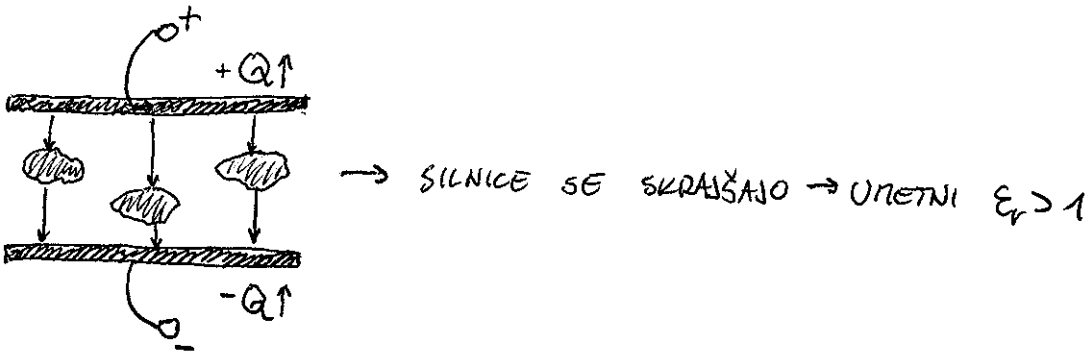
SE DA ŠE KAKO DRUGAČE NAREĐITI ϵ_r ?

↳ LAHKO POVEČAMO KOLIČINO NABOJA NA PLOŠČAH!

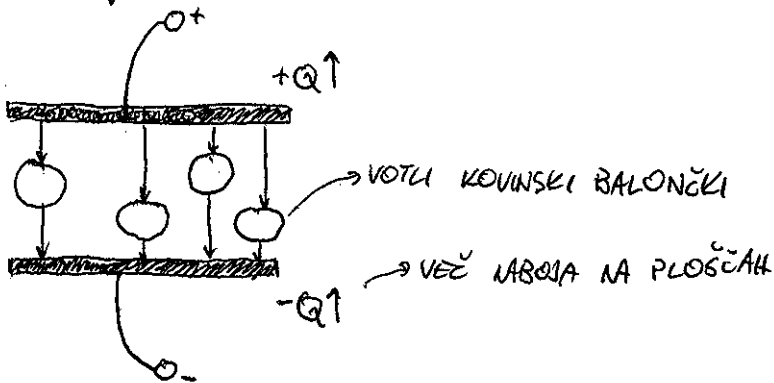
↳ PLOŠČE NE SMENO PRIBLIŽATI → TO JE PRAVZAPRAV
 NAŠA ANTENA!



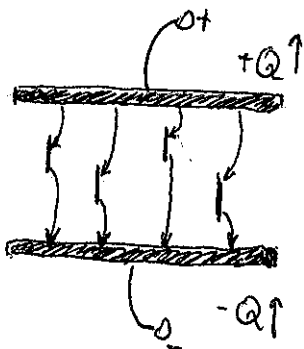
LAHKO DEL PROSTORA MED PLOŠČAMA NAPOLNIMO S KOVINSKIMI KROGLICAMI:



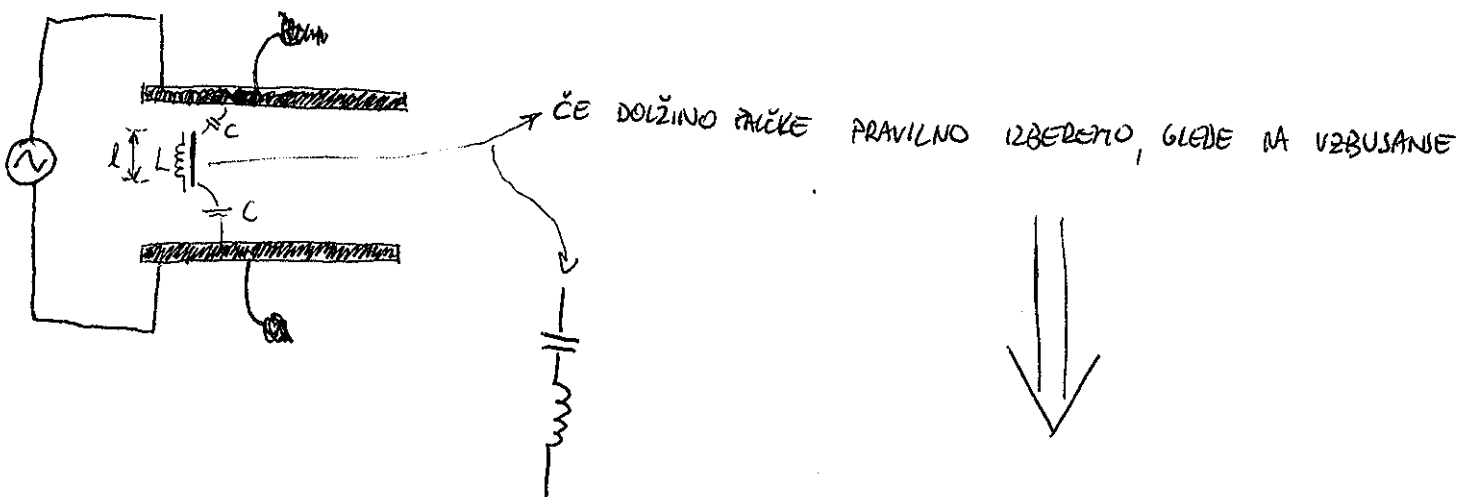
ŠKRTARINO: ČE SO KROGLICE DOBRE, BODO TUDI KOVINSKI BALONČKI

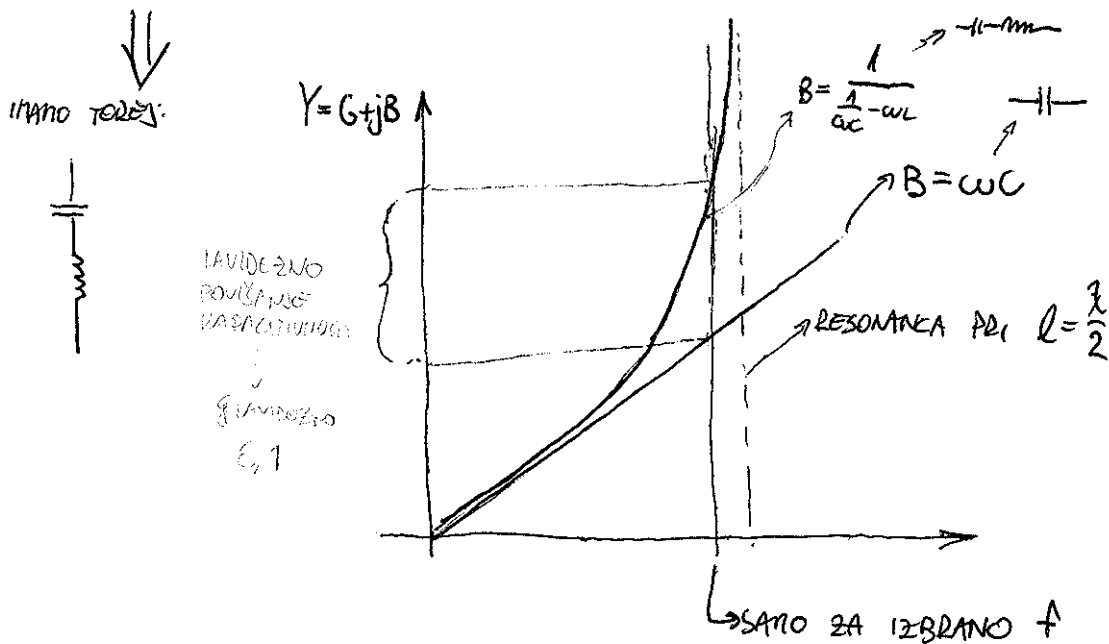


ŠKRTARINO: VENO, KAM KAŽE $\vec{E}$: LAHKO BI DALI LE ~~DOBR~~ KOVINSKE PALČKE:



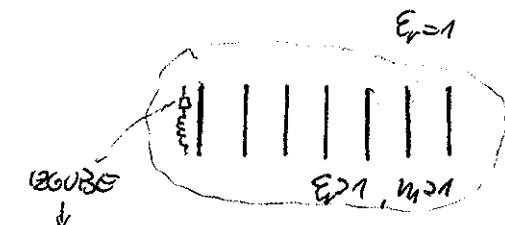
ŠKRTARINO DO KONCA $\rightarrow$ JAPONCI





JAPONCI: 1929 YAGI, UDA

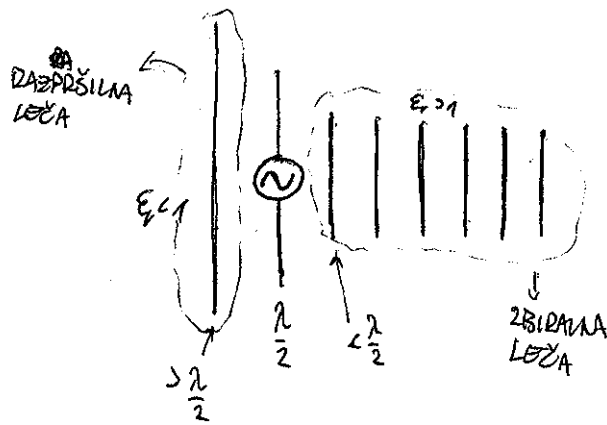
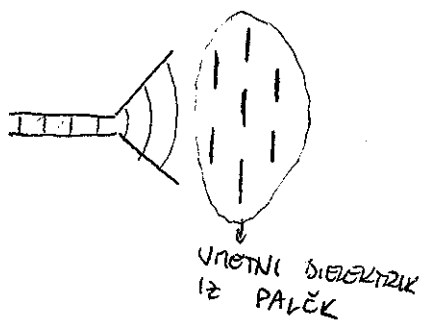
HOTELA STA NAREJITI DIELEKTRIČNI VALOVOD IZ TANKIH PALČIC:



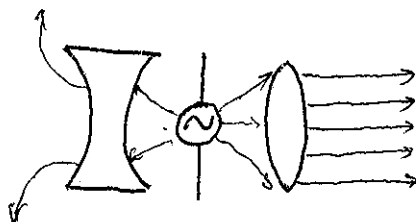
YAGI NI UPOŠTEVAL

→ UDA JE UGOTOVIL PA DA SE DA NAREJITI UMETNO LEŽO ZA ANTENE

UDA:



KAKO IZGLETA TA NAPRAVA:



→ 2 DALJŠO PALČKO LAHKO ČELO NAREJIMO $\epsilon_r < 1$ ZA ENO f .

→ 1929: ~~YAGI~~ YAGI UDA ANTENA:

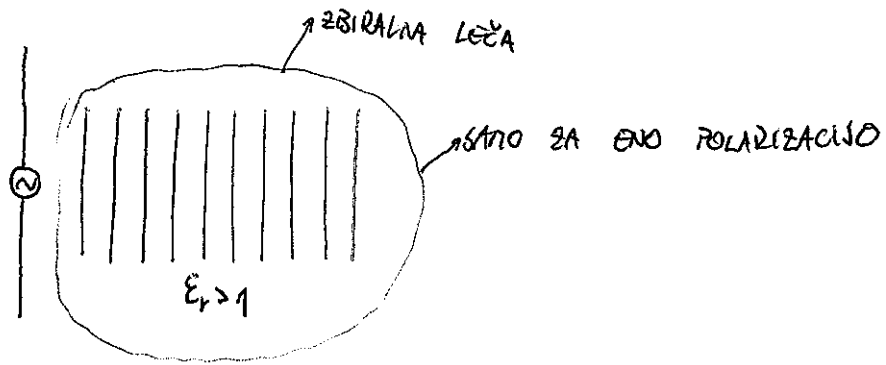
PRI SO JO UPORABILI ANGLEŽI ZA RADAR
LNIKO HOTELI PREIZNATI, DA SO JO NAREJILI JAPONCI,
ZATO SO DALI SVOJE IME: BEAM ANTENA

VSEEN TEN NAPRAVA BI LAHKO DALI SVOJE IME:

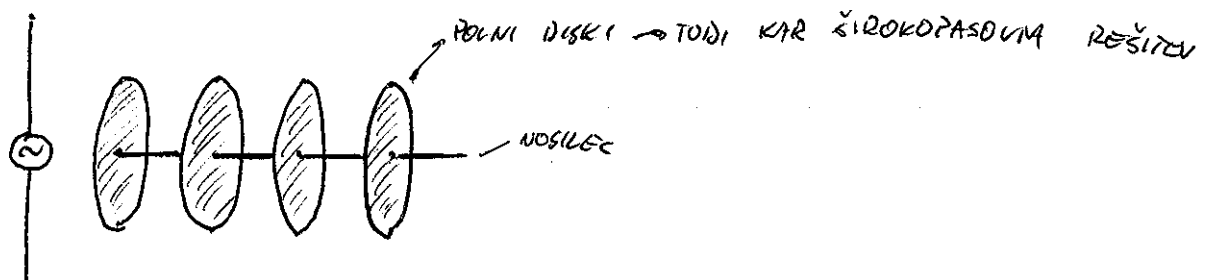
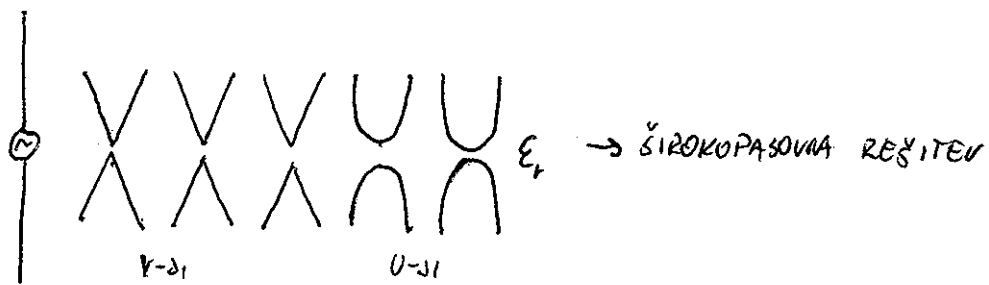
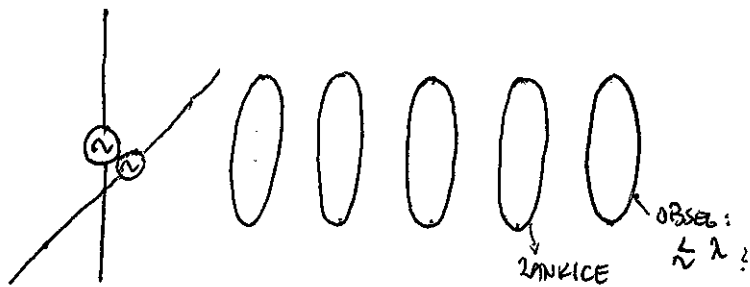
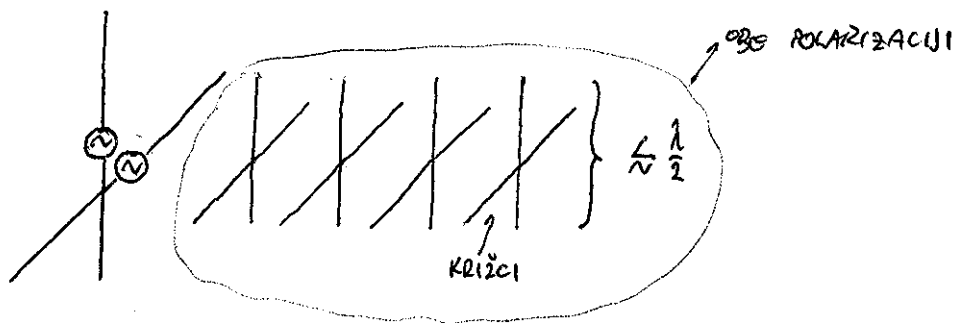
STRUKTURE Z UPOČASNENIM VALOVANJEM (slow wave structures)

→ NA SREDINI GA JE TREBA UPOČASNITI, DA LAHKO DOHITI

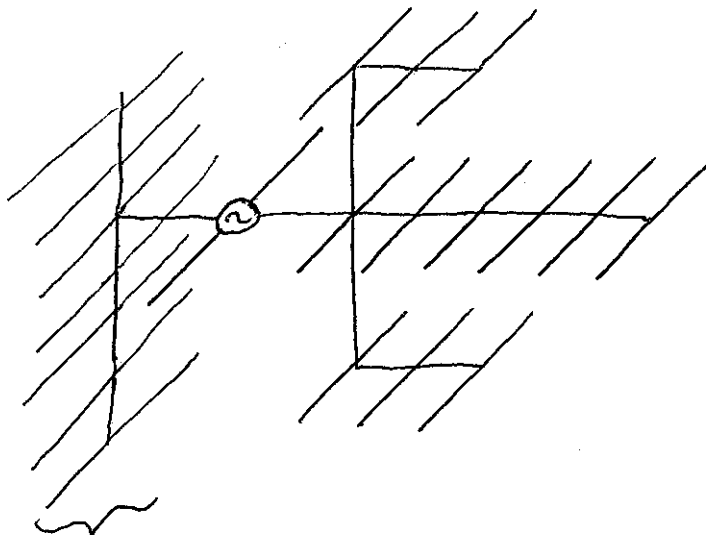
STRUKTURE Z UPOČASNENIM VALOVANJEM



KAJ PA:



PALČKE NI NUJNO, DA DATO MA ISTI DROG:



BOLJ ZA RAZLIČNE NAPRES/NAZAJ
LOD BITI IZ OD ZADAJ

VPRAŠANJA:

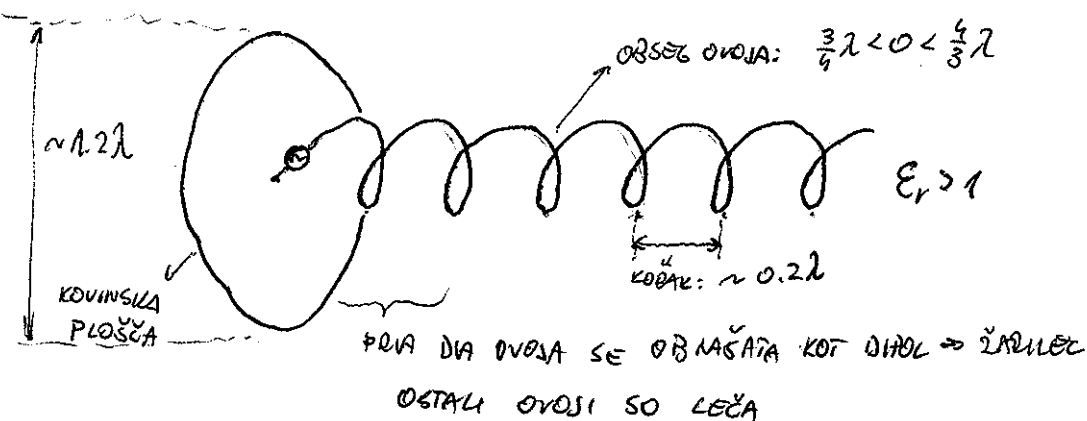
- KAKO DOLGE PALČKE, KOLIKO NAPRŽEN?
↳ NI NEKEGA PREPROSTEGA POSTOPKA

STARA REČ ZA ANTENE: NBS TABELE ^{MAJENJO} $\rightarrow$ S POSKUSANJEM

DANES LAHKO UPORABIMO RAČUNALNIŠKE SIMULACIJE.

ŠE ENA STRUKTURA Z UPORABNIJENIM VACUUMJEM:

VIAČNA ANTENA Z OSNIM SEVANJEM



VIAČNICA JE LAHKO LEVA ALI DESNA $\rightarrow$ DOBIMO LEVO/DESNO POLARIZACIJO

TEŽAVA JE S PODPORO VIAČNICE $\rightarrow$ NI PODPORE

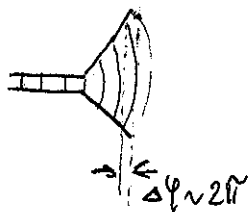
TEŽAVA ŠE S PLOŠČO: $2V \approx 1.2λ$

SEJALNA UPORNOST: $R_s \approx 140Ω$ $\rightarrow$ NEKJE OD 100-200Ω, ZAVISI OD OBSEBA OVODJ

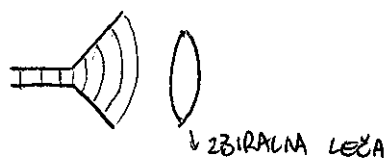
ZADNÍČ:

13 11.5.

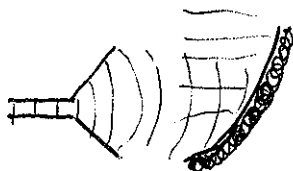
SNO MEZI TROBENTO:



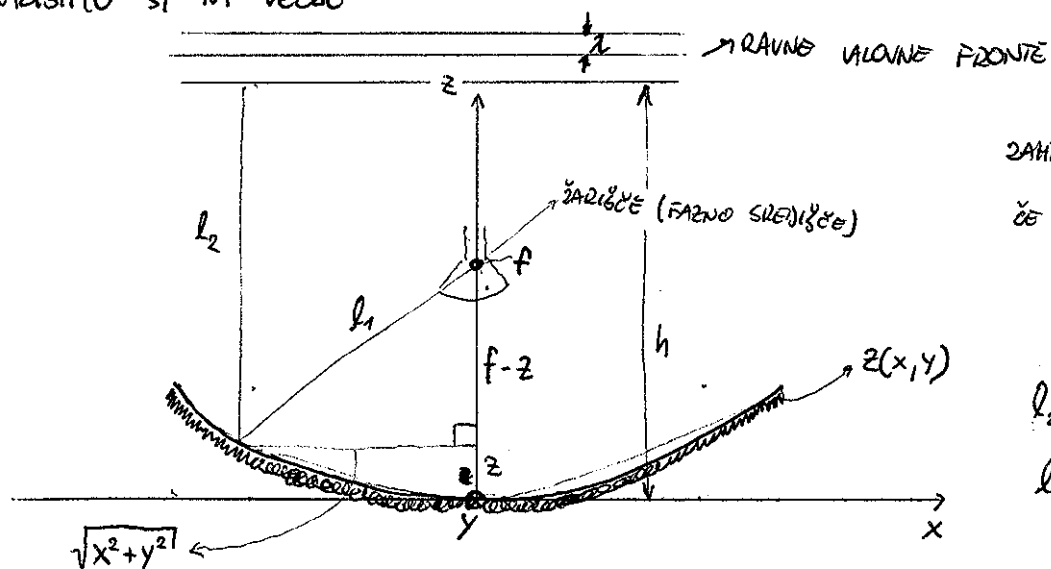
DANO LEČO:



POGLEJNO SI DRUGAČNO REŠITEV: DATO ZRCALO
KAKŠNO ZRCALO MORAMO NAREJITI?



NARIŠIMO SI NA VEČJE:



ZAMETKA: $l_1 + l_2 = \text{konst}$

ČE SNO V $x=0$:

$$L_1 + L_2 = h + f$$

$$l_2 = 4 - 2$$

$$l_1 = \sqrt{x^2 + y^2 + (f-z)^2}$$

$$l_1 + l_2 = h + f$$

$$-\sqrt{x^2 + y^2 + (f-z)^2} + h - z = h + f \quad /^2$$

$$x^2 + y^2 + (t-z)^2 = (t+z)^2$$

$$x^2 + y^2 + \cancel{z^2} + \cancel{2z} - 2f_z = \cancel{z^2} + \cancel{2z} + 2f_z$$

$$x^2 + y^2 = 4f \cdot z$$

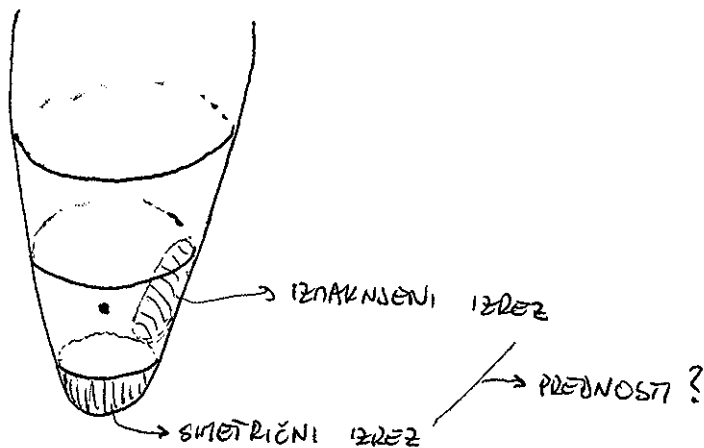
$$z(x,y) = \frac{x^2 + y^2}{4f}$$

PLOSKOV: ROTACIJSKI PARABOLOID

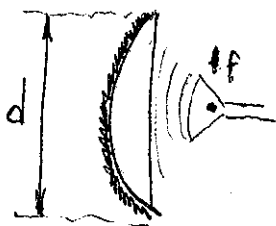
↳ NESKONČNÁ PLOŠEV?



MORAMO POGLEJAT, KATERI KOS PLOŠČE BOJO UPORABILI?
KAJ LAHKO IZREŽENO?



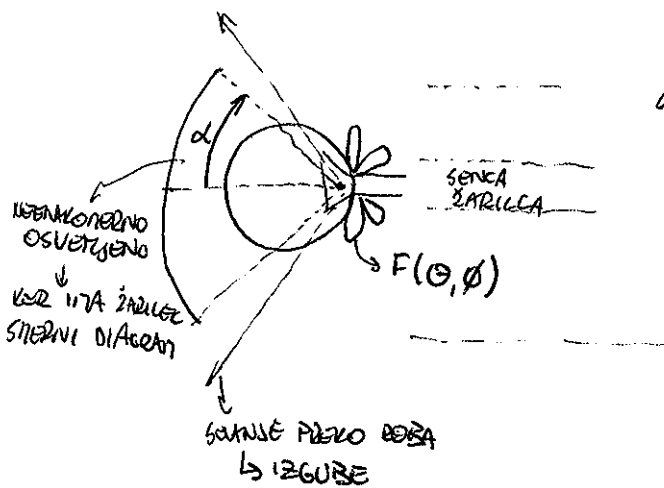
1) SINETRIČNI IZREZ



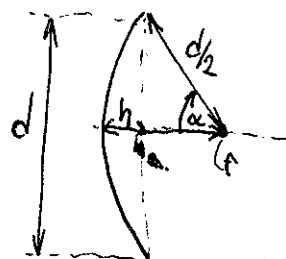
- KAJ MORAMO ZAHTEVATI OD ŽARILCA?
- KAKO VELIKO ZRCALO MORAMO NAREDITI?

ŽARILEC MORA PRIBLIŽNO ENAKO OSVETLITI ZRCALO!

↳ KER IMA ŽARILEC SREDNI DIAGRAM, NE BO ZRCALO NIKOLI ENAKOMERNO OSVETLENO!



KAKO OPISATI ZRCALO?
S KOTOM α !



$$\alpha = \arctan \frac{d/2}{f-h}$$

KOLIKO JE h ?

$h=2$, NA ROBU ZRCALA:

$$\alpha = \arctan \frac{d/2}{f - \frac{d^2}{16f}} \approx \arctan \frac{1}{2 \frac{f}{d} - \frac{1}{8 \left(\frac{f}{d}\right)}}$$

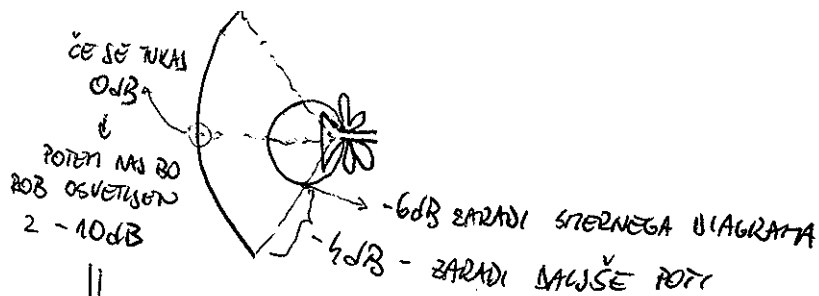
α ODVISEN OD RAZMERA $\frac{f}{d} \rightarrow$ ZASLONKA NA FOTOPARATU

$$\alpha = \text{ARCTAN} \frac{1}{2\left(\frac{f}{d}\right) + \frac{1}{8\left(\frac{f}{d}\right)}}$$

ZA SIMETRIČNI IZREZ: $\frac{f}{d} = 0.3 \div 0.4$

KAKŠEN ŽARILEC IZBRATI?

OBRATNIŠKO PRAVILO:



TO JE ZA MANJŠI IZKORISTEK OSVETLITVE (LAHKO ŽELIMO DRUGEGA)

NA PRIMER:

$$\frac{f}{d} = 0.4$$

$$\alpha = \text{ARCTAN} \left(\frac{1}{0.8 - \frac{1}{3.2}} \right) \approx \text{ARCTAN} \left(\frac{1}{0.8 - 0.3} \right) = \text{ARCTAN}(2) \approx 60^\circ$$

$$\downarrow$$

$$2\alpha \approx 120^\circ$$

ČE TEŽAVA: SENCA ŽARILCA

ZA $\frac{f}{d} \approx 0.4$ DATO $d > 5\lambda$, DA SENCA NI PREHODA

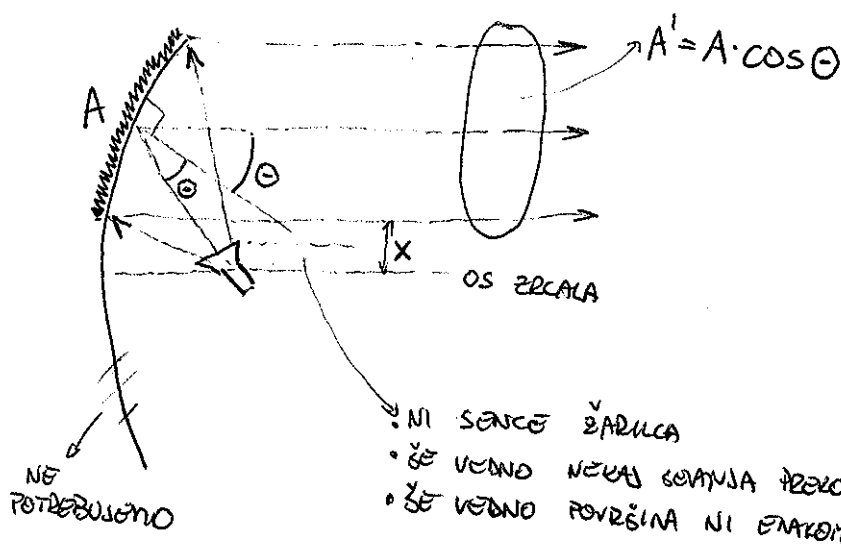
VPRAŠANJE:

ALI LAHKO NAZVEDIMO KAJ, DA NE BI IMELI SENCE ŽARILCA?

↳ LAHKO DATO ZRCALO Z IZTAKNJEVIM IZREZOM



IZNAKIJEN IZREZ



X... RAZDALJA MED ROBOV ZRCALA IN ROBOV ŽARILCA

- NI SENČE ŽARILCA
- ŠE VEDNO NEKAJ SEVANJA PREKO ROBA
- ŠE VEDNO POVRŠINA NI ENAKOMERNO OSVETLENA

KAJ IZGUBIMO:

- ŽARILCI PADAJO NA NORMALO POD NEKIM KOTOM
 - ↳ POVRŠINA ZRCALA NE BO TAKO UČINKOVITO IZKORIŠČENA
 - ↳ POTREBUJEMO VEČJE ZRCALO

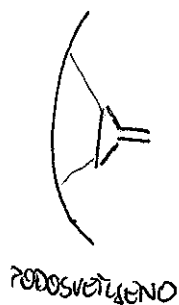
ZA IZNAKIJENA ZRCALA: $\frac{A}{d} = 0.6 \div 0.7 \rightarrow$ MANJŠI d

↳ ZAHTEVA DRUGAČEN ŽARILEC

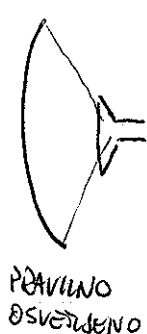
↓
• POTREBUJEMO VEČJI ŽARILEC S MANJŠIM KOTOM SEVANJA

↓
 $d > 10\lambda \rightarrow$ TAKRAT SE BILAČA GRADITI TAKA ZRCALA.

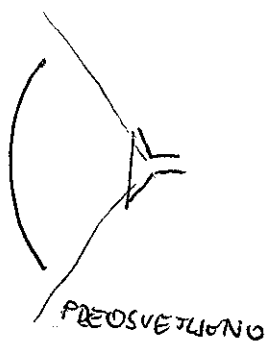
KAJ MORAMO PAZITI PRI ŽARILCU?



PODOSVETLENO



PRAVILNO OSVETLENO



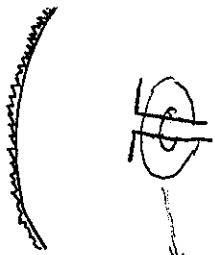
PREOSVETLENO

$\eta_0 < \eta_0 > \eta_0$

$\eta_0 = ?$

ČE IMAMO GLOBOKO ZRCALO $f/d = 0.4$ + DIPOLO

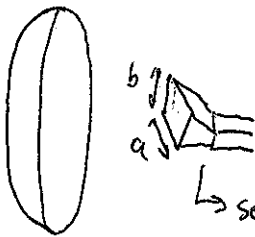
$$d \gg 5\lambda$$



$\eta_0 = 63\%$ → UPOŠTEVAMO NEENAKOMERNOST OSVETLITVE IN
SEVANJE PROKO ROBA, VENDAR BREZ SONCE

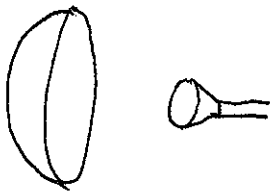
DAMO PLOČEVINO ZA ODRBOSE (NUŠNE ODRBOSE?)

ČE DAMO LIAK:

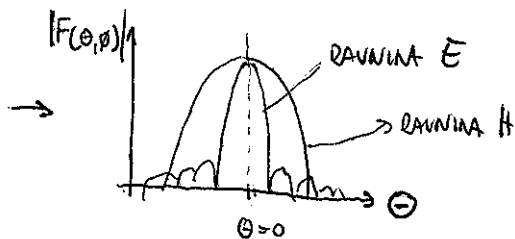


SE DA ~~NASTAVITI~~ ^{NASTAVITI} N SINETRIČEN SKLOP

VENKOVDAT IMAMO NA RAZPOLAGO KROŽNI VALOVOD:



KROŽNI VALOVOD IMA "GRAD" PORAZDELITVEV POLJA

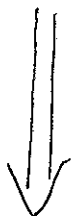


$$\eta_0 \approx 60\%$$

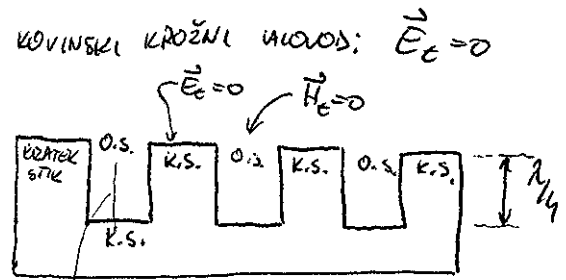
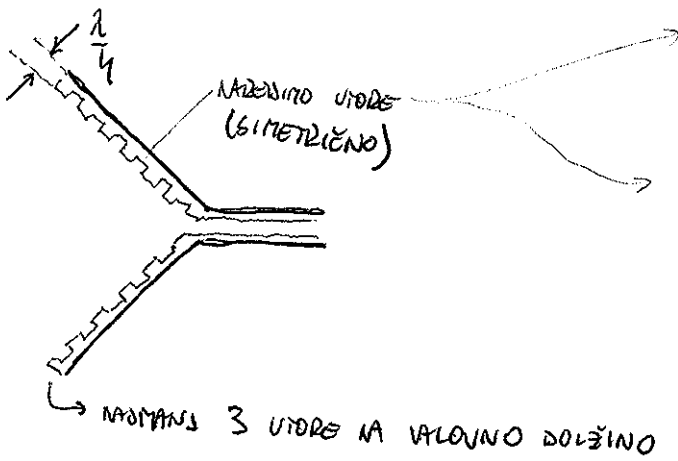
KAJ NAREDIMO?

NAREDIMO DRUGAČEN VALOVOD:

NAREDIMO DRUGAČNO STENO, KI NI VEČ KOVINA!

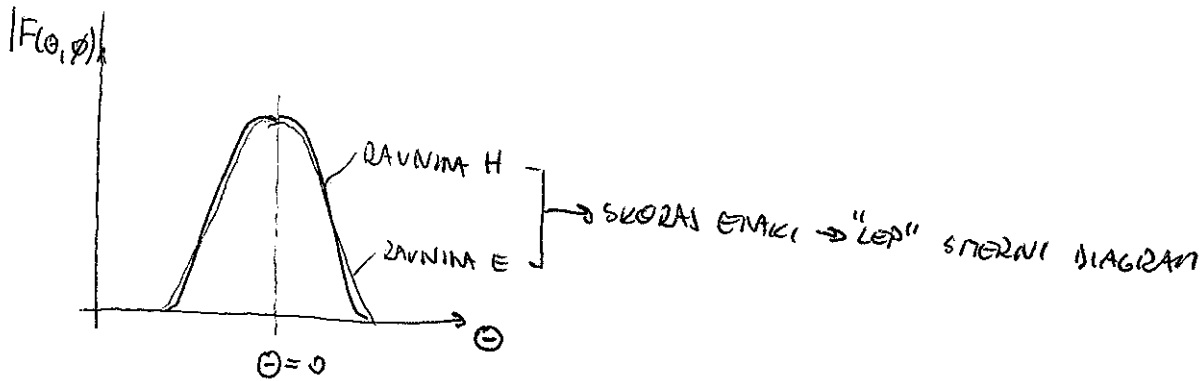


KORUGIRAN LISA2:

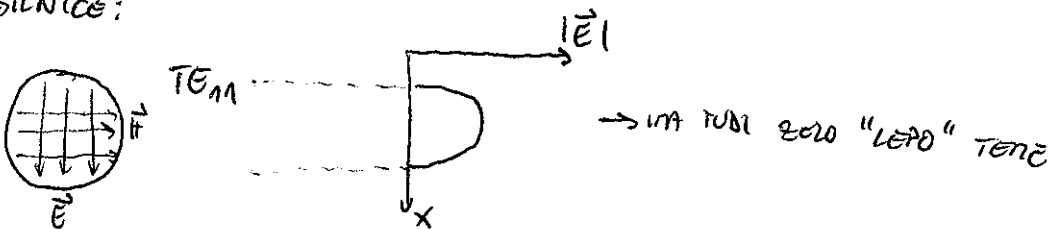


↓ SE PSESLIKA.

O.S.: TOK NE TEČE $\rightarrow$ NI SLOKA $\vec{H}$, TOŽE $\vec{H}_E = 0$

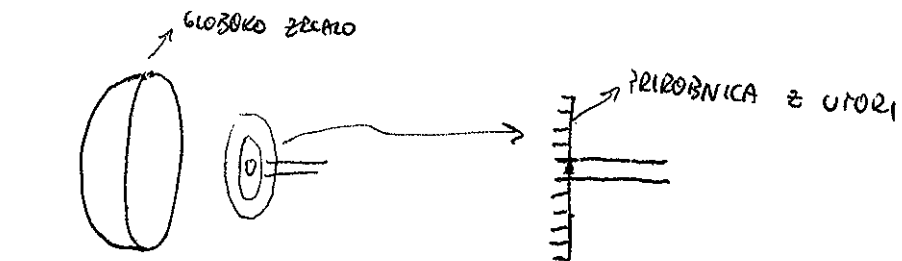


SILNICE:



12 TGA stadi: $\eta_0 \approx 80\%$

PRAKSA:



$$f = 0.3 \rightarrow 0.4$$

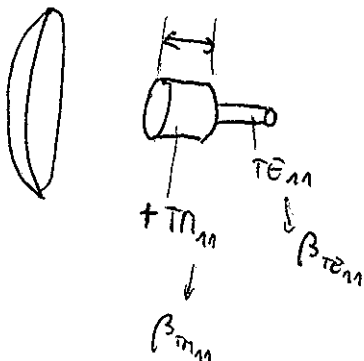
POTRBUJEMO ŽARILEC, KI IMA ŠIROK KOT SVANJA → STOŽEC SE ODPRE
↓
IZGLEDJA KOT PRIROBNICA

OBSTAJA ŠE ENA REŠITEV:

S KROŽNIM VALOVODOM POPRAVIMO STARI:

- IMAJO PLOTNO ZRCALO: $r/d = 0.6 \div 0.7$
- ~~ODLOŽEN~~ KROŽNI VALOVOD S PRESKOKOM V PREMERU

} ZA IZNAKLJEN ŽARILEC



$\eta_0 \approx 80\%$

$\beta_{TE_{11}} > \beta_{TM_{11}}$

ČE PRAVILNO NASTAVIMO FAZNI KOT:

$\varphi_{TE_{11}} - \varphi_{TM_{11}}$

~~ODLOŽEN~~ S DOLŽINO ŠIROKEGA DELA, DA DOBIMO SINETRIČNO SUKO.

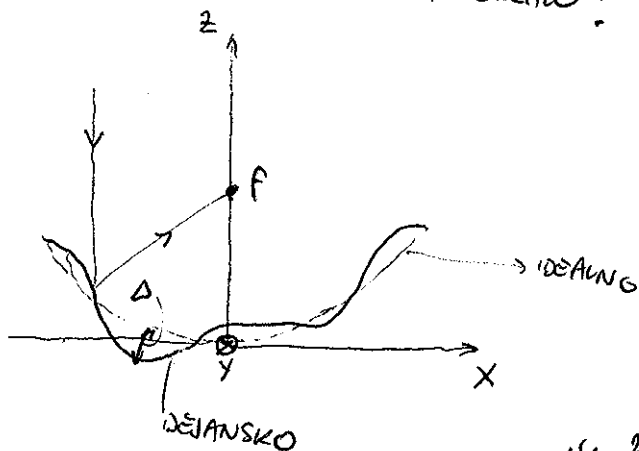
DVORODOVNI ŽARILEC

↓
OBČAJNO ZA PLOTNO ZRCALO ZA SM. TV.

↓
POMAGAJ SE DA ČEZ PLASTIČEN POLKOV, DA ŽUŽKI NE KREDOVO GNEZDA

↓
OZKOPASOVNO
↓
KAR SE FAZA SPREMEMI

- KAKO TOČNO PORAVNO IZDOBLATI ZRCALO?



OD ZRCALA IN NAZAJ:
 $\Delta\varphi = k \cdot 2\Delta$
 $L = \pm\Delta$

$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2\Delta$
 $\Delta = \frac{\Delta\varphi \cdot \lambda}{4\pi}$

RES DOBITEK "POŽRENO"

$\Delta\varphi = k \cdot 2\Delta$	ΔG	$\pm \Delta$
$\pm \pi$	$-\infty$	$\pm \lambda/4$
$\pm \pi/2$	-4 dB	$\pm \lambda/8$
$\pm \pi/4$	-1 dB	$\pm \lambda/16$
$\pm \pi/8$	$-1/4 \text{ dB}$	$\pm \lambda/32$

↓
NOKSE MAMAJŠA ZAHTEVA
↓
KAR HUDA

ZGLED

$f = 12 \text{ GHz} \rightarrow \lambda = 25 \text{ mm}$

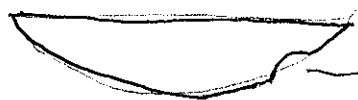
$\Delta = \pm \lambda/32 = \pm 0.8 \text{ mm} \rightarrow \text{ZELO TOČNO}$
 → ŠTANCANJE JE NEUPORABNO
 → POTREBNO PASAT



KAKO DOSEČI TAKO TOČNO OBLIKO? → TEŽKO

↳ KJE SE TEŽAVA?

POGLEJNO OD STRANI:



BUŠKA → NI SLABO, KER JE VEČINA POVRŠINE V REDU

VEČJA TEŽAVA:

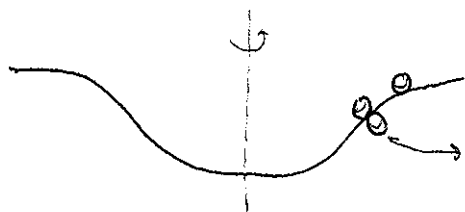


OSTRICA

NE ∇_0

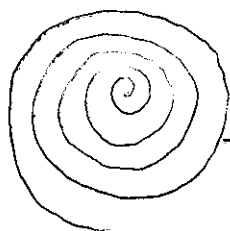
KAKOVOSTNO ZRCALO SE ZDI ŠLAMPASTO MREJENO:

VPNETO PLOČEVINO IN JO VRTIMO OKROG OSI:



2 DVA ZUBENA POKRSE, S TRETIJO POPRAVIMO

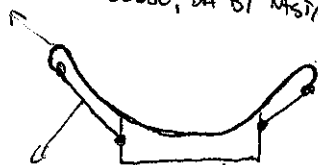
→ PRENETENO S KOLEŠČKI



→ NA DOBRIM ZRCALU JE VIDEV RJS PISANJA

VELIKOKRAT SE OBLIKUJETA ROŽ:

ZAVIJAN ROŽ PREDEŽUJE, DA BI MASTALA OSTICA

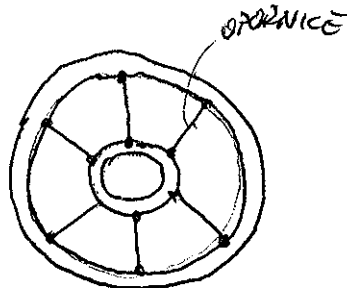


OPORNICA, DA NE
MASTNE OSTICA
↓
LATKO SEKLENA

↳ NOSILNI OROČ
↳ ZA VEČJA ZRCALA
↳ $\approx 1/3$ POCNERA

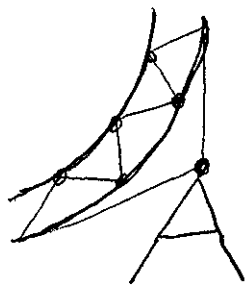
→ ZRCALO POMAGAJ
IZ ALUMINIJU

OD
ZADAJ
⇒



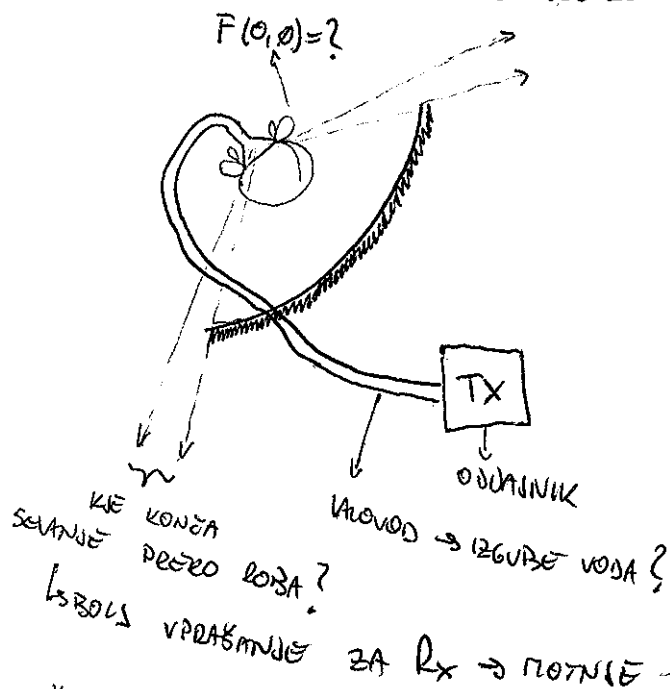
LATKO IMAMO TEŽAVO Z NEENAKOMERNIM SČRANJENI
↳ TEŽAVA NPR. V VEŠOLJU

ZA ZELO VELIKE ANTENE: PREDALČNA OBLIKA



KONSTRUKCIJA TAKA, DA TOČKE UPRETA
OSTAJAJO NA ISTOM MESTU

ČE MORAMO MAREČITI ZERO VELIKO ANTONO VELJA RAZMISLITI, KAKO BO VSE IZGLEDALO:
 $F(0,0)=?$



ŽARILEC
~~ŠARILEC~~ JE ORBNDON PROTI ŽENJAM
6. 11.

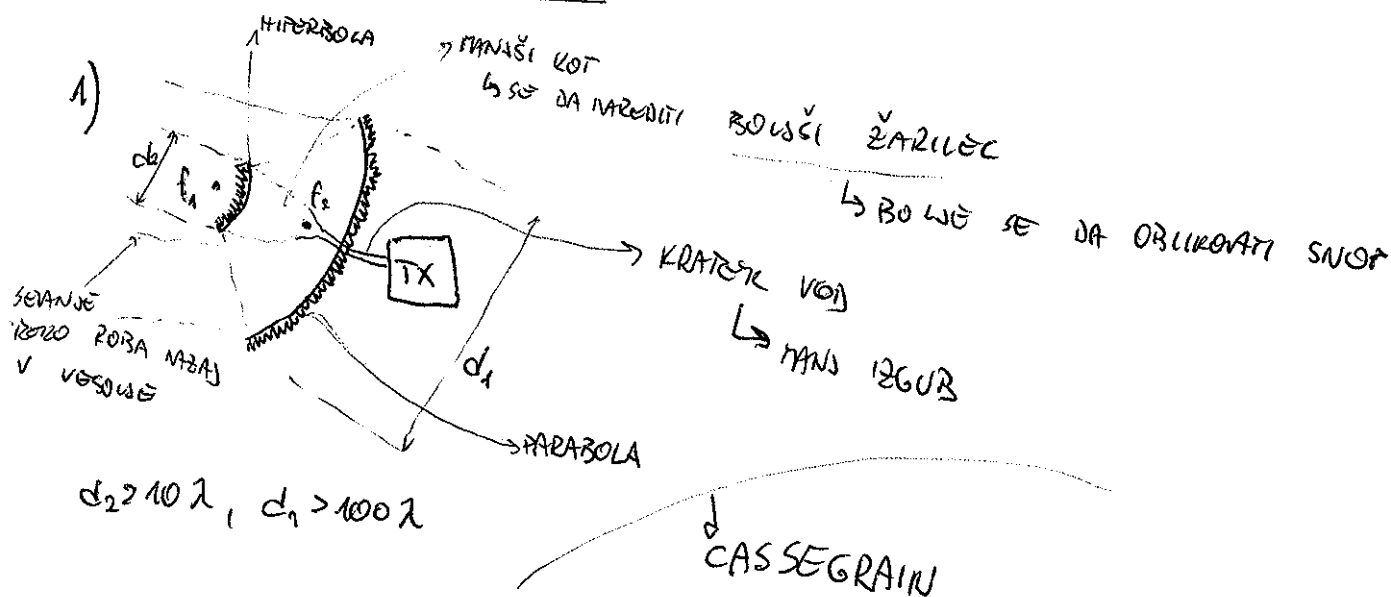
↳ TOPLOTNI ŠON ZETLJEVA

$$T_{\text{room}} \approx 300\text{K}$$

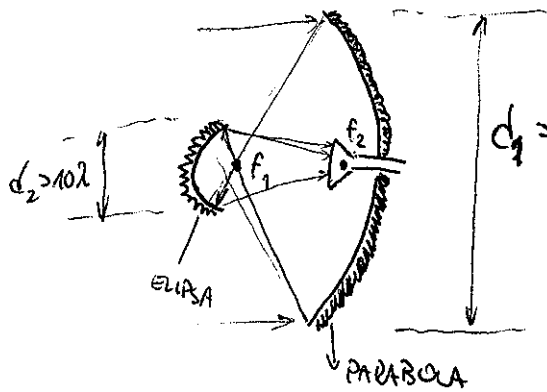
THERA ~ 10K → BOVŠE RI RILO, ŠE
BI BIL ŠADLER
OBENSEN PROTI NEBU

• ŠE ENA STVAR: STERNI DIAGRAM JE VRAČŠTV!

