Nagyfeli

2.

Hullámterjedési módok, fizikai modellek

- **Légtéri abszorbció:**
  - jóleg O_2 és H_2O molekulák miatt
  - gázok miatt: „csúcsos" görbe
  - eső és köd:
    - magasabb frekvenciákon „ellaposodik"
    - ekkor válik összemérhetővé a cseppméret a hullámhosszal

Közvetlen hullám:

- feltétel: akadálytalan, szabad téri terjedés

$$S = \frac{|E_{max}|^2}{240\pi} = \frac{|E_{eff}|^2}{120\pi} \qquad \frac{|\bar{E}|}{|\bar{H}|} = 120\pi: \text{ levegő hullámimpedanciája}$$

$$S = \frac{P_A G_A}{4\pi r^2}$$

$$\rightarrow E_{max} = \frac{\sqrt{60 P_A G_A}}{r}$$

- szabadtéri csillapítás:

$$\alpha^{dB} = 20 \log\left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right) - G_A^{dB} - G_V^{dB}$$

Reflexió:

- feltételezett eset: a felszín tökéletesen sima
- egyszerűbb leírás miatt bevezethető komplex ε:

$$\mathrm{rot}\,\bar{H} = \underset{\sigma\cdot\bar{E}}{\underset{\uparrow}{\bar{J}}} + \frac{\partial}{\partial t}\underset{\varepsilon_0\varepsilon_r\bar{E}}{\underset{\uparrow}{\bar{D}}} = \sigma\bar{E} + \frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_0\varepsilon_r\bar{E}) = (\sigma + j\omega\varepsilon_0\varepsilon_r)\bar{E}$$

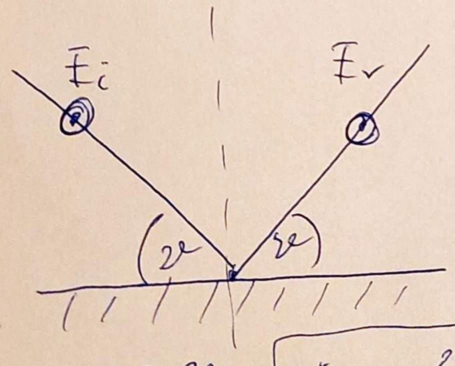
szinuszos esetre!

$$\sigma + j\omega\varepsilon_0\varepsilon_r = j\omega\varepsilon_0\underbrace{\left(\varepsilon_r + \frac{\sigma}{j\omega\varepsilon_0}\right)}$$

$$\boxed{\varepsilon_r^* = \varepsilon_r - j\frac{\sigma}{\omega\varepsilon_0}}$$

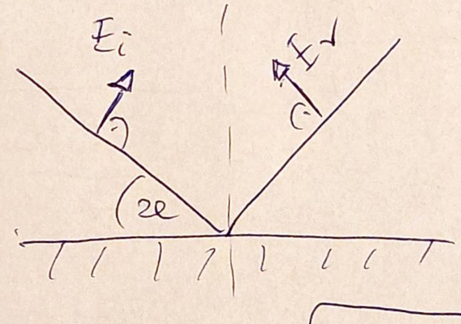
- E_r: reflektált
  E_i: beeső
  $\rightarrow \Gamma = \frac{E_r}{E_i}$: földreflexiós tényező
- horizontális és vertikális polarizációra bontjuk a hullámot

Horizontális



$$\Gamma_h = \frac{\sin\vartheta - \sqrt{\varepsilon^* - \cos^2\vartheta}}{\sin\vartheta + \sqrt{\varepsilon^* - \cos^2\vartheta}}$$

Vertikális



$$\Gamma_v = \frac{\varepsilon^*\sin\vartheta - \sqrt{\varepsilon^* - \cos^2\vartheta}}{\varepsilon^*\sin\vartheta - \sqrt{\varepsilon^* - \cos^2\vartheta}}$$

2.