ZANISEZ: VEŽEČALNE ANTENE

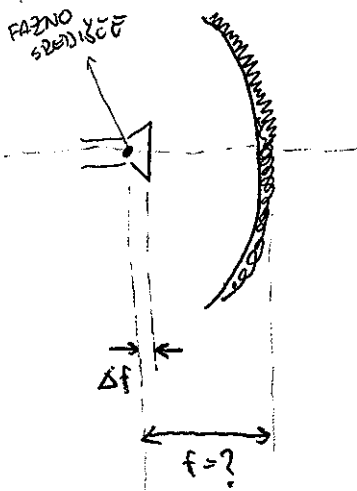


2) GREGORIAN



TA KO $d_2 > 10\lambda$ IN $d_1 > 100\lambda$ SE IZPLAČA
VAZDUŠNI TAKO ANTENO

→ VALCC VALSA ANTENA

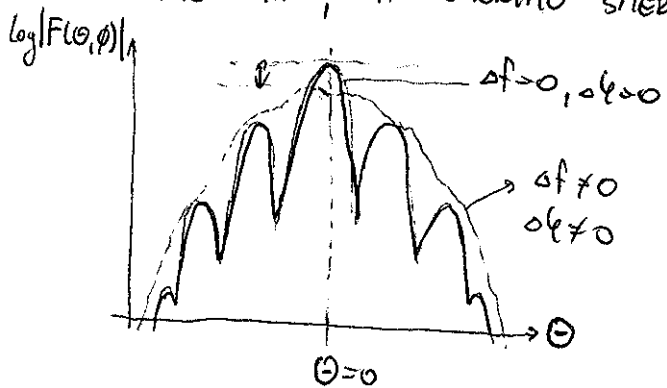


(4) SE 2001, 28 INMO NARAKO $\Delta^6 f \neq 0$

↳ SOBOINO KWADRATNO NADAKO PAZE

↳ DOBRO KROGELE VALOVNE FRONTE MESTO ZAVNIK

IZMERIMO TAKO, DA IZMERIMO SREDNI DIAGRAM, ČE IMA LEPE, OSTRE NIVJE:

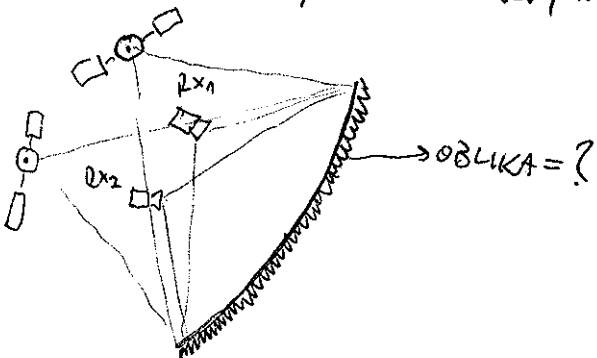


→ UKLONSKI POJAVI ? → STRANSKI SINOPSI

SE UPOTRABJA PDI SPEC SE JIH ORTA VEV

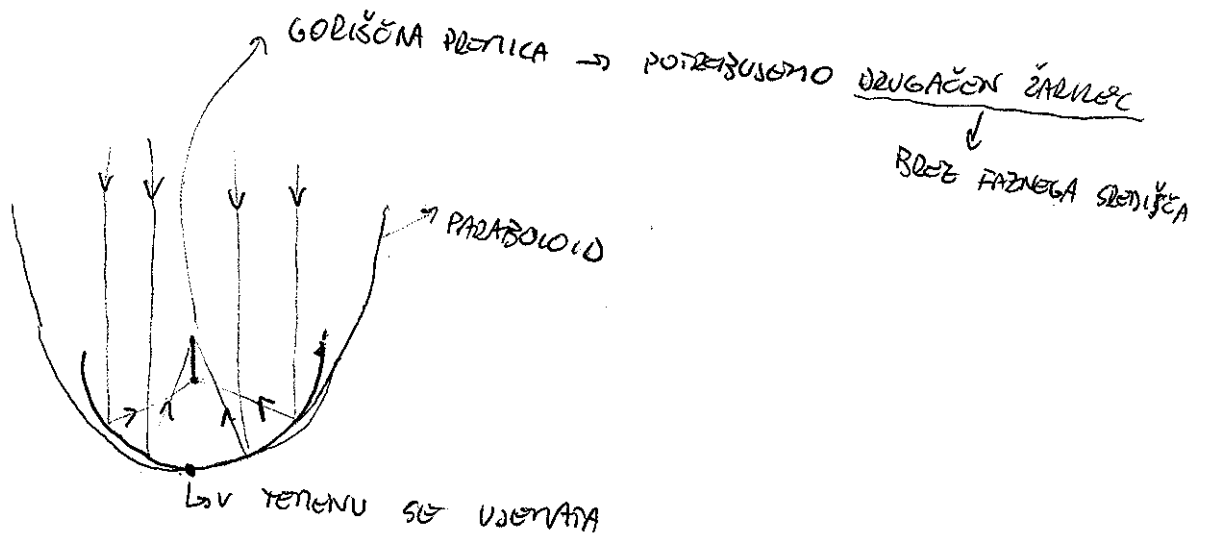
KAKO BI ŠE ISKORISTILI NAŠO ANTENO?

- IMAO VELIKO ZRCALO, A VEŠ CILJEV, NA PRIMER TV:

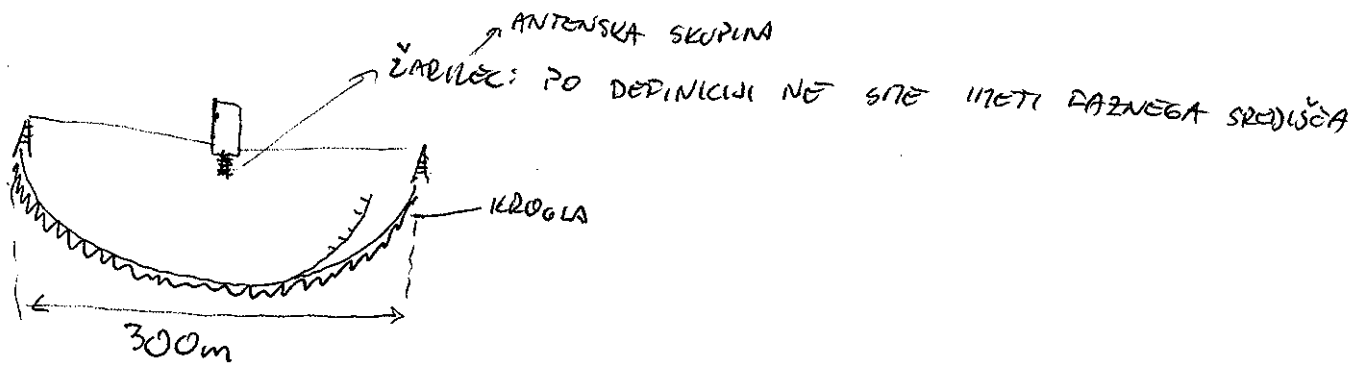


ZA VEČ SATELITOV: DATO KROGEZNO ZRCALO

↳ DA BO DELALO IZ VSEGA SMERI → ISTOČASNI SPREJEM IZ VEČ SMERI

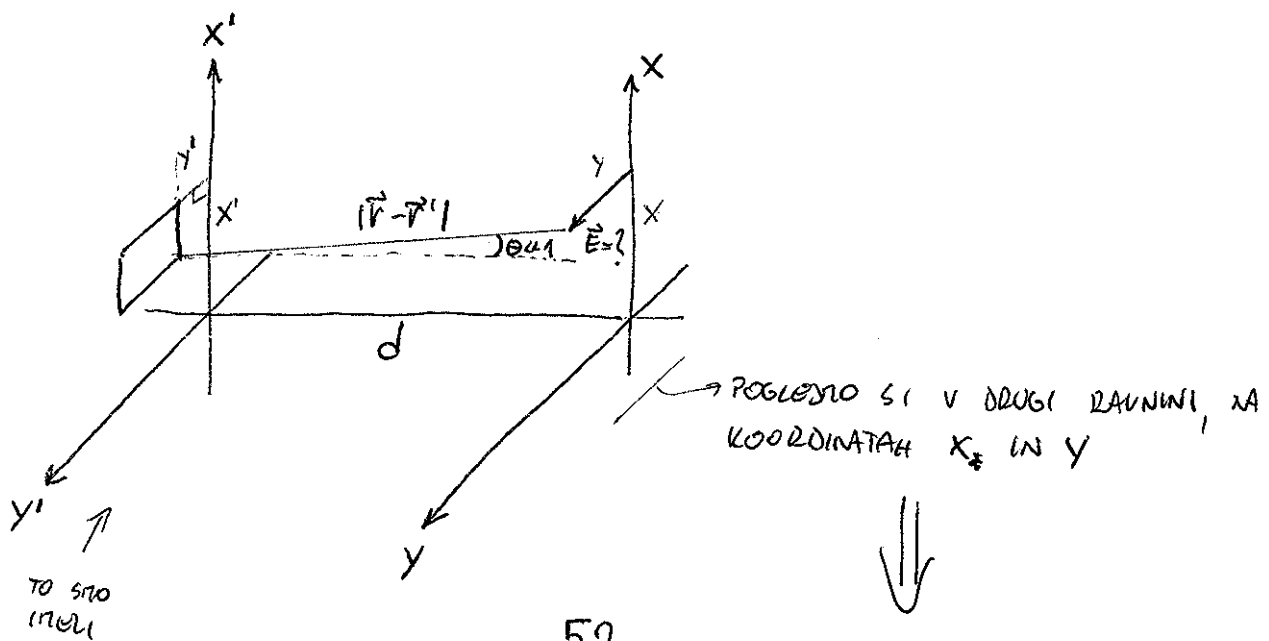


AERIBO PORTORIKO:



POGLEJMO SI ŠE ENO STVAR: ODPARTINE

SI IZBEREMO DRUGAČEN KOORDINATNI SISTEM:



PISIMO BREZ VEKTORJEV, DA SE ZNEBIMO TISTIH COS, e^{jk_r} , ...

$$|d\vec{E}| = dE = \frac{j}{2\lambda} E_0(x', y') \frac{e^{jk|\vec{r}-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|} dx' dy'$$

$\downarrow$
 $1 + \cos \Theta \approx 2$

ZA AMPLITUDO:

$$|\vec{r}-\vec{r}'| \approx r$$

$$r \gg x, y, x', y'$$

$$|\vec{r}-\vec{r}'| = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + d^2} = \sqrt{x^2 - 2xx' + x'^2 + y^2 - 2yy' + y'^2 + d^2} =$$

$$= d \sqrt{\frac{x^2 - 2xx' + x'^2 + y^2 - 2yy' + y'^2}{d^2} + 1} \approx \frac{x^2 + y^2}{2d} - \frac{xx'}{d} - \frac{yy'}{d} + \frac{x'^2 + y'^2}{2d} + d$$

~~... ..~~

$$E = \int dE = \iint_{x', y'} \frac{j}{\lambda} E_0(x', y') \frac{e^{jk|\vec{r}-\vec{r}'|}}{d} dx' dy' =$$

$$= \frac{j}{\lambda d} e^{-jk d} e^{-jk \frac{x^2 + y^2}{2d}} \int_{x', y'} E_0(x', y') \left(e^{-jk \frac{x'^2 + y'^2}{2d}} \cdot e^{jk \frac{xx'}{d}} \cdot e^{jk \frac{yy'}{d}} \right) dx' dy'$$

DEFINIRAJMO:

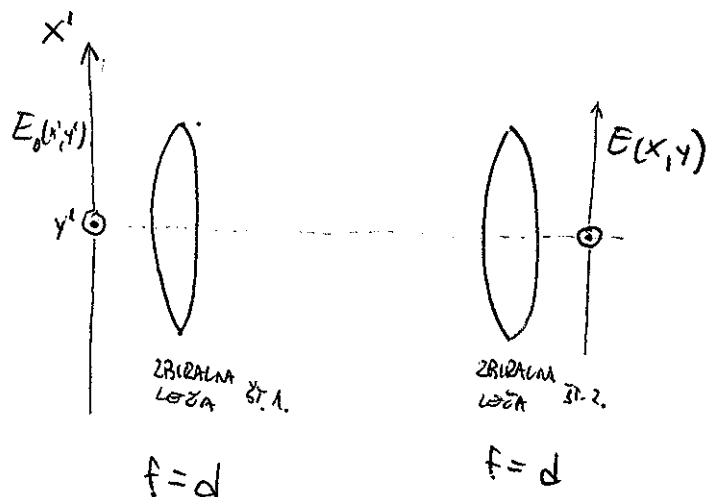
$$f(x', y') = E_0(x', y') e^{-jk \frac{x'^2 + y'^2}{2d}}$$

$$F(x, y) = \int_{x', y'} f(x', y') e^{jk \frac{xx'}{d}} e^{jk \frac{yy'}{d}} dx' dy'$$

FOURIER-OVA TRANSFORMACIJA
V 2D

NAJ PROSTOR JE V BISTVI FOURIER-OVA
TRANSFORMACIJA Z NASTAVITVI PORDAVKI:
→ KVADRATNA MAPKA PRAZE → LAHKO POPRAVIMO
2 LECO

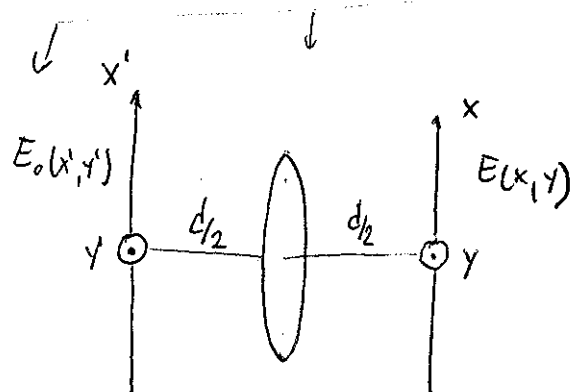
ČE IMAMO:



→ POPRAVIMO $e^{-jk \frac{x'^2+y'^2}{2d}}$ IN e^{-jkd}

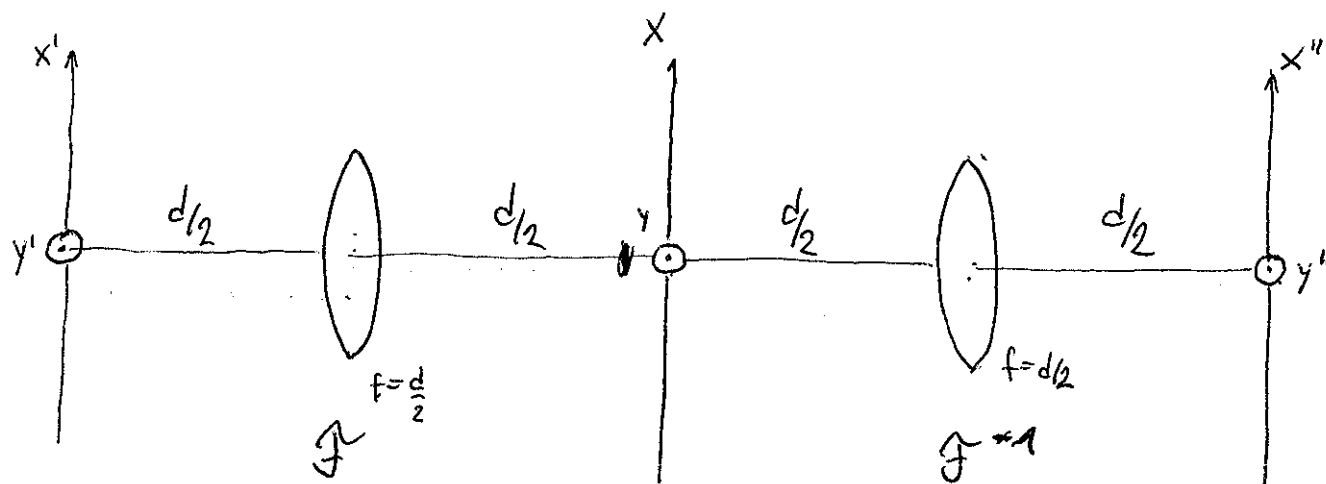
↓

LAHKO DANO ENO LČUČO

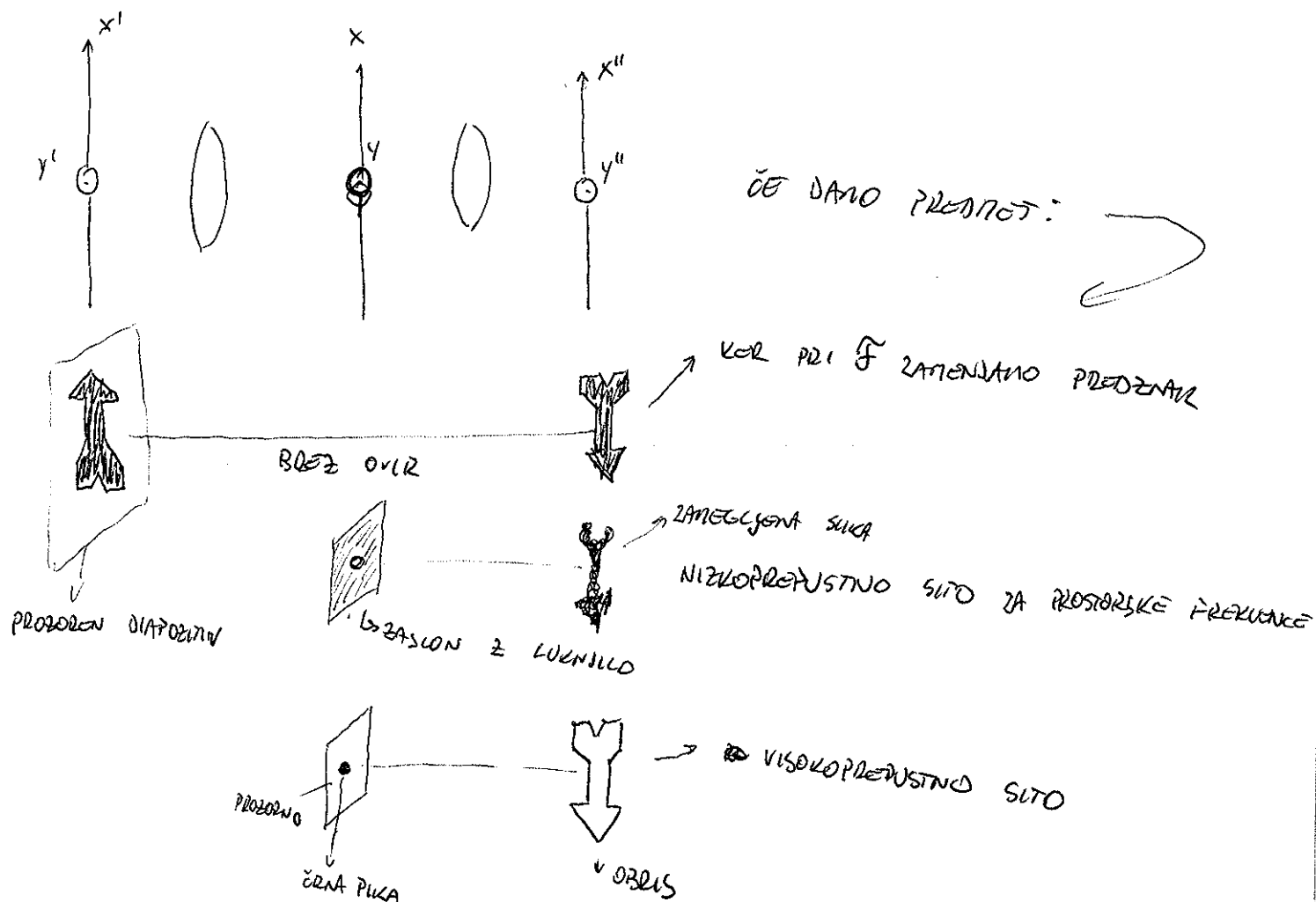


LAHKO NAREDIMO FOURIER-OVO TRANSFORMACIJO V PROSTORU.

→ IMA ENO ZANIMIVO LASTNOST: Z ISTIM POSTOPKOM LAHKO PRIDENO NAZAD KAJ NAREDIMO:



~~PROJEKCIJA~~



V PRAKSE:

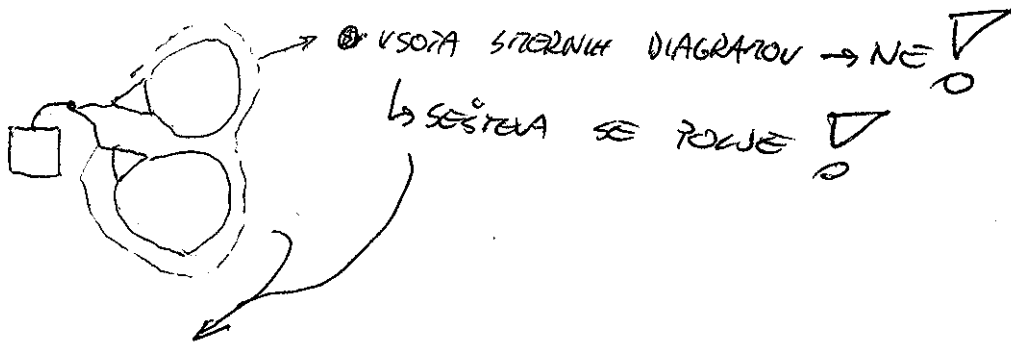
- 1) PRED PREDMETOM POTRŽBUJEME RAVNÉ VLOVNÉ FRONTY
 - ↳ ZVORI: LASER → OBVEZNO
- 2) PODLAGA PŮŠČICE MORA BŮT ČISTO PROZORNA
 - ČE IMAMO, NA PRIMER, NAT PAPIR, DOBIMO ZARADI RAZNE MODULACIE VYSOKÉ FREKVENCE.
 - ↳ MORAMO DATI DIAPOZITIV

ANTENSKÉ SKUPINE (KOHERENTNE)



LJUDJE NE RAZLIČUJAMO, KAKO SE TO SEŠTELO POLE.

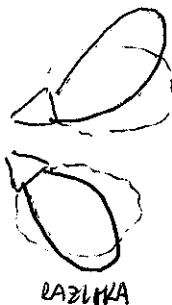
OBČASNA NAPAKA:



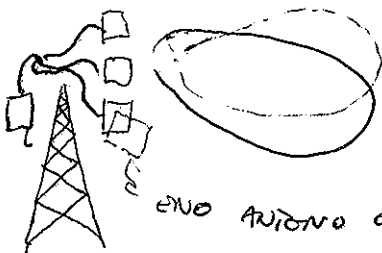
LAKO DOBITO:



ALI



ENI BUIBARI NAZVEDU ČEZO TO:

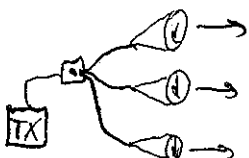


ENO ANTENO OBRNESCO NAZDOL

ŽELJA JE, DA JE SNOP MAGNETEN NAZDOL,
ZATO OBRNESCO SPONJJO ANTENO DOL, V
RESNICI SE SNOP OBRNE GOR.

KAJ LAHKO REČENO O SKUPINAH?

KAJNO SKUPINO:



- 1) ENAKE ANTENE
- 2) ENAKO ORIENTIRANE
- 3) ENAKO POLARIZIRANE

TAKRAT VEJA PRAVILO O
MNOŽENJU SREDNIH
DIAGRAMOV

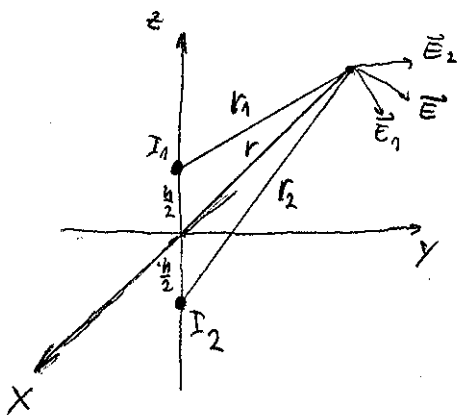
PRAVILO O MNOŽENJU SMERNIH DIAGRAMOV:

$$F(\theta, \phi) = \underbrace{F_e(\theta, \phi)}_{\text{ELEMENT}} \cdot \underbrace{F_s(\theta, \phi)}_{\text{GRUPA NEUSMERJENIH ANTEN}}$$

ŠE ENA REČ NE DRŽI:

$$D \neq D_e \cdot D_s$$

NAJBOLJ PREPROST ZGLED:



$$\vec{E} = \vec{r}_{e1} \cdot \alpha \cdot I_1 \cdot \frac{e^{-jkr_1}}{r_1} + \vec{r}_{e2} \cdot \alpha \cdot I_2 \cdot \frac{e^{-jkr_2}}{r_2}$$

ZANIMA NAS REŠJE V PRAVOKOTNEM POKLOPU:

$$\vec{r}_{e1} \approx \vec{r}_{e2} \approx \vec{r}_e \quad \frac{1}{r_1} \approx \frac{1}{r_2} \approx \frac{1}{r}$$

2 NEUSMERJENA IZVORA
→ IMATA SMERNEGA DIAGRAMA

$$r_1 = \sqrt{r^2 + \left(\frac{h}{2}\right)^2 - 2r \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos \theta}$$

$$r \gg h$$

$$r_2 = \sqrt{r^2 + \left(\frac{h}{2}\right)^2 + 2r \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos \theta}$$

$$r_1 \approx r - \frac{h}{2} \cos \theta$$

$$r_2 \approx r + \frac{h}{2} \cos \theta$$

$$\vec{E} = \vec{r}_e \cdot \alpha \cdot \frac{e^{-jkr}}{r} \left(I_1 \cdot e^{jk \frac{h}{2} \cos \theta} + I_2 \cdot e^{-jk \frac{h}{2} \cos \theta} \right)$$

MORAMO DOSEČI KAKŠEN UČINEK:

ZANIMIV PRIMER: $|I_1| = |I_2|$

$$I_1 = I_2 e^{j\phi} = I_0 e^{j\frac{\phi}{2}}$$

$$\hookrightarrow I_2 = I_0 e^{-j\frac{\phi}{2}}$$

$$\vec{E} = \vec{r}_e \cdot \alpha \cdot I_0 \cdot \frac{e^{-jkr}}{r} \left(e^{j(\frac{\phi}{2} + k \frac{h}{2} \cos \theta)} + e^{-j(\frac{\phi}{2} + k \frac{h}{2} \cos \theta)} \right) = \vec{r}_e \cdot \alpha \cdot I_0 \cdot \frac{e^{-jkr}}{r} \cdot 2 \cos\left(\frac{\phi}{2} + k \frac{h}{2} \cos \theta\right)$$

$$F_s(\theta, \phi)$$

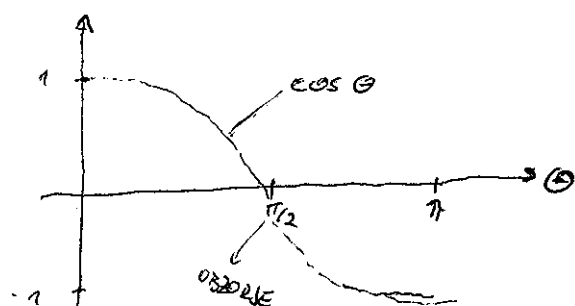
↓

$$F(\theta, \phi) = \cos\left(\frac{\psi}{2} + k \cdot \frac{h}{2} \cos \theta\right)$$

POGLEJNO SI ZGLEJ:

1) BOČNA SKUPINA ($\psi=0 \rightarrow$ SOFAZNO KAPAJANJE ANTEN)

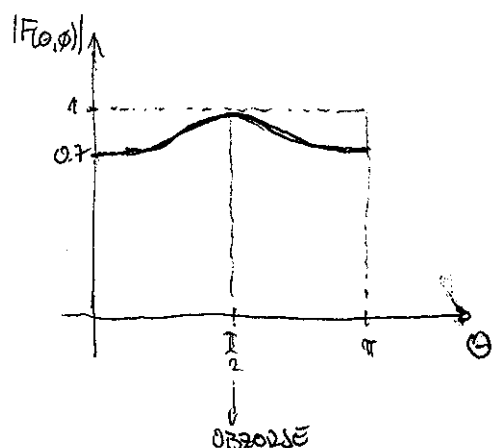
$$F(\theta, \phi) = \cos\left(\frac{kh}{2} \cos \theta\right)$$



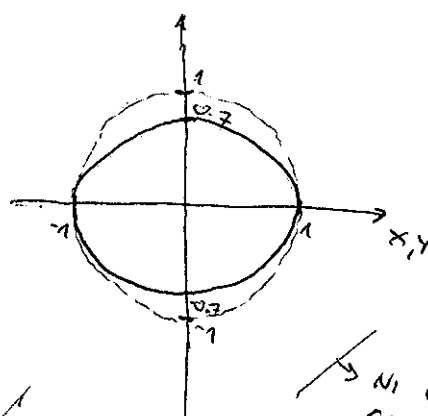
$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\rightarrow F(\theta, \phi) = \cos\left(\pi \cdot \frac{h}{\lambda} \cos \theta\right)$$

1) $h = \frac{\lambda}{4} \rightarrow F(\theta, \phi) = \cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)$



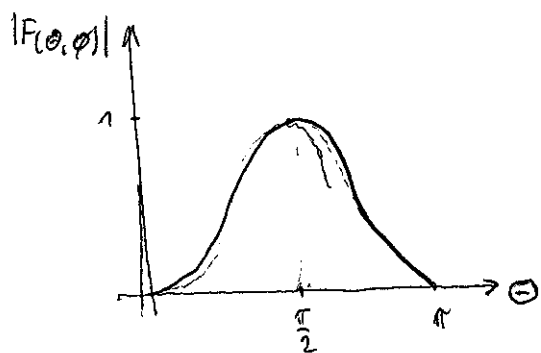
$\Rightarrow$
LAHKO SI
NARIŠENO



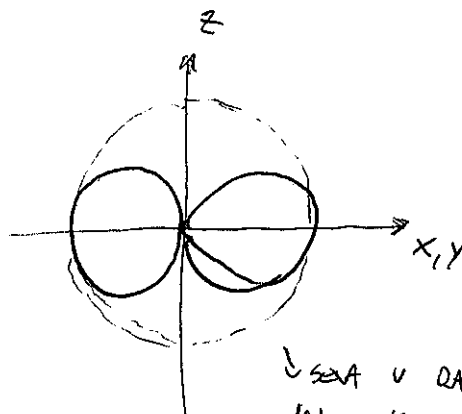
$\rightarrow$ NI UČINKA
SKUPINE

NI ŠE NEKEGA UČINKA

2) $h = \frac{\lambda}{2}$ $F(\theta, \phi) = \cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)$

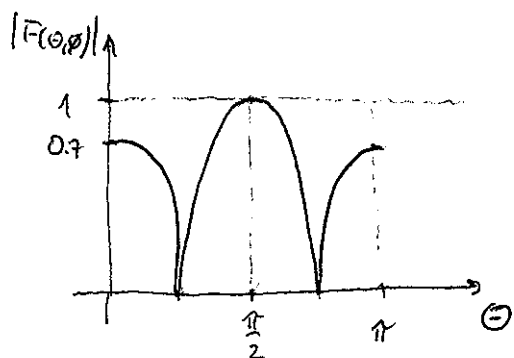


↑
MÁLO VĚŠ
VĚLNKA

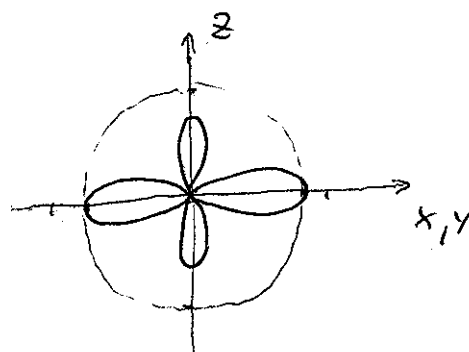


↓ SÍLA V ROVNINĚ X, Y
IN NIČ V Z

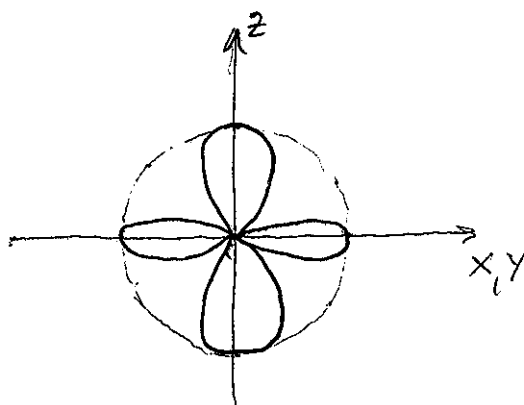
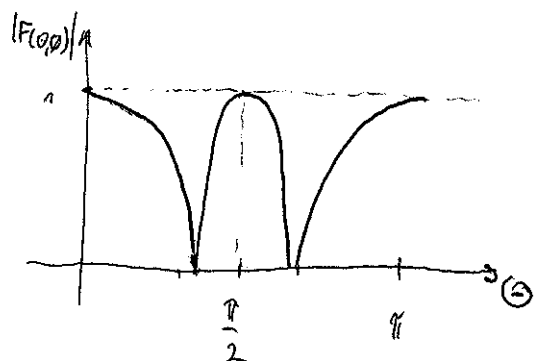
3) $h = \frac{3\lambda}{4}$ $F(\theta, \phi) = \cos\left(\frac{3\pi}{4} \cos \theta\right)$



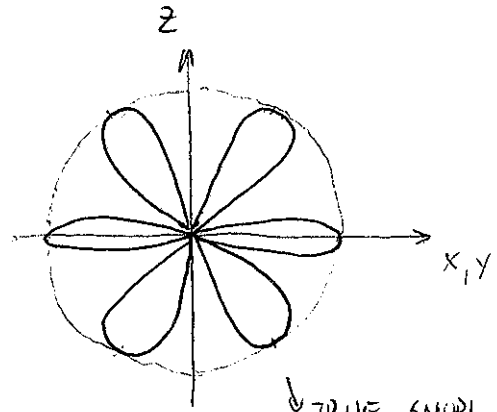
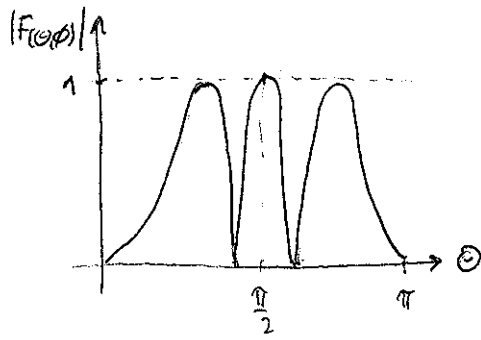
↑
TU NĚKDE VÍŠ
BO MÁVĚJŠA SMĚRNOST



4) $h = \lambda$ $F(\theta, \phi) = \cos(\pi \cdot \cos \theta)$

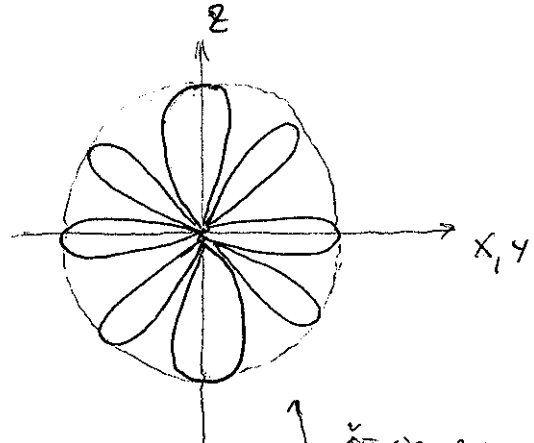
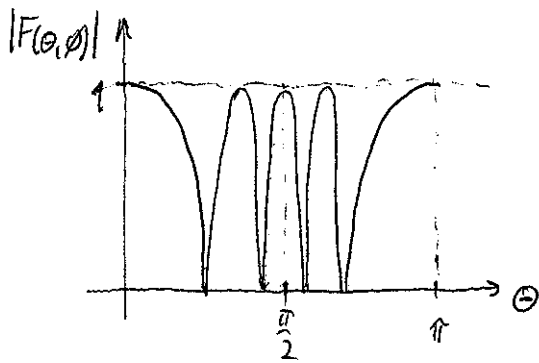


5) $h = \frac{3\lambda}{2}$ $F(\Theta, \phi) = \cos\left(\frac{3\pi}{2} \cos \Theta\right)$

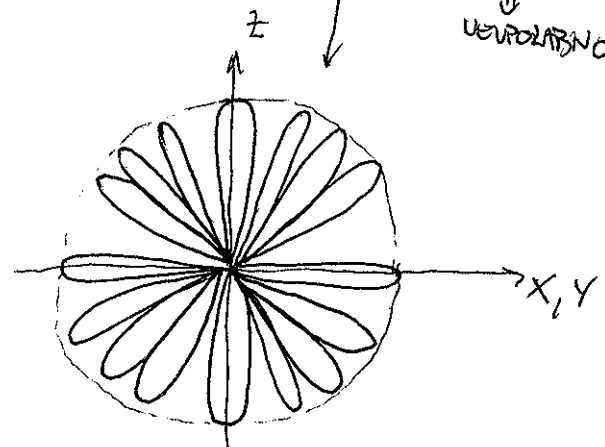
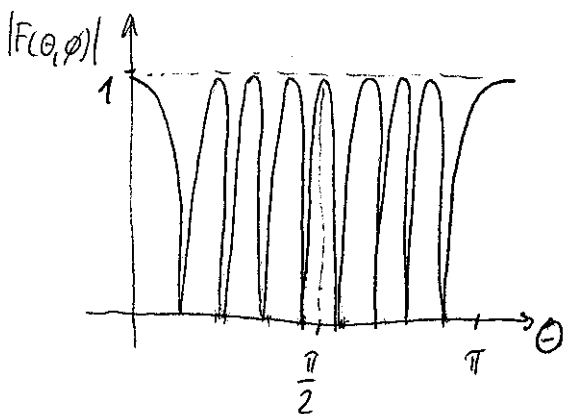


↓ TRŽE SNOPI, KOT
JE KROJNO SIMETRIČNO

6) $h = 2\lambda$ $F(\Theta, \phi) = \cos(2\pi \cos \Theta)$



7) $h = 4\lambda$ $F(\Theta, \phi) = \cos(4\pi \cos \Theta)$



↓
ČE SIA MNŽENI DALEČ NARAZU
↓
MOŽE SNOPOV
↓
NEUPOLARNO

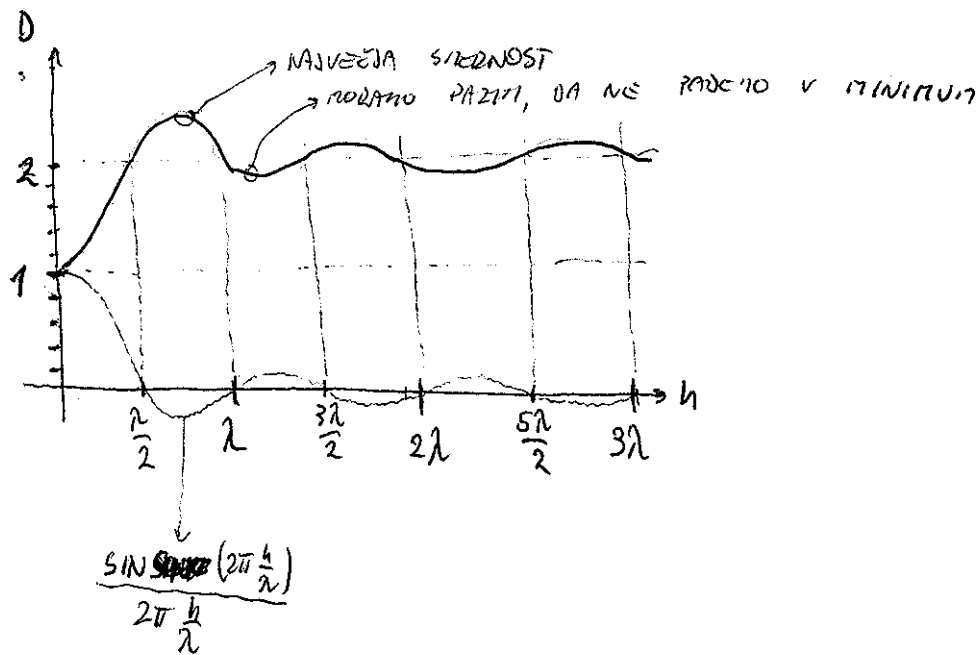
DASIMO ZA NAŠ DAN SITERNI DIAGRAM IZRAČUNATI SITERNOST:

$$D = \frac{4\pi |F(\Theta_{\text{nasv}}, \Phi_{\text{nasv}})|^2}{\int_{4\pi} |F(\Theta, \Phi)|^2 d\Omega} = \frac{4\pi \cdot 1^2}{2\pi \int_0^\pi \cos^2\left(\frac{k \cdot h}{2} \cos \Theta\right) \cdot \sin \Theta d\Theta} =$$

$\mu = \cos \Theta$
 $d\mu = -\sin \Theta d\Theta$

$$= \frac{2}{\int_{-1}^1 \cos^2\left(\frac{k \cdot h}{2} \mu\right) d\mu} = \frac{2}{\frac{1}{2} \int_{-1}^1 (1 + \cos(k \cdot h \cdot \mu)) d\mu} = \frac{2}{1 + \frac{\sin(k \cdot h)}{k \cdot h}}$$

$$D = \frac{2}{1 + \frac{\sin\left(2\pi \cdot \frac{h}{\lambda}\right)}{2\pi \cdot \frac{h}{\lambda}}}$$



ŠE VEČJE VPRAŠANJE:

KAJ ČE BI ŽELELI SKUPINO, KI SVETI V ENI OSI?



2) OSMÁ SKUPINA

$$F(\Theta_{\text{max}}, \phi_{\text{max}}) @ \Theta_m = 0 \quad (+z)$$

$$F(\Theta, \phi) = \cos\left(\frac{\psi}{2} + \frac{k h}{2} \cos \Theta\right)$$

↳ možná zkusíme: $\psi = -k \cdot h$, DA BO $\cos(\quad) = 0$!

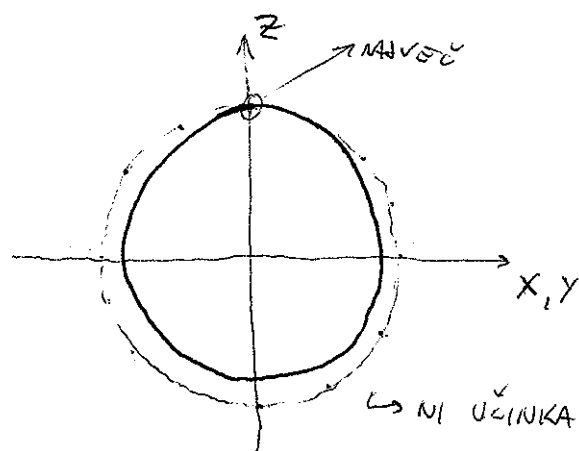
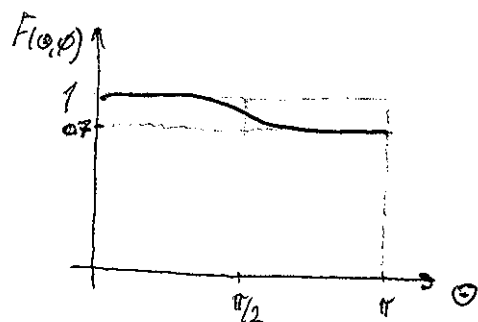
$$F(\Theta, \phi) = \cos\left(\frac{k h}{2} (\cos \Theta - 1)\right) \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$F(\Theta, \phi) = \cos\left(\pi \cdot \frac{h}{\lambda} (\cos \Theta - 1)\right)$$

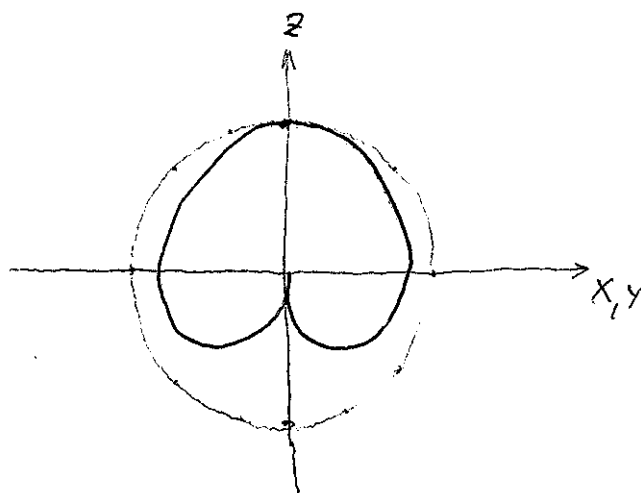
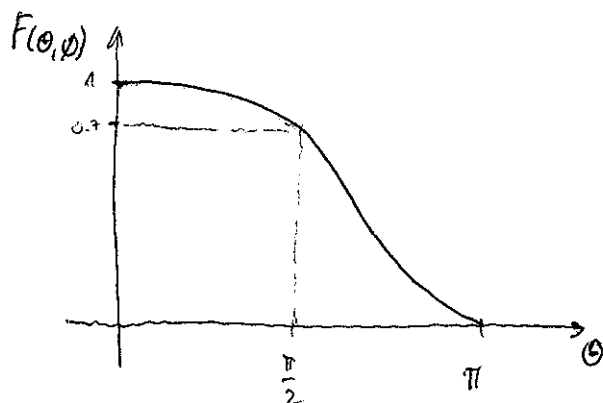
ZGLEDI:

1) $h = \frac{\lambda}{8}$ $F(\Theta, \phi) = \cos\left(\frac{\pi}{8} (\cos \Theta - 1)\right)$

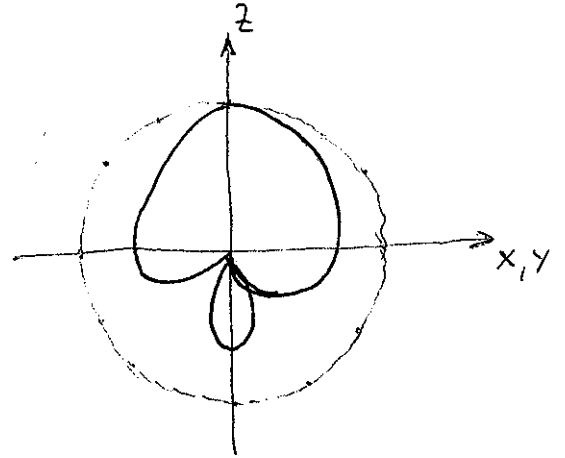
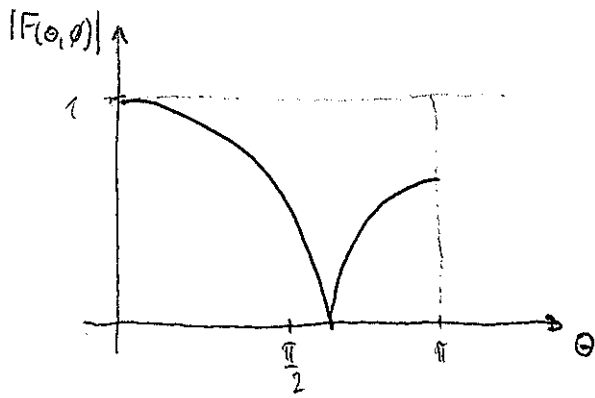
$\Theta \div \frac{\pi}{4}$
 $\Theta \div 2$



2) $h = \frac{\lambda}{4}$ $F(\Theta, \phi) = \cos\left(\frac{\pi}{4} (\cos \Theta - 1)\right)$

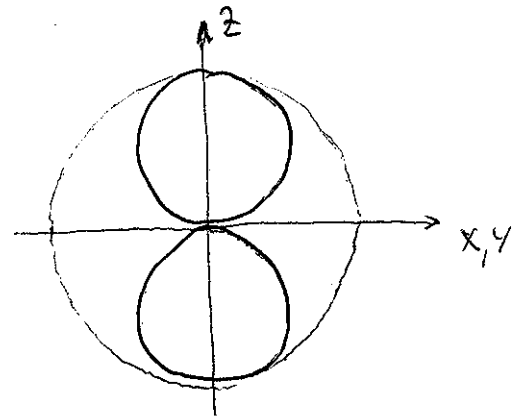
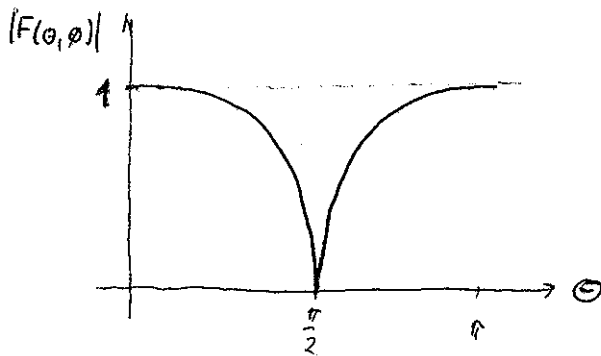


3) $h = \frac{3\lambda}{8}$ $F(\Theta, \phi) = \cos\left(\frac{3\pi}{8}(\cos \Theta - 1)\right)$

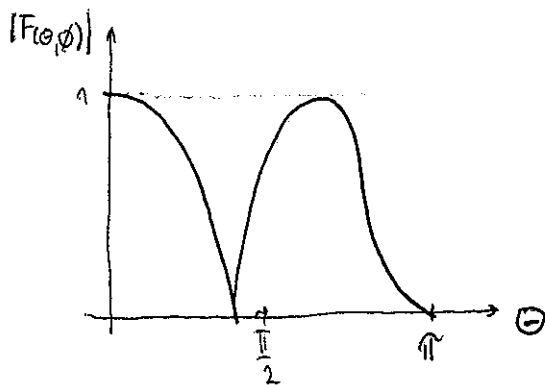


NEKJE NEB $h = \frac{\lambda}{4}$ in $\frac{3\lambda}{8}$ BO NAJVEČJA SIMETRIJA! ✓

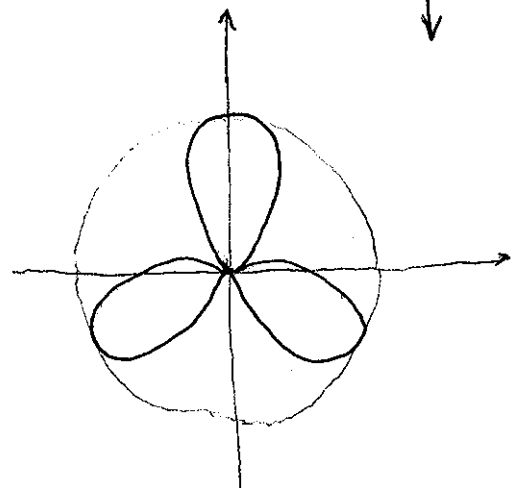
4) $h = \frac{\lambda}{2}$ $F(\Theta, \phi) = \cos\left(\frac{\pi}{2}(\cos \Theta - 1)\right)$



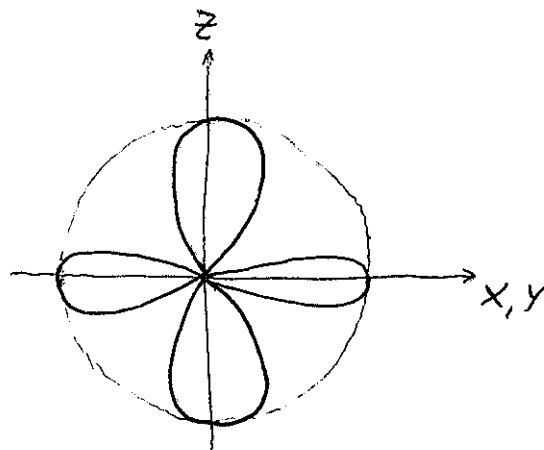
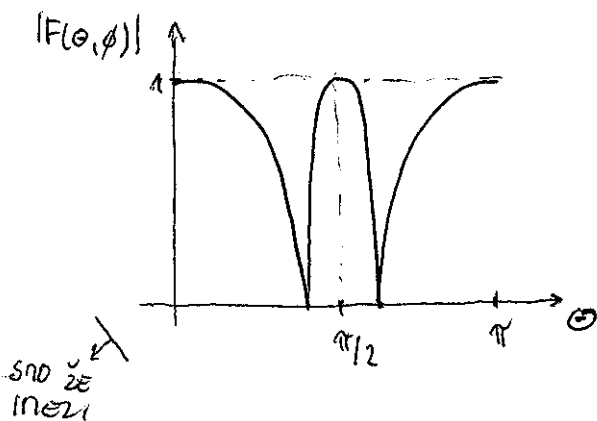
5) $h = \frac{3\lambda}{4}$ $F(\Theta, \phi) = \cos\left(\frac{3\pi}{4}(\cos \Theta - 1)\right)$



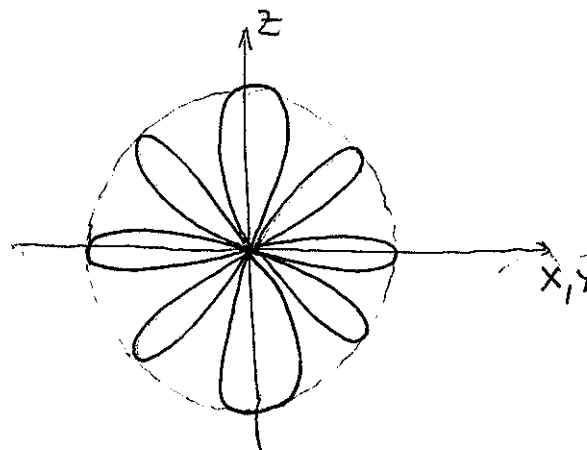
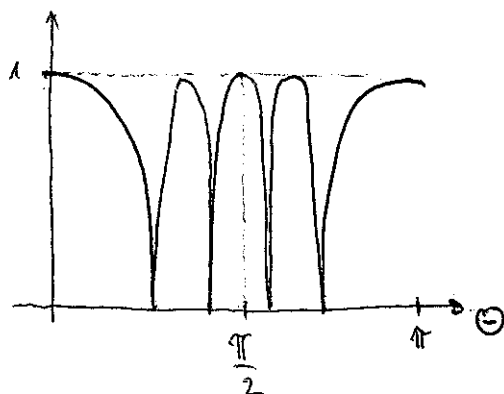
NEUPORABNO ✓
↓



6) $h = \lambda \quad F(\theta, \phi) = \cos(\pi(\cos \theta - 1))$



7) $h = 2\lambda \quad F(\theta, \phi) = \cos(2\pi(\cos \theta - 1)) = \cos(2\pi \cos \theta) \rightarrow$ sno tudi že inez,



$\rightarrow$ ni rečeno, da doseže 1, vendar lahko φ in h tako izberemo, da doseže.

$\rightarrow \varphi \uparrow, h \downarrow$

$$D = \frac{4\pi |F(\theta_{max}, \phi_{max})|^2}{\int_{4\pi} |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega} = \frac{2 |F(\theta_{max}, \phi_{max})|^2}{\int_0^\pi \cos^2\left(\frac{\varphi}{2} + \frac{kh}{2} \cos \theta\right) \sin \theta d\theta} =$$

$$= \frac{2 |F_{max}|^2}{\frac{1}{2} \int_{-1}^1 (\cos(\varphi + kh u)) du} = \frac{2 |F_{max}|^2}{1 + \frac{1}{2kh} \sin(\varphi + kh \cdot 1) - \sin(\varphi - kh)} =$$

$$= \frac{2 |F(\theta_{max}, \phi_{max})|^2}{1 + \frac{\sin kh}{kh} \cos \varphi} \rightarrow = ? \rightarrow \text{poglejmo si naš zločed:}$$

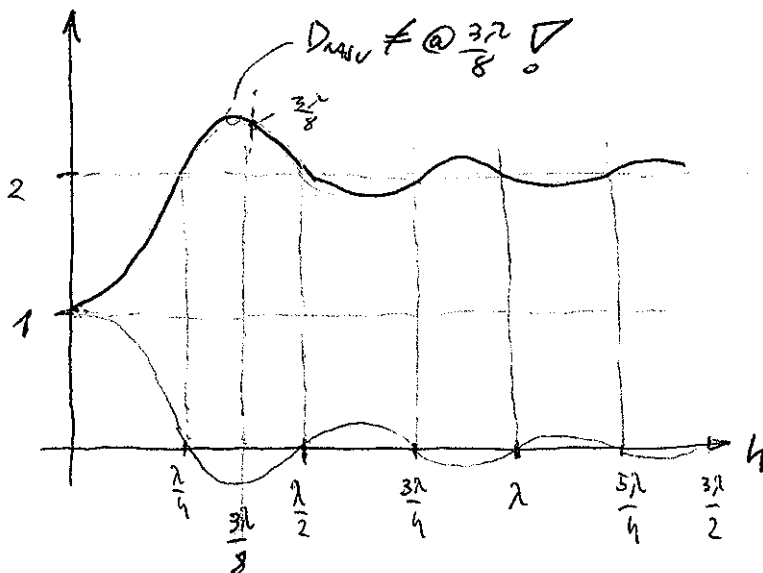
$\varphi = -kh, \quad F(\theta_{max}, \phi_{max}) = 1$

$\sin(\varphi + kh) - \sin(\varphi - kh) =$
 $= \sin \varphi \cos kh + \cos \varphi \sin kh -$
 $- \sin \varphi \cos kh + \cos \varphi \sin kh =$
 $= 2 \cos \varphi \sin kh$





$$D = \frac{2}{1 + \frac{\sin kh}{kh} \cdot \cos(-kh)} = \frac{2}{1 + \frac{\sin 2kh}{2kh}}$$



TO NI NAJVEČJA STERNOST. MĀĀ IZBIRA $\varphi = -kh$ NI RAUNO NAJBOLŠA.

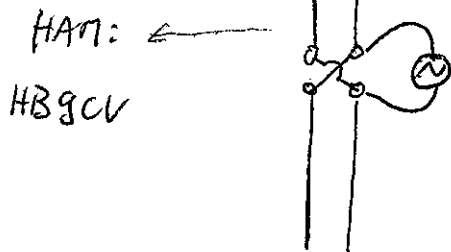
ČE IŠČENO ČINIVČI DOBITEK SE IZKAŽE, DA NAJBOLJE $\varphi \rightarrow \pi, h \rightarrow 0$

$D_{max} \rightarrow 4$

R_s, η } UPRALIŠIVO!

$h \ll \lambda \rightarrow$ PRAKSA: $0.05\lambda \div 0.1\lambda$

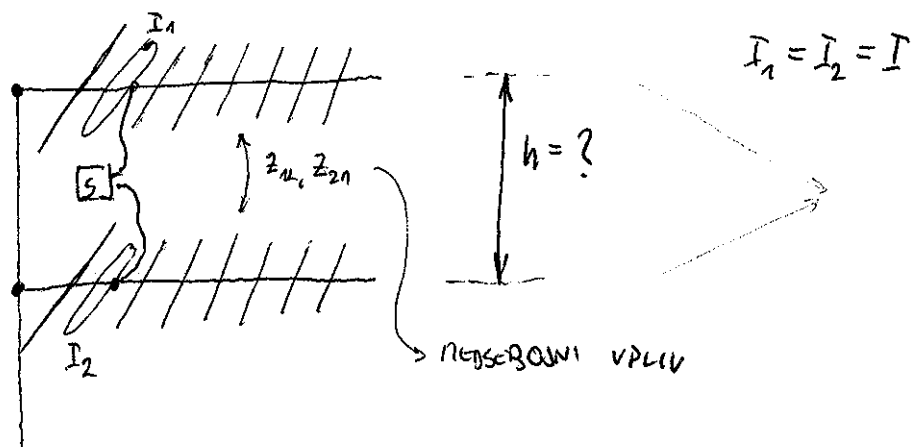
ČE PREBUDU SKUPAS: $R_s \rightarrow 0$



BACK FIRE ANTENNA ARRAY $\rightarrow$ SVA V OBRATNI STORI

POGLEJNO SI, ČE OBSTAJA BLIŽNICA ZA ISKANJE $D_{MUV} = ?$

NPR: GLENO V TRGOVINO IN KUPINO 2 ENAKI ANTENI:



DELAMO BOČNO SKUPINO: $\psi = 0$

1) POSKUSIMO RAZLIČNE h IN MERIMO $F(\theta, \phi)$ IN IŠČIMO (RAČUNAMO) NAJVEČJO VR.

TEŽAVA:

PODAMO MERITI NAJMANJŠI OVA PREREZA

ČE IMAMO 1 ANTENO:

$$I \rightarrow E_1, P_{s1}$$

ČE IMAMO 2 ANTENI:

$$2I \rightarrow 2E_1, 4 \cdot P_{s1}$$

SPREJEM

ODDAJA:

$$P_{000} = ?$$

$$1 \text{ ANTENA: } P_{000,1} = \frac{1}{2} |I|^2 \cdot R_s = \frac{1}{2} |I|^2 \cdot \operatorname{Re}[Z]$$

$$2 \text{ ANTENI: } P_0 = \operatorname{Re} \left(\frac{1}{2} U_1 I_1^* + \frac{1}{2} U_2 I_2^* \right) = \operatorname{Re} \left(\frac{1}{2} U_1 I^* + \frac{1}{2} U_2 I^* \right) =$$

ZA ENAKI ANTENI: $Z_{11} = Z_{22}$

ZARADI RECIPROČNOSTI: $Z_{12} = Z_{21}$

$$= \operatorname{Re} \left(\frac{1}{2} [Z_{11} + Z_{12}] |I|^2 + \frac{1}{2} [Z_{21} + Z_{22}] |I|^2 \right)$$

$$P_0 = |I|^2 \cdot \operatorname{Re}(Z_{11} + Z_{12})$$

KOLIKO BO D CELOTNE SKUPINE:

$$D = \underbrace{De \cdot P_{s1}}_{\text{SREDNOST POSEBEZNE ANTENE}} \cdot \underbrace{\frac{P_{\text{odd},1}}{P_0}}_{2 \text{ ANTENI}} = De \cdot \frac{4 \cdot \frac{1}{2} |I|^2 \operatorname{Re}[Z_{11}]}{|I|^2 \cdot \operatorname{Re}[Z_{11} + Z_{12}]} = De \cdot \frac{2 \operatorname{Re}[Z_{11}]}{\underbrace{\operatorname{Re}[Z_{11}] + \operatorname{Re}[Z_{12}]}_{\text{TOČNO!}}}$$

IŠČENO D_{max} :

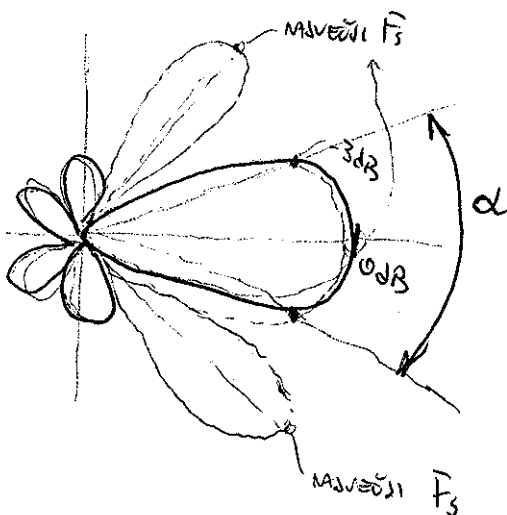
MORAMO POGLEDATI, KJE KONČA $\operatorname{Re}[Z_{12}]$:



MEZIMO Z_{12} IN Z ENO SMO MERILNJO PRETIKAMO ANTENO, DA BO $Z_{12} < 0$ IN NAJMANJŠA.

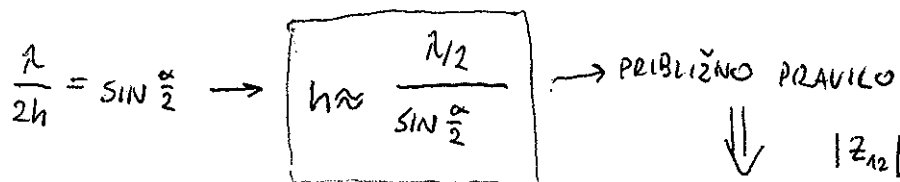
→ KDAJ MORAMO MREDITI HITREJE, ZATO SI POGLEDNO PRIBLIŽEN POSTOPEK:

3) NARISAN NARISAN



POSKUSIMO POSTAVITI KSTE SMERNEGA DIAGRAMA SKUPINE TAKO, DA BO PRVI VRA PRAZ V NIČLO SMERNEGA DIAGRAMA ANTENE.

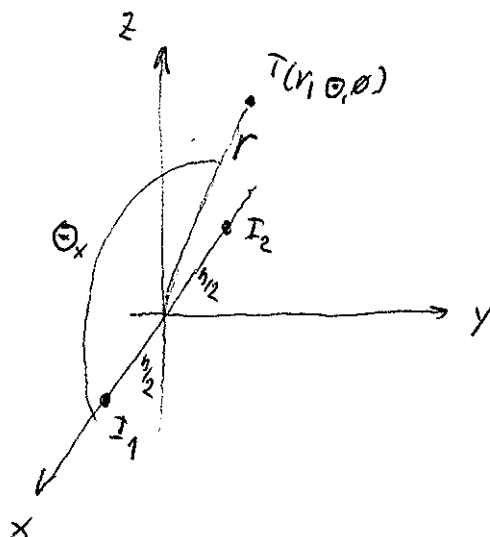
↓
KAKO PRIDENO DO TEGA?



13 11. 19.

$$F_s = \cos\left(\frac{\gamma}{2} + \frac{k \cdot h}{2} \cos \Theta\right)$$

DOKLER IMAMO SAMO V 2-OSI JE VSE DOBRO.
KAI, ČE IMAMO V DRUGIH OSEH?



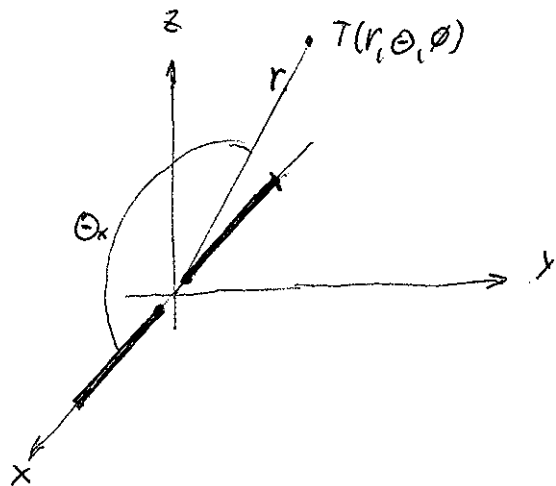
$$F_s = \cos\left(\frac{\psi}{2} + \frac{\kappa h}{2} \cos(\Theta_\kappa)\right)$$

$$\cos(\theta_x) = \frac{x}{r} = \sin \theta \cos \phi$$

$$F_s = \cos\left(\frac{\gamma}{2} + \frac{\kappa h}{2} \sin\theta \cos\phi\right)$$

KAJ ČE BI IMELI ANTENO, KI NIJA COS Θ NOTER?

$\frac{\lambda}{2}$ DIPOLO

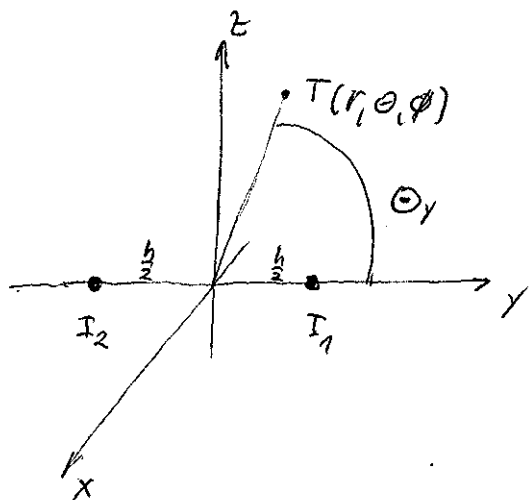


$$\sin \Theta_x = \sqrt{1 - \cos^2 \Theta_x}$$

↳ TEŽAVA

$$F_e = \frac{\cos(\frac{\pi}{2} \cos \Theta_x)}{\sin \Theta_x} = \frac{\cos(\frac{\pi}{2} \sin \Theta \cos \phi)}{\sqrt{1 - \sin^2 \Theta \cos^2 \phi}}$$

KAJ SE ZGODI, ČE STVARI POSTAVIMO V SMERI OSI Y?



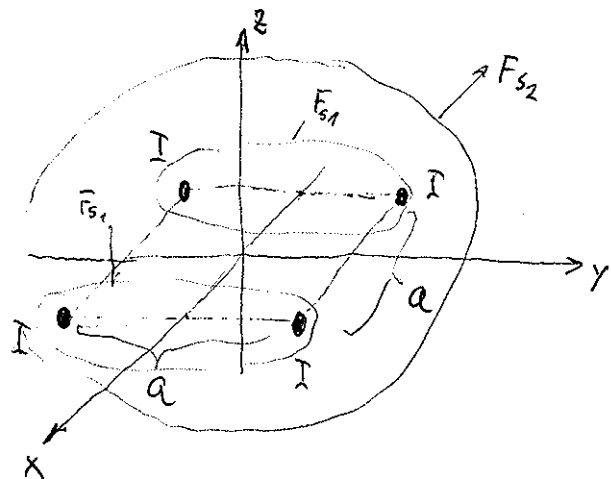
$$F_s = \cos\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi h}{2} \cos \Theta_y\right)$$

$$\cos \Theta_y = \frac{y}{r} = \sin \Theta \sin \phi$$

$$F_s = \cos\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi h}{2} \sin \Theta \sin \phi\right)$$

TO ZMANJE JE UPORABNO, ČE DELAMO SKUPINO, KJER SO ANTENE V VSEH OSIH.

BOČNA SKUPINA: BOČNA SMER: OS Z, $F_e = 1 \rightarrow$ NEUSMERJENE ANTENE

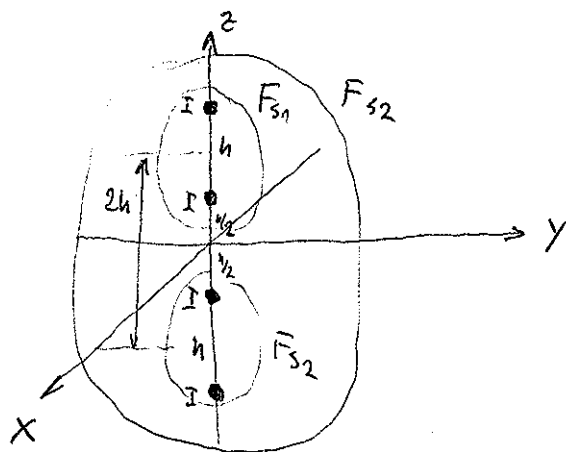


$$F_{s1} = \cos\left(\frac{\pi a}{2} \sin \Theta \sin \phi\right)$$

$$F_{s2} = \cos\left(\frac{\pi a}{2} \sin \Theta \cos \phi\right)$$

$$F = F_{s1} \cdot F_{s2} \cdot F_e = \cos\left(\frac{\pi a}{2} \sin \Theta \sin \phi\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi a}{2} \sin \Theta \cos \phi\right)$$

BOČNA SNER: X-Y RAVNINA

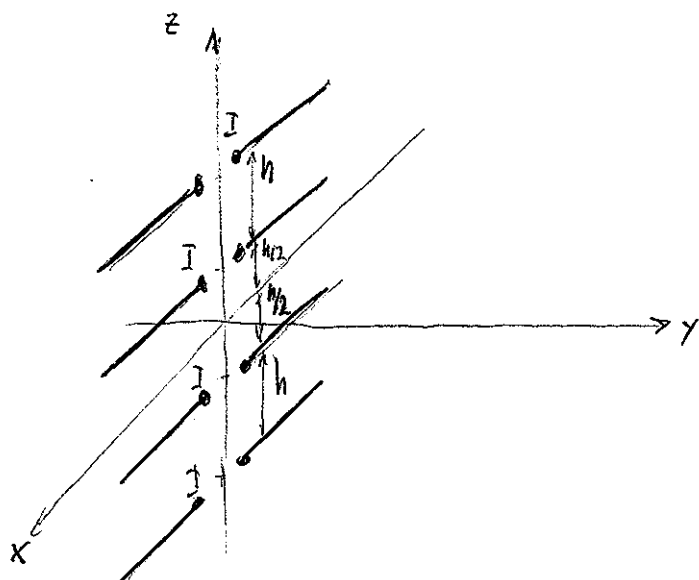


$$F_{s1} = \cos\left(\frac{k \cdot h}{2} \cos \Theta\right)$$

$$F_{s2} = \cos\left(k \cdot \frac{2h}{2} \cos \Theta\right)$$

$$F = F_{s2} \cdot F_{s1} \cdot F_e = \cos(k \cdot h \cos \Theta) \cos\left(\frac{k \cdot h}{2} \cos \Theta\right)$$

• KAS PA ČE IMA ELEMENT USMERJENOST?



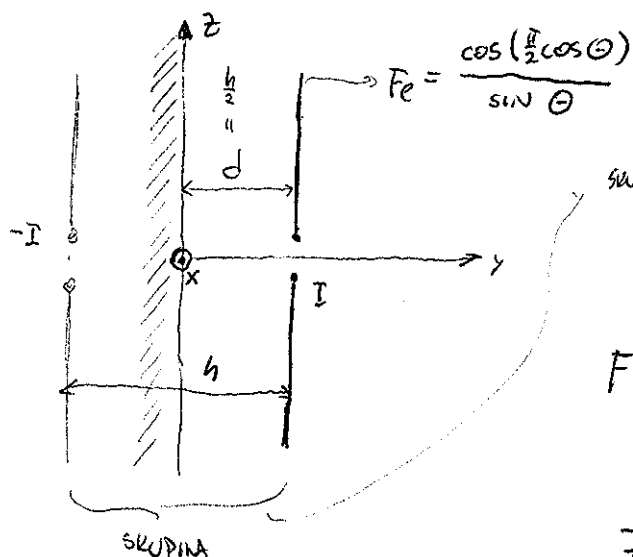
$$F_e = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \Theta \cos \phi\right)}{\sqrt{1 - \sin^2 \Theta \cdot \cos^2 \phi}}$$

$$F = \cos(kh \cos \Theta) \cos\left(\frac{k \cdot h}{2} \cos \Theta\right) \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \Theta \cos \phi\right)}{\sqrt{1 - \sin^2 \Theta \cos^2 \phi}}$$

SINO, KER JE
LAHKO 0

• VELIKOKRAT IMAMO ZGLED, KI NA PRVI POGLED IMA SKUPINA:

$\lambda/2$ DIPOL PRED VORINSKO PLOŠČO:



$$F_e = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \Theta\right)}{\sin \Theta}$$

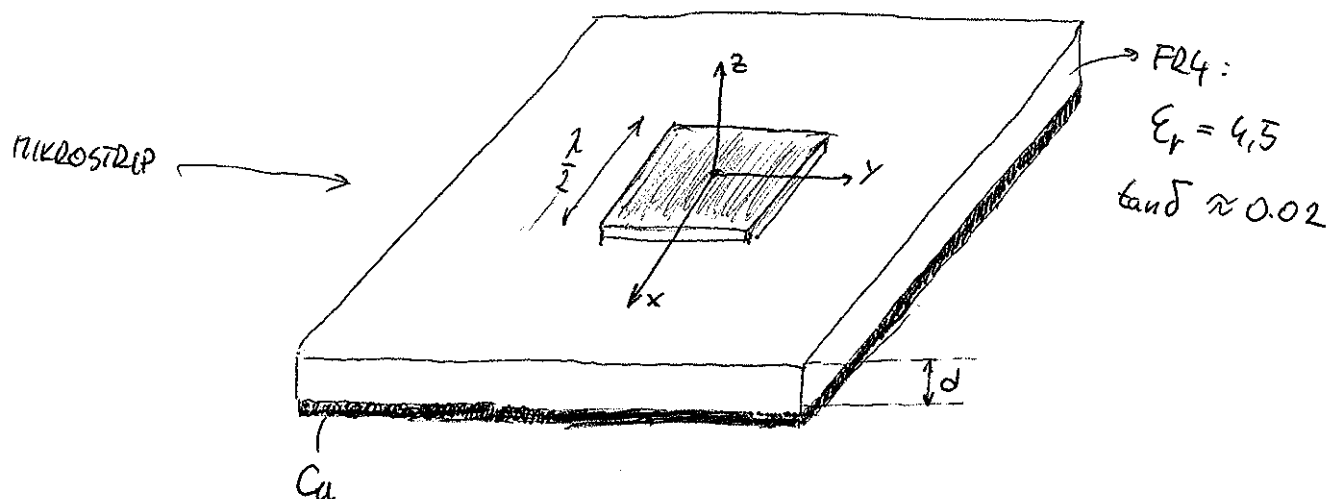
ker teče po zrcalni sliki torej -I

$\varphi = -\pi$ ZA LAŽJE IŠČENJE

SKUPINA: $F_s = \cos\left(\frac{\varphi}{2} + \frac{k \cdot h}{2} \cos \Theta\right) = \cos\left(\frac{\pi}{2} + k \cdot h \sin \Theta \sin \phi\right) = \sin(k \cdot h \sin \Theta \sin \phi)$

$$F = F_s \cdot F_e = \sin(k \cdot h \sin \Theta \sin \phi) \cdot \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \Theta\right)}{\sin \Theta}$$

EN PRIMER TAKEGA DIPOLA JE ANTENA NA TISKANEM VEŽBU:

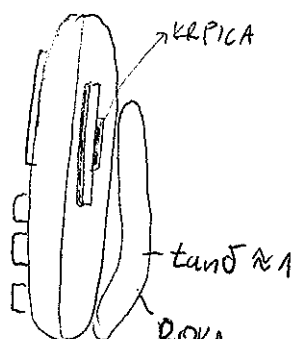


TEŽAVA: VELIKOKRAT JE $d \ll \lambda$

KJE SE POZNA:

$$F_s = \sin(kd \cos \Theta) = \sin\left(2\pi \cdot \left(\frac{d}{\lambda}\right) \cos \Theta\right) \ll 1 \rightarrow \text{SLAB IZKORISTEN}$$

OBČAJEN ZGLED UPORABE: TELEFON



VELIKOKRAT SE JO NAZEDI NA KERAMIKI:

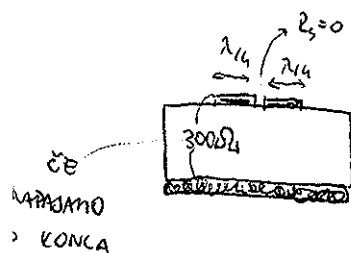
Al_2O_3 : $\epsilon_r \approx 10 \rightarrow$ LAHKO MANJŠA ANTENA

$$\tan \delta \approx 0.001$$

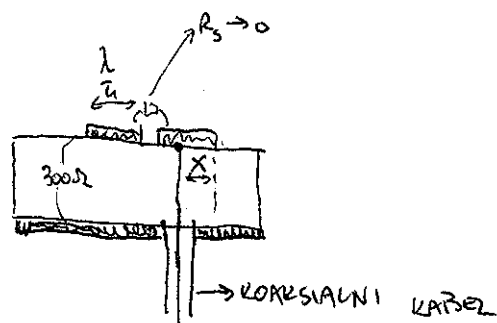
ROKA $\rightarrow$ TEŽAVA: Z ROKO POKRIVENO ANTENO: $\eta \approx 0.1\%$. $R_s \rightarrow 0$

KAKO NAPAJATI TAKE KRPICE?

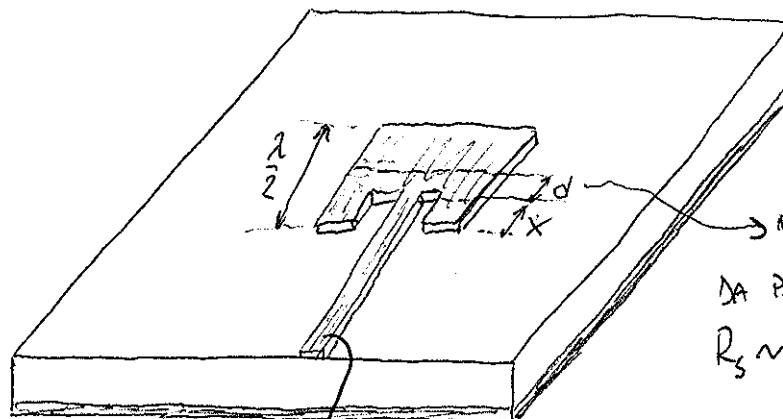
ČE NARIŠENO BOČNO:



LAHKO



2) TISKANO VERZJE:



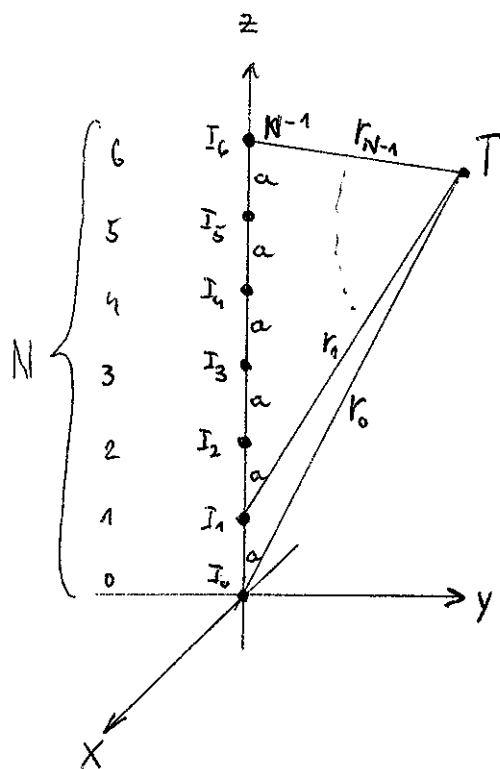
→ IZPRAVILNO NA PRAVI DOLŽINI,
DA PRILAGODIMO, DA NE DOBIMO
 $R_s \sim N \cdot 100 \Omega$
↓
NEKAJ 100 Ω

→ KARAKTERISTIČNI VOL ZA $\sim 50 \Omega$

KAJ LAHKO ŠE NADELIMO 2 ANTENAMI?

LAHKO NADELIMO ENAKOMERNO SKUPINO:

DA LAHKO NADELIMO BČNO
ALI OSNO SKUPINO { DOJAMO ENAKOMERNO
FAZNI ZAPNIK



ANTENE IZPRAVILNO V NEKEM REDU: $I_m = I_0 e^{j\phi_m}$

$$\vec{E} = \vec{I}_E \propto \left(I_0 \cdot \frac{e^{-jk r_0}}{r_0} + I_1 \frac{e^{-jk r_1}}{r_1} + \dots + I_{N-1} \frac{e^{-jk r_{N-1}}}{r_{N-1}} \right)$$

FRAUNHOFER:

$$r \gg \frac{2[(N-1)a]^2}{\lambda}$$

$$\vec{E} = \vec{I}_E \propto I_0 \frac{e^{-jk r}}{r} \left(1 + e^{j\phi} e^{jk(a \cos \theta)} + \dots + e^{j(N-1)\phi} e^{j(N-1)ka \cos \theta} \right)$$

SEŠTEJEMO VRSTO

$$\vec{E} = \vec{I}_E \propto I_0 \frac{e^{-jk r}}{r} \left(\frac{1 - e^{jN(\phi + ka \cos \theta)}}{1 - e^{j(\phi + ka \cos \theta)}} \right) = \dots$$

$$1 - e^{j\alpha} = e^{j\frac{\alpha}{2}} (e^{-j\frac{\alpha}{2}} - e^{j\frac{\alpha}{2}}) = -2j e^{j\frac{\alpha}{2}} \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$\vec{E} = \vec{I}_E \cdot \alpha \cdot I_0 \cdot \frac{e^{-jkr}}{r} \cdot \underbrace{e^{j\frac{(N-1)}{2}(\varphi + ka \cos \Theta)}}_{F(\Theta, \varphi)} \cdot \underbrace{\frac{\sin \frac{N}{2}(\varphi + ka \cos \Theta)}{\sin \frac{1}{2}(\varphi + ka \cos \Theta)}}_{F(\Theta, \varphi)}$$

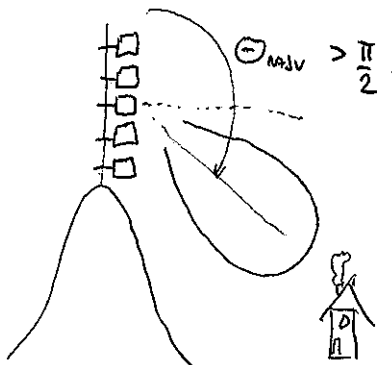
FAZA ODVISNOST
 → FAZNO SREDIŠČE NI V KOORDINATNIH IZHODIŠČU
 IZNIK FAZNEGA SREDIŠČA

LAHKO POGLEDAMO, KJE BO MAKSIMUM SMERNEGA DIAGRAMA.

ZA RENO SKUPINO: $\varphi = 0$

$$F = \frac{\sin(\frac{N}{2} k a \cos \Theta)}{\sin(\frac{1}{2} k a \cos \Theta)}$$

KAJ DOSTIKRAT POSKUŠAMO NAJDI S TEM FAZNI KOTOM?



POSKUŠIMO OKLONITI SNOP DOL:
 KAKO TO NAJDI?

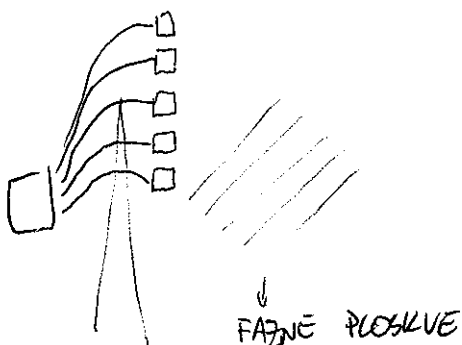
$$\Theta_{max}: \varphi + ka \cdot \cos \Theta_{max} = 0$$

$$\varphi = -ka \cdot \underbrace{\cos \Theta_{max}}_{< 0, \text{ ker } \Theta_{max} > \frac{\pi}{2}}$$

FAZA GORNJIM ANTEN MORA PREHITEVATI, DA BO SNOP OKLONIL NAJDLJ.

KAKO BO TO REŠILI?

Z DOLŽINAMI VODNIKOV DO ANTEN.



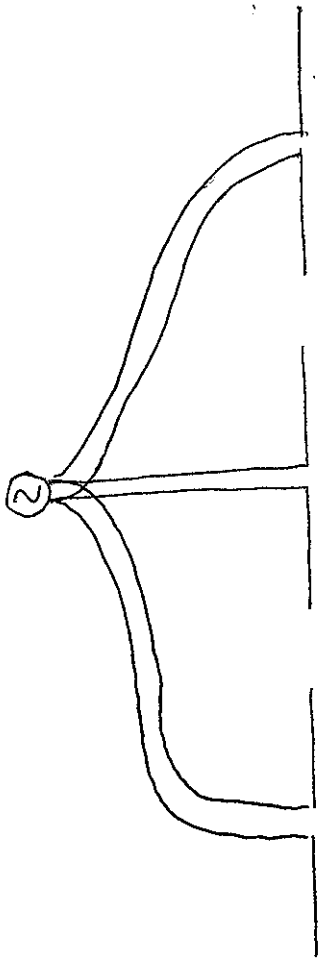
$$l_1 < l_2 < l_3 < l_4 < l_5$$

$$\varphi = -k \cdot l$$

O NAPAJANJU ANTEN:

TEŽAVA: MEDSEBOJNI VPLIVI MED ANTENAMI

NAČELOMA IMAMO DVE MOŽNOSTI:



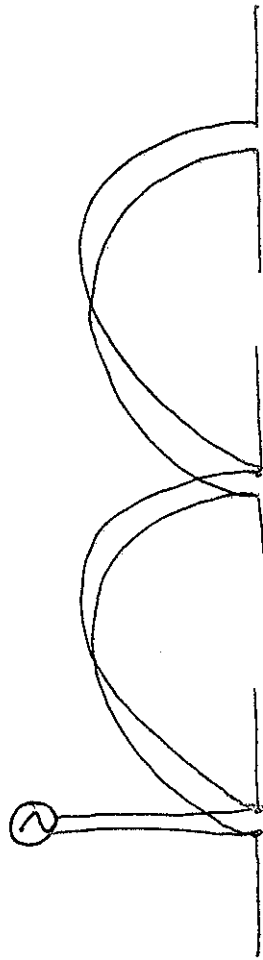
VZPOREJNO



NALEPŠE

$\varphi \neq f(\omega) \rightarrow$ SE NE SPLETINJA
S PLOVENCNO

DRAGO!



ZAPOREDNO



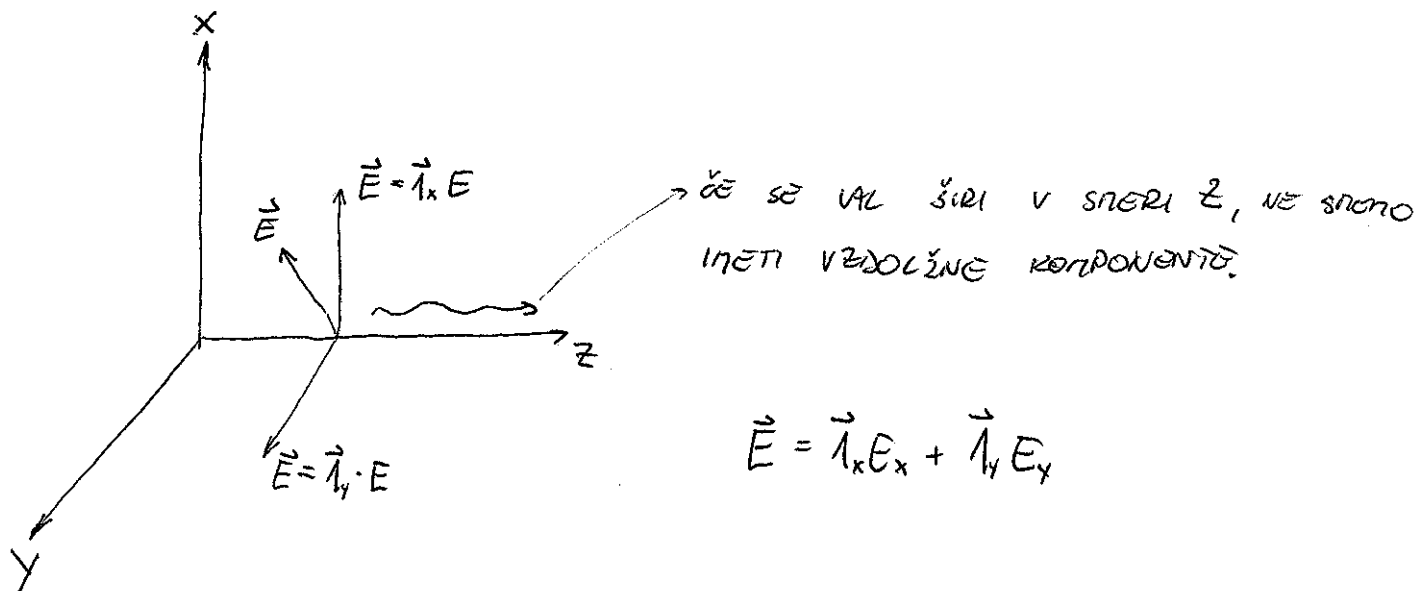
LENEJŠE

$\varphi = f(\omega)$!

POGLEJMO SI ŠE ENO TETO:

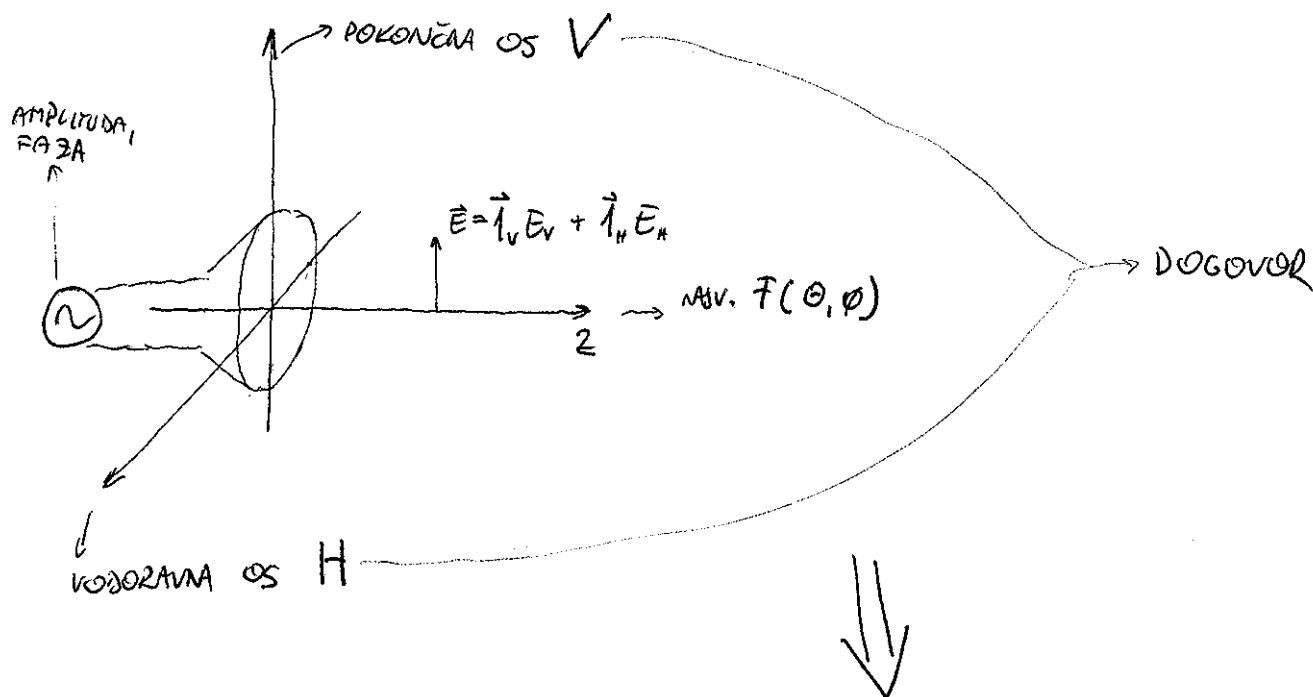
EN VALOVANJE JE PREČNO VALOVANJE. PRI VSAKEM TAKEM IMAMO ŠE EN
PODATEK, KI MU REČEMO POLARIZACIJA.

POLARIZACIJA



ENA REČ PRI POLARIZACIJI:

KOORDINATNI SISTEM POSTAVIMO TAKO, DA NAJPOGNEJŠI SNOP
KAŽE V SMERI z , NE GLEDE NA ODNASO ALI SPREJETA } DEFINICIJA!



RADI BI NAŠLI ENO VELIČINO, KI BI OPISOVALA POLARIZACIJO.

ČE REČENO: $E_x, E_y \rightarrow 4$ PODATKI (2x AMPLITUDA, IN FAZA) $\rightarrow$ PREČEČ

$\hookrightarrow$ TU JE SKRIT TUDI GENERATOR (AMPLITUDA + FAZA) $\rightarrow 2$ PODATKA

IZKAŽE SE, DA ZA POLARIZACIJO POTREBUJEMO DVA PODATKA:

$$\left[\frac{E_v}{E_h} \equiv 2 \text{ PODATKA O POLARIZACIJI} \right]$$

$\hookrightarrow$ RAZMERJE LINEARNIH KOMPONENT

$\hookrightarrow E$ NIHA V ENI RAVNINI (PROMICI)

POLARIZACIJA JE VEDNO VEZANA NA MAKSIMUM SITERNEGA DIAGRAMA.

$$E_v, E_h: \quad E_v = \vec{E} \cdot \vec{1}_v$$

$$E_h = \vec{E} \cdot \vec{1}_h$$

ENA NEZODNOST: E_v JE ZA NAS ALI NOVO ZERANJE DRUGAČEN.
KDO IMA PRAV?

DOBRO BI BILO IMATI ENOTEN ZAPIS.

DRUGAČEN NAČIN:

SI DEFINIRAMO NOVE SMERNE VEKTORJE:

$$\begin{aligned} \vec{1}_L &= \frac{\vec{1}_v + j\vec{1}_h}{\sqrt{2}} \\ \vec{1}_D &= \frac{\vec{1}_v - j\vec{1}_h}{\sqrt{2}} \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \text{LEVI} \\ \text{DEJNI} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{KROŽNA SMERNIKA} \\ \text{IEEE DEFINICIJA} \\ \hookrightarrow \text{TUDI NI REDA PO SVETU.} \\ \hookrightarrow \text{FIZIKI IMAJO RAVNO OBRATNO} \end{array}$$

DA JE DOČIMA 1

$$\vec{E} = \vec{1}_L E_L + \vec{1}_D E_D$$

$$E_L = \vec{E} \cdot \vec{1}_L^*$$

$$E_D = \vec{E} \cdot \vec{1}_D^*$$

KAKO RAČUNAMO S TENI VEKTORSI?

- MORAMO UGOTOVITI, ČE SO ENOTNI:

$$\vec{a}_L \cdot \vec{a}_L = \frac{(\vec{a}_V + j\vec{a}_H)(\vec{a}_V + j\vec{a}_H)}{2} = \frac{1-1}{2} = 0 \rightarrow ?$$

$$\vec{a}_V \cdot \vec{a}_V = 1$$

$$\vec{a}_V \cdot \vec{a}_H = 0$$

MORAMO ZNATI RAČUNATI S KOMPLEKSNIH ŠTEVIL

$$\vec{a}_L \cdot \vec{a}_L^* = 1$$

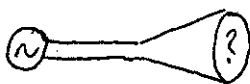
VAŽNA VELIČINA ZA POLARIZACIJO: RAZMERJE KROŽNIH KOMPONENT
 $\downarrow$
 E KROŽI

$$Q = \frac{E_L}{E_D}$$

→ ŠE VEDENO VEZANO NA KOORDINATNI SISTEM

$|Q| \rightarrow$ NI ODVISNA OD IZBIRE SITERI, NA PRIMER $\vec{a}_V$

POLARIZACIJO GLEDO TUDI MERIT:



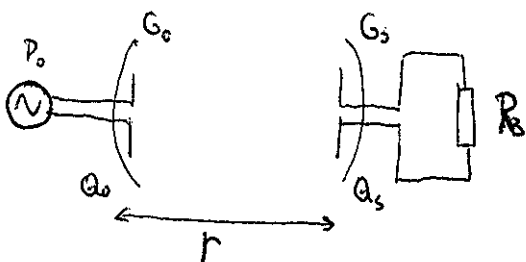
RAZMERJE

$$\frac{U_{MAX}}{U_{MIN}} = R \rightarrow \text{OGNO RAZMERJE}$$

$$1 \leq R = \left| \frac{1+|Q|}{1-|Q|} \right|$$

$$R_{dB} = 20 \cdot \log_{10} \left| \frac{1+|Q|}{1-|Q|} \right| \rightarrow \text{NI VEZAN NA KOORDINATNI SISTEM}$$

KJE NAM PRIDE TO PRI MAŠI ZVEZI V RAČUN?



$$P_s = P_0 G_0 G_s \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \rightarrow \text{ZA SKLADNE } T_x \text{ IN } R_x$$

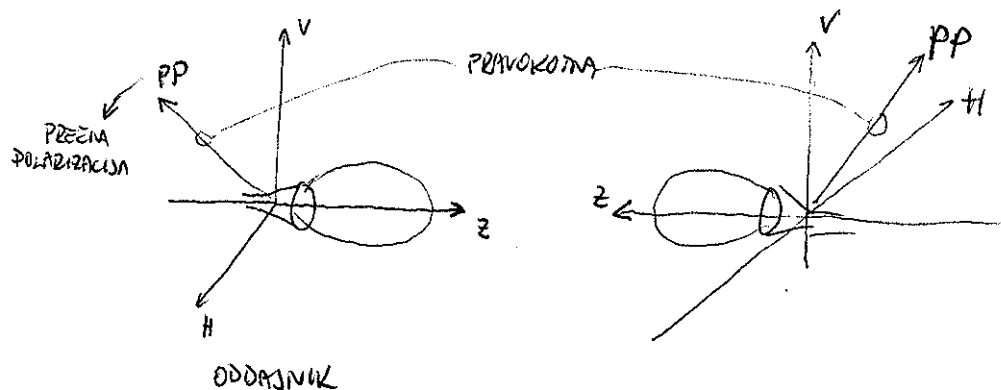
$$P_s = P_0 G_0 G_s \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \frac{1 + Q_0 Q_s}{(1 + |Q_0|^2)(1 + |Q_s|^2)}$$

$0 \leq \eta \leq 1 \rightarrow$ FAKTOR SKUPNOSTI POLARIZACIJE

NAREDINO SI ZGLEJ:

			FAKTOR η ZA RAZNE SPRJEJENIKE						(Q_s)
POLARIZACIJA	Q_0	R	VERTICAL	VOODR	DESNA K.	LEVA K.	POŠEVNA 45°	POŠEVNA 135°	
VERTIKALNA $\vec{E} = \vec{1}_v \cdot E$	1	∞	1	0	$1/2$	$1/2$	$1/2$	$1/2$	
VOODZAVNA $\vec{E} = \vec{1}_h \cdot E$	-1	∞	0	1	$1/2$	$1/2$	$1/2$	$1/2$	
DESNA KROŽNA $\vec{E} = \vec{1}_d \cdot E$	0	1	$1/2$	$1/2$	1	0	$1/2$	$1/2$	
LEVA KROŽNA $\vec{E} = \vec{1}_l \cdot E$	∞	1	$1/2$	$1/2$	0	1	$1/2$	$1/2$	
POŠEVNA POD 45° $\vec{E} = (\vec{1}_h + \vec{1}_v) \cdot \frac{E}{\sqrt{2}}$	-j	∞	$1/2$	$1/2$	$1/2$	$1/2$	0	1	
POŠEVNA POD 135° $\vec{E} = (\vec{1}_v - \vec{1}_h) \cdot \frac{E}{\sqrt{2}}$	j	∞	$1/2$	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	0	

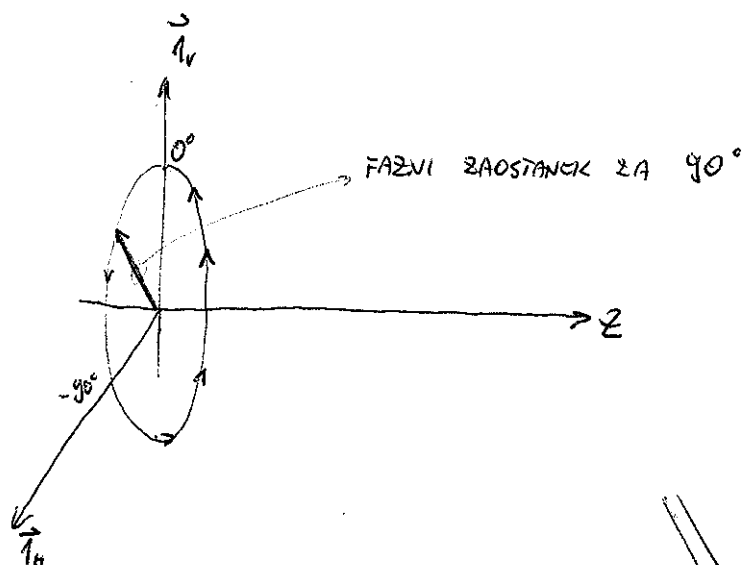
ZARADI NAŠE DEFINICIJE
KOORDINATNEGA SISTEMA
↓
Z-US V SREDI POKLINJENA
SREDNEGA DIAGRAMA



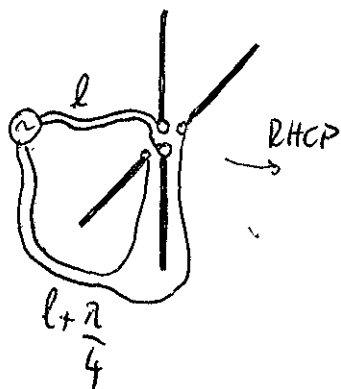
HALCE TEŽJE JE NAREJITI KROŽNO POLARIZACIJO:

SMO REKLI:

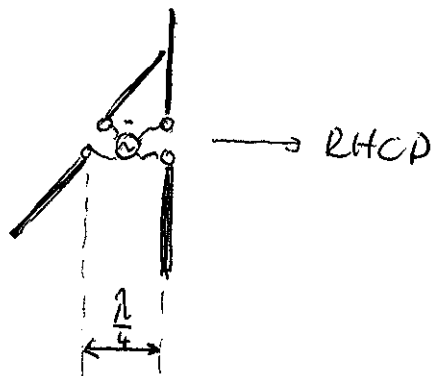
$$\vec{1}_d = \frac{\vec{1}_v - j\vec{1}_h}{\sqrt{2}}$$



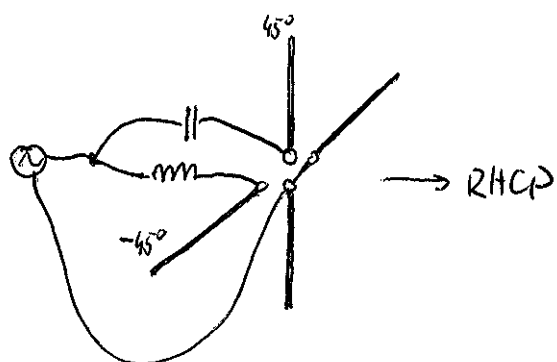
LAHKO DANO DVA DIPOLA:



ALI PA:

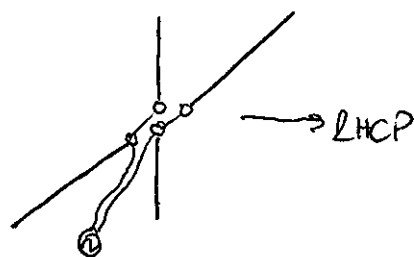
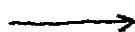
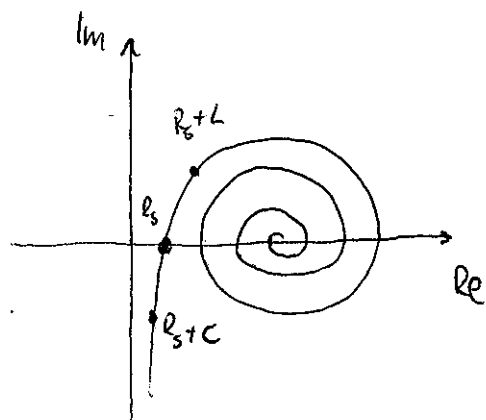


LAHKO TUDI:

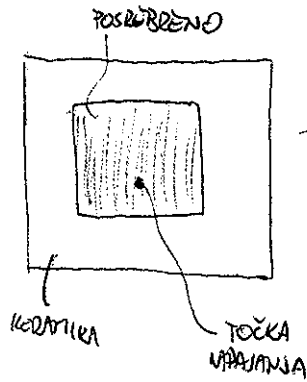


$$\omega L = R_s = \frac{1}{\omega C}$$

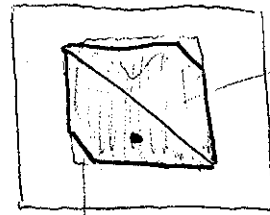
LAHKO STAVIMO GOR L IN C . LAHKO PA NAREDIMO EN DIPOL MALO KRAJŠI,
DRUGI PA MALO DALJŠI IN S TEM NAREDIMO JALOVE KOMPONENTE:



ČE IMAMO MODUL ZA GPS:



KAKO DOBIMO RHCP VEN IZ LISTA?

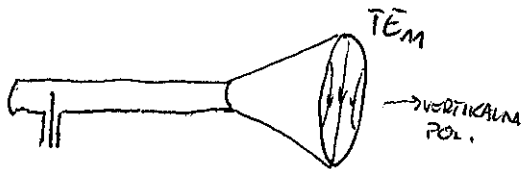


U BISTVU DIPOLA, KI STA VERTIKALNO NAPAJANA

SEDAJŠNJO EN DIPOL

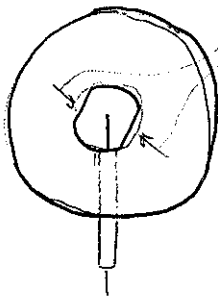
OBSTAJAJO ŠE DRUGE FANTE.

VELIKOKRAT IMAMO OPRAVKA Z VALOVODI:

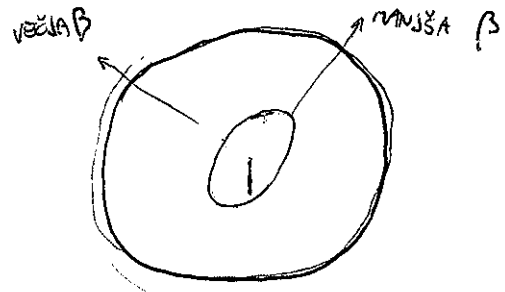


KAKO NAREDIMO KROŽNO POL?
UDARIMO S KLAVIŠI PO VALOVODU! :)

POGLEJ OD SPREDAJ:

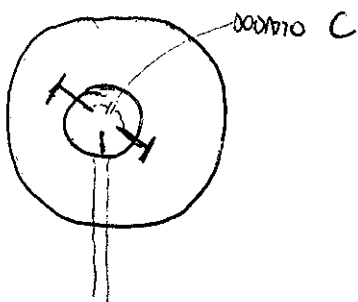


DOJAMO C

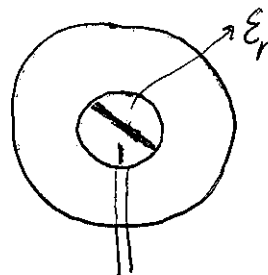


MOŽAMO TAKO UDARITI, DA $k \cdot \beta = \frac{\pi}{2}$

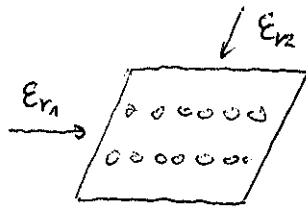
LAHKO DAMO VILAKE:



LAHKO DAMO DIELEKTRIK:



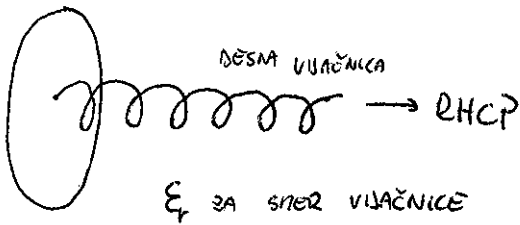
2A OPTIKO: LISTER SLJUDE (DVOLOMEN KRISTAL)



$$\epsilon_1 > \epsilon_2$$

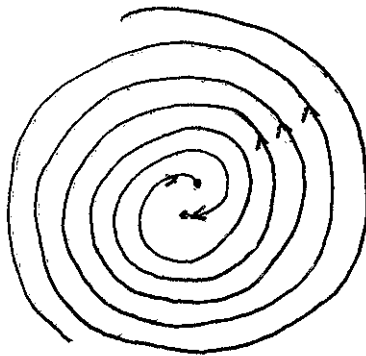
IMAMO TUDI NEKAJ ANTEN, KI SAME PO SEBI IMEJO KROŽNO POLARIZACIJO:

1) VIJAČNA ANTENA



ČE CUREK VODE NR IZ Cevi VRTIMO
V DESNO, BO CUREK OPISOVAL
LEVO VIJAČNICO!

2) SPIRALNA ANTENA



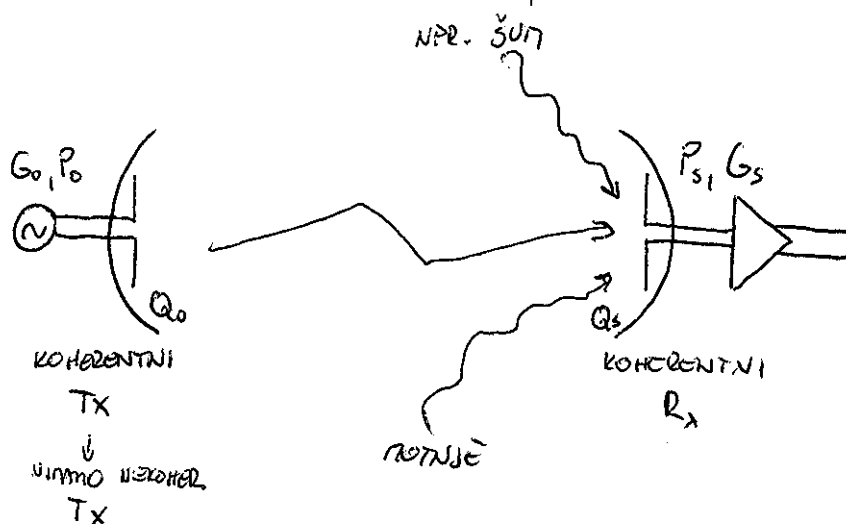
⊙ RHCP

⊗ LHCP

• ŠIROKOPASOVNA

↳ SLAB IZKORISTEK
(BOLE CN)

DO SEDAS ŠTO VEDNO GLEDALI, DA IMAMO KOHERENTNO ZVEZO:



V RADIOJSKI ZVEZI PA LAHKO IMAMO NEŽELENE STARI. V ANTENO LAHKO PRIDE NARAVNI ŠUM, POTNJE DRUGIH ODDAJNIKOV ITN...

NEKOHERENTNA
ODDAJA

POSAMEZNI MOTILCI SO KOHERENTNI, PNOŽICA PA NI
SINHRONIZIRANA MED SABO, ZATO JE TO NEKOH. ODDAJA

DANAŠNJE VPRAŠANJE: • KAKO OBRAVNAVATI TAKE PRIMERE?

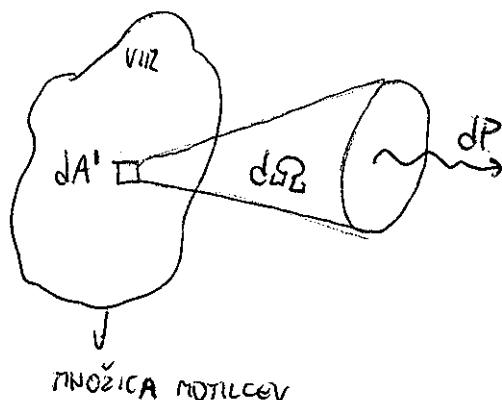
• KAKO OBRAVNAVATI NEKOHERENTNO ODDAJANJE?

ČE IMAMO PNOŽICO MOTILCEV:

DEFINIRAMO SPEKTRALNO SVETLOST:

SPEKTRALNA SVETLOST GLEJE NA

• FREKVENENI PAS:



$$B_f = \frac{dP}{df dA' d\Omega}$$

FIZIKI IMAMO:

$$B_\lambda = \frac{dP}{d\lambda dA' d\Omega}$$

KAKŠNE ŠTEVILKE IMAMO IZ FIZIKE?

ZA ŠUT: PLANCK-OV ZAKON (VELJA ZA ČRNO TELO - BREZ ODBIJOŠNOSTI)

$$B_f = \frac{2hf^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{hf}{k_B T}} - 1}$$

$h \rightarrow$ PLANCKOVA KONSTANTA: $6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

$k_B \rightarrow$ BOLTZMANOVA KONSTANTA: $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

$c \rightarrow$ SVETLOBNA HITROST: $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

(ČE $T \neq 0$ SE NEKAJ IACOVANJA DRUGIH ODBIJOŠNIKOV ODBIJE (OD "ČRNEGA" TELESA)
V NAŠ SPREJEMNIK.)

ZA NAS BODO ZANIMIVI PRIBLIŽKI ZA RAZNE FREKVENCE:

• RAYLEIGH - JEANSOV PRIBLIŽEK: $hf \ll k_B T$
 $\underbrace{\hspace{1cm}}_{\text{ENERGIJA FOTONA}} \quad \underbrace{\hspace{1cm}}_{\text{TOPLOTNA ENERGIJA}}$

$$e^{\frac{hf}{k_B T}} \approx 1 + \frac{hf}{k_B T} + \dots \approx 1 + \frac{hf}{k_B T}$$

$$B_f \approx \frac{2hf^3}{c^2} \cdot \frac{k_B T}{hf} = \frac{2f^2}{c^2} k_B T = \frac{2k_B T}{\lambda^2} \rightarrow \begin{cases} \text{PREVLADUJE TOPLOTNA ENERGIJA} \\ \text{PLANCK-OVA KONSTANTA SE POZNEJŠA} \\ \quad \rightarrow \text{ENERGIJA FOTONA NI POMEMBNA} \end{cases}$$

• WIEN-OV PRIBLIŽEK: $hf \gg k_B T$

$$B_f \approx \frac{2hf^3}{c^2} e^{-\frac{hf}{k_B T}}$$

POGLEJMO SI, DO KOLIKO VELJA RAYLEIGH-JEANS-OV PRIBLIŽEK:

$0 < f < 100 \text{ GHz} \rightarrow$ RADIO $\rightarrow$ POTEN POSTANE ZENELJSKO OZRAČJE NEPROZORNO

$f \sim 30 \text{ THz} \rightarrow$ TOPLOTNI IR $\rightarrow$ KAR PROZORNO OZRAČJE

$f \sim 500 \text{ THz} \rightarrow$ VIDNA SVETLOBA

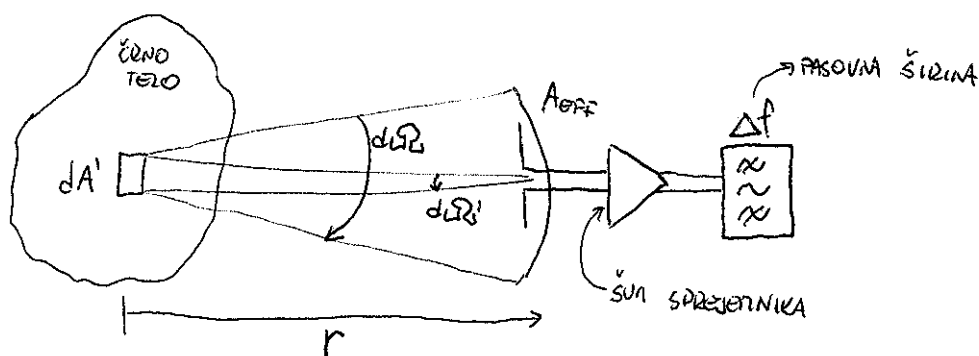
MAŠ ZAVIHA RADIO:

$$\frac{hf}{k_B T} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 10^{11} \text{ s}^{-1}}{1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot 300 \text{ K}} = \frac{6,625}{1,38 \cdot 300} \approx \frac{6,625}{400} \approx 1,6 \cdot 10^{-2}$$

$f = 100 \text{ GHz}$
 $T = 300 \text{ K}$

IR: $\frac{hf}{k_B T} \sim 1$ VIDNA SVETLOBA: $\frac{hf}{k_B T} \gg 1$

ZAVIHA MAŠ, KAKŠNA BO MOČ ŠUMA NA SPREJEMNIKU?
KAKO JO DOBITI?



$$d\Omega = \frac{A_{eff}}{r^2}$$

ČRNO TELO LAHKO MOTI IZ VSEH SMERI OKROG ANTENE

$$dA' = r^2 \cdot d\Omega'$$

KER ODDAJNIKI NISO SINHRONIZIRANI, SEŠTEVAMO MOČI:

$$P_N = \left(\frac{1}{2} \int_{\forall f} \left(\frac{dP}{df \cdot dA' \cdot d\Omega} \right) df \cdot \left(\frac{A_{eff}}{r^2} \right) \cdot r^2 d\Omega' \right)$$

→ TREBA PODATI, KER PLANCKOV ZAKON VEČJA ZA 2 POLARIZACIJI → MAŠL

→ MAŠ SPREJEMNIK IMA SAMO ENO POLARIZACIJO

KAS JE A_{EFF} ?

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A_{\text{EFF}} \rightarrow \text{ZA TAM, KJER NAJVEČ SVETI}$$

NI DA MORAMO UPORABITI VSE:

$$D(\theta, \phi) = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A_{\text{EFF}}(\theta, \phi) = \frac{4\pi |F(\theta, \phi)|^2}{\int_{4\pi} |F(\theta'', \phi'')|^2 d\Omega''} \xrightarrow{\text{v poljubni smeri}} A_{\text{EFF}} = \lambda^2 \cdot \frac{|F(\theta, \phi)|^2}{\int_{4\pi} |F(\theta'', \phi'')|^2 d\Omega''}$$

DALO VZETI RAYLEIGH-JEANS-OV PRIBLIŽEK ZA TEPLOTNO ŠUM:

$$P_N = \frac{1}{2} \overset{\text{konst}}{\Delta f} \int_{4\pi} \left(\frac{2k_B T}{\lambda^2} \right) \cdot \lambda^2 \frac{|F(\theta, \phi)|^2}{\int_{4\pi} |F(\theta'', \phi'')|^2 d\Omega''} d\Omega' = \Delta f k_B \frac{\int_{4\pi} T(\theta, \phi) |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega'}{\int_{4\pi} |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega}$$

↓
konst.

→ LAHKO DAMO VEN IZ INTEGRALA IN DAMO ČRTICE PROČ

→ VIDIMO, DA JE ENOTA RAZMERJA $\frac{\text{J}}{\text{Hz}}$ V KELVINIH, ZATO BI LAHKO PISALI:

$$P_N = \Delta f k_B T_A, \quad T_A = \frac{\int_{4\pi} T(\theta, \phi) |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega'}{\int_{4\pi} |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega} \left. \vphantom{\frac{\int_{4\pi} T(\theta, \phi) |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega'}{\int_{4\pi} |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega}} \right\} \begin{array}{l} \text{ŠUMNA TEMPERATURA} \\ \text{BREZIZGUBNE ANTENE} \end{array} (\eta=1)$$

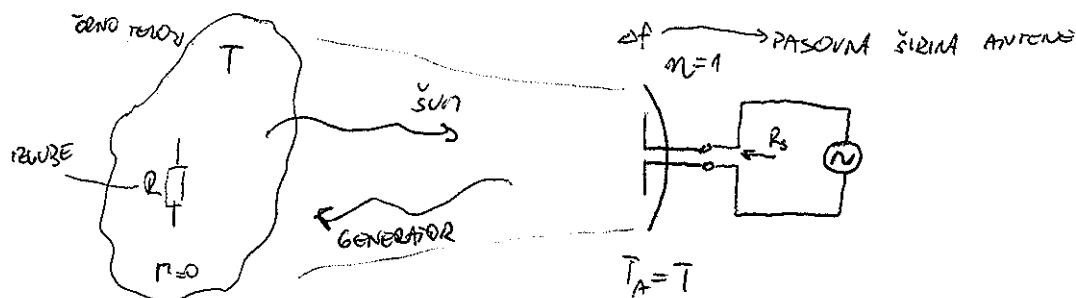
↓
ANTENE

POVPREČJE VSEH TEMPERATUR, UTEŽENO Z MOČNOSTNIM SREDNIM DIAGRAMOM.

ČE $\eta \neq 1$ BO ANTENA POŽRLA NEKAJ ŠUMA,
+ ANTENA BO SAMA IZOR ŠUMA.

DASNO SI POGLEJATI NAJBOLJ POŽNO ENOSTAVEN PRIMER:

ANTENA S CELOTNIM SNOPOM VIJDI SAMO ENO TELO:



MOČ POTUJE V OBE SMERI,

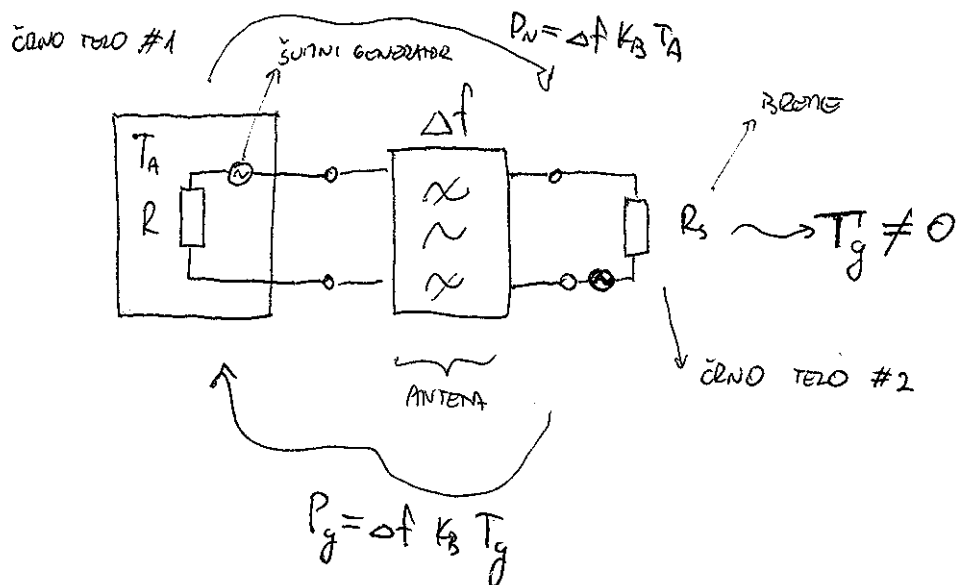
KAJ ČE BI ANTENO UPORABILI ZA TX?

ZA R_s NISNO IMELI RAZLAGA, KJE SE NAHAJA.

$$R_s = R$$

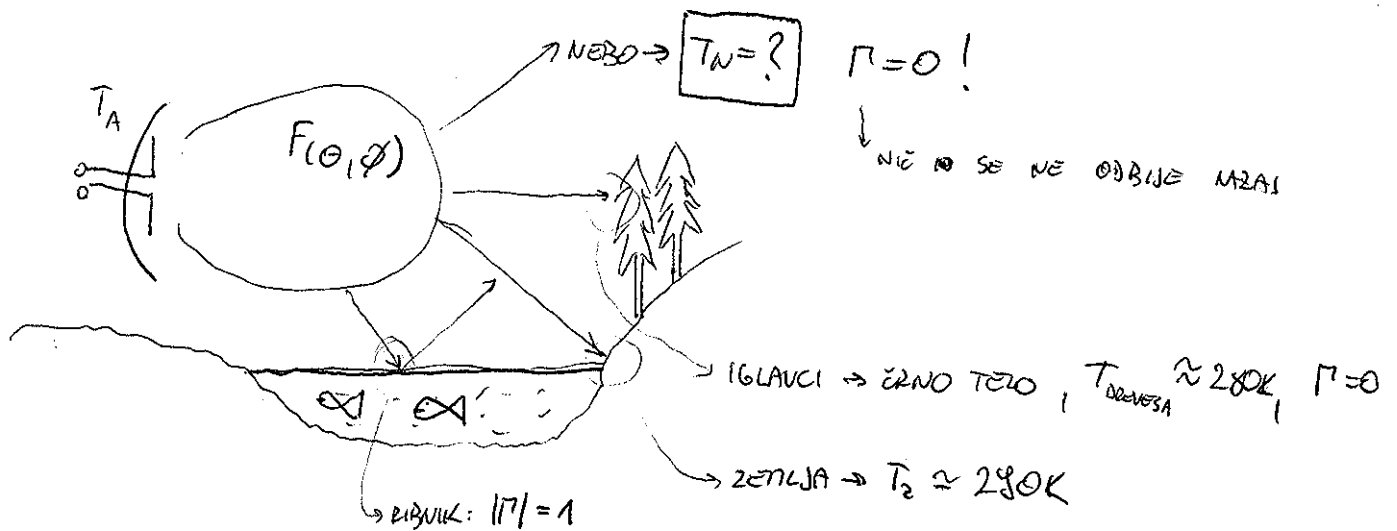
ANTENA JE TRANSFORMATOR IMPEDANCE MED ČRNIM TELESOM V UPOR. ČE TELO NI ČRNO, MA PRIMER ZRCALO, BI VIJELE JAKOVNO IMPEDANCO.

CELOTNO SLIKO LAHKO NAPOREJAMO:



TEMPERATURA SE POSKUŠA IZENAČITI → SOJANJE POSKUŠA IZENAČITI TEMPERATURO
MAJ NASTANEK VERJA ZA KATERIKOLI UPOR.

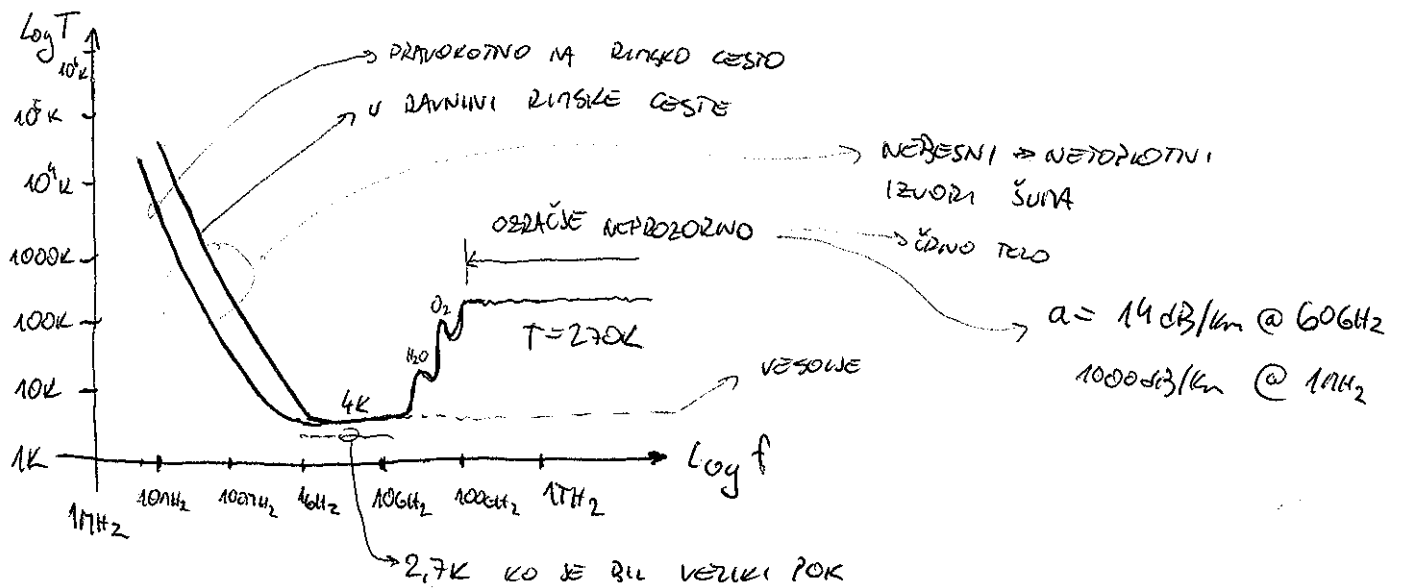
KAKO IZGLEDAJO STARI PRI ANTENAH: (KAK ANTENA VIDI)



$T_{\text{voda}} = \text{NEPOVNETLJIVA!}$

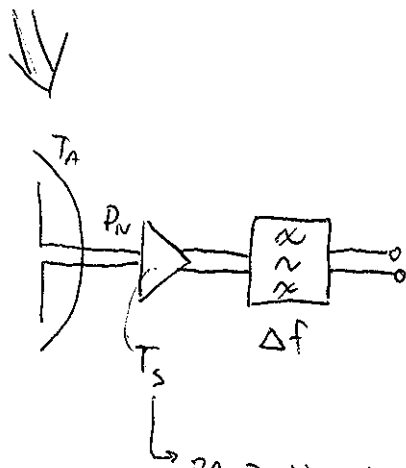
$\rightarrow$ NE VIDI MO, KER JE TO ZRCALO.

VELIKA NEZNANKA JE NEBO!



DANES RADIO: $100THz \rightarrow 100GHz$, MOGOČE $200GHz$

KJE JE TEŽAVA?



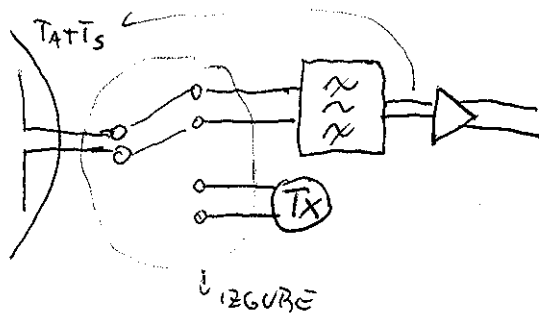
ZA POLUPROVODNIKE: $T_S = 30K \div 300K$

CELOTA NAVIDERNA ŠUMNA NOČ: (ŠUM SPREJENNIKA PREČIŠČAN NA VHOJNE SPONKE)

$$P_N = \Delta f K_B (T_A + T_S)$$

SPREJENNIK:

NE MOREMO SI PRIVOŠČITI OSAČEVALNIKA TAKOS NA VHOJU:



$$T_S = 300K \div 3000K$$

ZGLEJ: KOLIKO JE LAHKO OŽVITLJIVOSTI SPREJENNIKA:

GSM TELEFON

$$T_A + T_S \approx 1000K$$

$$\Delta f = 200KHz$$

$$P_N = \Delta f K_B T = 200 \cdot 10^3 s^{-1} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} \cdot 10^3 K \approx 276 \cdot 10^{-17} W$$

(NOČ ŠUMA)

MODULACIJA LAHTEVA:

$$S/N = 10dB = 10$$

$$P_{signal} = \frac{S}{N} \cdot P_N = 2,76 \cdot 10^{-16} W \rightarrow$$

KADANIKŠA NOČ SIGNALA, DA BO DOJEL TELEFON

$$P [dBm] = 10 \log_{10} \frac{P}{1mW} \rightarrow P_{SdBm} = 10 \log_{10} \frac{276 \cdot 10^{-16} W}{10^{-3} W} \approx -106 dBm$$

ENI PIŠEJO:

$$k_B \cdot T_{\text{def}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 290\text{K} \approx 4 \cdot 10^{-21} \text{J} = -174 \text{ dBm/Hz}$$

$\parallel$ $\parallel$
 $290,253\text{K}$ $N_0 \rightarrow$ SPECTRALNA GOSTOTA ŠUMA

$$P_N = \Delta f (k_B \cdot T) = 53 \text{ dB} \cdot \text{Hz} - 174 \text{ dBm/Hz} = -121 \text{ dBm} \Rightarrow -116 \text{ dBm} + \frac{5}{N} = -106 \text{ dBm}$$

10 dB

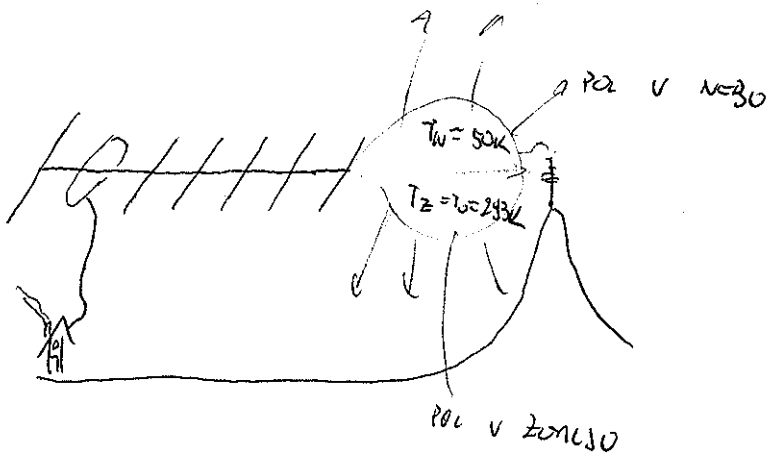
$$200 \text{ kHz} = 53 \text{ dB} \cdot \text{Hz}$$

NOČI JE TREBA PRIŠTEI
RAZLIKU V TEMPERATURCI:

$$\frac{1000\text{K}}{290\text{K}} \approx 3,4 = 5 \text{ dB}$$

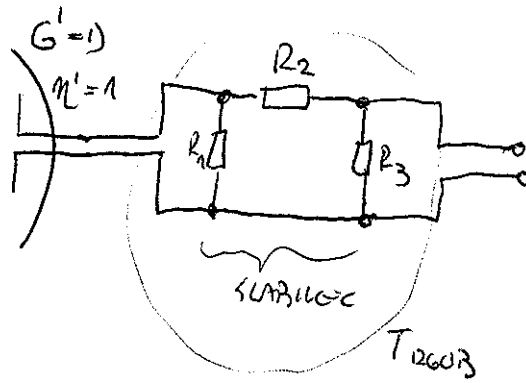
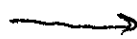
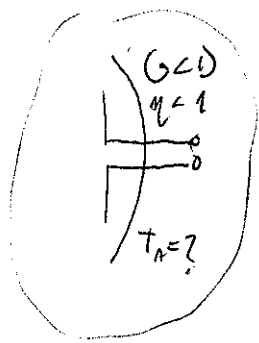
KOLIKO JE ŠUMNA TEMPERATURA ENE OBČAJNE ANTENE?

KA PRIMER TV:



$$T_A = \frac{\int_{4\pi} T(\theta, \phi) |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega}{\int_{4\pi} |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega} = \frac{T_2 + T_W}{2} \rightarrow T_A \approx 170\text{K}$$

KAS PA, ČE INA ANTENA $\eta < 1$, $G < 1$? $T_A = ?$

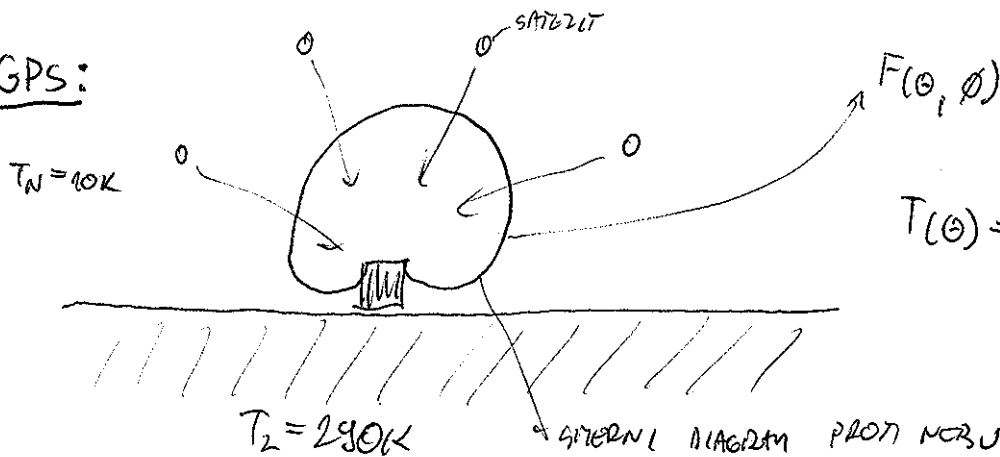


$$T_A = \eta \cdot T_A' + (1 - \eta) T_{260K}$$

TELEFON : $\eta \ll 1 \rightarrow$ SLABA ANTENA $\rightarrow T_A \sim T_{260K}$
(WiFi 160K)

EN MJBOW PROPRST SATELITSKI SPREDJENNIK:

GPS:



$$F(\theta, \phi) = 1 + \cos \theta \rightarrow \text{užetimo}$$

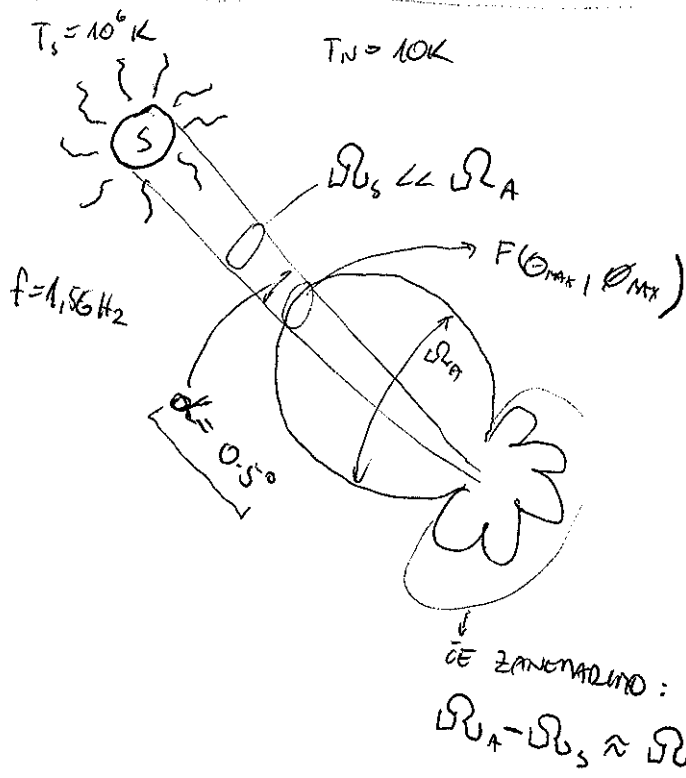
$$T(\theta) = \begin{cases} 10K & ; 0 < \theta < \frac{\pi}{2} \\ 290K & ; \frac{\pi}{2} < \theta < \pi \end{cases}$$

$$T_A = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} T(\theta) (1 + \cos \theta)^2 \sin \theta d\theta d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} (1 + \cos \theta)^2 \sin \theta d\theta d\phi} = \frac{T_N \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} (1 + \cos \theta)^2 \sin \theta d\theta d\phi + T_2 \int_0^{2\pi} \int_{\pi/2}^{\pi} (1 + \cos \theta)^2 \sin \theta d\theta d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} (1 + \cos \theta)^2 \sin \theta d\theta d\phi} =$$

$$T_A = \frac{T_N \int_0^1 (1+u)^2 du + T_2 \int_{-1}^0 (1+u)^2 du}{\int_{-1}^1 (1+u)^2 du} = \frac{10K \cdot \frac{7}{3} + 290K \cdot \frac{1}{3}}{\frac{10}{3}} = 45K$$

$$\int (1 + \cos \theta)^2 \sin \theta d\theta \Rightarrow \cos \theta = u \\ du = -\sin \theta d\theta$$

KDAS JE TEŽKO REŠITI:



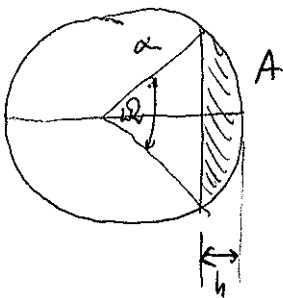
$$T_A = \frac{T_s \int_{\Omega_s} |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega + T_N \int_{\Omega_A - \Omega_s} |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega}{\int_{\Omega_A} |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega}$$

$$T_A = \frac{T_s \int_{\Omega_s} |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega}{\int_{\Omega_A} |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega} + T_N$$

$$= T_s \Omega_s \frac{|F(\theta_{max}, \phi_{max})|^2}{\int_{\Omega_A} |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega} + T_N =$$

$$T_A = \frac{T_s \Omega_s}{\pi} D + T_N \quad \text{if } \Omega_s \ll \Omega_A$$

BO TREBA IZRAČUNATI PLOŠČINO KROGEVNE KAPICE:



$$h = r(1 - \cos \frac{\alpha}{2})$$

$$x \ll 1 \rightarrow \cos x \approx 1 - \frac{x^2}{2}$$

$$\Omega = \frac{A}{r^2} = \frac{2\pi r h}{r^2} = 2\pi (1 - \cos \frac{\alpha}{2}) = 2\pi (1 - (1 - (\frac{\alpha}{2})^2)) =$$

$$0.5^\circ \approx 9 \text{ mrad}$$

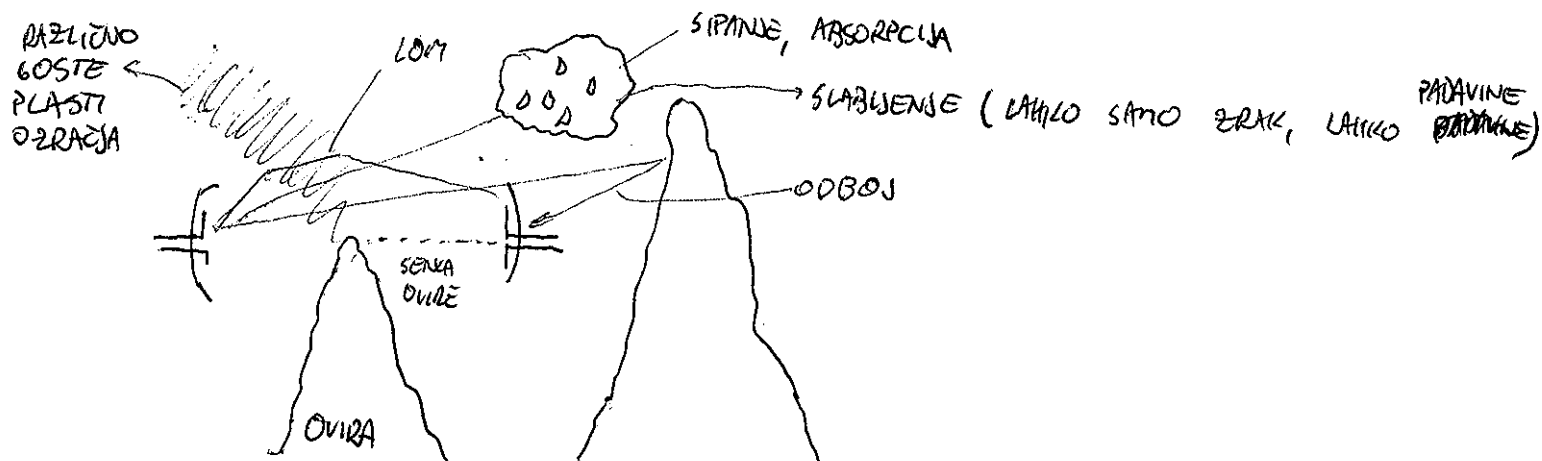
$$\Omega = \pi \cdot \frac{\alpha^2}{4} = \pi \cdot \frac{(9 \cdot 10^{-3})^2}{4} \approx 63 \cdot 10^{-6} \text{ sr}$$

$$\text{ZA NAŠ ZGLED: } T_A = 10^6 \text{ K} \cdot \frac{63 \cdot 10^{-6} \text{ sr}}{4\pi \text{ sr}} \cdot D + 10 \text{ K} \approx 5 \text{ K} \cdot D + 10 \text{ K}$$

$$\text{NAŠA ANIZMA: } D=100! \quad T_A = \underbrace{500 \text{ K}}_{\text{SOURCE}} + 10 \text{ K}$$

RAZŠIRJANJE

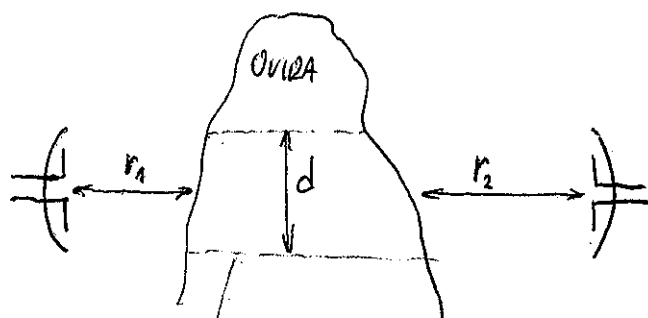
NA KAKŠNE TEŽAVE LAHKO NALETIMO:



DANES SI POGLEJMO NAJBOLJ POGOSTO:

SENKA OVIRE → KOLIKO PROSTORA POTREBUJE ZVEZA?

NAJBOLJ PREPROSTO:



→ BI SI IZKOPALI TUNEL!
KAKO VELIKO LUKNISLO?

$$P_{\text{TUNEL}} = P_0 G_0 \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 G_{\text{TUNEL}}$$

$$P_s = P_{\text{TUN.}} G_T \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 G_s$$

2 ZAPOREDNI ZVEZI

MOČ PADA 3 r^4
ČE VEČKOST TUNELA $\approx$ VEČKOST ANTENE
TUNEL BI MORAL BITI VEČKO
VSEDI OD ANTENE

$$\Downarrow \\ dE = \frac{j}{2\lambda} \propto I \frac{e^{jk r_0}}{r_0} dx dy \frac{e^{-jk r_s}}{r_s} \cdot F(\theta, \phi)$$

$$E = \iint_{x,y} \frac{j}{2\lambda} \propto I \cdot \frac{e^{-jk r_0}}{r_0} \cdot \frac{e^{-jk r_s}}{r_s} F(\theta, \phi) dx dy$$

$$r_0, r_s = ?$$

PREJPOSTAVIMO, DA BO ŽAREK PREČEJ TOLIKŠI KOT RAZDALJI:
 $x, y \ll d_0, d_s \rightarrow \alpha_0, \alpha_s \ll 1$

$$r_0 = \sqrt{x^2 + y^2 + d_0^2}$$

$$r_s = \sqrt{x^2 + y^2 + d_s^2}$$

$$r_0 \approx d_0 + \frac{x^2 + y^2}{2d_0}$$

$$r_s \approx d_s + \frac{x^2 + y^2}{2d_s}$$

V INTEGRALU BOMO IMELI NEKATRO AMPLITUDO $(\frac{1}{r_0} \cdot \frac{1}{r_s} F(\theta, \phi))$, KI BO PADALA, ČE SE ODMIKAMO OD ZVEZNICE.

IMAMO TUDI NEKO FAZO ($e^{-jk r_0} \cdot e^{-jk r_s}$)

ZA AMPLITUDO POENOSTAVIMO: $r_0 \approx d_0$, $r_s \approx d_s$, $F(\theta, \phi) \approx 2$ IN VSI Vektorji NA SPREJEMNIKU KAŠEJO V ISTO SMER.

FAZA:

$$e^{-jk r_0} \approx e^{-jk d_0} \cdot e^{-jk \frac{x^2 + y^2}{2d_0}}$$

$$e^{-jk r_s} \approx e^{-jk d_s} \cdot e^{-jk \frac{x^2 + y^2}{2d_s}}$$

INTEGRAL POSTANE:

$$E \approx \frac{j}{2\lambda} \propto I \cdot \frac{e^{-jk d_0} \cdot e^{-jk d_s}}{d_0 d_s} \cdot 2 \cdot \iint_{x,y} e^{-jk \frac{x^2 + y^2}{2d_0}} \cdot e^{-jk \frac{x^2 + y^2}{2d_s}} dx dy$$

$$\approx \frac{j}{2\lambda} \propto I \frac{e^{jk(d_0 + d_s)}}{d_0 d_s} \iint_{x,y} e^{jk \left(\frac{d_s - d_0}{2d_0 d_s} \right) (x^2 + y^2)} dx dy$$

BOMO POSKUSILI NA RAZNE NAČINE REŠITI INTEGRAL



1) LAHKO PRETVORIMO V POLARNE KOORDINATE
(TISTI $x^2 + y^2$ BO POSTAL ρ^2)

$$x, y \rightarrow \rho, \varphi$$

$$dx dy \rightarrow \rho d\rho d\varphi$$

$$x^2 + y^2 = \rho^2$$

$$E \propto \frac{j}{\lambda} \alpha I \frac{e^{-jk(d_0+d_s)}}{d_0 d_s} \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} e^{-jk \frac{d_s+d_0}{2d_s d_0} \rho^2} \rho d\rho d\varphi =$$

$\mu = \rho^2, d\mu = 2\rho d\rho$

$$= \frac{j \cdot 2\pi}{\lambda} \alpha I \frac{e^{-jk(d_0+d_s)}}{d_0 d_s} \cdot \frac{1}{2} \frac{1}{-jk \left(\frac{d_s+d_0}{2d_s d_0} \right)} e^{-jk \left(\frac{d_s+d_0}{2d_s d_0} \right) \rho^2} \Big|_0^{\infty}$$

$\rightarrow$ BOJIMO, DA SE USTAVIMO PRI NEKAK ρ_{max}

$$= \alpha I \frac{e^{-jk(d_0+d_s)}}{d_0+d_s} \left(1 - e^{-jk \frac{d_0+d_s}{2d_s d_s} \rho_{max}^2} \right) \rightarrow I$$

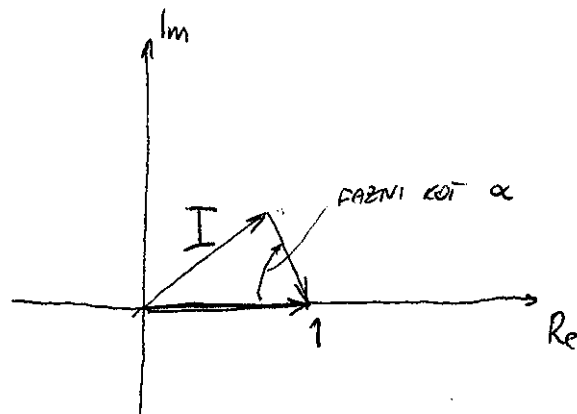
α

NEOVIRANO POLJE
ODDAJMIKA

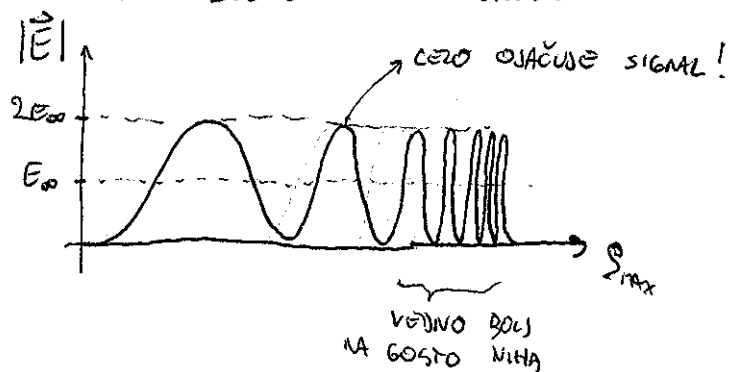
$\rightarrow$ PRAZEN PROSTOR
(BREZ ZASLONA)

$$E = E_{\infty} \left(1 - e^{-jk \frac{d_0+d_s}{2d_s d_s} \rho_{max}^2} \right)$$

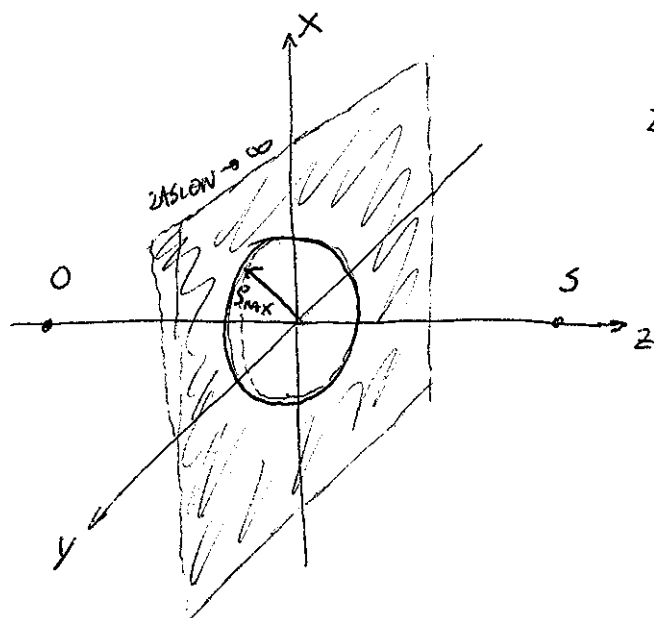
SE VRTI $\rightarrow$ KAZALEC



KAKO IZGLEJA TA FUNKCIJA:

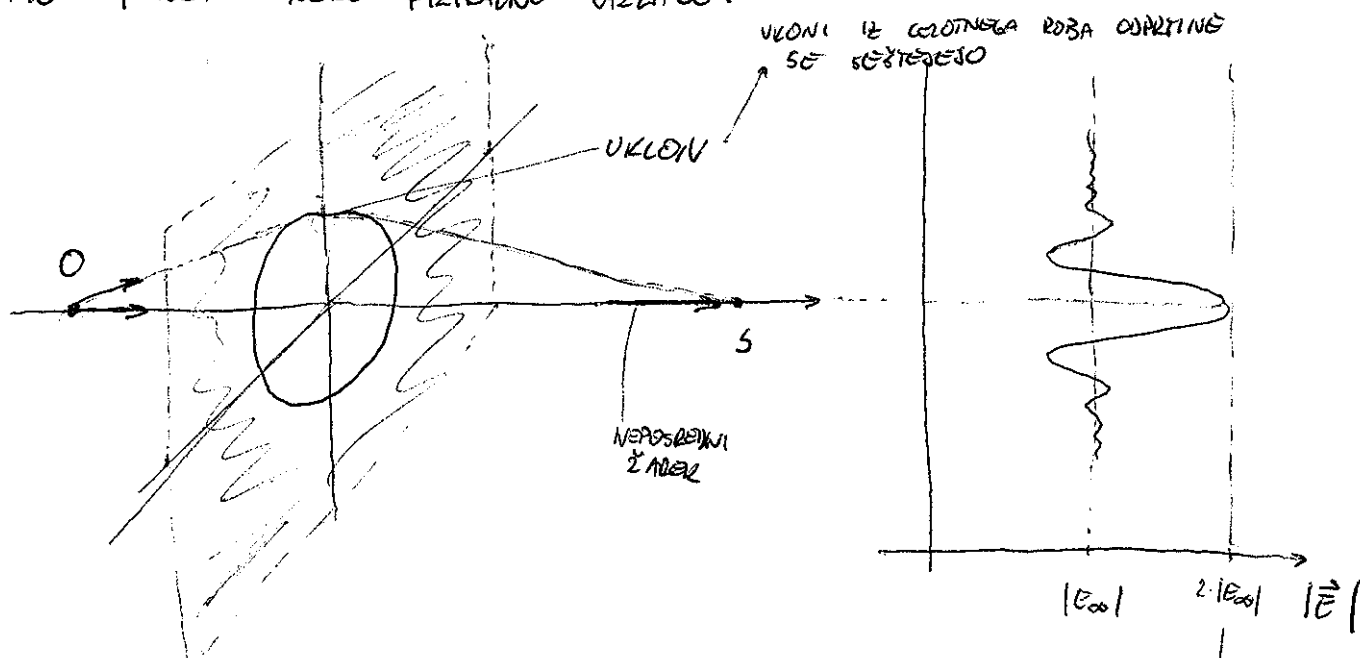


POSKUSNO NARIŠATI V 3D:



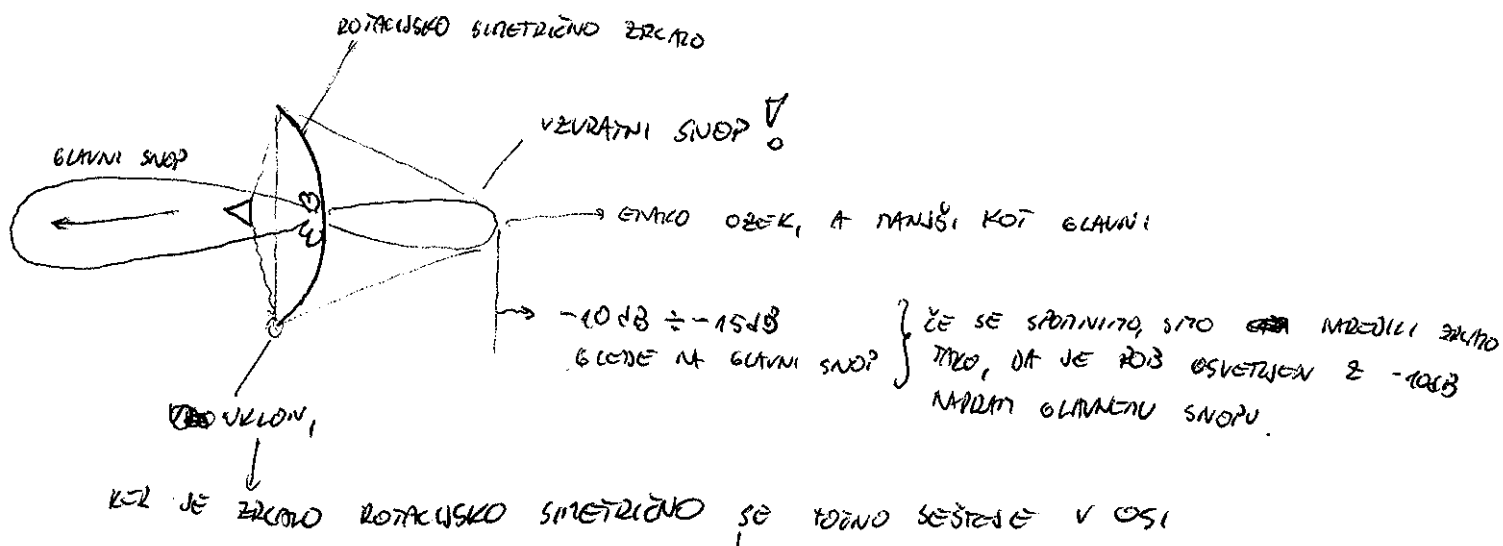
ZASLON, IZREŽENO OKROGLO ODPRTINO Z S_{max}

PORABO POISKATI NEKO FIZIKALNO RAZLAGO:

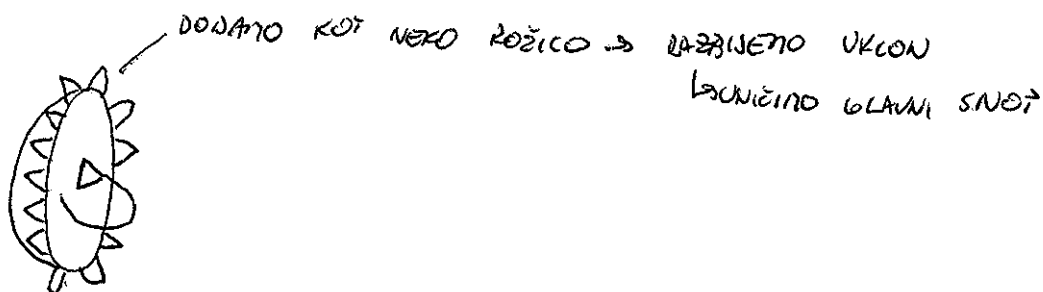


ČE IMAMO LASERSKI REZONATOR OKROGLEGA PREČERJA, DOŽIJO ZAROKA PIKO NA SREBINI $\Rightarrow$ ARAGOVA TOČKA

SNOP MEZI ZRCALNE ANTENE:



PROTIUKREP:



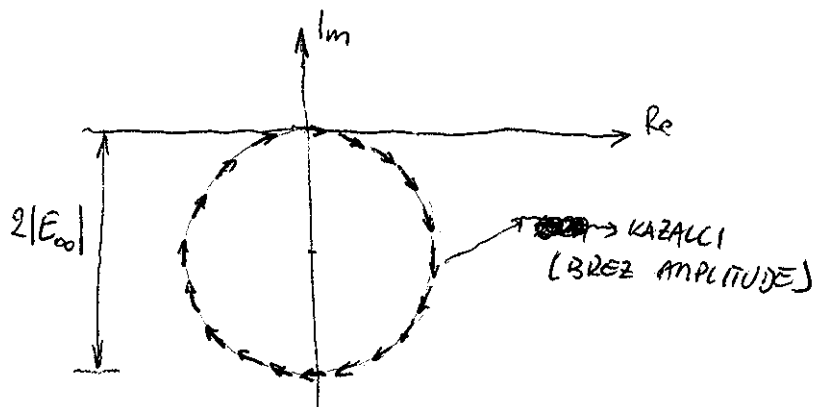
KAKO IZGLEDAJO STARI V RESNICI?

IMAMO AMPLITUDNE ČLENE, KI ZAGOTOVO UPADAJO:

ČE SI NARIŠAMO TISTE INTEGRAL:

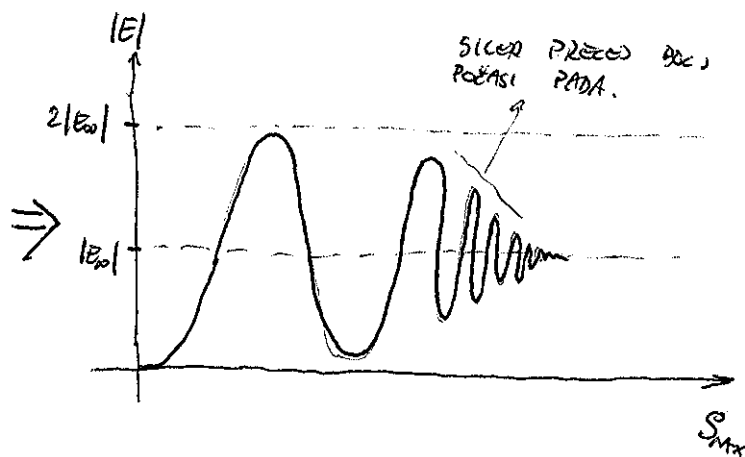
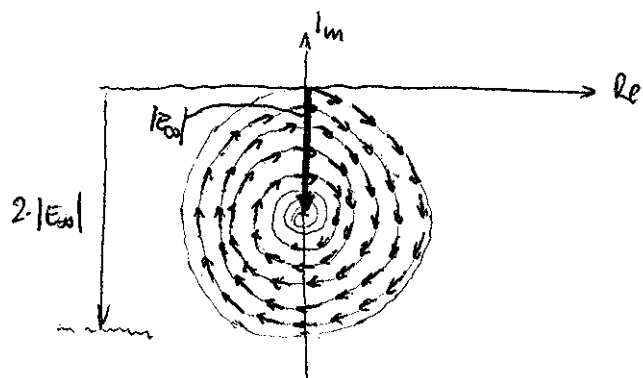
$$\int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} e^{ikr} r dr d\theta$$

NARIŠAMO SI TO FUNKCijo → NEK KAZALEC, KI Z VEČANJEM ρ DOB ZAPOSTAJA





ČE UPRAVILNO AMPLITUDE:



MORALA ZGODBE: TA NIHAJOČ REZULTAT IMA SVOBO NARAVNO PODLAGO
 LADU MRAVI NIJAMO POČNIH LUKEN

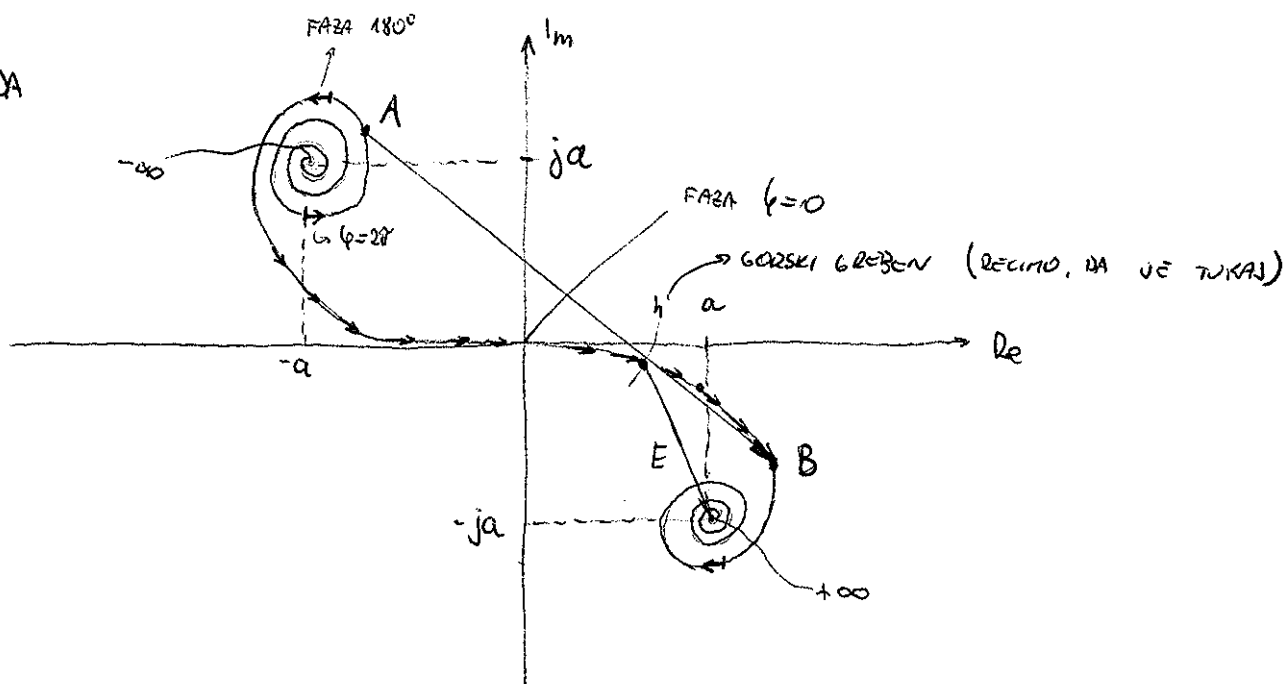
KAS ČE IMAMO WENSO, KI NI OKROGLA?

$$\iint_{xy} e^{-jk \frac{d_0 + d_s}{2d_0 d_s} (x^2 + y^2)} dx dy = \int_x e^{-jk \frac{d_0 + d_s}{2d_0 d_s} x^2} dx \int_y e^{-jk \frac{d_0 + d_s}{2d_0 d_s} y^2} dy$$

IŠČENO REŠITEV OBLIKE: $\int e^{-u^2} du \rightarrow$ ~~NIJAMO~~ ANALITIČNO NI REŠLJIVO

IMA ENO ZANIMIVO REŠITEV:

KLOTODIA

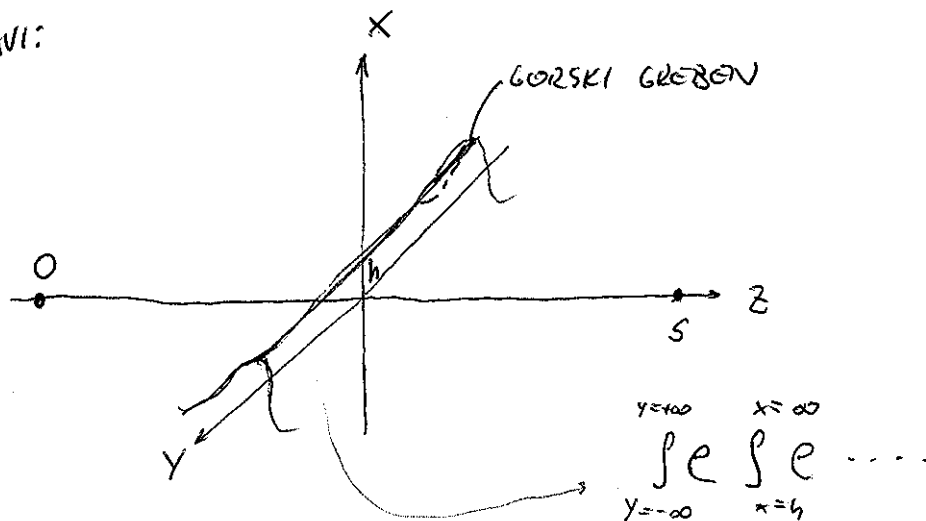


ČE BI IMELI:

$$\int_A^B e^{-m^2} dm \rightarrow \text{REŠITEV JE KAZALEC OD A DO B (SLIKA!)}$$

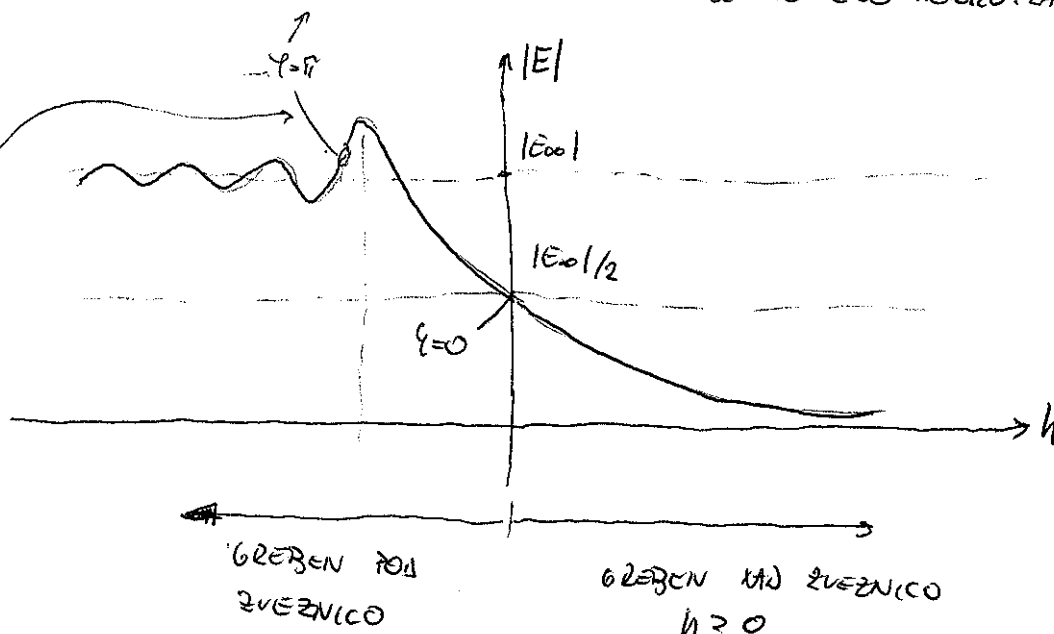
INTEGRAL HITRO KONVERGIRA, ŽE KO SMO FAZO OBRNILI ZA 180°

V NARAVI:



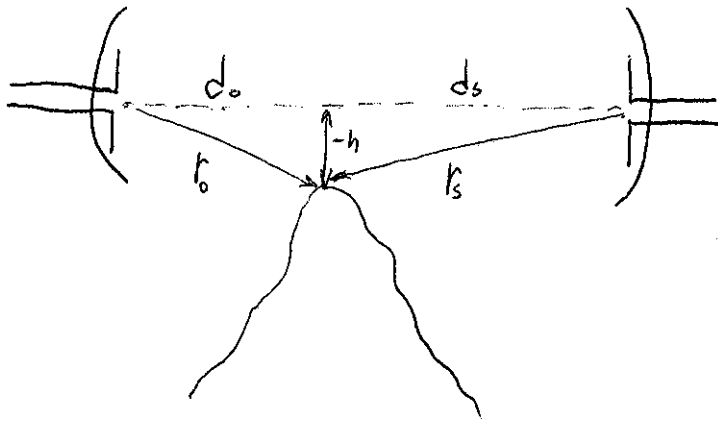
↳ KAKO IZGLEDA REŠITEV?

OBROT FAZE ZA $180^\circ \rightarrow$ SI PAK IZBEREMO ENO TOČKO. LAHKO BI, KO $|E| = |E|_{\max}$



KAKŠEN BI BIL NAŠ PREPOST KRITERIJ, KOLIKO PROSTORA POTREBUJE NAŠ ŽAROK?

→ SI IZBEREMO TO TOČKO



$$r_0 + r_s = d_0 + d_s + \frac{\lambda}{2} \quad \text{FAZNI ZASUK 180^\circ \text{ POTENI } \frac{\lambda}{2}}$$

SMO IMELI: $r_0 \approx d_0 + \frac{x^2 + y^2}{2d_0}$

$$r_s \approx d_s + \frac{x^2 + y^2}{2d_s}$$

$$d_0 + d_s + \frac{x^2 + y^2}{2d_0} + \frac{x^2 + y^2}{2d_s} = d_0 + d_s + \frac{\lambda}{2}$$

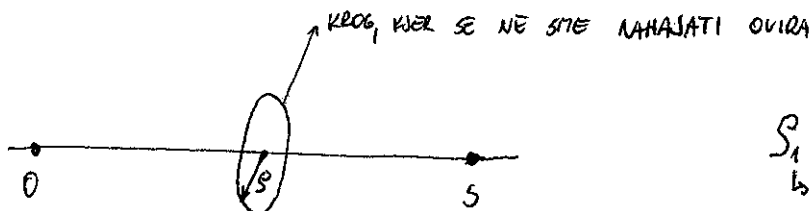
$$\frac{d_0 + d_s}{2d_0 d_s} \underbrace{(x^2 + y^2)}_{h^2} = \frac{\lambda}{2}$$

$$\frac{d_0 + d_s}{d_0 d_s} (-h^2) = \lambda$$

$$h = \sqrt{\lambda \frac{d_0 d_s}{d_0 + d_s}}$$

IMO REKLI, DA MOŽA BITI HZIB
POD ZVEZNICO.

LAHKO BI REKLI:



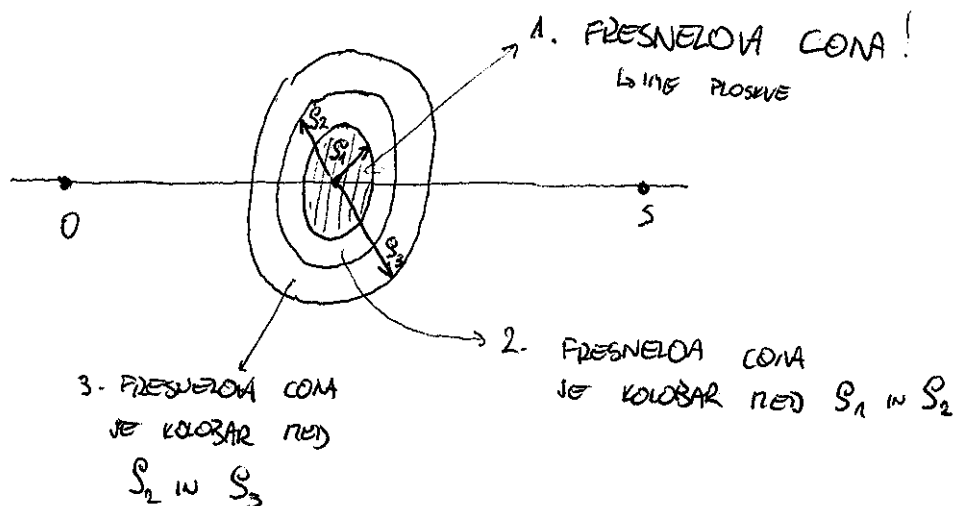
$$S_1 = \sqrt{\lambda \cdot \frac{d_0 d_s}{d_0 + d_s}}$$

FAZA SE ENKRAT OBRNE

$$S_n = \sqrt{n \lambda \frac{d_0 d_s}{d_0 + d_s}} \rightarrow r_0 + r_s = d_0 + d_s + n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

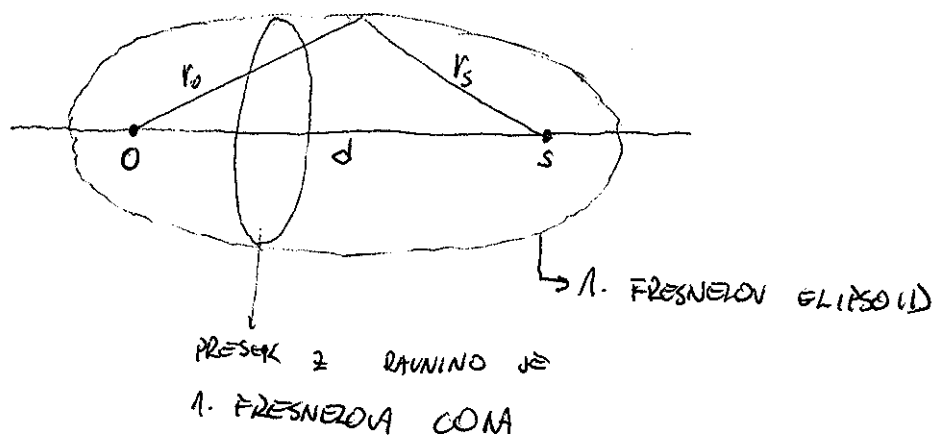
FAZA SE n-KRAT OBRNE





LAHKO REČENO, KOLIKO JE POTREBEN PRESEK ŽARKA: $S_{\text{max}} \approx S_1$ ^{VSAD} → TU NE SME BITI OUP

MTS ZANIMA, KOLIKO PROSTORA POTREBUJE CELOTA ZVEZA:



MORAMO POISKATI VSE PLOSKVE, KJER:

$$r_0 + r_S = d + \frac{\lambda}{2} \cdot (n)$$

↳ TE PLOSKVE SEŠTAVLJAJO V 2D) ELIPSO

[PREPROSTA ZAHTEVA ZA ZVEZO JE, DA MORA BITI ~~1000000~~ 1. FRESNELOV ELIPSOID] PROST. POTEM SE OBLAŠA KOT PRAZEN PROSTOR.

POGLEJNO SI ZGLEJ:

RADIO

$$f = 100 \text{ MHz} \rightarrow \lambda = 3 \text{ m}$$

$$d_0 = 20 \text{ km}$$

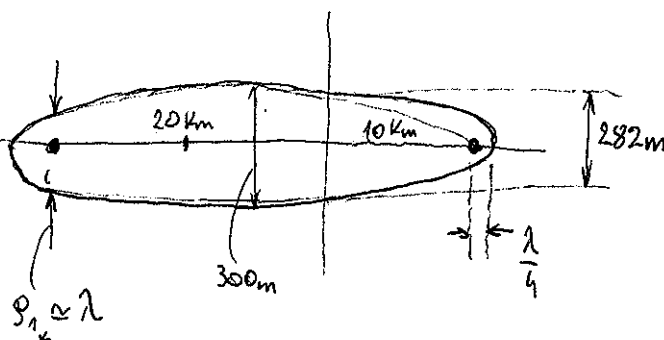
$$d_s = 10 \text{ km}$$

$$S_1 = ?$$

$$S_1 = \sqrt{3 \text{ m} \cdot \frac{20 \cdot 10^3 \text{ m} \cdot 10 \cdot 10^3 \text{ m}}{20 \cdot 10^3 \text{ m} + 10 \cdot 10^3 \text{ m}}} = 100 \sqrt{2} \text{ m} \approx \underline{141 \text{ m}}$$

$$r + S_{\text{ant}} = d + \frac{\lambda}{2}$$

$$S_{\text{ant}} \approx \frac{\lambda}{2}$$



POGLEJNO SI, KOLIKO JE DEBEL ŽARJEK NA SREDINI:

$$d_0 = d_s = 15 \text{ km}$$

$$S_{\text{max}} = \sqrt{3 \text{ m} \cdot \frac{(15)^2 \cdot 10^6 \text{ m}^2}{30 \cdot 10^3 \text{ m}}} = \underline{150 \text{ m}}$$

DOKAJ VELIKO

KAJ, ČE BI VZELI MALO DRUGAČNO VALOVNO DOLŽINO:

$$f = 10 \text{ GHz} \rightarrow \lambda = 3 \text{ cm} \quad f_2 = 100 \cdot f_1$$

$$S_1 = \sqrt{0.03 \text{ m} \cdot \frac{20 \cdot 10^3 \text{ m} \cdot 10 \cdot 10^3 \text{ m}}{30 \cdot 10^3 \text{ m}}} = \underline{14.1 \text{ m}}$$

ZA OPTIKO:

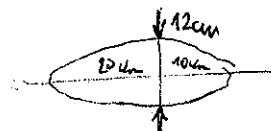
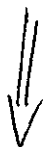
$$\lambda = 0.5 \mu \text{m}$$

$$S_1 = \sqrt{0.5 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \frac{2}{3} \cdot 10^4 \text{ m}} \approx \underline{6 \mu \text{m}}$$

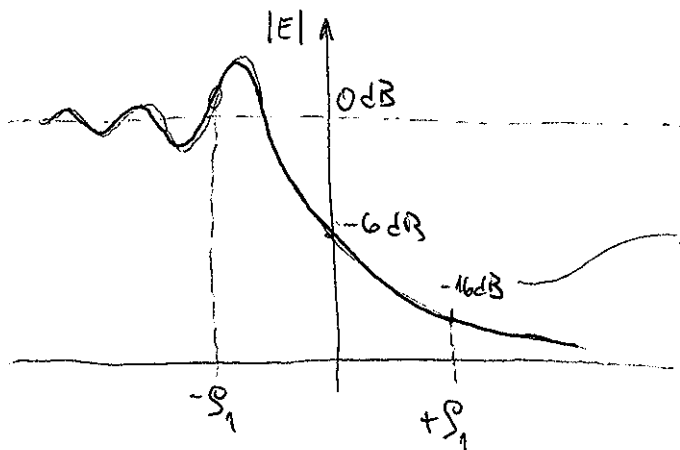
ŽARJEK JE DEBEL 12 cm

→ SVETLOBNI ŽARJEK NA TEJ TRASI MA ŠE VEČNO FRESNELOV (ELIPSOID)

TO JE VSE ZA PROSTO ZVEZO!



↓
KAD, JE IMAJO HRUB?



$$\begin{aligned} h < S_1 & \quad \alpha \approx 0 \text{ dB} \rightarrow \text{NEOVIRANO} \\ h = 0 & \quad \alpha = 6 \text{ dB} \\ h > S_1 & \quad \alpha \approx 16 \text{ dB} + 20 \cdot \log_{10} \left| \frac{h}{S_1} \right| \end{aligned}$$

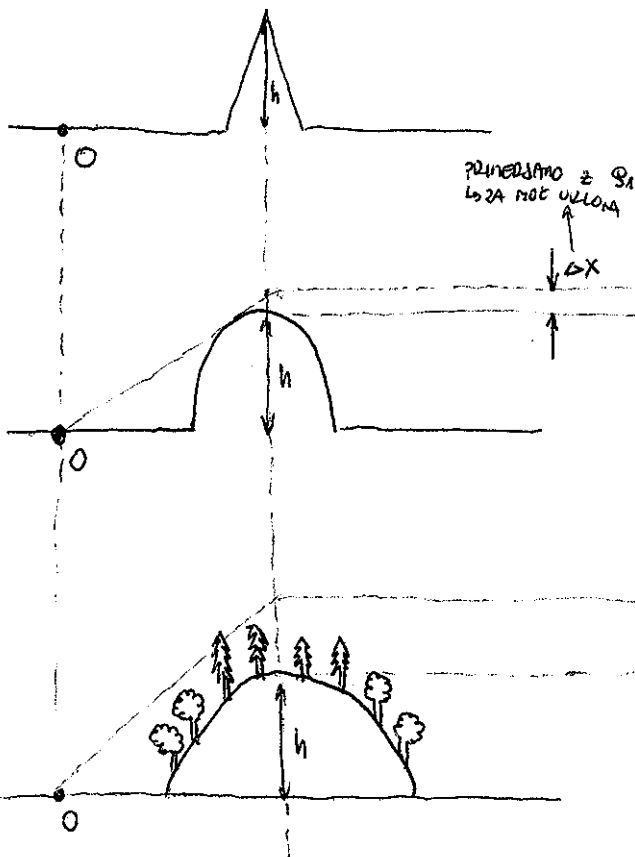
→ VELJA EN PRIBLIŽEK:

ČE IMAMO:

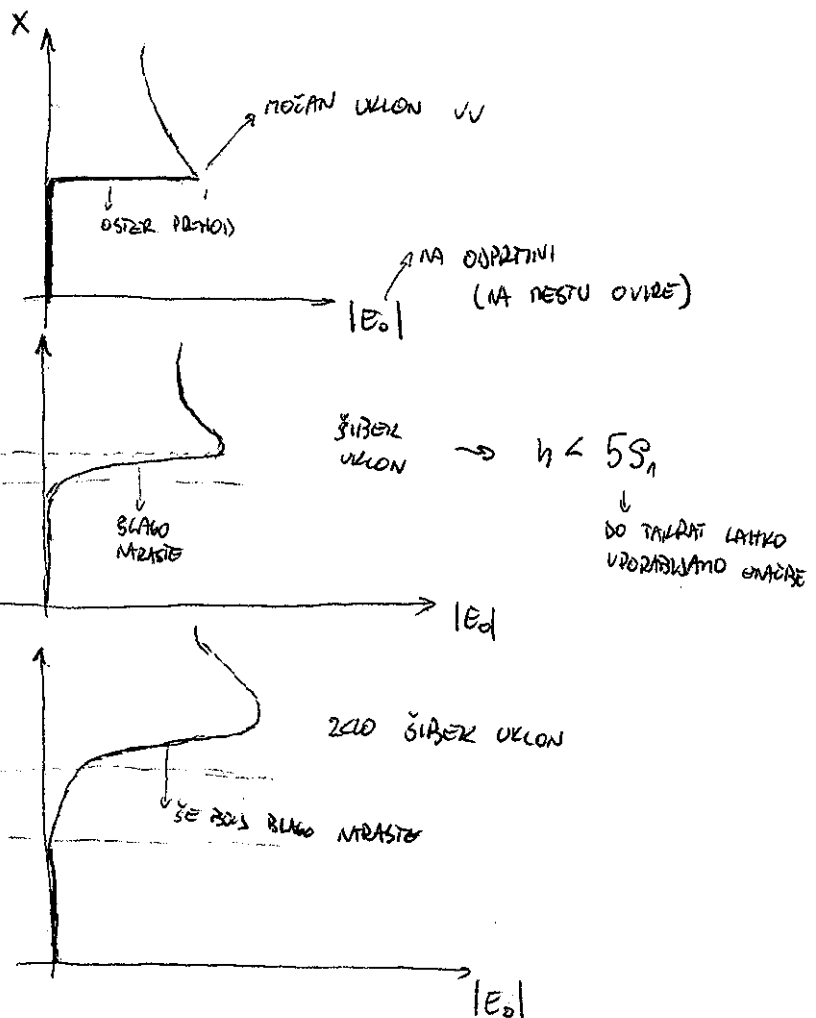


SE JE POTREBNO ZAVEDATI, DA TA PRIBLIŽEK DRŽI ZA STROGO MATEMATIČNO OVIRO (OSTRO). V PRAKSI JE MALO DRUGAČE.

PRAKSA:



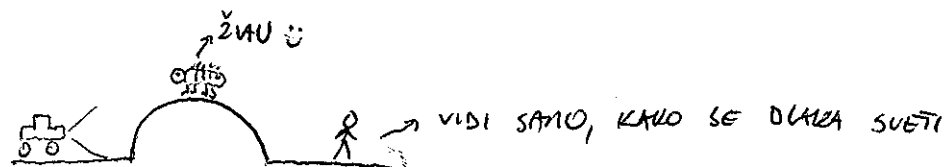
PRINEJAMO Z S_1
KO ZA NOČ UKLON



ŠIBEL UKLON $\rightarrow h < 5S_1$

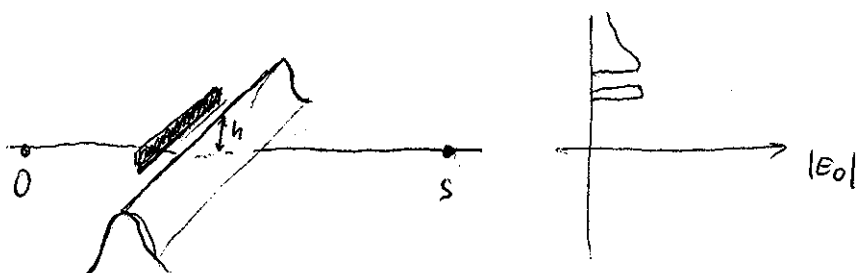
↓
DO TAJLARI LAHKO
VPOREBJAMO ENAČBE

LAHKO NAREĐIMO ZA SVETLOBO:

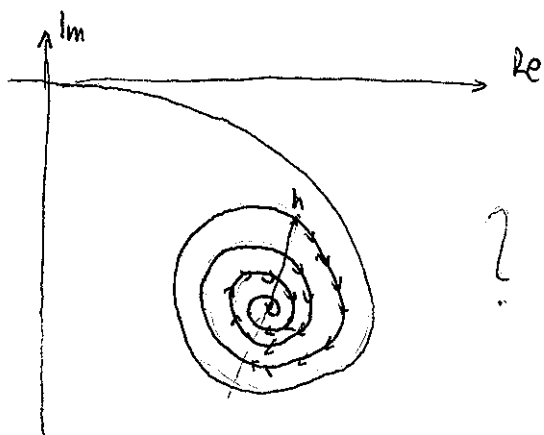


KAJ LAHKO NAREĐIMO, ČE DOBJIMO PRETALO ROČJA?

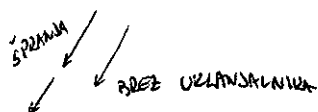
↳ NA VRH HRIBA ANTENOMA POSTAVIMO OVIRO. (UKLANJALNIK)



VOGAL ~~200~~ KLOTIDE:



KAZALCI:

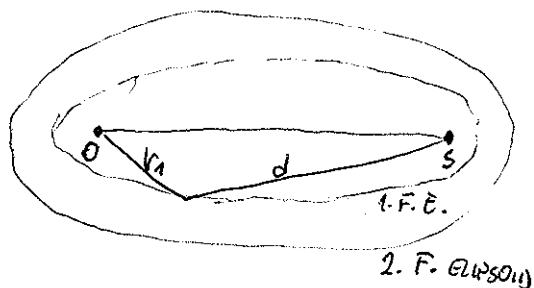


ZADANJE:

13. 12. 10.

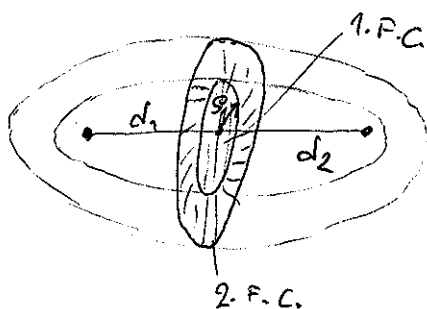
KOLIKO PROSTORA POTREBUJE VAZOVANJE?

↳ VEĆJA ZA VSA VAZOVANJA!



$$r_1 + r_2 = d + n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

MORA BITI PROST 1. FRESNELOV GIPSOL, OŽIVOTA:



$$2A \quad d \gg S_n$$

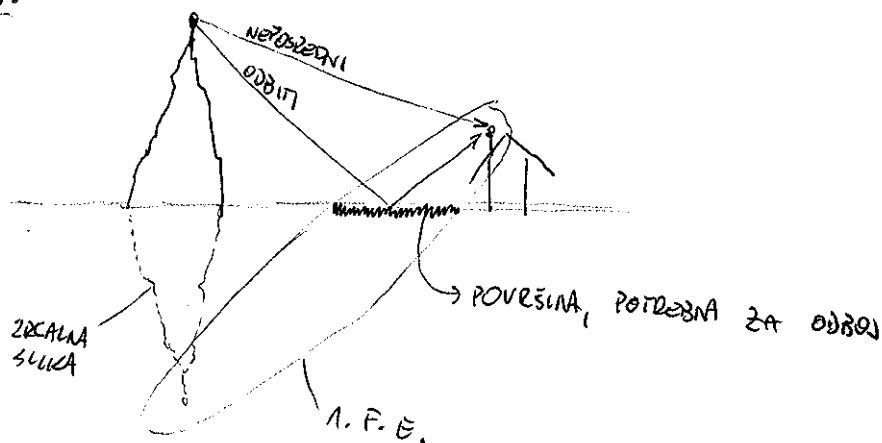
$$d = d_1 + d_2$$

$$S_n \approx \sqrt{n \cdot \lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

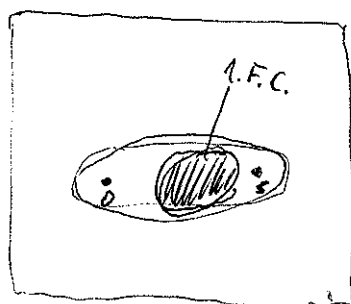
OŽIVOTA: NA MESTU OŽIVOTA MORA BITI PROST 1. F. C.

NI PA NUJNO, DA JE PRESEK PRAVOKOTEN:

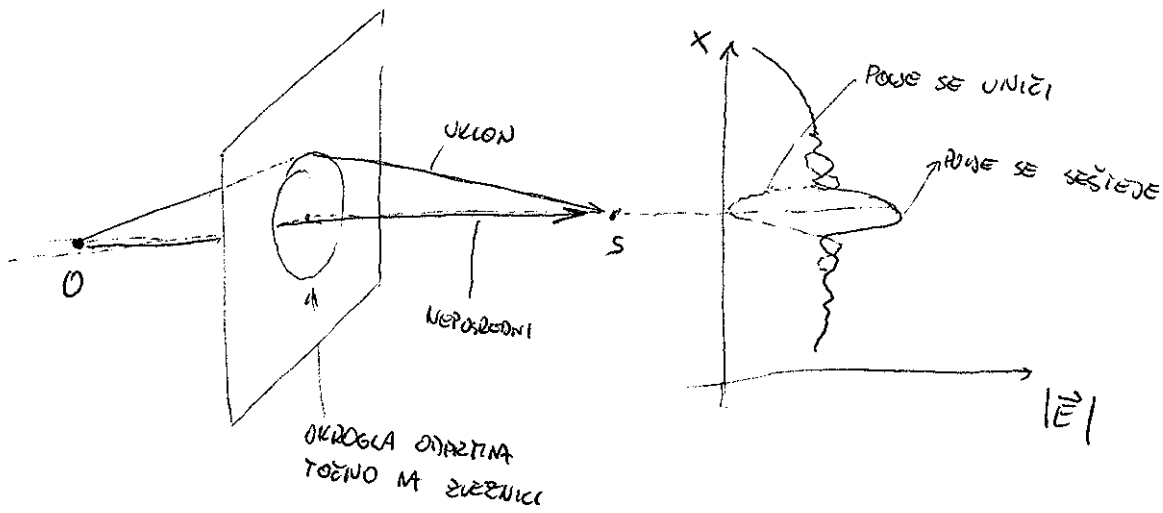
ODBOJ:



TLORIS:

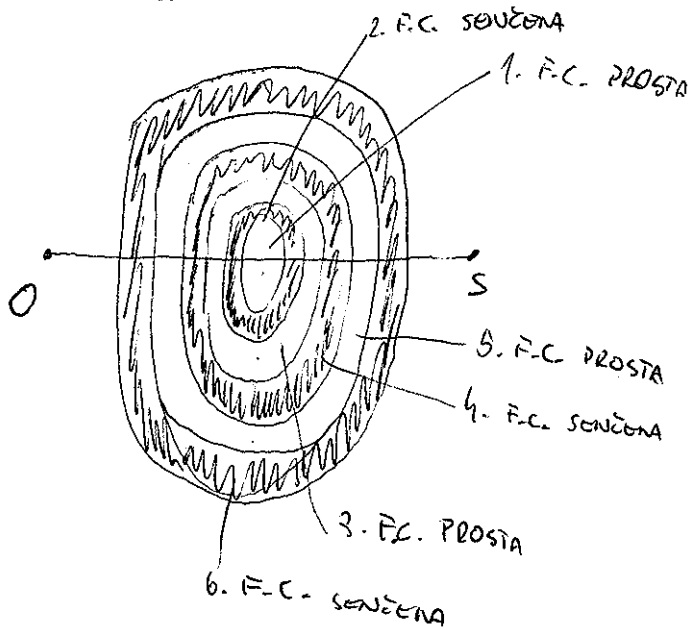


TO JE VSE V RENU, DOKLER NIHTO OVIRE, KI JE OKROGLA:



ČE ZNAMO DOSEČI 2x POVE, NE BI MOGLI POSTAVITI NA NESTO OKROGLE ODPIRNE TAKO OVIR, DA BI TAM DOBILI ČI N POČNEŠE POVE?

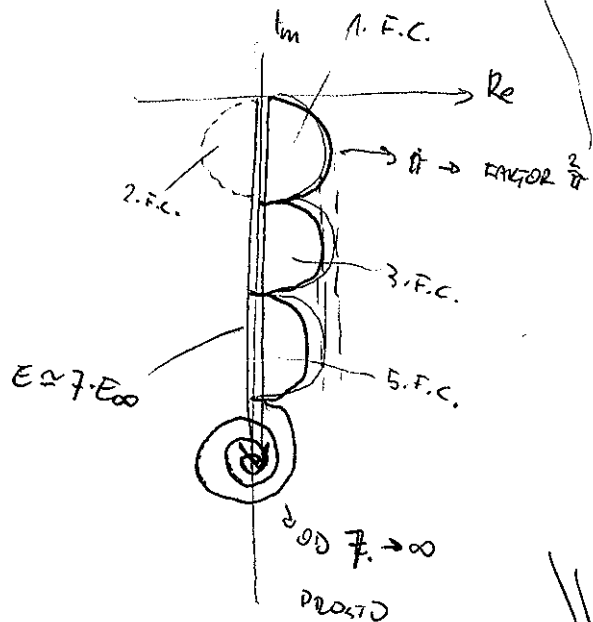
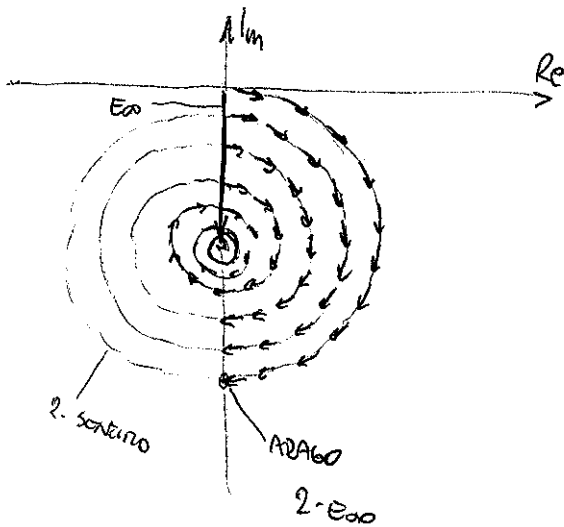
LATKO SI POGLEDAMO:



PRESEKOVNA VEČA
 $E_{FL} \approx 7 \cdot E_{00}$

$S \approx 49 \cdot S_{00} (\approx 17dB)!$

POSKUSIMO SI NAČRTATI KAZALEČNI DIAGRAM:



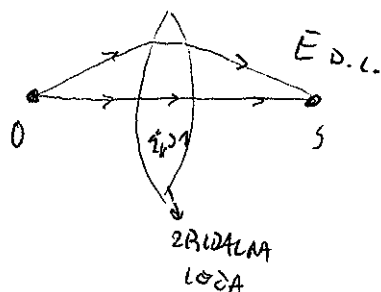
POVE GRE PO LOKU IN SE KAZALO SEŠEJE, ZATO DA FAKTOR

LAHKO BI KOLOBAJSE ŠE VEČALI

TA NAPRAVA IMA UITE: FRESNELOVA ZBIRALNA LEČA

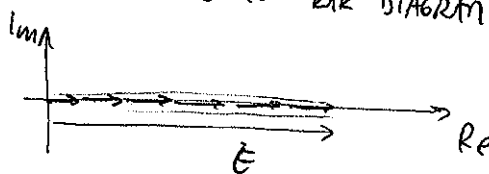
ČAKAJ NE DELAMO TAKIH LEČ?

POMAGAJI DELANO DIELEKTRIČNE LEČE:



VSI ŽARKI PREPOJUSJO ENAKO TOČ!

ČE SI NAČRTOVAŠ KIR DIAGRAM:



IMO POPRAVIL FAZO VSEH ŽARKOV.

VSE SE PRIMERJA MED VELIKO DIELEKTRIČNO LEČO IN FRESNELOVO LEČO:

- FRESNEL: IZGUBIMO $\frac{1}{2}$ PRISPEVKOV, DIELEKTRIČNA: NE IZGUBIMO NIČ $\rightarrow -6dB$
- DIELEKTRIČNA: VSE FAZE PORAVNANE,

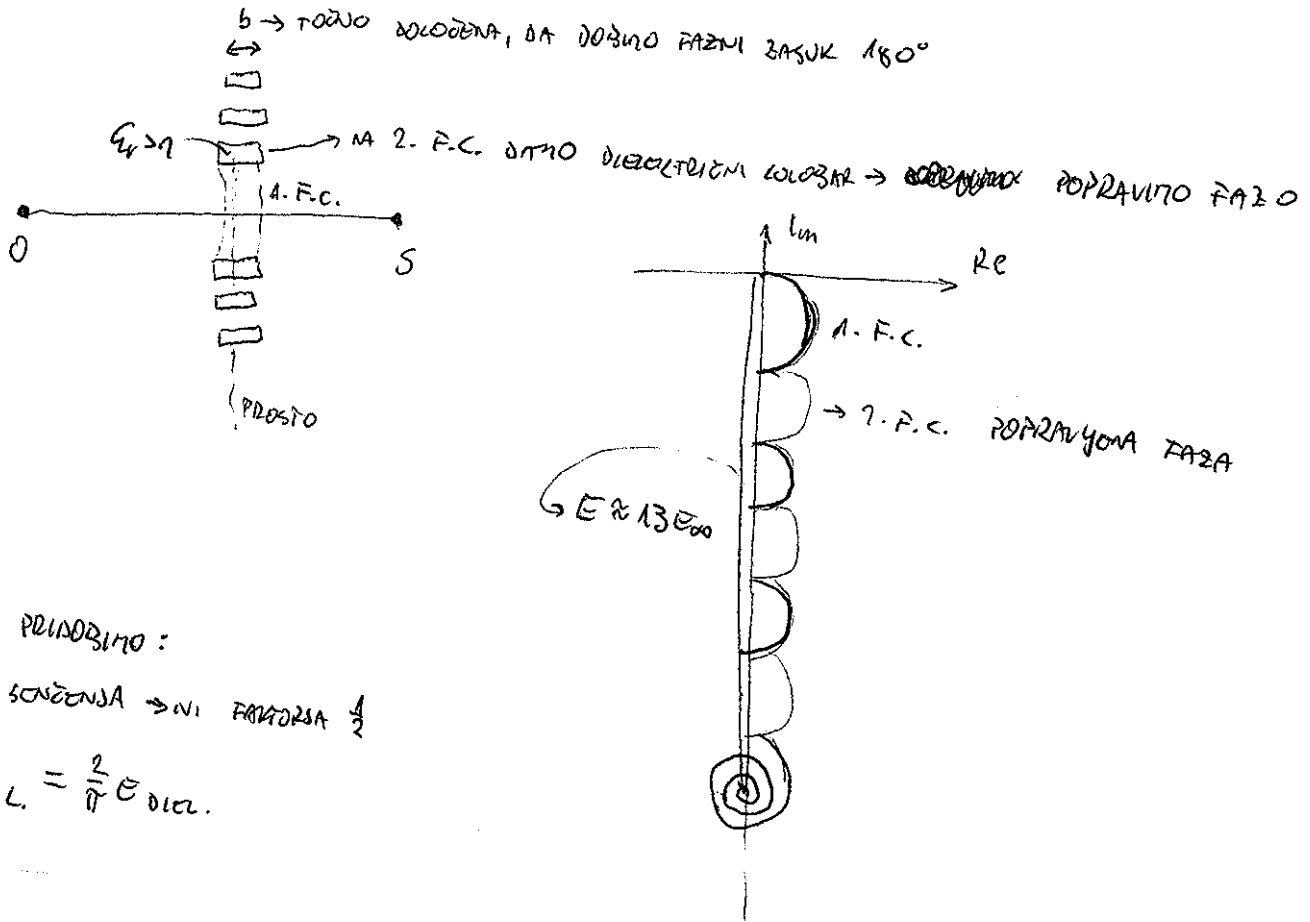
$$E_{FL} = \underbrace{\frac{1}{2}}_{\text{SENIČNOST}} \cdot \underbrace{\frac{2}{\pi}}_{\text{KAZALNA VREDNOST}} E_{DIEL} = \frac{E_{DIEL}}{\pi} = \underline{-10dB}$$

DIELEKTRIČNA LEČA DA 10dB VEČ NA SPREJEMU. FRESNELOVA LEČA ZATO NI TAKO ČISTANA KOT DIELEKTRIČNA, VSAJ TAKA S SENČENOSTI NE.

ŠE ENA LEČ:

- KOLOBAJSE SI TO OBEZNA, DELUJESO SMO PRI ENI VALOVNI DOLŽINI
- DIELEKTRIČNA LEČA JE NEODVISNA OD VALOVNE DOLŽINE

ČE VZTRAJAMO PRI PIESNELOVI LEŠI, SE DA NAJDETI BOLE :

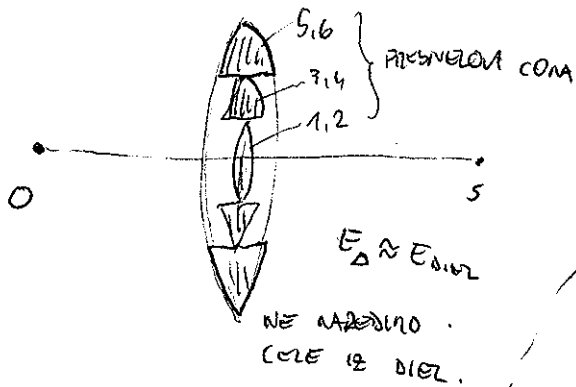


KAJ PRINOSIMO :

NI SENČENJA $\rightarrow$ NI FAKTORJA $\frac{1}{2}$

$$E_{F.L.} = \frac{2}{\pi} E_{DIEL.}$$

SKRANI PRIMER BI BIL :



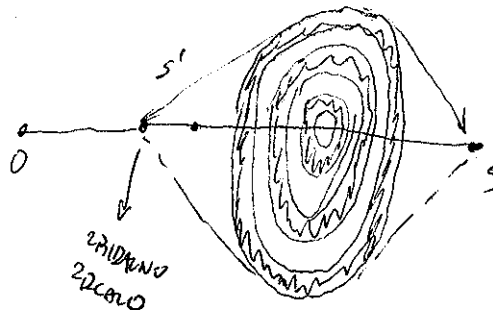
PRI SENČENJU SE JE TREBA SPOMENITI
ENE STARI :

-ČE IMAMO ^{ODREŠE} IZ KOVINE, ~~ODREŠE~~ SE VLOVANJE OBRBE,
STVAR SE Z DRUGE STRANI OBRNJA KOT ZRCLO!

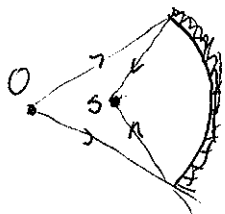
ZA TO ZBIRANO ZRCALO BI PA IMELI :

Im FAZA 180° , ZATO $Im > 0$

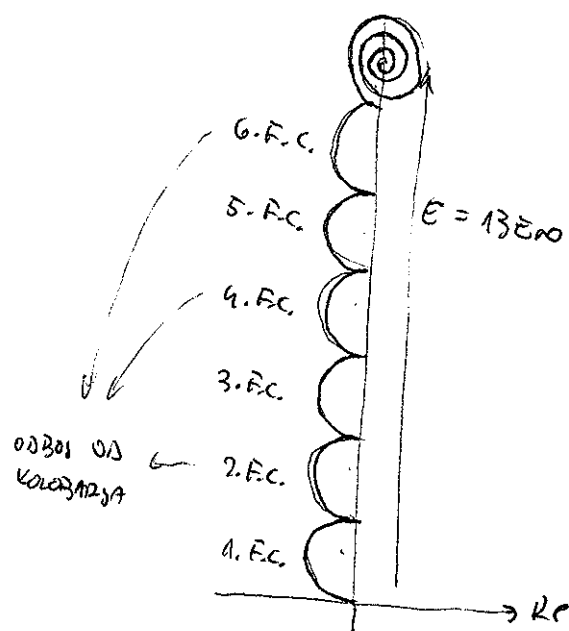
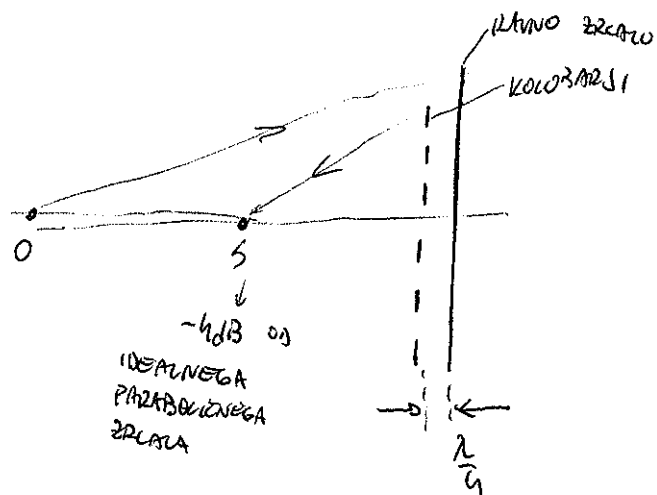
$$E_{FL} \approx 6 E_0$$



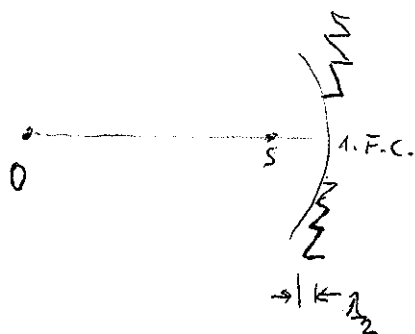
KAKŠNA JE PRIMERJATA MED FRESNELOVIM ZBIRALNIM ZRCALOM IN PRAVIL ZRCALOM?



SI LAHKO PRIVOŽIMO TRIK: 2 ZRCALI ENO ZA DRUGIM:

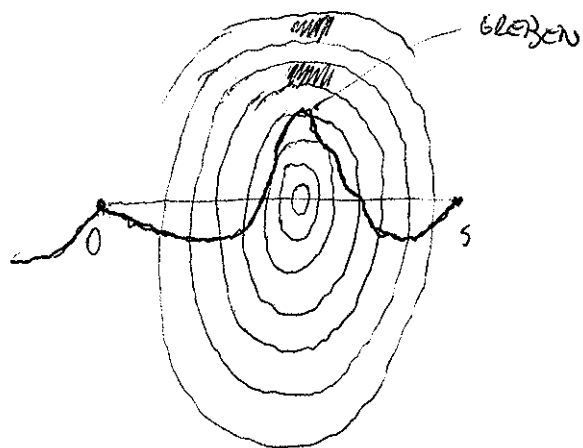


TUDI PARABOLICNA ZRCALA SE DA ZEBATI NA FRESNEZOVE CONE:



? VPRASLIVA OBLIKA

KAJ LAHKO NAREJIMO V RADJSKI ZVEZI S TEM ZNANJEM O FRESNEOVIH CONAH?



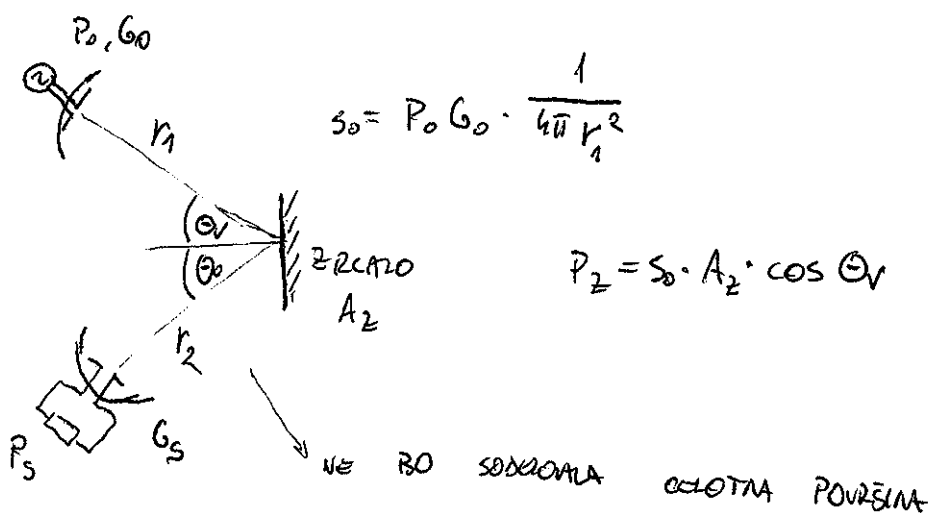
- SI NARIŠENO PLESNELOVE CONE
- ↳ NA VRHU GREJEN SENCINO PAR COU
- ↳ UKLONJALNIK

POŠTARSI DAJO NA VRHU KZIBA ZRCALO:



UKLONJALNIK ALI ZRCALO?

ZRCALO:



$$S_0 = P_0 G_0 \cdot \frac{1}{4\pi r_1^2}$$

$$P_2 = S_0 \cdot A_2 \cdot \cos \theta_v$$

$$\theta_v = \theta_0 = \theta$$

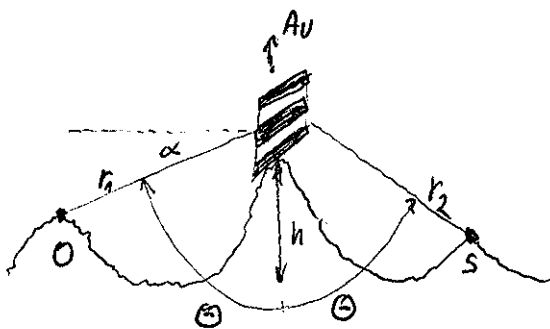
$$P_s = P_2 \cdot G_2 G_s \left(\frac{\lambda}{4\pi r_2} \right)^2$$

BI LAHKO REKLI

$$G_2 = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_2 \cdot \cos \theta_0$$

$$P_s = P_0 G_0 G_s \left(\frac{1}{4\pi r_1 r_2} \right)^2 A_2^2 \cos^2 \theta \rightarrow 2 \text{ ZAPOREDNO VEZANI RADIJSKI ZVEZI}$$

KAKO IZGLEDA Ž UKLANJALNIK?



$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \Theta$$

$$P_s = P_o G_o G_s \left(\frac{1}{4\pi r_1 r_2} \right)^2 A_u^2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot \left(\frac{1}{\pi} \right)^2$$

$$P_s = P_o G_o G_s \left(\frac{1}{4\pi r_1 r_2} \right)^2 \boxed{\frac{A_u^2 \sin^2 \Theta}{\pi^2}}$$

PRI ZRCALU:

$$P_s = P_o G_o G_s \left(\frac{1}{4\pi r_1 r_2} \right)^2 \boxed{A_z^2 \cos^2 \Theta}$$

→ ZADANI UKLANJALNIKA

→ KATERI ČLEN BO BOJ VEJNKOVIT?

POGLEJNO SI RESNIČNO GEOMETRIJO:

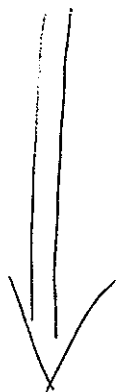
$$d_1, d_2 \gg h : \Theta \rightarrow \frac{\pi}{2} : \cos \Theta \rightarrow 0$$

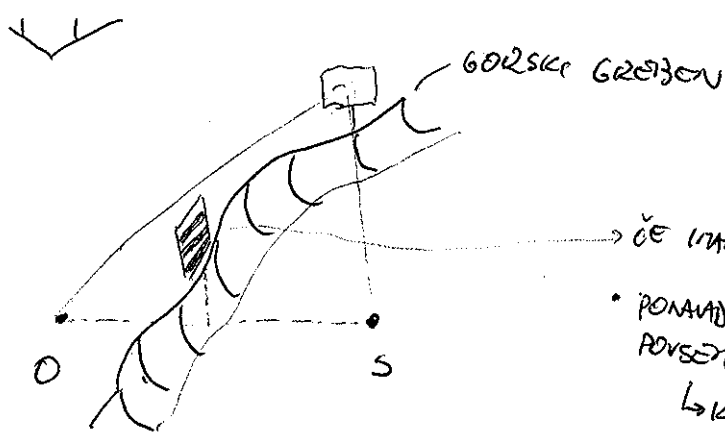
NRAVNE ZAKONITOSTI DAJEJO PREMNOST UKLANJALNIKU → HRIBI SO BOJ ŠIROKI KOT VIŠOKI

ZAKAJ POŠTARSI STAVIJO ZRCALA?

$$\frac{P_{s_o}}{P_{s_z}} = \frac{A_u^2 \sin^2 \Theta}{A_z^2 \cos^2 \Theta \cdot \pi^2} = \left(\frac{A_u}{A_z} \right)^2 \cdot \frac{1}{\pi^2} \tan^2 \Theta$$

KJE JE NARAVNA TEŽAVA?





ČE IMAMO DOSTOP DO TOČKE NAJZVEZNIČO
 • POMAGAJE IMAMO NA RAZPOLAGO TOČKO NAKJE
 POVEŠI DRUGE, ZATO DATO ZRCALO
 ↳ KOT VELIKO VEČJE

ŠE ENA PREJNOST:

ZRCALO JE NEODVISNO OD POLOŽAJA (LAHKO GA MALO RESITAJAMO)
 UKLANSALNIK ZAHTEVA IZRAČUN ZA VSAKO VALOVNO DOLŽINO IN
 VSAK POLOŽAJ

TEŽAVE ZRCALA:

- ZAHTEVA ZAHTEVNO CILJANJE (V 1 TODEN DELA)

↳ ZA UKLANSALNIK JE IMAMO ZAHTEVNO CILJANJE

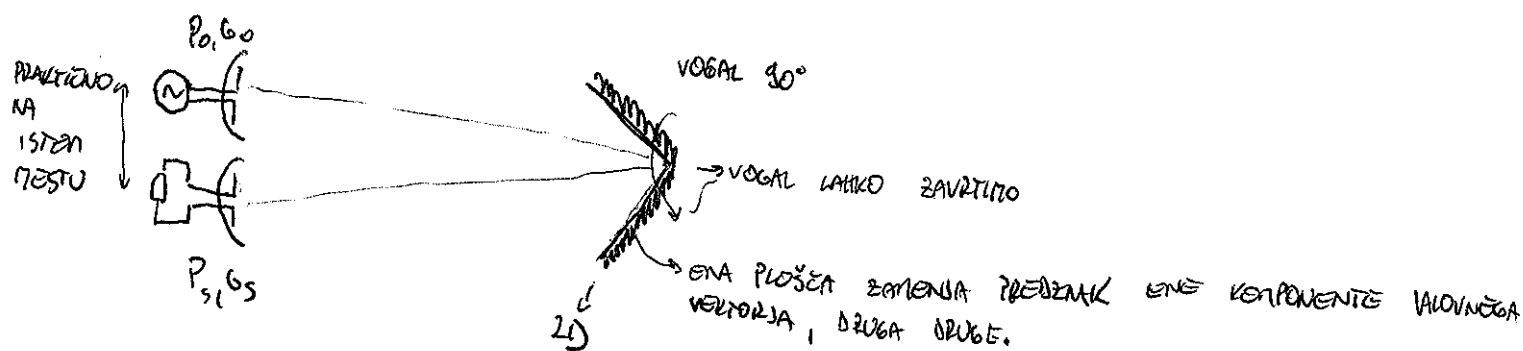
UKLANSALNIK MORAJE BITI ČIM BLIŽJE ZVEZNICI

NA PRIMER: ZRCALO $10m \times 10m$ IMA V MIKROVALOVNEN PODROČJU SMOBN DIAPETRI ŠIROK 0.1° !

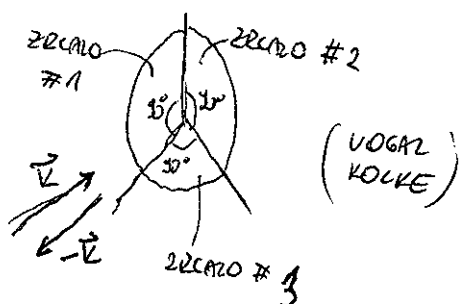
KDAJ IMAMO KAKŠNO OLAKŠEVALNO OKOLUŠČINO:

• ODDAJNIK IN SPREJEMNIK IMAMO NA ISTEN MESTU...?

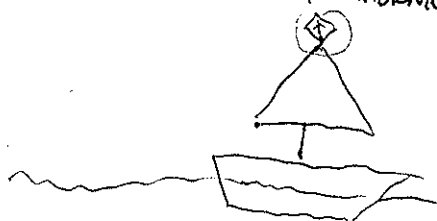
TRIK: VOGAL



V 3D: TRIROBNIK (MAČE OKO)

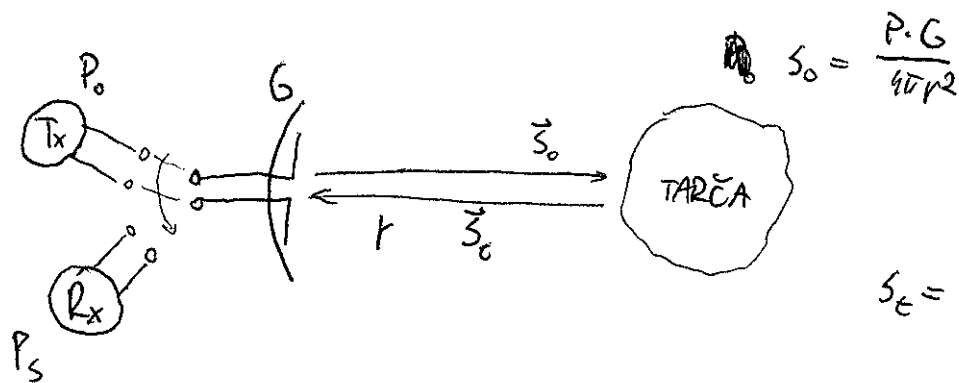


VELIKOLIKOST IMAMO NA JEDRNICI ZA RAZAR:



KAKOVI GRE MOTOR, GRE V ISTI SMERI NAZAJ

VELIKOKRAT Z RADARJEN MERIMO STARI, KI NE SODRŽUJEJO:



KAKO OPISATI TARČO?

Z ODNEVNO POVRŠINO σ

DEFINICIJA: $P_e = S_0 \sigma$

$$P_s = S_e \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot G = P_0 G^2 \cdot \frac{\lambda^2}{(4\pi)^3 r^4} \cdot \sigma$$

ČE PRIMERJAMO Z VOGLONOM ALI RAVNO PLOŠČO:

$$P_s = P_0 G^2 \left(\frac{1}{4\pi r^2} \right)^2 \cdot A_z^2 \cdot 1^{\cos \Theta}$$

ODNEVNA POVRŠINA ZRCALA:

$$P_s = P_0 G^2 \left(\frac{1}{4\pi r^2} \right)^2 \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \sigma \right)$$

$$A_z^2 = \frac{\lambda^2}{4\pi} \sigma \rightarrow \sigma = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_z^2 = A_z \cdot \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A_z$$

RAVNO ZRCALO

VRATAŠČA S SREDNOSTROŽNOSTJO

VRATAŠČA S POVRŠINO ZRCALA

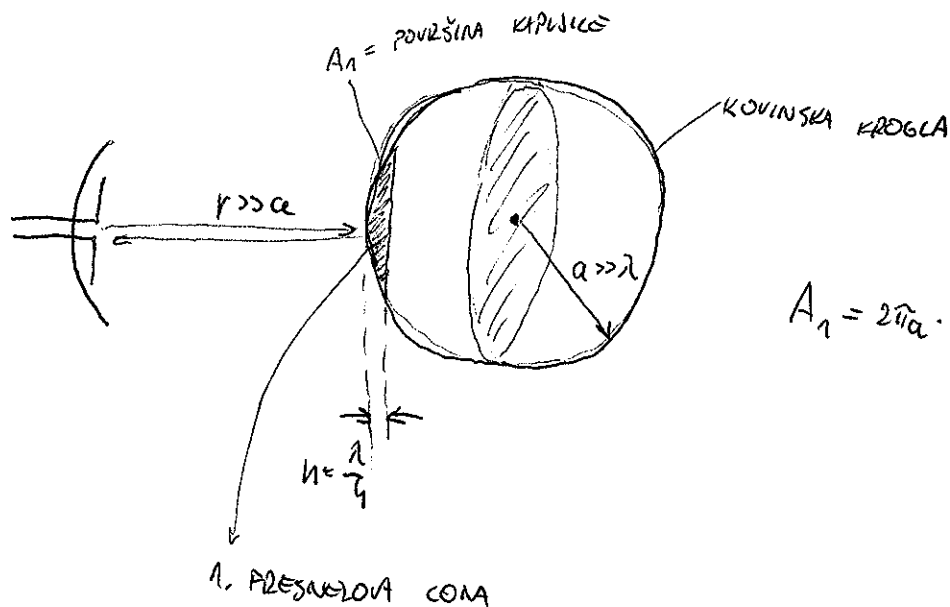
ZA TRIKOTNIK:

$$\sigma = \frac{4\pi}{\lambda^2} A^2 \rightarrow \text{če } A \uparrow, \sigma \uparrow \uparrow$$

→ KOTIČEN $\lambda \rightarrow \sigma \uparrow \uparrow$

→ NARAZ ZA POROKSKI PROJEKT: $\lambda = 3.3 \text{ cm}$

POGLEJNO SI PRIMER, KO IMAMO TARČO, KI NE SOBEŽUJE?



$$A_1 = 2\pi a \cdot h = 2\pi a \cdot \frac{\lambda}{4}$$

ODBOJ OD KROGLE?

POVRŠINA NI RAVNA $\Rightarrow$ BOJO IMELI MPAKO TARČE

CONA NI RAVNA:



$$\sigma_{1.F.C.} = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A_{1.F.C.}^2 \left(\frac{2}{\pi}\right)^2$$

$$\sigma_{KROGLE} = \frac{1}{4} \sigma_{1.F.C.} = \frac{1}{4} \frac{4\pi}{\lambda^2} A_1^2 \left(\frac{2}{\pi}\right)^2 = \frac{\pi}{\lambda^2} \cdot \frac{4}{\pi^2} \cdot 4\pi^2 a^2 \frac{\lambda^2}{16} = \pi a^2$$

$\frac{1}{2}$ POLA

$\hookrightarrow \frac{1}{4}$ NOVI

$\hookrightarrow \frac{1}{4}$ POVRŠINE

ODNEVA POVRŠINA KROGLE JE
PRESEK KROGLE

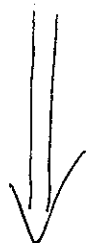
TARČA, KI NE SOBEŽUJE IMA
SORAZMERNO MALO ODNEVNO POVRŠINO

TRIROBNIK:

KROGLA:

$$\sigma_T = \frac{4\pi}{\lambda^2} A^2$$

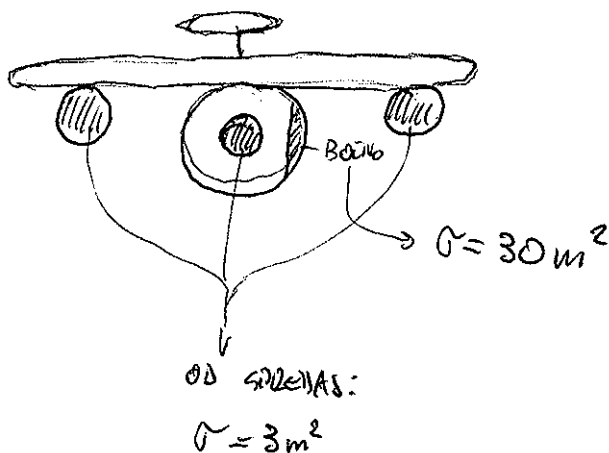
$$\sigma_K = A$$



ŠTEVILKE:

MORAMO POGLEDATI, KJE PRI PRELETU SE KROGLA NAHAJA:

LETALO:



KOLIKO JE SLEDIJO DOJET ENEGA RADARJA?

$$P_0 = 1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$$

$$P_s \approx 1 \text{ pW} = 10^{-12} \text{ W}$$

$$\lambda = 10 \text{ cm}$$

$$G = 40 \text{ dB} \left(A \approx 10 \text{ m}^2 \right) = 10^4$$

$$\sigma = 3 \text{ m}^2$$

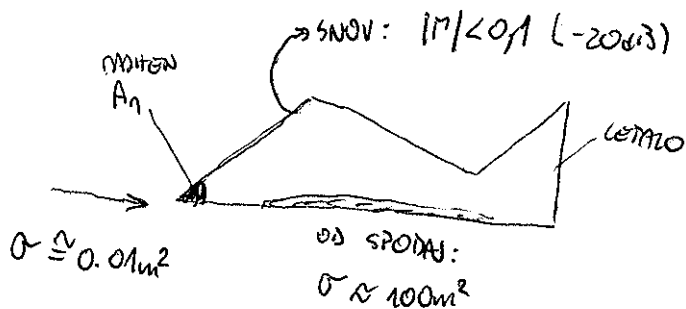
DOJET RADARJA:

$$r = \sqrt[4]{\frac{P_0}{P_s} G^2 \frac{\lambda^2}{(4\pi)^3} \sigma}$$

$$r = \sqrt[4]{\frac{10^6 \text{ W}}{10^{-12} \text{ W}} \cdot 10^8 \cdot \frac{(0.1 \text{ m})^2}{(4\pi)^3} 3 \text{ m}} = \dots =$$

$$r \approx 200 \text{ km}$$

KAKO IZGLEDA, ČE PROTI NAM NE LETI LETALO, TETVEČ LIKALNIK ☺ ?



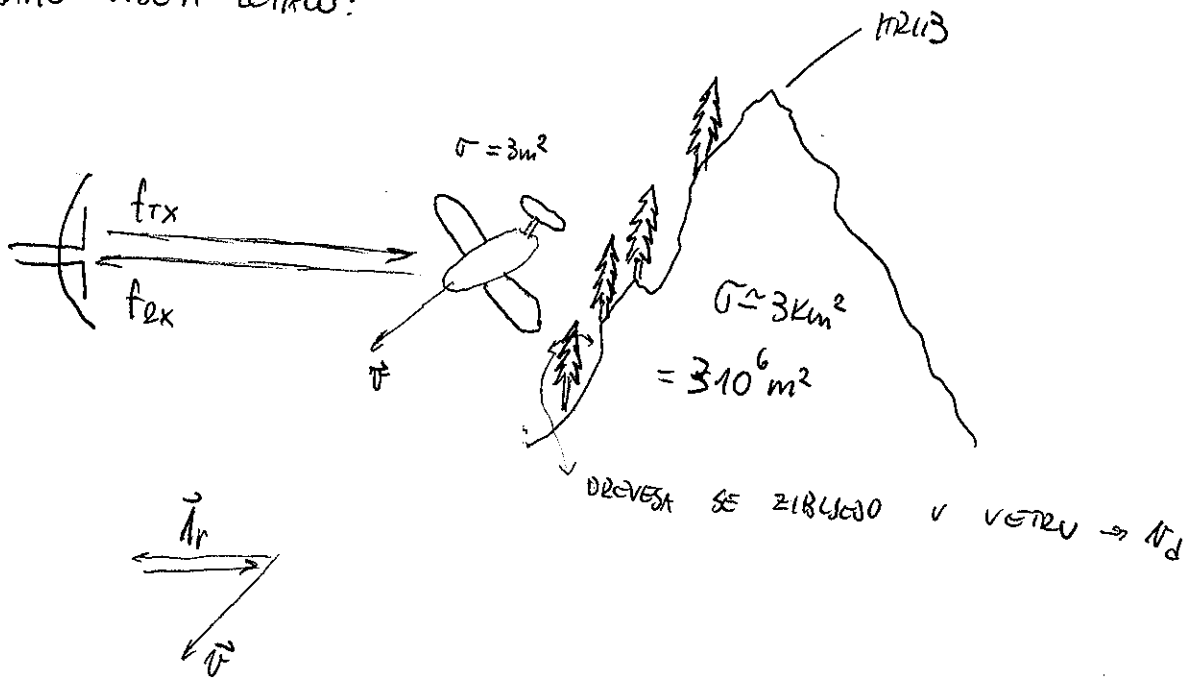
$$r = \sqrt[4]{\frac{1}{2} \cdot 10^{-12} \text{ W} \cdot 0.01 \text{ m}^2} \approx 37 \text{ km}$$

↓
SAMO MALO
ZNIŽA DOJET

GRADIM TAKO LETALO NIJA NEKEGA UČINKA!

KAKŠNO TEŽAVO IMA V REŠNICI RADAR?

POSKUŠAMO VIDETI LETALO:



MA KAKŠEN NAČIN LOČIMO LETALO OD HRIČA?

↳ LETALO IMA HITROST v

HRIČ: $f_{rx} = f_{tx}$

LETALO: DOPPLER: $f_{rx} = f_{tx} + \Delta f$

DOPPLER-JEV POTOPIK: $\Delta f = ? = - \frac{2 \cdot v \cdot \hat{r}}{c_0} \cdot f_{tx}$

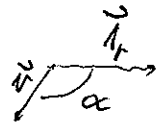
Δf MORA BITI DOVOLJ VELIK

KAKO VELIK?

HRIČ NI PRI NJEM: DREVEŠA SE ZIBUJEJO V VETRU... N_D
↳ DREVEŠ JE VELIKO

PA ŠE:

$v \cdot \hat{r} = v \cdot \cos \alpha$



→ IZ TEGA SLEDI: $v_{min} \approx 40 \frac{m}{s} \approx 150 \text{ km/h}$

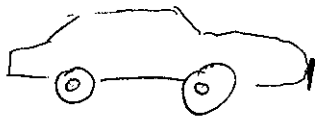
A KAKŠNO NEVARNOST LAHKO NALETIMO:

• PROPELER NA LETALU: VELIKA HITROST → TUDI ROTOR HELIKOPTERJA ($v_{rot} \approx 800 \text{ km/h}$)

VIDNO Z
RADARJEM

TRABA NAJSTI Z
VODI JADRANIM LETOM! :)

AUTOMOBIL:



→ POUVRŠENO TABULICE NAZVEDUTO HZAPAVO → POLICAJI UPORABUJAO:

$$\lambda = 1064 \text{ nm (Nd YAG)}$$

— NI OČESNO VIZNO

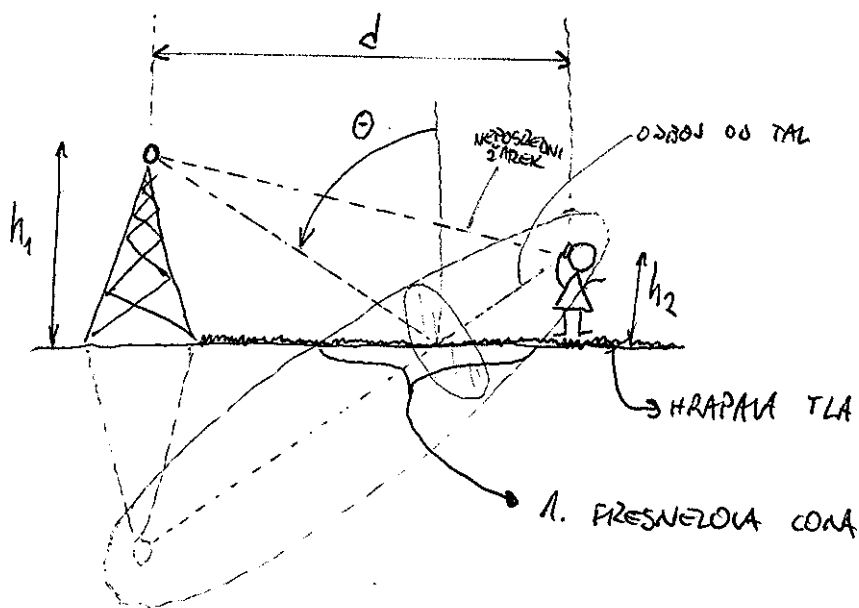
TEŽNA JE RADAR:

$$\left. \begin{array}{l} 24 \text{ GHz } \lambda = 1,2 \text{ cm} \\ 34 \text{ GHz } \lambda = 0,9 \text{ cm} \end{array} \right\} \text{ TEŠKO NAZVEDUTI HZAPAVO}$$

IMANO ENO OVIRO, ZA KATERO ČLOVEK NE BI REKEL, DA JE OVIRA....

13. 12. 17.

ODBOJ OD TAL



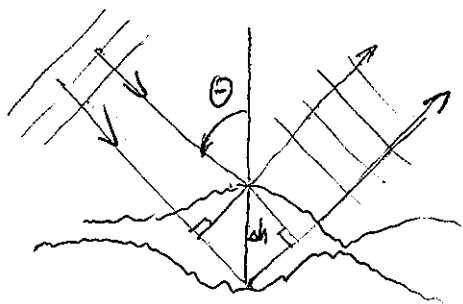
$$d \gg h_1, h_2$$

$$A_{1.F.Z.} = \pi g_1^c \cdot \frac{1}{\cos \theta}$$

JE ČUDNO, DA SE ~~ODBIJE~~ ODBIJE
BIVALOVA DOLŽINA NI SILNO VELIKA
 $\hookrightarrow \lambda = 33 \text{ cm}$ ZA TELEFON

HEC JE, DA SO KOTI ZELO POLOŽNI ($d \gg h_1, h_2$) $\rightarrow (\theta \rightarrow \frac{\pi}{2}, A \uparrow \uparrow)$
BOMO IMELI SPLOH DOVOLJ VELIKO POUŠČINO, DA SE BO LAHKO ODRILO?

ČE IMAMO:



$$\Delta \varphi = 2k \Delta h \cos \theta \quad \theta \rightarrow \frac{\pi}{2}$$

$$\Delta \varphi = 2\Delta h \cdot \frac{2\pi}{\lambda} \cos \theta$$

ZA ZRCALNI ODBOJ:

$$-1 \text{ dB} : \frac{\pi}{2} > \Delta \varphi$$

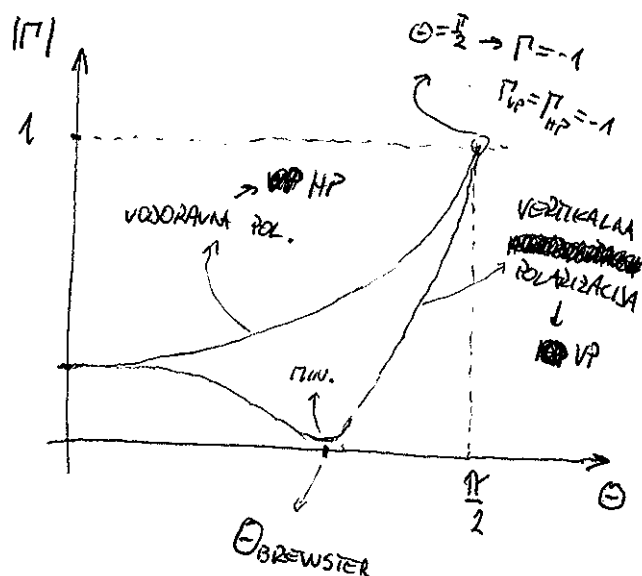
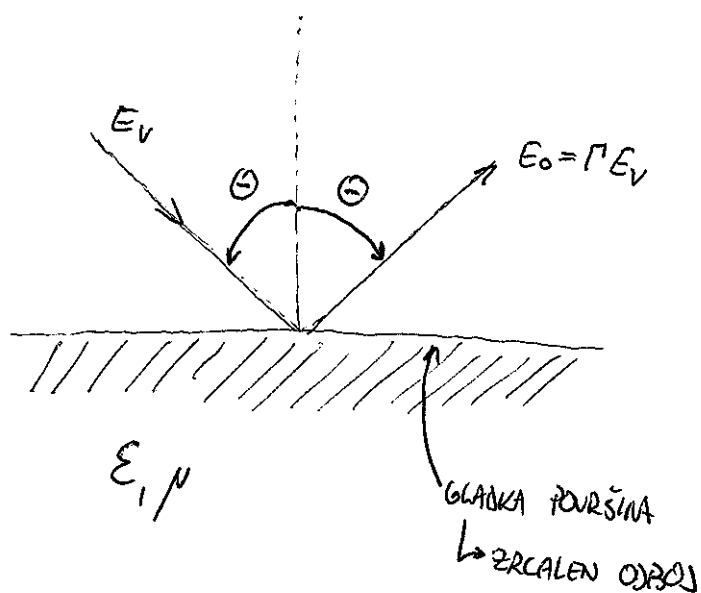
$$\frac{\pi}{2} > \frac{4\pi \Delta h}{\lambda} \cos \theta \rightarrow \Delta h < \frac{\lambda}{8 \cdot \cos \theta}$$

RAYLEIGH-OV POGOJ ZA ZRCALNI ODBOJ

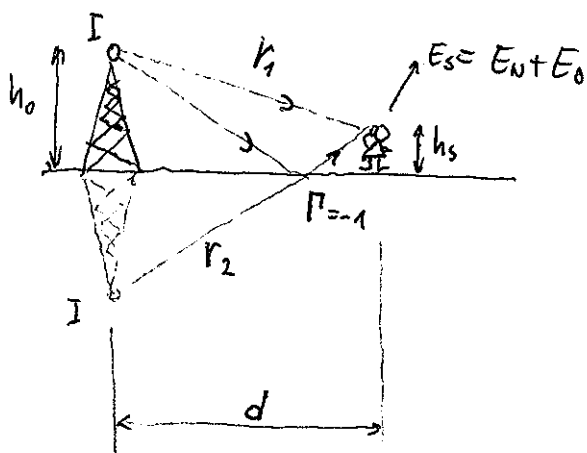
$$\hookrightarrow \theta \rightarrow \frac{\pi}{2}; \cos \theta \rightarrow 0, \Delta h \rightarrow \infty$$

TOREJ BO ZA NŠ PRIMER
ODBOJ ZRCALNI KER BO
TA POGOJ IZPOLNEN

DRUGO VPRAŠANJE: KOLIKO JE OBOJENOST POVRŠINE?



$$\Gamma \approx -1$$



r_2 (OD ZRCALNEGA ODDAJNIKA DO SPOSOBNOSTI)

$$E_s = E_N + E_o = \frac{\alpha I}{d} e^{-jk(d + \frac{h_o^2 + h_s^2}{2d})} \left(e^{-jk \frac{h_o h_s}{d}} - e^{-jk \frac{h_o h_s}{d}} \right)$$

SKORAJ NEPOSREJNI ŽARILEK (+ ZASUK) $E_N e^{j\phi}$

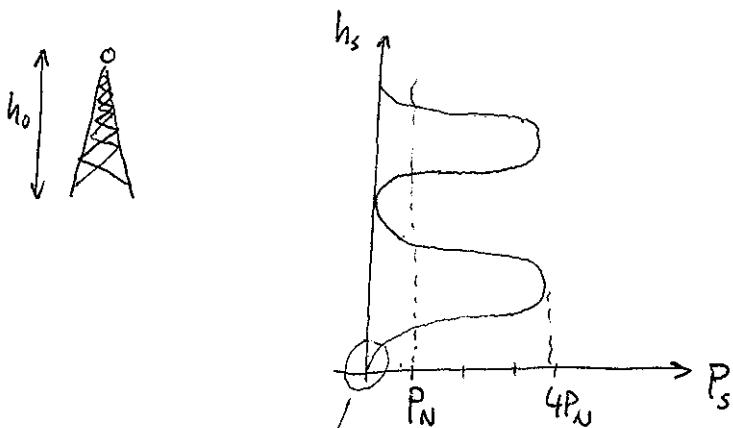
$$E_s = E_N e^{j\phi} \cdot 2j \sin\left(k \cdot \frac{h_o h_s}{d}\right)$$

$$|E_s| = |E_N| \cdot 2 \cdot \left| \sin\left(k \cdot \frac{h_o h_s}{d}\right) \right|$$

IMAMO ENO INTERFERENCO MED E_N IN E_o

$$P_s = P_N \cdot 4 \cdot \sin^2\left(k \cdot \frac{h_o h_s}{d}\right)$$

$$\sin^2 x = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2x$$



OBÍČAJNO SMO TU ODKLÍČE SO MAXIMÁLNĚ
TEŽAVA!!

↓
UNIČUJOČÁ INTERFERENCA!!

ČE ZAPIŠEME CELOTNO SLABŠENIE ZVEZE:

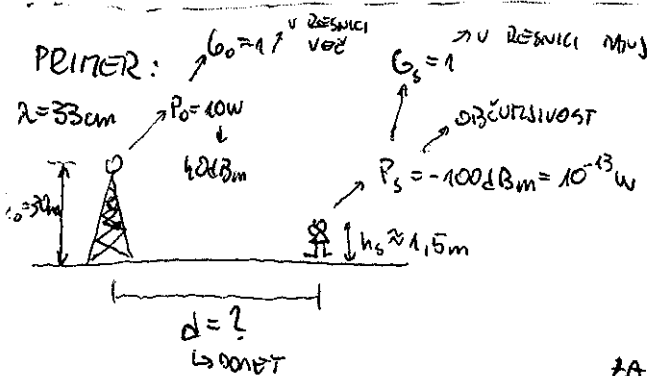
$$P_s = P_o G_o G_s \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \cdot 4 \sin^2 \left(\kappa \frac{h_o h_s}{d} \right) \quad \kappa = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$P_s = P_o G_o G_s \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \cdot 4 \sin^2 \left(2\pi \frac{h_o h_s}{\lambda d} \right)$$

↓
ODBOS OD TLA

ČE $\frac{h_o h_s}{\lambda d} \ll 1$, $\sin x \approx x$

$$P_s \approx P_o G_o G_s \frac{h_o^2 h_s^2}{d^4}$$



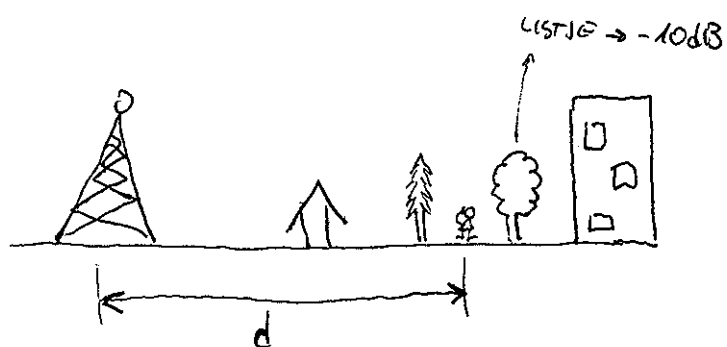
$$d = \sqrt[4]{\frac{P_o}{P_s} G_o G_s h_o^2 h_s^2} = \sqrt[4]{\frac{10 \text{ W}}{10^{-13} \text{ W}} \cdot 1 \cdot 1 \cdot (30 \text{ m})^2 (1,5 \text{ m})^2}$$

$$= \sqrt[4]{10^{14} \cdot 900 \text{ m}^2 \cdot 2,25 \text{ m}^2} \approx 22 \text{ km} \rightarrow 2 \text{ ODBOBY}$$

ZA PRIMEROM: PRAZEN PROSTOR:

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_o}{P_s} G_o G_s} \approx 250 \text{ km}$$

ZANIMIVA REČ JE, DA VELJA PODOBEN IZRAZ KOT ZA DOMET, TUDI ZA OKOLJE, KIER IMAMO KAKŠNE OVIRE:



$$P_s = P_o G_o G_s \frac{h_o^2 h_s^2 \alpha(\lambda)}{d^N}$$

MERITVE: $N = 3 \div 5$

KAKO PA NA TO VPLIVA OZRAČJE?

OZRAČJE ($0 \text{ km} \rightarrow > 10000 \text{ km}$)

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

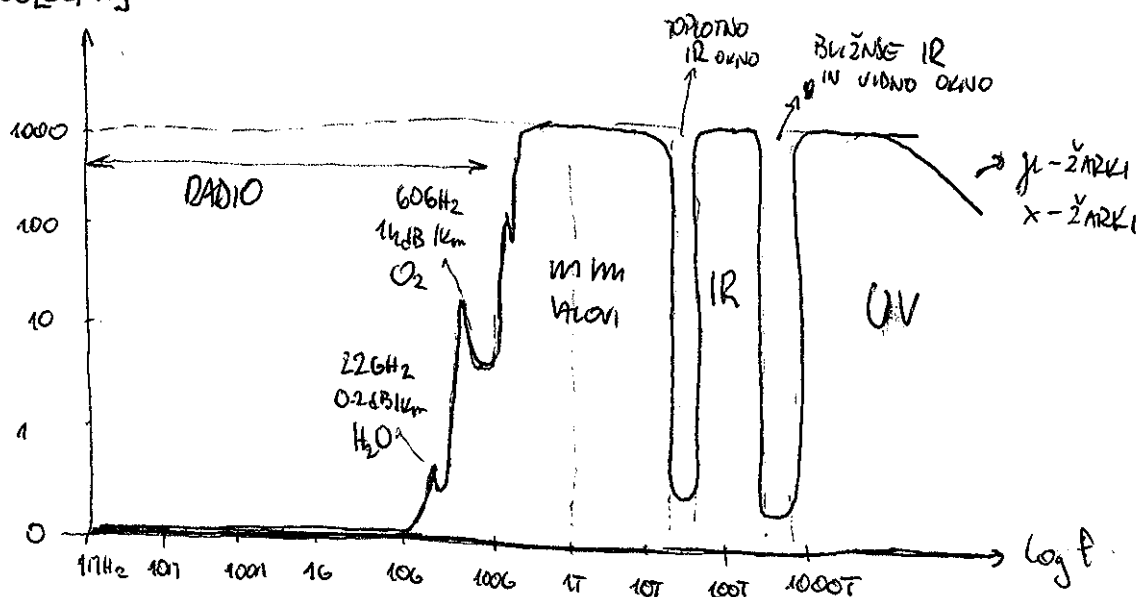
$$\mu \neq 0$$

$$n \approx n_0$$

DANES SI POGLEJMO TROPOSFERO ($0 \text{ km} \rightarrow 10 \text{ km}$)

Imamo pokončne tokove $\rightarrow$ pokončno mešanje zraka $\rightarrow T(h) \downarrow \rightarrow$ temperatura pada z višino

predusen zračni μ
 $\alpha [\text{dB/km}]$



GOSTOTA ZRAKA PADA:

$$n = \sqrt{\epsilon_r}$$

$$n = 1 + \Delta n_0 e^{-\frac{h}{H}}$$

V TROPOSFERI, ZA SUHO IN PRENEŠANO OZRAČJE
ZRAČJE (O_2, N_2)

$$\Delta n_0 \sim 0.0003$$

$$H = 8500 \text{ m}$$

ZA POKRIT+ SUHI DEL:

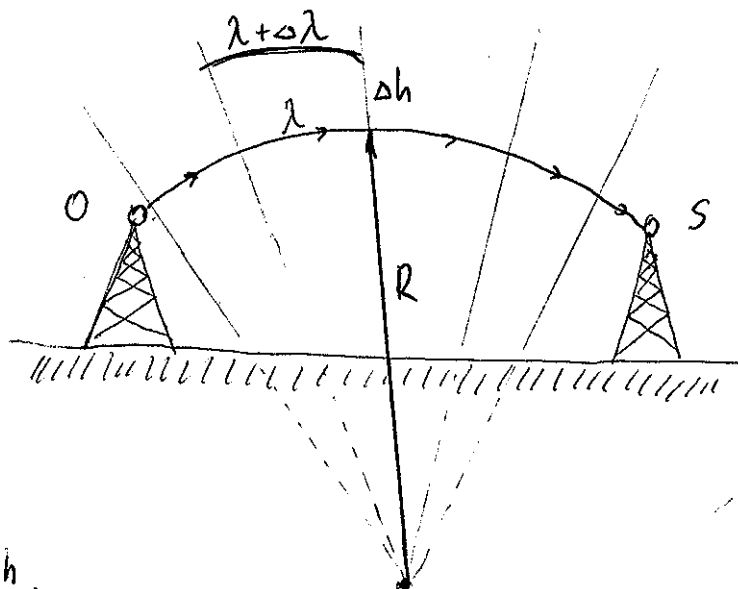
$$H_{\text{POKRIT}} = 1,5 \text{ km}$$

$$\Delta n_{\text{POKRIT}} = f(p, H_2O)$$

$$n = 1 + \Delta n_{\text{SUHI}} e^{-\frac{h}{H_{\text{SUHI}}}} + \Delta n_{\text{POKRIT}} e^{-\frac{h}{H_{\text{POKRIT}}}}$$

$\downarrow$ ($N_2 + O_2$) $\downarrow$ (H_2O)

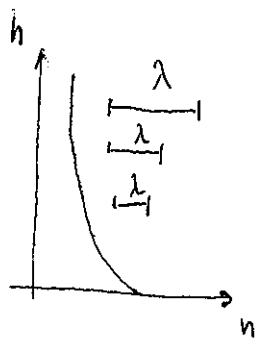
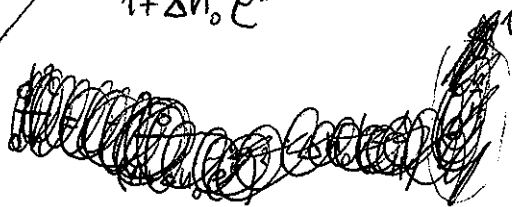
KAJ SE ZARADI TEGA DOGAJA:



KRIVLJENJE ŽARKOV!

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{1 + \Delta n_0 e^{-\frac{h}{H}}}$$



$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

PODOBNI TRIKOTNIKI:

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

$$\frac{d\lambda}{dh} = \frac{-\lambda_0}{(1 + \Delta n_0 e^{-\frac{h}{H}})^2} \cdot \Delta n_0 \left(-\frac{1}{H}\right) e^{-\frac{h}{H}} \approx 1$$

$$\frac{\Delta \lambda}{\Delta R} \approx \frac{d\lambda}{dh} = \frac{\lambda}{R}$$

$$R = \frac{H}{\Delta n_0} e^{-\frac{h}{H}}$$

ČE UPOŠTEVAMO, DA $\Delta n_0 \ll 1$:

$$\frac{d\lambda}{dh} \approx \lambda_0 \frac{\Delta n_0}{H} e^{-\frac{h}{H}}$$

$$R(h=0) = \frac{H}{\Delta n_0} = \frac{8500m}{0.0003} = 28333km \rightarrow \text{ZA SUNO OZRAČJE, NA } h=0 \text{ (ZIMA BREZ NEGLE)}$$

POLETI:

$$n = 1 + \Delta n_{\text{suhi}} e^{-\frac{h}{H_{\text{suhi}}}} + \Delta n_{\text{mokra}} e^{-\frac{h}{H_{\text{mokra}}}}$$

0.0003

H_2O VODNI HLAPE
1,5km → VLAGA HITRO UPADA

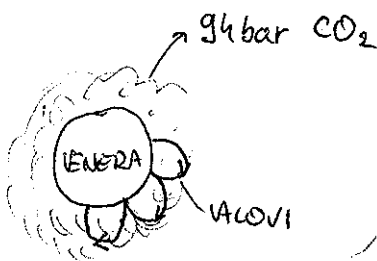
POLETI:

$$R(h=0) \approx 25000km \rightarrow \text{ZA RADIO!}$$

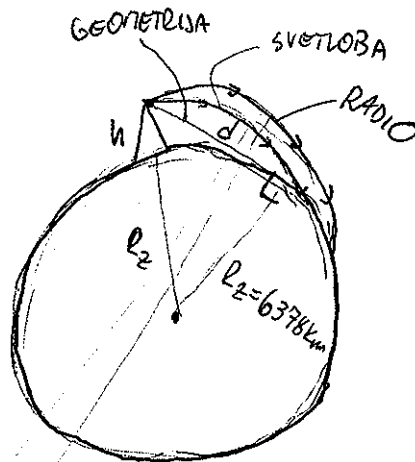
$$\text{ZA SVETLOBO: } R(h=0) \approx 50000km$$

VSI POLMERI SO VEČJI OD POLMERA ZEMLJE!

VENERA: GOSTO OZRAČJE



ZEMLJA:



GEOMETRIJA:

MI BI SI RADI POENOSTAVILI RAČUN ZA DOKET:

GEOMETRIJA:

$$(R_2 + h)^2 = d^2 + R_2^2$$

$$R_2^2 + 2R_2h + h^2 = d^2 + R_2^2$$

$$2R_2h + h^2 = d^2$$

$$d = \sqrt{2R_2h + h^2} \approx \sqrt{2R_2h}$$

$\downarrow$ $h \ll R_2$ $\downarrow$ GEOMETRIJA

RADIO: PREPROSTA POENOSTAVITEV

$$\frac{1}{R_{\text{eff}}} = \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R} \approx 8600 \text{ km} \rightarrow \text{RADIO}$$

$$R_{\text{eff OPTIKA}} \approx 7500 \text{ km} @ h \ll R$$

DOMET:

$$d = \sqrt{2 R_{\text{eff}} \cdot h}$$

POGLEJNO SI ZGLEDO:

$$R_2 = 6378 \text{ km}$$

$$h = 100 \text{ m} \rightarrow \text{STOLP}$$

$$d = ?$$

$$d_{\text{GEOM}} = \sqrt{2 \cdot 6378 \cdot 10^3 \text{ m} \cdot 100 \text{ m}} \approx 35 \text{ km}$$

$$\text{RADIO: } d = \sqrt{2 \cdot 8600 \text{ km} \cdot 100 \text{ m}} \approx 42 \text{ km}$$

$$\text{OPTIKA: } d = \sqrt{2 \cdot 7500 \text{ km} \cdot 100 \text{ m}} \approx 38,5 \text{ km}$$

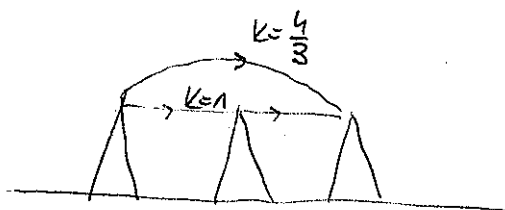
ŠE ENA DEFINICIJA:

$K_{\text{OZRAČJA}}$

$$K = \frac{R_{\text{eff}}}{R_2} \approx \frac{1}{3}$$

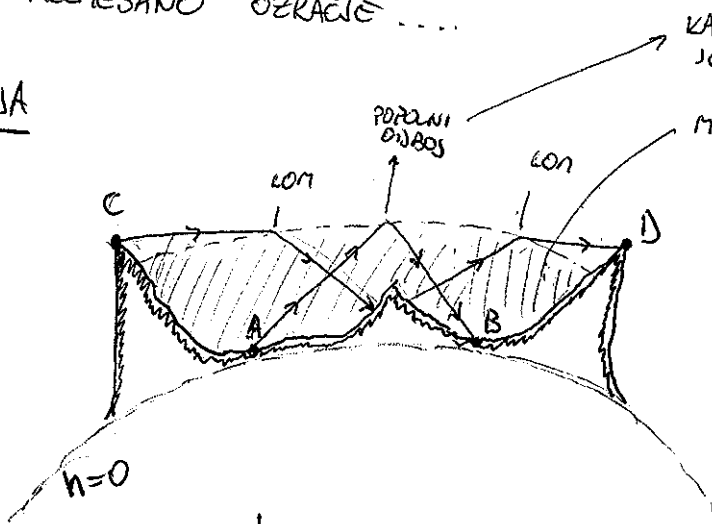
↓
ZA DOBRO PRENEŠANO OZRAČJE, $h=0$

→ REZERVA ZVEZE: $K=1$ ALI ČETI $K < 1$



DOBRO PREMEŠANO OZRAČJE ...

INVERZIJA

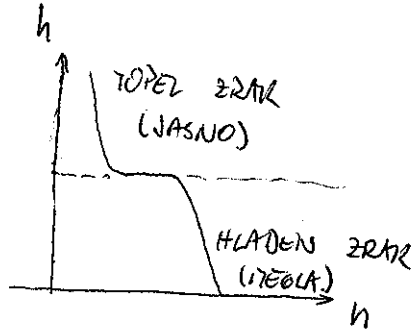


KAR NAENKRAT IMAMO POVEZAVO MED TOČKAMA, KI JO PREJ NI BILLO

MEGLA, HLADEN ZRAK

$$K = ?$$

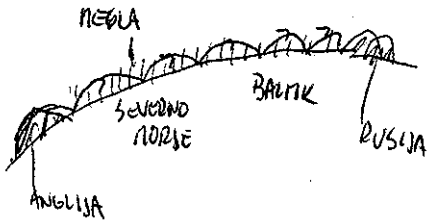
↳ NE MOREMO DEFINIRATI



TOPLLOTNA INVERZIJA:

- VZPOSTAVI ZVEZO MED A IN B
- RUŠI ZVEZO MED C IN D

V EVROPI SE ZGODI:



LATKO NAJDEMO ŽELO DOLGO ZVEZO (2000 km)

(KOJAS SE MED SREDNJOZEMSKIM MORSJEM VZPOSTAVI ~ 50m VLAŽNEGA ZRAKA → POBOJNA REČ KOT MEGLA MED ANGLIJO IN RUSIJO)

ŠE ENA REČ: SONČNI ZAHOD

SNEELL:

$$n_1 \cdot \sin \Theta_1 = n_2 \cdot \sin \Theta_2 = 1$$

$$\Theta_1 = \text{ARCSIN} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

$$\alpha = \text{ARCCOS} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

$$\cos \alpha = \frac{n_2}{n_1} = 1 - \frac{\alpha^2}{2} + \dots$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{n_1 - n_1 + n_2}{n_1} = 1 - \frac{n_1 - n_2}{n_1} = 1 - \frac{\Delta n}{n_1}$$

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\alpha^2}{2} + \dots = 1 + \frac{\Delta n}{n_1}$$

$$\frac{\Delta n}{n_1} = \frac{\alpha^2}{2}$$

$$\alpha = \sqrt{2 \cdot \Delta n} = \sqrt{2 \cdot 0.00015} \approx 0.0173 \text{ rad} \approx 1^\circ$$

OZRAČJE → TROPOSFERA ($< 10 \text{ km}$)

• NEUTRALNI PLINI ($\text{N}_2, \text{O}_2, \text{H}_2\text{O}$)
 SUHI
 DEZ

$$n = 1 + \Delta n e^{-\frac{h}{H}} \rightarrow \text{OSNOVA JE POKONČNO MEŠANJE ZRAKA}$$

$\Delta n = 0.0003 \rightarrow$ ZA RADIO (SUHI DEZ)

$H = 8,5 \text{ km}$ (SUHI DEZ)

ZA VODNO PARO:

$H = 1,5 \text{ km}$

LAHKO REČENO, DA MAJ 10 km PRAKTIČNO NI VPLIVA OZRAČJA. HITRO PADA Z VIŠINO.

KAJ PA VIŠJE OD 10 km?

→ PLINOV JE ZELO MALO, NI POKONČNEGA MEŠANJA, TEMPERATURA NE PADA VEČ SPREMEMBA n SKORAJ NE VPLIVA. PAČ PA SE $\approx h > 100 \text{ km}$ ZGODI ENA REČ: LAHKO IMAMO IONIZIRANE DELCE!!

→ $Q \neq 0!$

→ ELEKTRONI, PROTONI (H^+), TEŽJI IONI, ...

IMAMO SILO NA DELCE:

$$\vec{F} = Q\vec{E} = m \cdot \vec{a} = j\omega m \vec{v}$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = j\omega \vec{v}$$

↑
ZA HARMONICNE
SIGNALS

DELCI SE ZAČNEJO PRETUKATI
 → PROIZAJAJO KONVEKTIVNI TOK

	Q	m
ELEKTRON	$-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$	$9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
PROTON	$1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$	$m_p \approx 1836 m_e$
TEŽEK ION	$m \cdot Q_e = Q_i$	$m_i \approx l \cdot m_p$

ČLO ŠTEVILLO:
 $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

$Q_e = \text{NABOJ ELEKTRONA}$
 $Q_p = \text{NABOJ PROTONA}$

$l = 4, 16, \dots$



PROIZVADJO KONVEKTIVNI TOK:

$$\vec{J} = NQ\vec{v} = NQ \cdot \frac{Q\vec{E}}{j\omega m} = \underbrace{\frac{NQ^2}{j\omega m}} \cdot \vec{E}$$

GOSTOTA DELEČEV
(št. DELEČEV/m³)

POGLEJMO, KOLIKO TOKA DOBIMO:

IMAMO TOK ENERGIJE ZA TOK, NE GLEJDE NA DELECE...

$$m_e \ll m_p, m_i \rightarrow \vec{J}_e \gg \vec{J}_p, \vec{J}_i$$

↓ PRETEŽNO BO TOREJ TOK ELEKTRONOV

$$\vec{J} = \frac{N_e \cdot Q_e^2}{j\omega m_e} \cdot \vec{E}$$

↓
KAM SE VRINE TA KONVEKTIVNI TOK?

1. MAXWELL-OVA ENAČBA:

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{J} + \underbrace{j\omega \epsilon_0 \vec{E}}_{\substack{\text{POLJSKI TOK} \rightarrow \text{JALOV} \rightarrow \frac{\partial D}{\partial t}}} =$$

→ NA NAŠIH VIŠINAH $\epsilon = \epsilon_0$

$$= \underbrace{\frac{N_e Q_e^2}{j\omega m_e} \vec{E}}_{\text{JALOV TOK}} + j\omega \epsilon_0 \vec{E} = j\omega \epsilon_0 \left(1 - \frac{N_e Q_e^2}{\omega^2 m_e \epsilon_0} \right) \vec{E} = j\omega \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}$$

LAKKO REČENO ϵ_r

$$\epsilon_r = 1 - \frac{NQ^2}{\omega^2 \epsilon_0 m}$$

→ DIELEKTRIČNOST SE SPREMINI

→ ZELO ODVISNA OD FREKVENCE



LAHKO BI PISALI:

$$\epsilon_r = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} = 1 - \frac{f_p^2}{f^2}$$

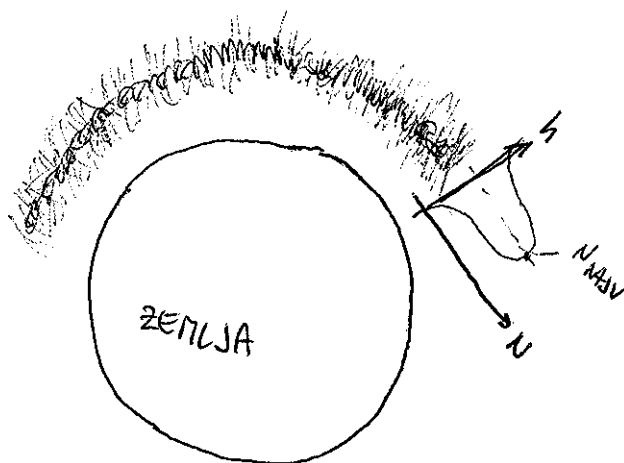
→ FIZIKALNA PRAŽNJE

$$\omega_p^2 = \frac{NQ^2}{\epsilon_0 m} \rightarrow f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{NQ^2}{\epsilon_0 m}}$$

KOLIKO JE TA f_p ?

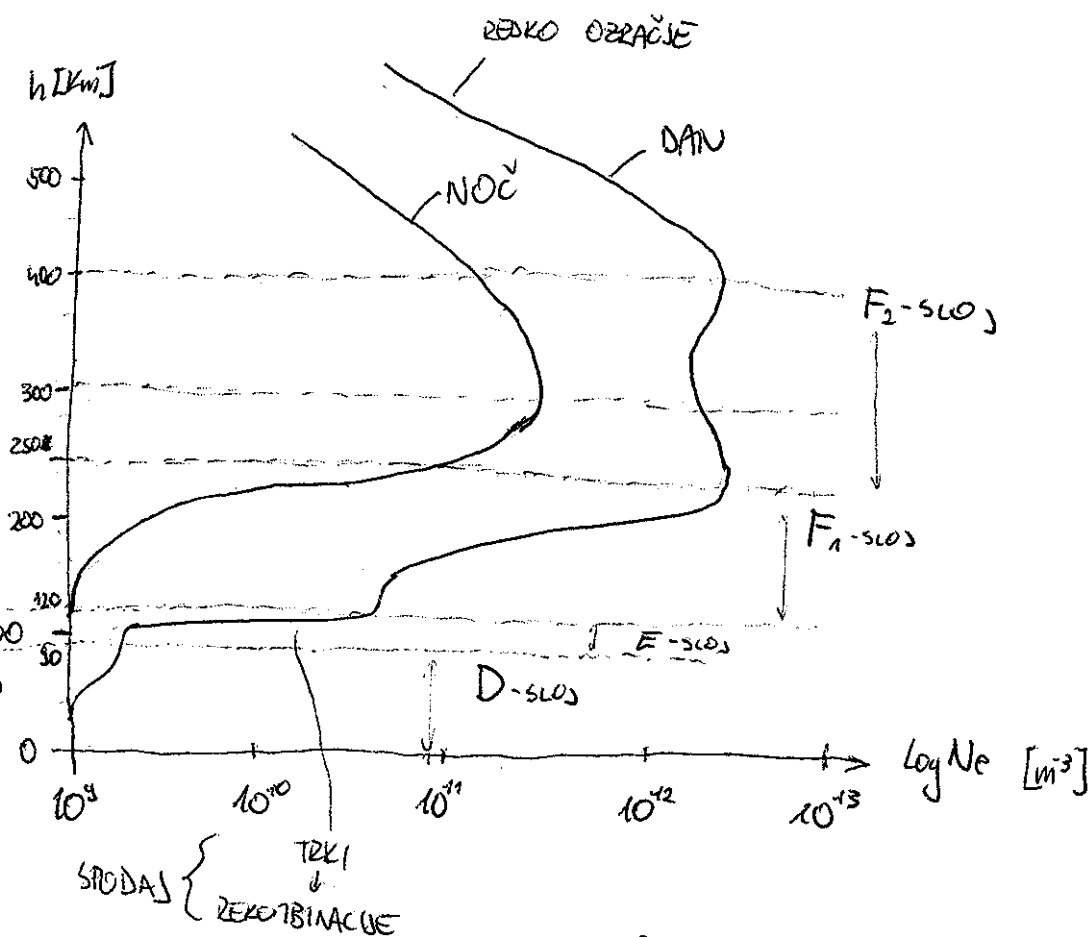
↳ ZAVISI OD GOSTOTE DELCEV! :

$$f_p = \begin{cases} \approx 12 \text{ MHz} & \text{PODNEVI} \\ \approx 4 \text{ MHz} & \text{PONOCI} \end{cases}$$



$$N = \frac{\epsilon_0 m}{Q^2} (2\pi f_p)^2$$

$$N_{\text{podnevi}} = \dots \approx 1,8 \cdot 10^{12} / \text{m}^3$$



KAKŠNI SO UČINKI?

$$\epsilon_r > 0 \quad f > f_p \rightarrow \text{DIELEKTRIK} \rightarrow n = \sqrt{\epsilon_r} = \sqrt{1 - \frac{N Q^2}{\omega^2 \epsilon_0 m}} = \sqrt{1 - \frac{f_p^2}{f^2}}$$

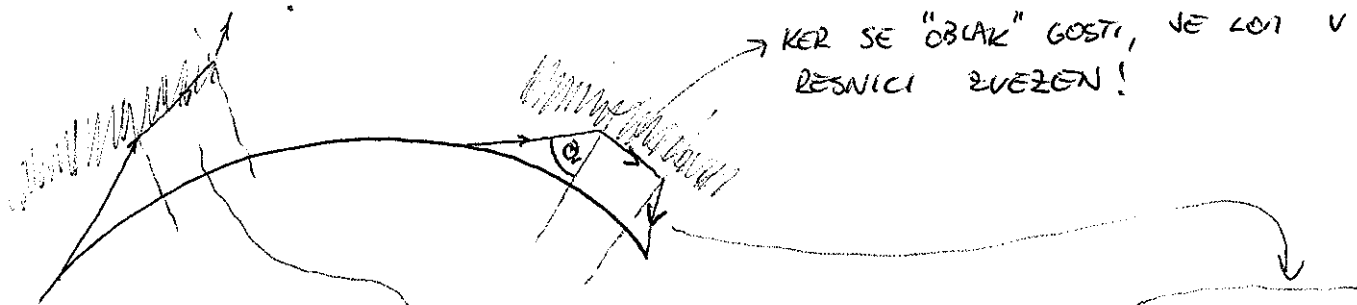
$$\epsilon_r < 0 \quad f < f_p \rightarrow \text{PREVODNIK}$$

↓
SE LAHKO ZGODI!!!

↓
NI RAZŠIRJANJA VALOVANJA!

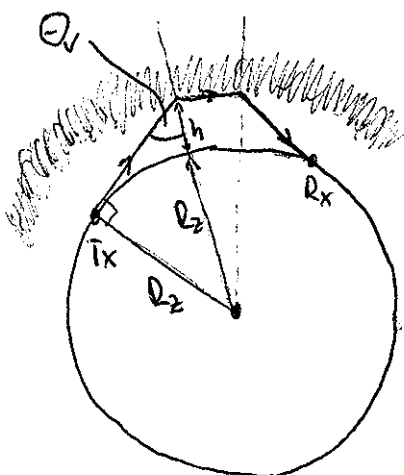
SE JE POTREBNO ZAVEDATI, DA $n \leq 1$!!

KAJ TO POMENI?



LAHKO DOSEŽENO PRI NEKI FREKVENCI, DA SE ŽAREK LOTI VZPOREDNO Z PRASTJO, ALI DA SE CELO ODRIBE!

$$1 \cdot \sin \Theta_v = n \cdot \sin \frac{\pi}{2}$$



$$\sin \Theta_v = \frac{R_2}{R_2 + h} = n = \sqrt{1 - \frac{f_p^2}{f^2}}$$

MAVIŠJA UREDNA F.
↓
MUF

$$\frac{R_2^2}{(R_2 + h)^2} = 1 - \frac{f_p^2}{\text{MUF}^2}$$

$$\frac{1}{1 + \frac{2h}{R_2} + \underbrace{\left(\frac{h}{R_2}\right)^2}_{\text{MAHLEN}}} \approx \frac{1}{\frac{2h}{R_2} + 1}$$

$$\Downarrow$$

$$\frac{f_p^2}{MUF^2} = 1 - \frac{1}{\frac{2h}{R_2} + 1} \approx 1 - \left(1 - \frac{2h}{R_2}\right) = \frac{2h}{R_2}$$

$\downarrow$
 $h \ll R_2$

$$MUF \approx f_p \sqrt{\frac{R_2}{2h}} = f_p \sqrt{\frac{6378 \text{ km}}{2 \cdot 300 \text{ km}}} = f_p (3 \div 3,5)$$

$$h \approx 300 \text{ km}$$

$$R_2 = 6378 \text{ km}$$

$$\rightarrow MUF = \begin{cases} \text{DAN: } 35 \div 40 \text{ MHz} \\ \text{NOČ: } 12 \div 15 \text{ MHz} \end{cases}$$

NAJMANJŠA UPORABNA F.

ŽAL PA TRKI POTENIJO SLABLJENJE.

PODNEVI JE TO SLABLJENJE TEŽKO OCENITI, VENDAR NAN DA LUF.
 PONOČI LUF-[↑] PRAKTIČNO NI.

$$LUF = \begin{cases} \text{DAN: } \sim 5 \text{ MHz} \\ \text{NOČ: } < 30 \text{ kHz (NE OBSTAJA)} \end{cases}$$

IMA PA IONOSFERA ŠE DRUGE STVARI: $\rightarrow$ VALOVNO ŠTEVILO
 INKIMO NEK LOTNI KOLIČNIK, KI NAN DA K:

$$K = \beta = n \cdot k_0 = n \cdot \frac{\omega}{c_0}$$

V IONOSFERI INKIMO FAZNO HITROST:

$$v_f = \frac{\omega}{\beta} = \frac{\omega}{n \cdot \frac{\omega}{c_0}} = \frac{c_0}{n} > c_0 !! = \frac{c_0}{\sqrt{1 - \frac{f_p^2}{f^2}}} > c_0 \rightarrow \text{LAŽNIV POSEN!}$$

$\downarrow$
 $n(\omega)$



HITROST, KI NAM POVE HITROST RAZŠIRJANJA, JE SKUPINSKA HITROST:

$$v_g = \frac{d\omega}{d\beta}$$

LAŽJE JE: $\frac{d\beta}{d\omega} = \frac{d}{d\omega} \left(\sqrt{1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}} \cdot \frac{\omega}{c_0} \right) = \frac{1}{2 \sqrt{1 - \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2}} \cdot \frac{2\omega_p^2}{\omega^3} \cdot \frac{\omega}{c_0} + \sqrt{1 - \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2} \cdot \frac{1}{c_0}$

$$= \frac{\frac{\omega_p^2}{\omega^2 c_0}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2}} + \frac{1}{c_0} \sqrt{1 - \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2} = \frac{\left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2 + 1 - \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2}{c_0 \sqrt{1 - \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2}} = \frac{1}{c_0 \sqrt{1 - \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2}}$$

$$\boxed{\frac{d\omega}{d\beta} = c_0 \sqrt{1 - \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2} < c_0 !}$$

TO SE POZNA TUDI PRI STAREH NA VISOKIH FREKVENCAH:

GPS NAVIGACIJA

$$f = 1,57542 \text{ GHz} \gg f_{\text{PLAZMA}}$$

MODULACIJA: $v_g < c_0 \rightarrow$ POGREŠEK $\sim 30 \text{ m}!! \rightarrow$ ČE NE UPOŠTEVIMO

NOSILEC: $v_f > c_0 \quad \Delta f \approx 30 \text{ m} \rightarrow$ PONEVI

IMAMO ŠE ENO VRSTO POJAVOV:

$$H_0 \approx 40 \text{ A/m}$$

↳ ZEMELJSKO MAGNETNO POLJE

ELEKTRONI LAHKO KROŽIJO!!

PRI KATERI FREKVENCI SE TO ZGODI:

$$f = 1,42 \text{ MHz} \rightarrow \lambda = 200 \text{ m} \rightarrow \text{UL 202}$$

ZADELA POZNAVNE DVOLOKNA

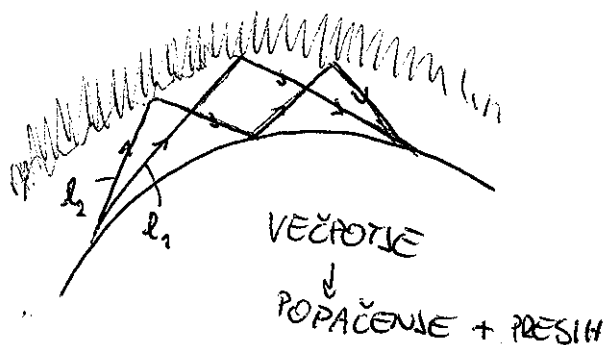
↳ DOBIMO FARADAY-EVO SUKANJE POLARIZACIJE

↳ DOBIMO TUDI IZGUBE!

SE JE UPORABLAJO ZA
RAZNE ODDAJNIKE

ŠE EN POJAV IMAMO V IONOSFERI:

LAHKO IMAMO VEČ POTI !!



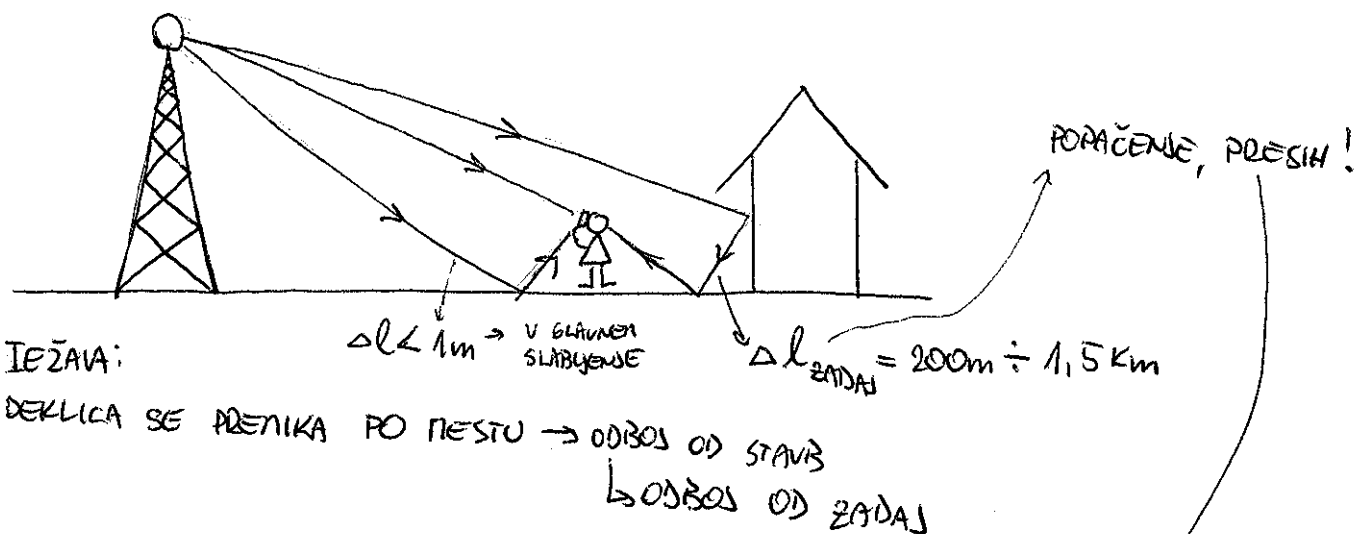
LAHKO TUDI

$$\Delta l = l_2 - l_1 \approx 100 \text{ km}$$

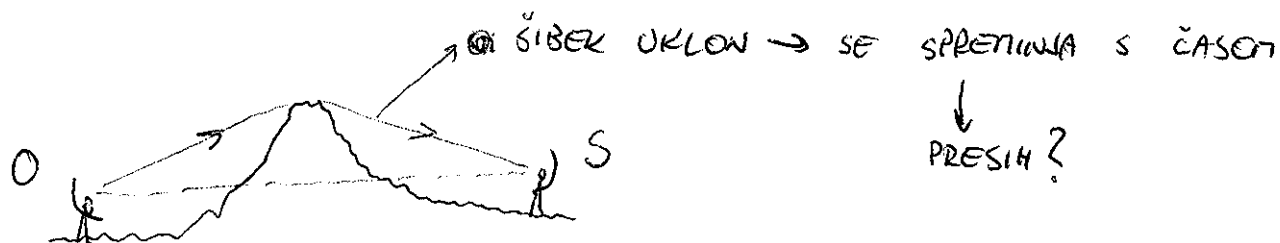
↓
NE MOREMO NAREDITI HITREGA PRENOSA
PODATKOV, ČE NE UPORABIMO KAKŠNE
FINTE Z MODULACIJO (OFDM)

$$C < 100 \text{ bit/s}$$

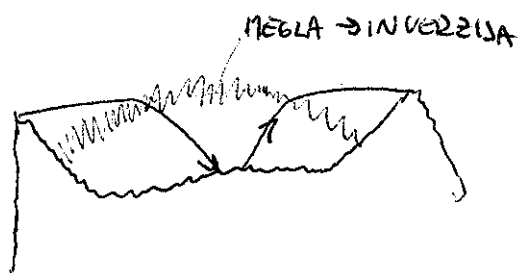
PRI OBČASNIH ZVEZAH IMAMO TUDI TEŽAVO VEČPOTJA:



ČE IMAMO ZVEZO BREZ VIDLJIVOSTI:

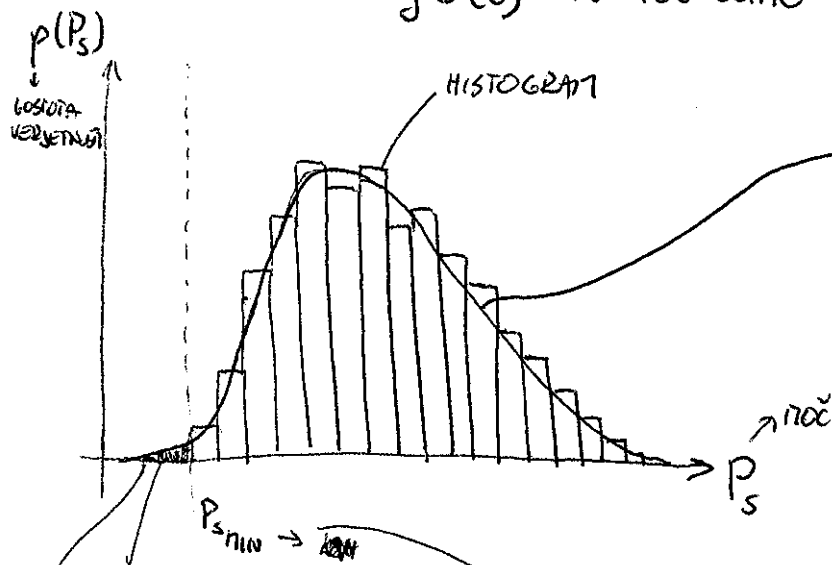


LAHKO IMAMO KAKŠEN ČUDEN PRESIH:



DANES SI POGLEJNO PRESIH:

LAHKO IZMERIMO $\log B(t)$ IN POSKUSNO STATISTIČNO UREDITI PODATKE:



POVRŠINA = VERJETNOST IZPADA

KJE SE POJAVI TEŽAVA:

TUKAJ NE VENI, KAJ SE DOGAJA $\rightarrow$ PREMALO MERITEV

KAJ BOTO POSKUŠALI MREDITI?

NA MERITVE POSKUŠAMO VPETI MATEMATIČNO KRIVULJO

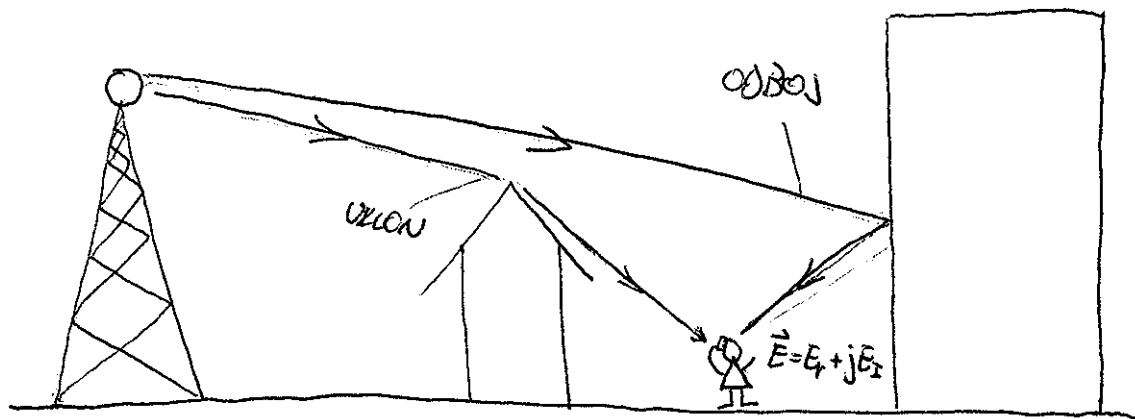


VERJETNOST IZPADA:

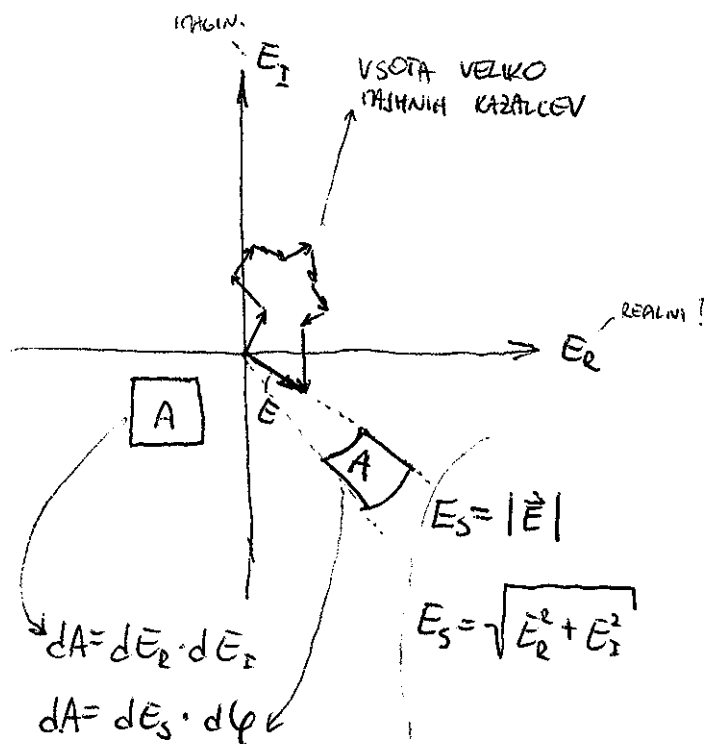
$$P_{\text{izpada}} = \int_0^{P_{\text{max}}} p(P_s) dP_s$$

BO TREBA MAJTI PRAVERNO KRIVULJO!

ČE IMAMO:



NI NEPOSREDNE VIDLJIVOSTI!



$\vec{E} \cdot \vec{E} = P = \text{možnost}$

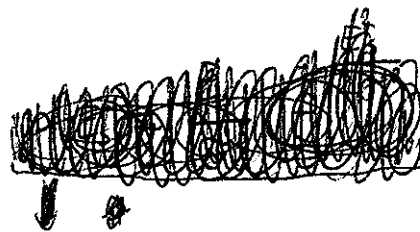
$\backslash$ /

power

$$\vec{E} = E_r + jE_i = E_s \cdot e^{j\varphi}$$

$$p(E_r) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{E_r^2}{2\sigma^2}}$$

$$p(E_i) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{E_i^2}{2\sigma^2}}$$



$$p(E_r, E_i) = p(E_r) \cdot p(E_i) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{E_r^2 + E_i^2}{2\sigma^2}}$$

11

$$P(A) = \iint_A p(E_R, E_s) dA = \int_{E_{s1}}^{E_{s2}} \int_0^{2\pi} p(E_R, E_s) E_s dE_s d\varphi =$$

$$= \int_{E_{s1}}^{E_{s2}} \int_0^{2\pi} \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{E_s^2}{2\sigma^2}} \cdot E_s dE_s d\varphi = \int_{E_{s1}}^{E_{s2}} \frac{1}{\sigma^2} e^{-\frac{E_s^2}{2\sigma^2}} E_s dE_s$$

OPISANO Z
ENIM PODATKOM

SIGMA

$$p(E_s) = \frac{E_s}{\sigma^2} \cdot e^{-\frac{E_s^2}{2\sigma^2}}$$

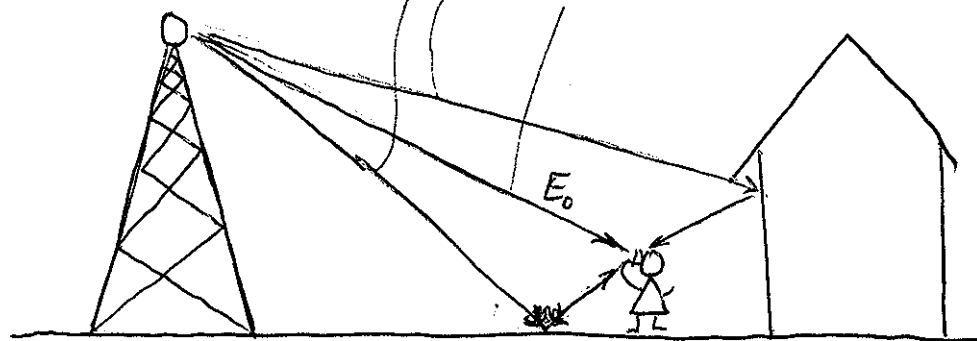
RAYLEIGH-OVA
PORAZDELITEV

NAJSLABŠA
POŽIMA

LAHKO IMAMO:

DOBITA ŽARKA

NEPOSREDNI ŽAREK



E_s

NEPOSREDNI ŽAREK + VSOVA PAKETNIH

E_0

E_s

E_R

$$p(E_s) = \frac{E_s}{\sigma^2} \cdot e^{-\frac{E_s^2 + E_0^2}{2\sigma^2}} \cdot I_0\left(\frac{E_s E_0}{\sigma^2}\right) \rightarrow \text{RICE-OVA PORAZDELITEV}$$

BESSEL-OVA FUNKCIJA

↓

[POTREBUJENO DVA PODATKA:
 E_0, σ]

OBSTAJA ŠE ENA PORAZDELITEV:

$$E_{dB} = 20 \log E_s$$

$$p(E_{dB}) = \frac{1}{\sigma_{dB} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(E_{dB} - m_{dB})^2}{2\sigma_{dB}^2}}$$

↓

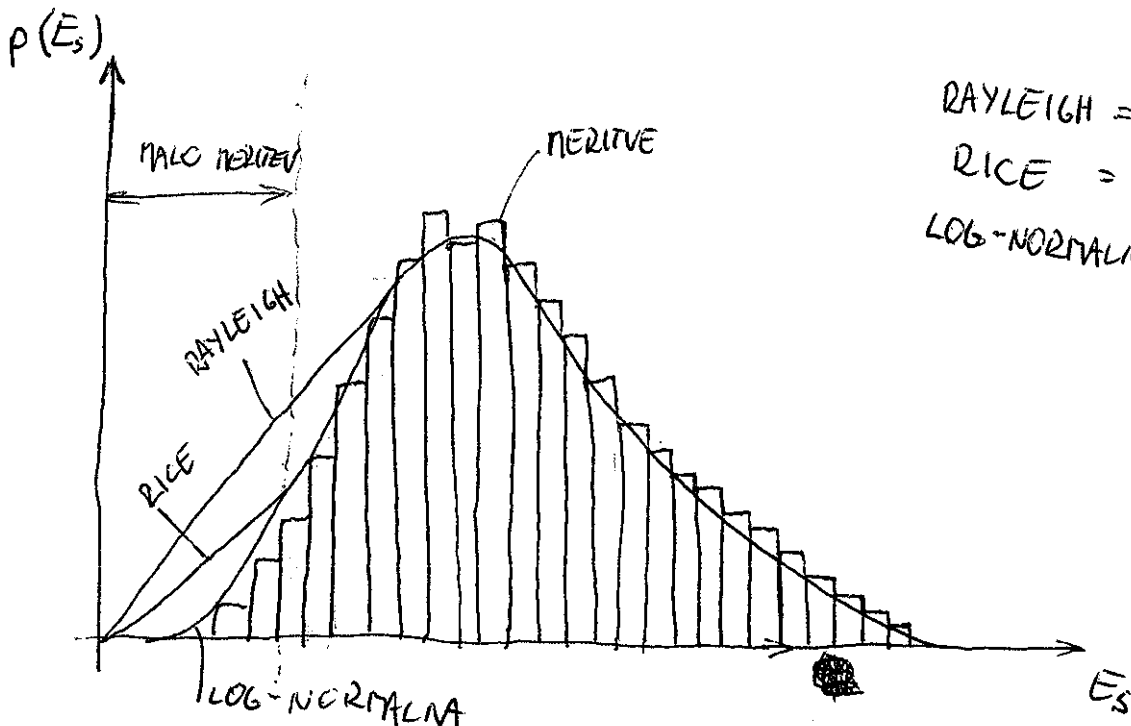
[OPIŠENO Z DVEMA PODATKOMA: σ_{dB}, m_{dB}]

→ [LOGARITMSKO - NORMALNA
PORAZDELITEV]

↓

FIZIKALNO NEUTENEJENA !

PRIMERJAJA PORAZDELITEV:



RAYLEIGH = RESNIČNI PRIMER !
RICE = NI VPRAŠLJIV ?
LOG-NORMALNA = BLEF !!

$$P_{\text{izpada}} = \int_0^{E_{\text{izpada}}} p(E_s) dE_s$$

RAYLEIGH ZA MOĆ:

$$P_s = \alpha \cdot E_s^2 = \alpha \cdot (E_2^2 + E_1^2)$$

$$\langle P_s \rangle = \alpha \langle E_s^2 \rangle = \alpha (\langle E_2^2 \rangle + \langle E_1^2 \rangle) = \alpha \cdot 2\sigma^2$$

POVPREČNA

$$P_{\text{izpada}} = \int_0^{E_{\text{izpada}}} \frac{E_s}{\sigma^2} e^{-\frac{E_s^2}{2\sigma^2}} dE_s \rightarrow dE_s dE_s = \frac{1}{2} dE_s^2 = \frac{dP}{2\alpha}$$

$$P_{\text{izpada}} = \int_0^{P_{\text{sniv}}} \frac{1}{\frac{\langle P_s \rangle}{2\alpha}} e^{-\frac{P_s}{\frac{\langle P_s \rangle}{2\alpha}}} \frac{dP_s}{2\alpha} = \int_0^{P_{\text{sniv}}} \frac{1}{\langle P_s \rangle} e^{-\frac{P_s}{\langle P_s \rangle}} dP_s$$

ZAVISI OD SPREJEDNIKA
 DOBIMO IZ NEJEDNE

ZGLED

GSM TELEFON:

$$P_{\text{sniv}} = -105 \text{ dBm} = 3,16 \cdot 10^{-14} \text{ W}$$

$$\text{V NESU: } \langle P_s \rangle = -90 \text{ dBm} = 10^{-12} \text{ W}$$

$$P_{\text{izpada}} = ?$$

$$P_{\text{izpada}} = \int_0^{3,16 \cdot 10^{-14} \text{ W}} \frac{1}{10^{-12} \text{ W}} e^{-\frac{P_s}{10^{-12} \text{ W}}} dP_s$$

$$\int_0^{P_{\text{sniv}}} \frac{1}{\langle P_s \rangle} e^{-\frac{P_s}{\langle P_s \rangle}} dP_s = -e^{-\frac{P_s}{\langle P_s \rangle}} \Big|_0^{P_{\text{sniv}}} = 1 - e^{-\frac{P_{\text{sniv}}}{\langle P_s \rangle}}$$

$$\text{PRIBLIŽEK: } P_{\text{sniv}} \ll \langle P_s \rangle$$

$$e^{-x} = 1 - x + \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6} + \dots \approx 1 - x$$

$$\Downarrow \quad P_{\text{izpada}} = 1 - e^{-\frac{3,16 \cdot 10^{-14} \text{ W}}{10^{-12} \text{ W}}} = 1 - e^{-0,0316}$$

$$P_{\text{izpada}} = 3,16\%$$

ZADANJE:

2014 1. 14.

IMELI SMO PRESIH SPREJEMA

IZ MERITEV SMO ŽELELI DOBITI MATEMATIČNO KRIVULJO ZA GOSTOTO VERJETNOSTI $p(E_i)$ KER IMAMO PREMALO MERITEV V PODROČJU IZPADA.

POGLEDALE SMO SI 3 PORAZDELITVE:

- RAYLEIGH

- RICE

- LOG-NORMALNA

$$\sigma^2 = \frac{1}{2} \langle E_s^2 \rangle$$

σ, E_0

σ_{dB}, m_{dB}

→ SREDNJE KVADRATNO ODSTOPIANJE

↓
SREDNJA VREDNOST

KAK PA PRI PRAKTIČNI UPORABI?

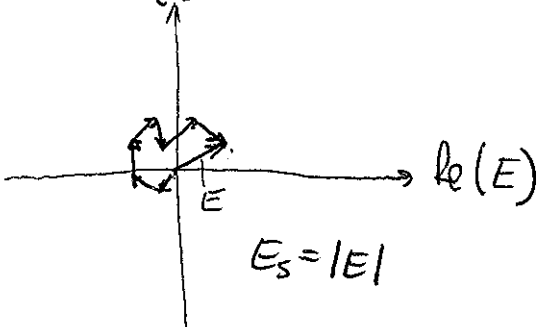
LOG-NORMALNA → NI UTEMELJENA

RICE → ČE IMAMO EN MOČAN NEPOSREDNI ŽAREK IN ŠIBKE ODBOJE → NI UPRAŠLJIVA
TAKRAT JE OBČAJNO MOČAN SPREJEM

RAYLEIGH → PONAVIDI

→ VSOTA VELEKO PRISPEVKOV Z RAZLIČNO (NAKLJUČNO) FAZO

$Im(E)$



MI SE BOMO UKVARJALI Z RAYLEIGH-OVO PORAZDELITVIJO.

KAK VEMO O NJEJ:

$$p(E_s) = \frac{2E_s}{\langle E_s^2 \rangle} \cdot e^{-\frac{E_s^2}{\langle E_s^2 \rangle}}$$

ZA NOČ:

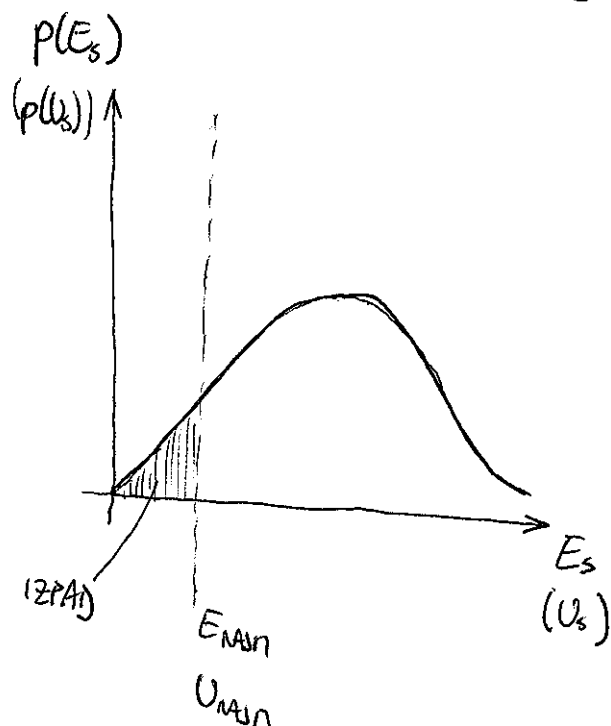
$$p(P_s) = \frac{1}{\langle P_s \rangle} e^{-\frac{P_s}{\langle P_s \rangle}}$$

KDAS IMANO NAPETOST:

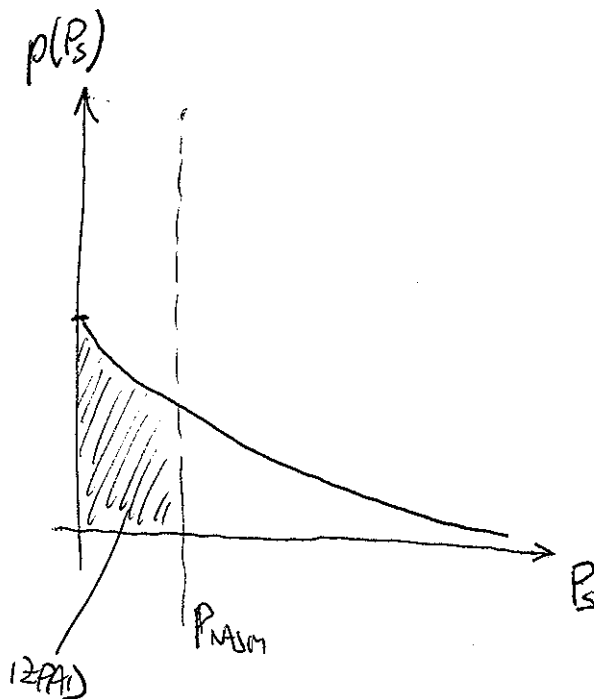
$$P_s = \frac{U_{s, \text{EFF}}^2}{Z_k}$$

$$p(U_s) = \frac{2U_s}{\langle U_s^2 \rangle} e^{-\frac{U_s^2}{\langle U_s^2 \rangle}}$$

KAKO TE FUNKCIJE IZGLEDAJO:



POPOLNOSTA
RAZLIČNI



NAJLAŽJE JE INTEGRAL IZRAČUNATI ZA MOČ:

$$P_{\text{IZPADA}} = \int_0^{P_{\text{max}}} p(P_s) dP_s = 1 - e^{-\frac{P_s}{\langle P_s \rangle}}$$

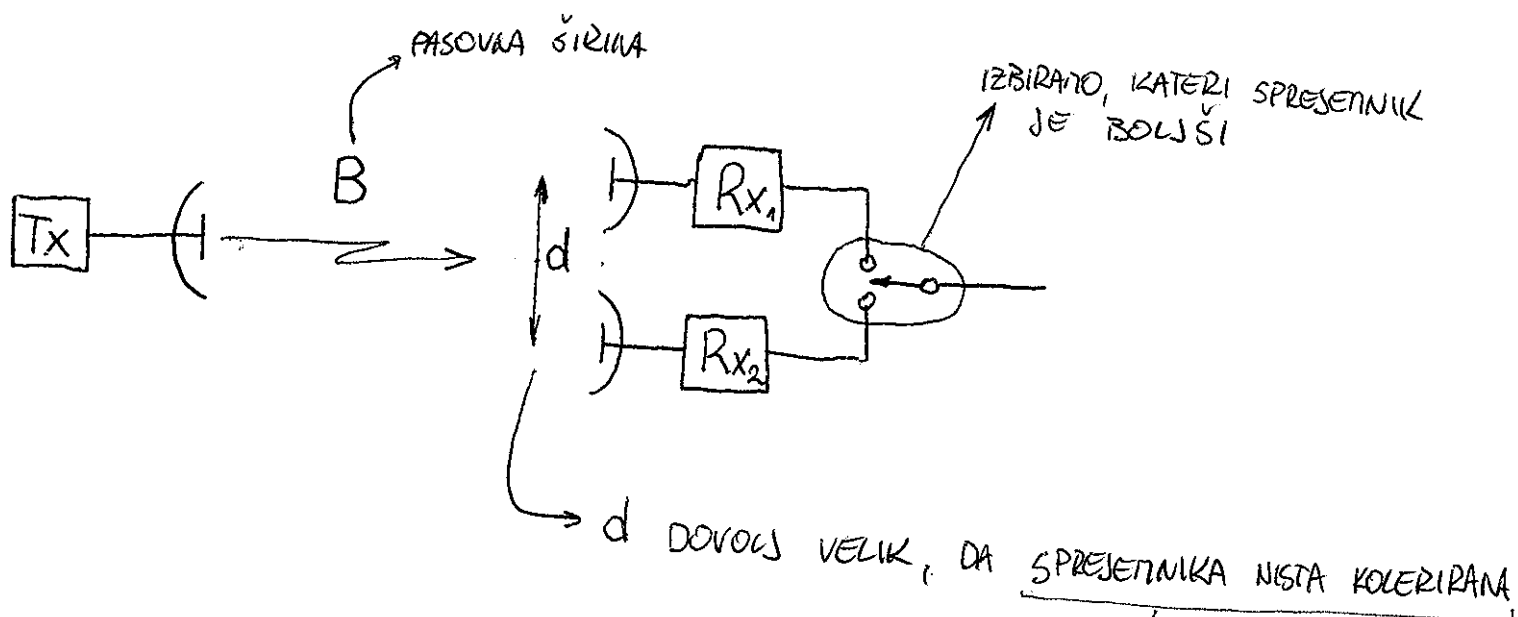
$$P_{\text{IZPADA}} = 1 - e^{-\frac{E_{\text{max}}^2}{\langle E_s^2 \rangle}} = 1 - e^{-\frac{U_{\text{max}}^2}{\langle U_s^2 \rangle}}$$

NA KAKŠEN NAČIN LAHKO PONAKNENO MEJO ZA E_{max} NAVZDOL?

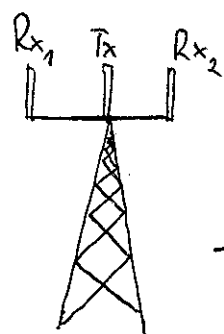
→ LAHKO POSKUŠAMO IZDELATI BOLJŠE NAPRAVE → ZMANJŠATI P_{max} NA SPREJEMNIKU
→ POVEČATI PODAJNIKA

NA SPREJEMU SI LAHKO PRIVOŠČINO NEKAJ DRUGEGA:

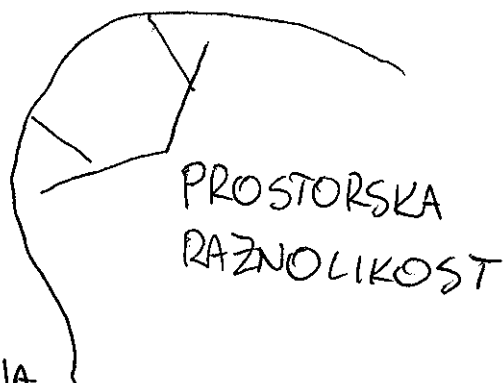
RAZNOLIKOST (DIVERSITY)



KDAJ VIDIMO:

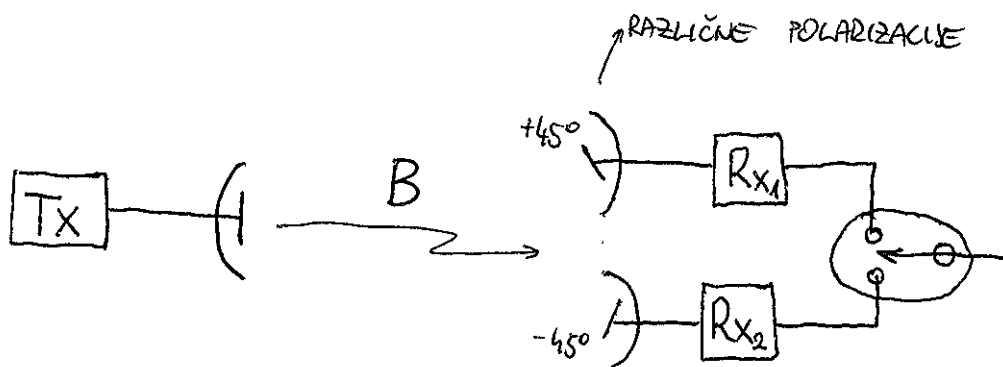


→ BAZNA POSTAJA



~~RAZNO~~ SPREJEMATA PA SICER
PODOBEN SIGNAL

LAHKO BI:

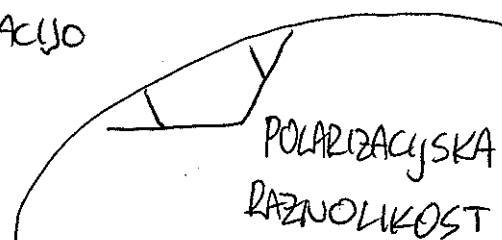


VIDIMO:

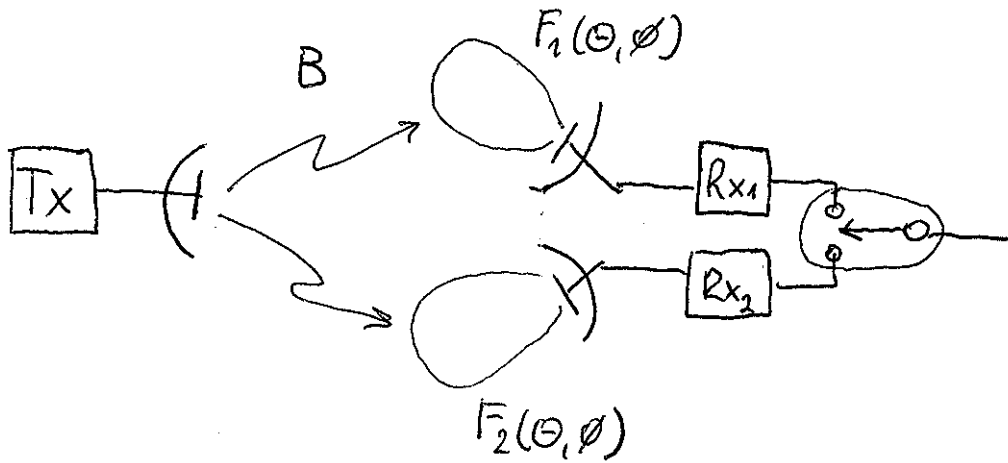


TEŽAVA:

LAHKO IMAMO TAKO POT, DA NAM POKVARI POLARIZACIJO
↳ TEŽAVA TUDI NA PRIMER PRI TELEFONU
↳ KER GA NAKLJUČNO OBRČAMO

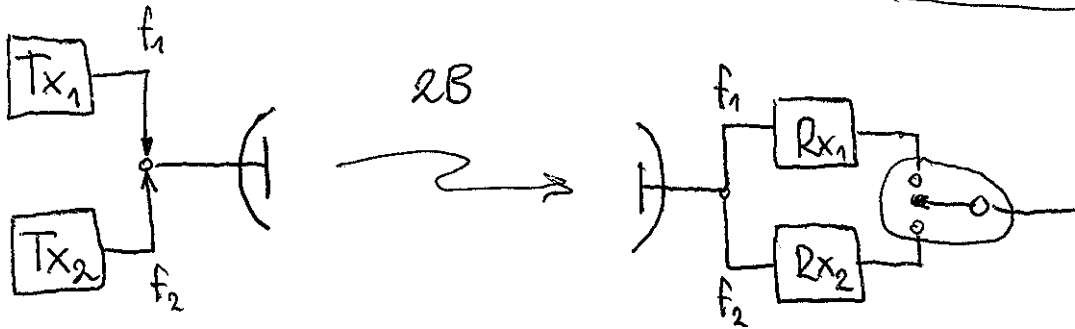


V DOLOČENIH VRSTAH ZVEZ LAHKO KDAJ POMAGA SNEPNA RAZNOLIKOST:



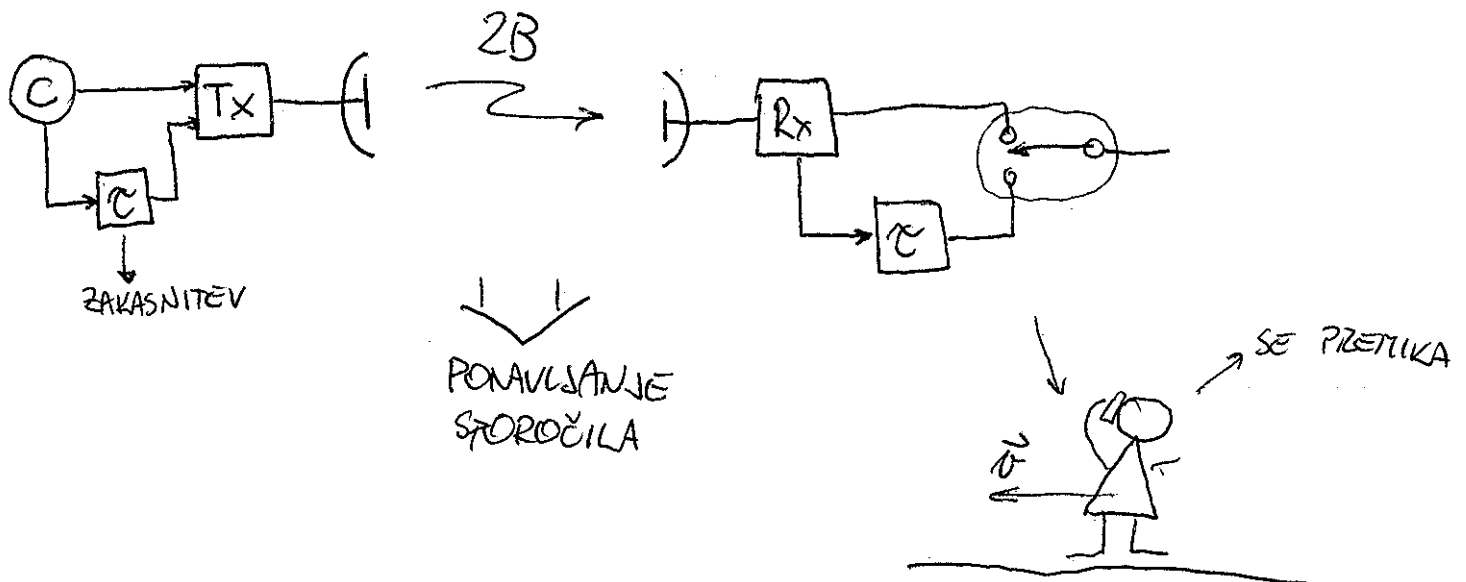
IMANO ŠE MOŽNOST: ODDAJNIKA NA DVEH FREKVENCAH

↳ FREKVENČNA RAZNOLIKOST



ŠE UPORABLJA PRI GSM → FREKVENČNO SKAKANJE

ŠE ENA NAČICA BI BILA:

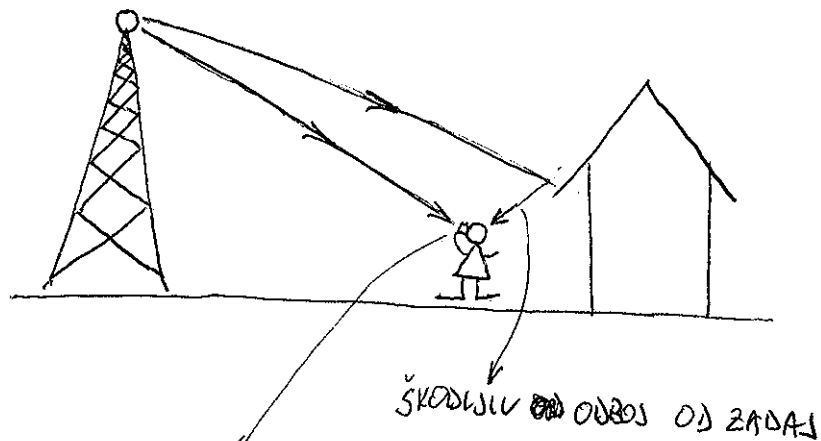


Z RAZNOLIKOSTJO SE BORIMO PROTI PRESIHU!!

ŠE ENA ZADEVA:

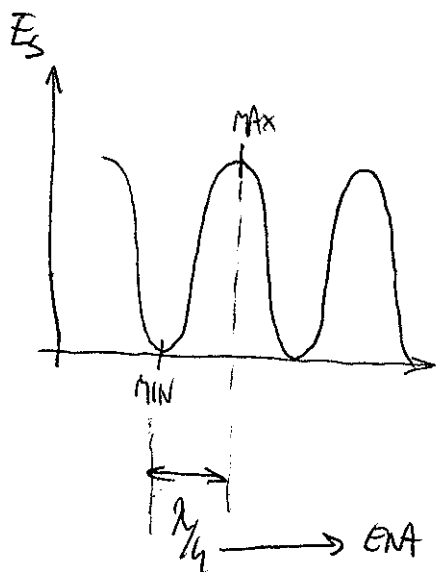
SE IZPLAČA IMETI STARI NEKOLERIRANE?

KDAS IMAMO:



DANO 2 ANTENI $\lambda/4$ MRAZEN
(KOLERIRAN SPREJET)

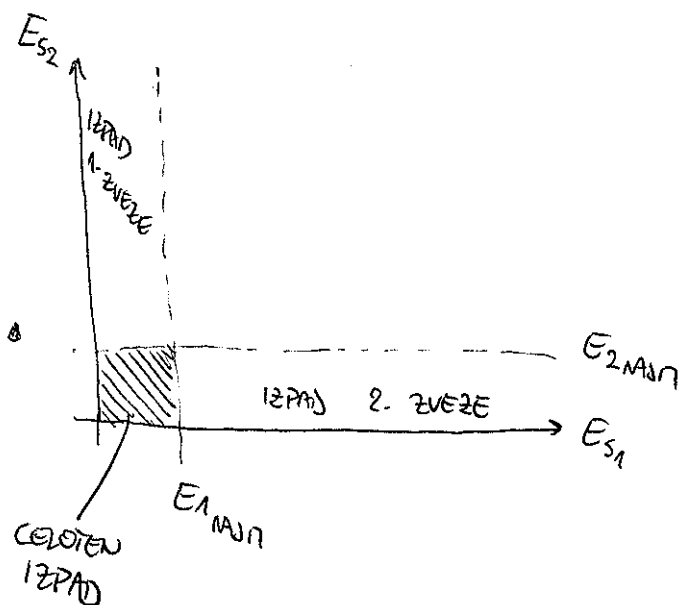
TOLIKO BODO VRHOVI IN DOLINE MRAZEN
ZARADI ODRBOJA OD ZADAJ



KDAS SE TOREJ IZPLAČA IMETI
KOLERIRAN SPREJET, ČE POZNAMO
MEHANIZEM PRESIKA.

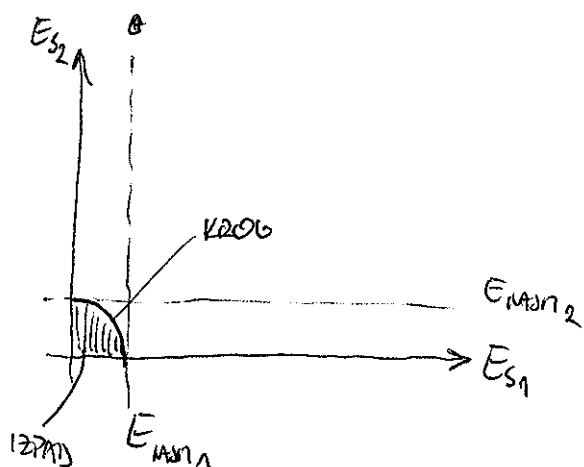
ENA ANTENA V VRHU, ENA V DOLINI

ČE BI SI NARISALI ZA NEKOLERIZIRAN SPREJEM:

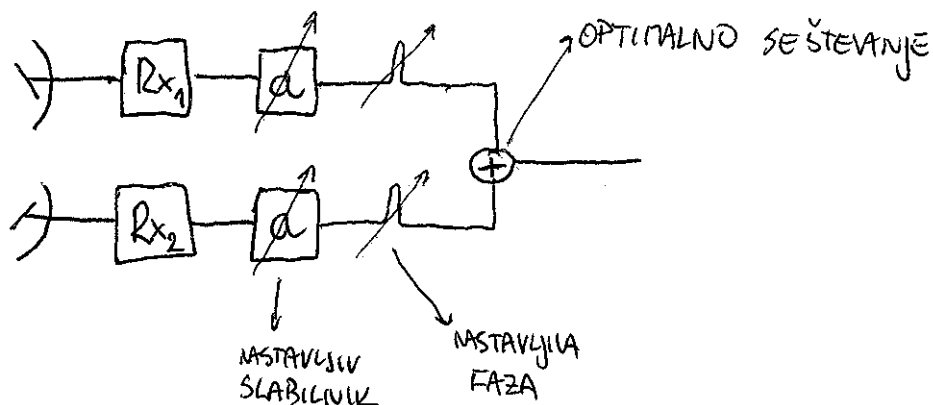
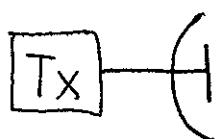


V KAKŠNEM PRIMERU LAHKO NAREDIMO BOLJŠE:

KA PRIMER: POLARIZACIJA



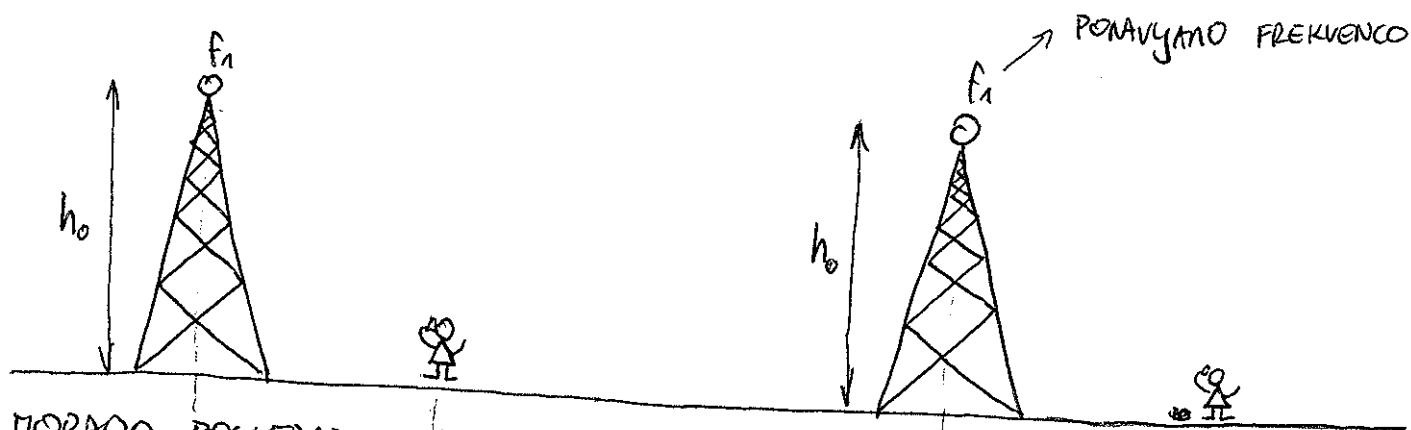
NIMAMO STIKALA, AMPAK POSKUŠAMO ČIM BOLJE SEŠTAVITI:



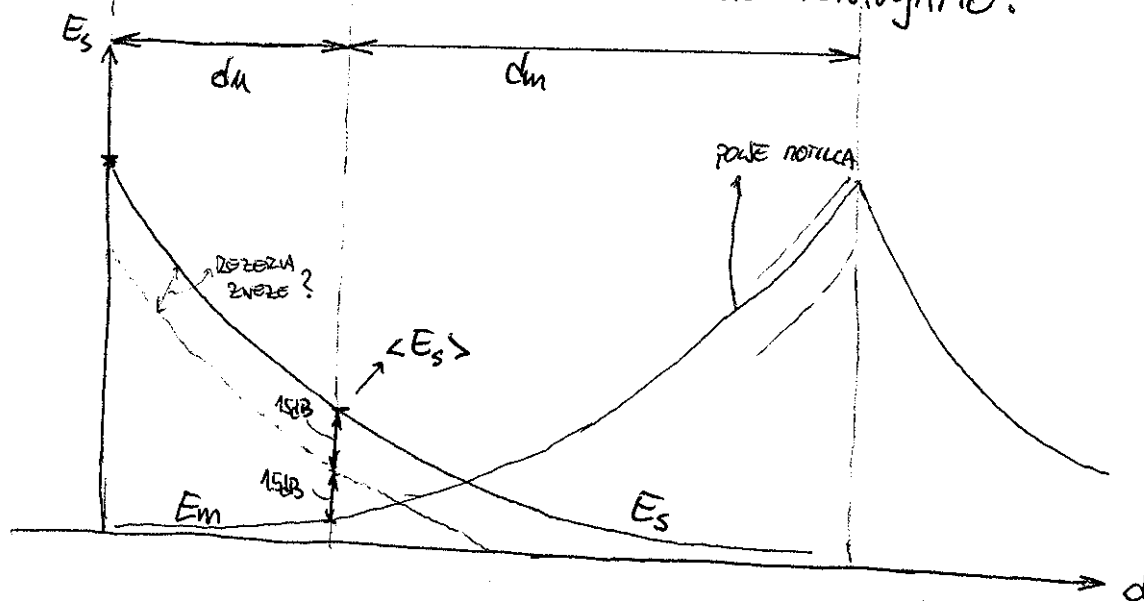
ČE SMO ŠE VEDNO PRI DEKLICI S TELEFONOM...

MORAMO ŠE REŠITI VPRAŠANJE:

KAKO NAREDITI, DA SE DEKLICE NE MOTIJO MED SABO?



MORAMO POGLEDATI, KDAJ LAHKO ISTI KANAL PONAVLYAMO:



$$\frac{P_s}{P_m} = \frac{S}{m} = \left(\frac{E_s}{E_m} \right)^2 = ?$$

↑ SLOVA
↓ MOTIJA

VIDIMO, DA NIJA SILELA
POVEČATI P_{000}

↓
PRI POSTAVAH Z ENAKO P_{000}

KAKO DALEČ MORAMO BITI S POSTAVO?

↳ POSTAVE Z ENAKO: P_{000}, G_0, h_0

IMANO 2 POJATA (ZAHTEVI):

- $\left(\frac{P_s}{P_m}\right)_{\min} \approx 15\text{dB} (31,6)$

- REZERVA ZA PRESIHK: $\frac{\langle P_s \rangle}{P_{\min}} \approx 15\text{dB} \rightarrow 3\% \text{ IZPADA}$ SI VZARJENO

$$\frac{P_s}{P_m} \approx 30\text{dB}$$

↓
1000x

ČE NAS NAJBOJ NOTI ODBROS
OD TAZ, KI PADA S 4. POTENCO

$$P_s = P_0 G_0 G_s \frac{h_o^2 h_s^2}{d_u^4} = \frac{\alpha}{d_u^4}$$

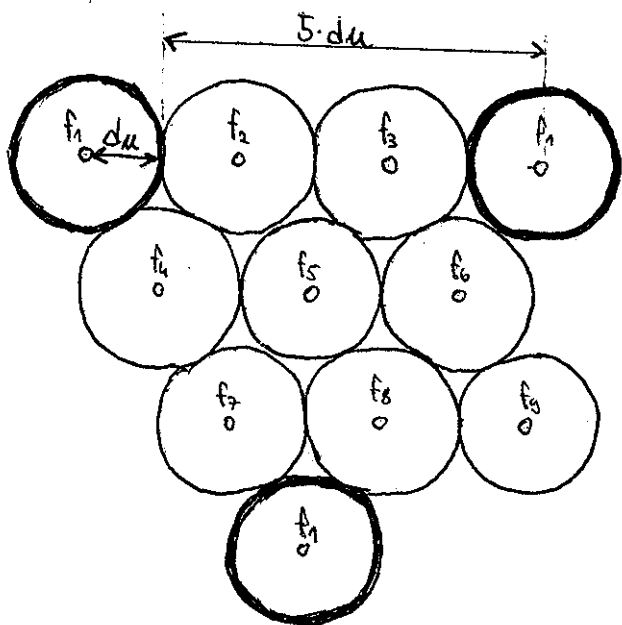
$$P_m = P_0 G_0 G_s \frac{h_o^2 h_s^2}{d_m^4} = \frac{\alpha}{d_m^4}$$

$$\frac{P_s}{P_m} = \left(\frac{d_m}{d_u}\right)^4$$

$$d_m = d_u \sqrt[4]{\frac{P_s}{P_m}} \approx d_u \sqrt[4]{31} \approx$$

KAJ SLEDI IZ NAŠEGA RAČUNA?
ČE SI MRIŠENO TLOZIS (ZENJEVIV):

$$d_m \approx d_u \cdot 5,5$$



$$d_m > 5d_u$$

↳ DEJETER NA CELICE

↳ OD TON IRE:

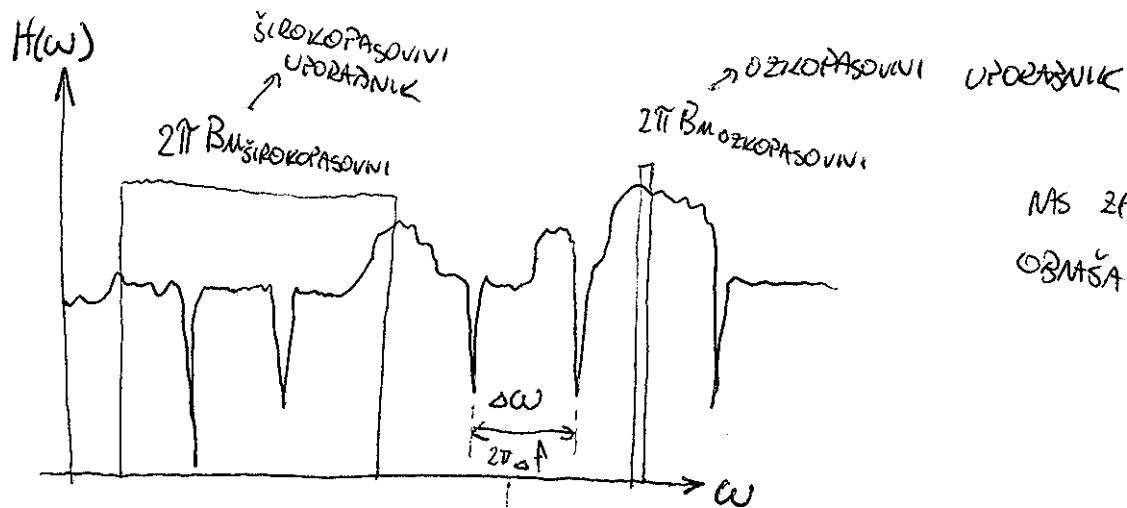
"CEZIČNI RADIO"

$$24 \quad \frac{d_m}{d_u} = 5$$

↳ 9 KANALOV

DO SEDAŠ SMO GLEDALI PRESIH JAKOSTI SPREJETA...

MI BI LAHKO INELI PRESIH V FREKVENČNEM PROSTORU:



NAS ZANIMA, KAKO SE
OBNAŠA V FREKV. PROSTORU...

$\Delta f \approx \frac{c_0}{\Delta l} \rightarrow$ ŠTEVILNE MERITVE KAŽEJO: $\Delta l = 200m \div 1,5 km$
 $\Delta f \approx 450 MHz$

IZ TEGA SLEDI:

$\Delta f = 1,5 MHz \div 200 kHz \rightarrow$ VAŽEN PODATEK ZA NAČRTOVANJE !!

OZKOPASOVNI UPORABNIK: $B_m \ll \Delta f \rightarrow$ NA PRIMER: ANALOGNI TELEFON ($B \approx 15 kHz$)

ŠIROKOPASOVNI UPORABNIK: $B_m \gg \Delta f$

ANALOGNA TV
($B \approx 6 MHz$)

POPAČENJE VEČPOTJA!

STO
ZADNJE...

VIDI SMO PRESIH MOČI SPREJETA

ČE PADE V MINIMUM

PREVLEČENO SKLAKANJE

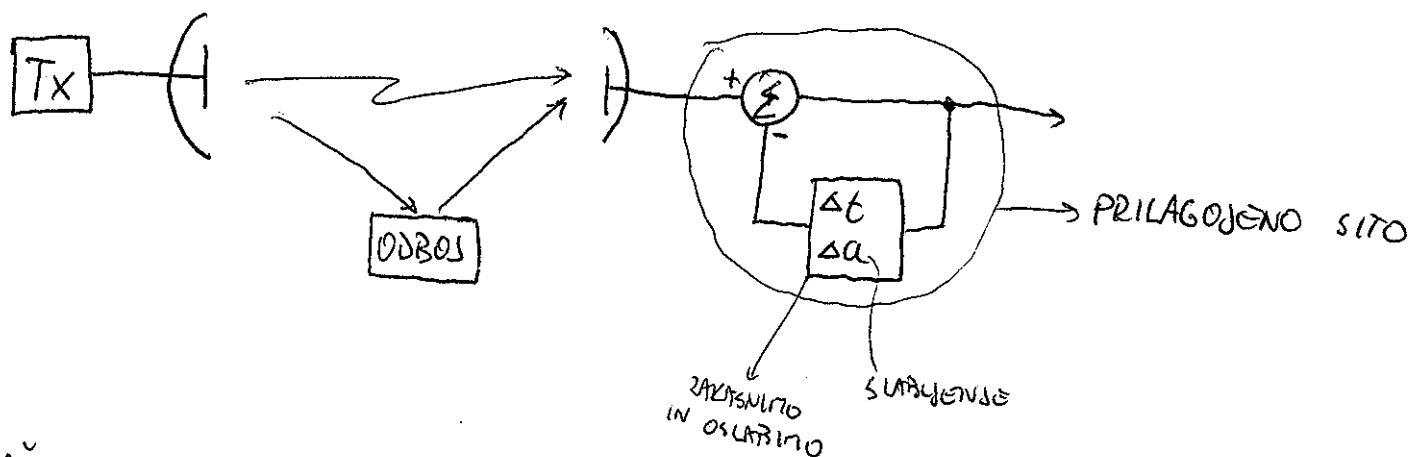
→ PRA STVAR, KI JE INELA ŠIRŠI SPEKTER JE BILA GSM

$GSM: B = 200 kHz \rightarrow B_m \approx \Delta f$



11
KAKO SE JE NAREDILLO?

1. REŠITEV:

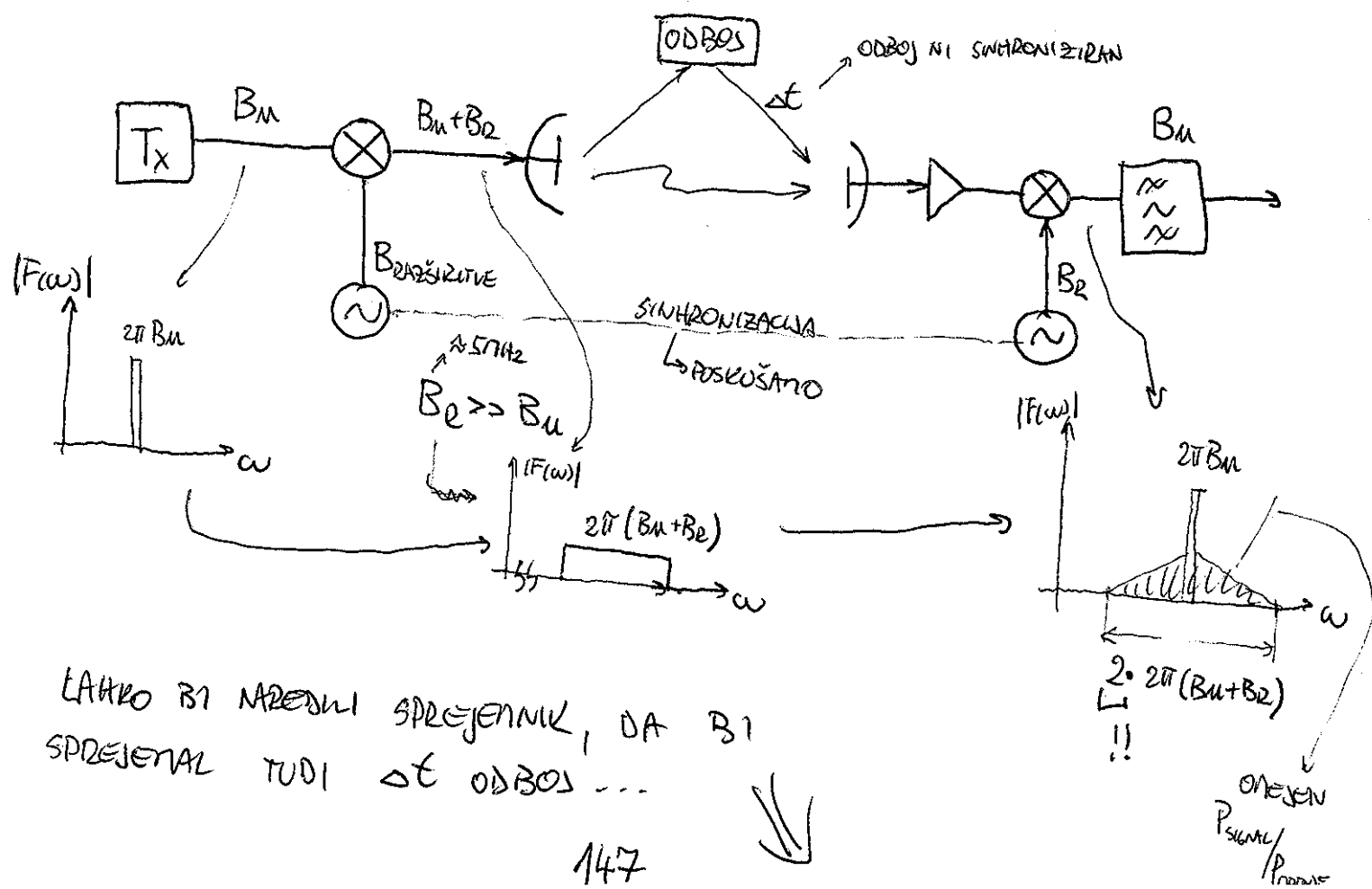


VPRAŠANJE STABILNOSTI SITA: → SITO MORAJE BITI FIR

↳ TEŽAVE SO ŠE V NIČLAN → BI MORALO IMETI ∞ OJAČANJE

2. REŠITEV: UMTS → RAZŠIRJEN SPEKTER

↳ POLOMIJA → 50 LET REKLAMNE IN PRANJA KODIGANOV



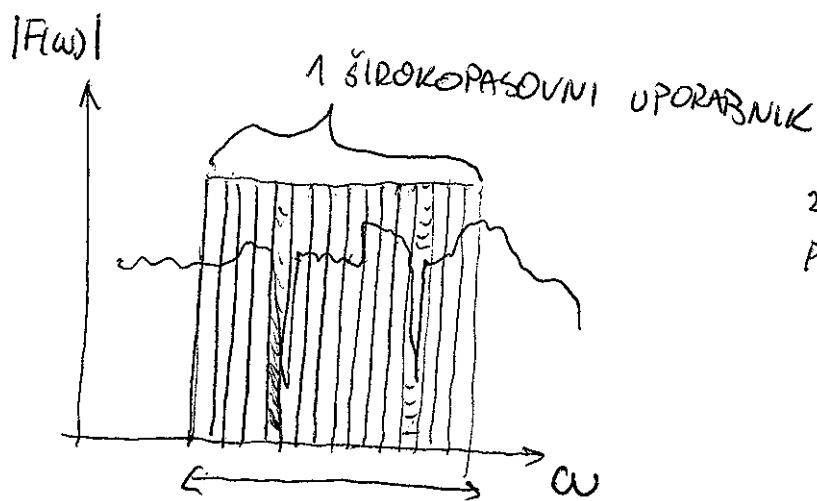
LAKO BI NAREDILI SPREJEMNIK, DA BI SPREJEMAL TUDI Δε ODBOJ ...

↓
IZGLEDA ČUDOVITO...

- B_2 MORATA BIT BREZHIRNO USKLAJENA!!
- LAHKO MREŽINO KOJNI MULTIPLEXS → CUMA
- ~~KAKO~~ RAZLIČNI B_2

MASLEDNJA REŠITEV (NI MUDROJ NOVA):

- ŠIROKOPASOVNEGA UPORABNIKA SPRAVNO PREKO IONOSPHERE → PUNILNI BLIZU SKRAN...?
- ↳ REŠITEV: VZAMENO ŠIROKOPASOVNEGA UPORABNIKA IN RAZDELEČNO NA VELIKO MANJŠIH OZKOPASOVNIH UPORABNIKOV



ZAMISEL JE BILA KRAJ ~ 1950 ZA
PREKO IONOSPHERE: $\sum C \approx 2 \text{ kbit/s}$

N - OZKOPASOVNIH UPOR. → FREKVENČNI MULTIPLEXS

↳ ZEMELJSKA DIGITALNA TV: $N = 8000$, $B = 8 \text{ MHz}$

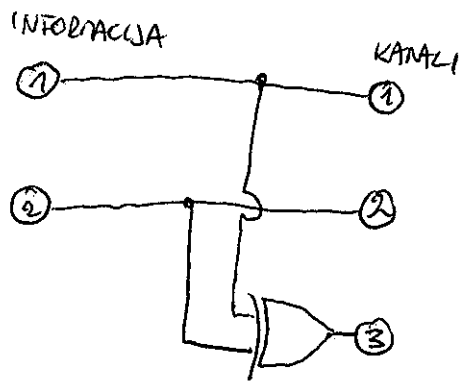
KAJ RAČUNAMO:

- NEKAJ KANALOV SE IZGUBI
(PRI 200K MED PRESKI NI PORASTENJA PRI 1KHz KANALIH)
- SEVEDA POD POGOJEI, DA ZAMNO MREŽITI NA UČINKOVIT NAČIN.

↳ MORAMO POBEUNTATI, KAKO DOBITI NAZAJ IZGUBLJENE KANAL

MORAMO ODDAJATI REDUNDANCO
+ SINHRONIZACIJO

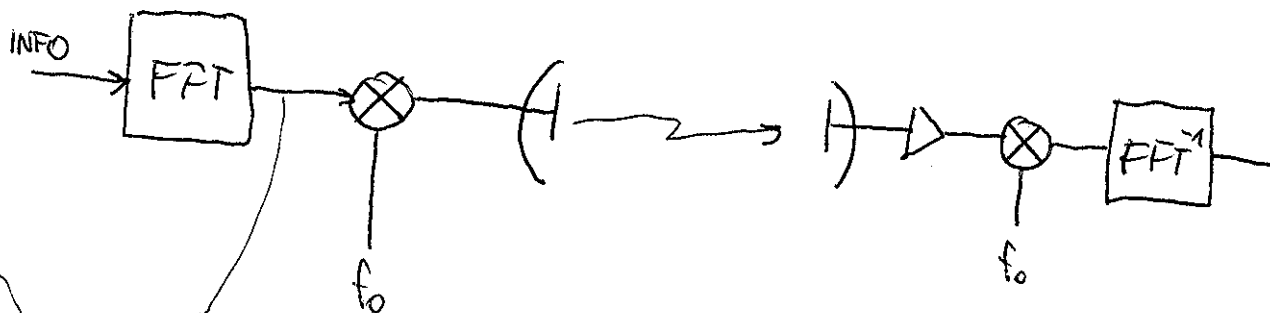
REDUNDANCA A PŘÍMER: ~~OV~~ ODDAJANÝ PARITETO:



DRUGA STAR, KI JE LAŽMA:

→ KAKO NAZVEDITI PREZVENČENÍ MULTIPLEXS:

→ SE DA, ČE NA VHOJE DANO FFT:

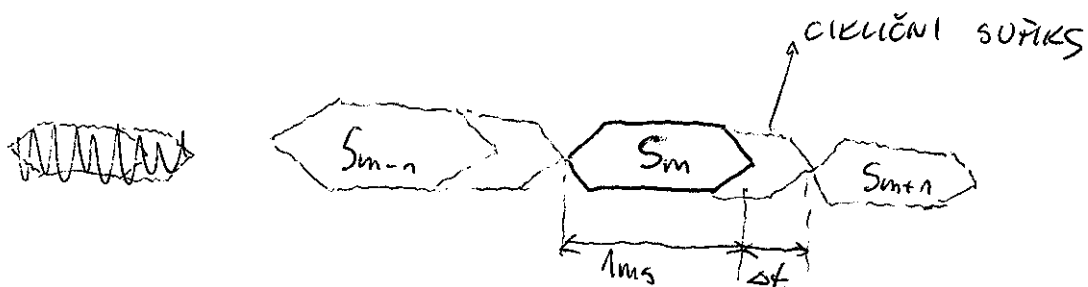


SYMBOL $\sim 1\text{ms} \rightarrow 2\text{A } 1\text{kHz}_2$ KANALE

→ OFDM

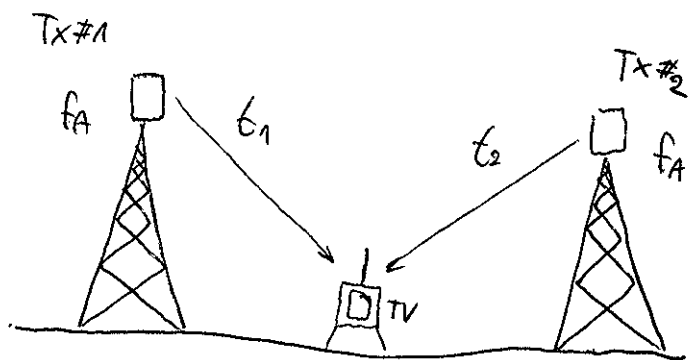
→ TUDI ŠE ENA FINITA:

POZATO PAZITI:



→ $\Delta t > \Delta t_{\text{NAJV}}$ PRENOSNE POTI

IZGLEDA ČUDOVITO....



$(t_1 - t_2) < \Delta t \Rightarrow \text{SFN}$
 $\downarrow$
 ČE SO TX
 SINHRONIZIRANI, SE
 NE MOTIJO
 SINGLE FREQUENCY
 NETWORK

OFDM IMA 2 HODI TEŽAVI:

$1) \langle P_{TX} \rangle = N \cdot P_1$ $\swarrow$ 1 NOSILEC
 $\downarrow$ ŠT. NOSILCEV
 $\max P_{TX} = N \cdot P_1$

$\eta = \eta_1 \cdot \frac{\langle P_{TX} \rangle}{\max P_{TX}} = \eta_1 \cdot \frac{1}{N} = \eta_1 \cdot \frac{1}{8000}$!!!

DA SE OIČEST...

ZMERNO POČACENJE DOBIVTO, ČE OIČESTIMO $P_{\max TX} \approx \langle P_{TX} \rangle + 15 \text{ dB}$

VENDAR 15dB --- 30x VEČJA PORABA ODDAJNIKA

$10 \div 20 \text{ dB}$
 $\downarrow$
 ZAVISI KOLIKO
 POČACENJA DOPOŠČANO

2) STABILNOST

$\Delta f \lesssim \frac{1}{10} B_{MO} = 100 \text{ Hz} !!$ $\swarrow$ VPRAŠLJIV DOPPLERJEV POJAV
 $\downarrow$

16 Hz --- 108 km/h ZGORNJA MEJA

KAKO IZGLEDA BLEFVER:

WLAN $\rightarrow$ OFDM

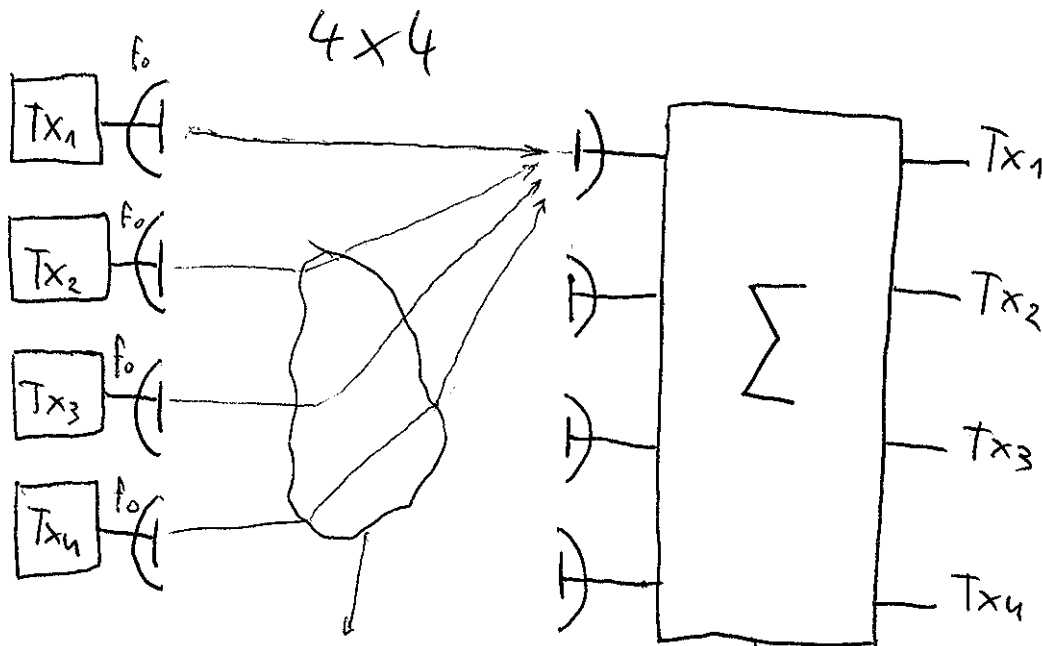
$\rightarrow$ DETA, KOL N=64, IN NE 8000

$\downarrow$
POŠILJENI

$\rightarrow W_{\max} \rightarrow$ POLOVIJA

TEŽAVA: PAR NOSILCEV POTREBUJEN ZA SINHRONIZACIJO
 $\rightarrow$ ČE JE NA ENEM NOSILCU MOTIJA, SE LAHKO VIKNE NA
 MOTIJO

ŠE ENA STAR, KI JE USEKANA MIMO IN SE TUDI IZKURJE MIMO:



KUSEN POGOJ:
RADIJSKA POT 2
ODBOJI $\Rightarrow$ VEČPOTJE

RADIJSKO
VEČPOTJE !

POZORNO, DA SE
DA MATRICO ORENT



CIKANO NA RAZUKO

MATRIČNA OPERACIJA
POGOS: MATRICO ~~TRABA~~ POBA BITI
MOŽNO INVERTIRATI

$\rightarrow$ OPTIMALNO SEŠTAVINO SPREJEM

TEORIJA!

PRAKSA: TAKE RADIJSKE POTI NI!

$\hookrightarrow$ ČE ŽE, JE VPRASHLJIVO $\frac{\text{SIGNAL}}{\text{ŠUM}}$

ČE IMAMO RAZNOLIKOST,
JE VELIKO SLABŠENJE

KAJ JE OSTALO OD MIMO: 2×2 POLARIZACIJI $\rightarrow$ DOZA DOBRO ✓
↓
SMA ORTOGONALNI