Γ tulajdonságai:

- $|\Gamma_v|$:
  - ha $\sigma = 0$ akkor itt $\Gamma = 0$
    → ϑ_{min}: Brewster-szög
  - ha $\sigma \neq 0$ → pszeudo-Brewster-szög
  - lokális minimumhely
  - minél nagyobb a frekvencia, annál mélyebb minimum
  - minél nagyobb a frekvencia, annál kisebb ~~ér~~ tér $90°$-nál

- $|\Gamma_h|$:
  - $0-90°$ tartományon monoton csökken

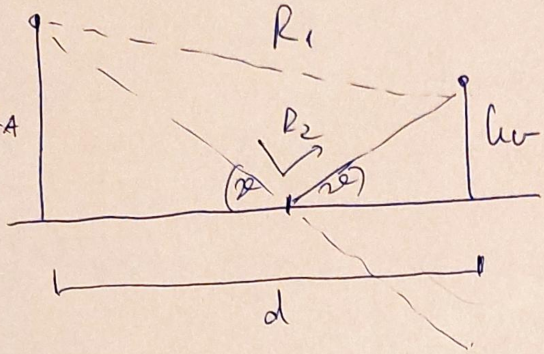
- fázisok:
  - így felvett ref. irányok mellett Γ_v szöge kezdetben ~~180°~~ $0°$-ba ($-90°$-t a Brewster szögnél veszi fel!) [$+180°$-ról!]
    → ez jó is így, hiszen $\vartheta = 90°$-nál Γ_v és Γ_h nem megkülönböztethető
    → ~~a~~ ref. irányok miatt $180°$-os tolásnál lesznek ugyanazok

- megállapítás ① Mo-n megtalálható talajok mellett lényegében ϕ frekvenciafüggés
  ② kis szögekre $\boxed{\Gamma = -1}$

Kétutas terjedés:

$\vartheta \leq 1-2°$

$\rightarrow \Gamma = -1$



$E_v = E_d + E_r =$

$= E_0 + E_0 \Gamma_f \cdot e^{-j\beta \Delta R}$

$\Delta R = R_2 - R_1$

$R_1 = \sqrt{d^2 + (h_A - h_v)^2}$

$R_2 = \sqrt{d^2 + (h_A + h_v)^2}$

$\boxed{\Delta R \cong \frac{2 h_A h_v}{d}}$

$\sqrt{1+x} \cong 1 + \frac{1}{2}x \dots$

közelítés

$(x \ll 1)$

$E_v = E_d + E_r = E_0 (1 - e^{-j\beta \Delta R}) \cong E_0 (1 - e^{-j\beta \frac{2 h_A h_v}{d}})$

$1 - e^{-j\alpha} = 2j e^{-j\frac{\alpha}{2}} \cdot \sin\frac{\alpha}{2}$

$= E_0 \cdot e^{-j\beta \frac{h_A h_v}{d}} \cdot 2j \sin\left(\beta \frac{h_A h_v}{d}\right)$

$\Rightarrow \boxed{|E_v| = 2E_0 \cdot \left| \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{h_A h_v}{d}\right) \right|}$

$2E_0$ burkolójú szinusz

ez alatt: gyors fading

ha d elég nagy, nem lesz több zérushely

$\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{h_A h_v}{d_{krit}} = \frac{\pi}{2} \rightarrow \boxed{d_{krit} = \frac{4 h_A h_v}{\lambda}}$

3.

- szakaszcsillapítása:

$$|E_v| = 2E_0 \left|\sin\left(\beta \frac{h_A h_v}{d}\right)\right| \to P_v = \cancel{2P_0}\, 4P_0 \sin^2\left(\beta \frac{h_A h_v}{d}\right)$$

$$a_{sz} = a_0 - 20 \lg\left[2 \sin\left(\beta \frac{h_A h_v}{d}\right)\right]$$

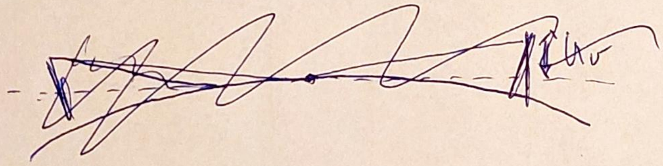
$\boxed{\text{ha } d > d_{int}: \quad \sin x = x}$

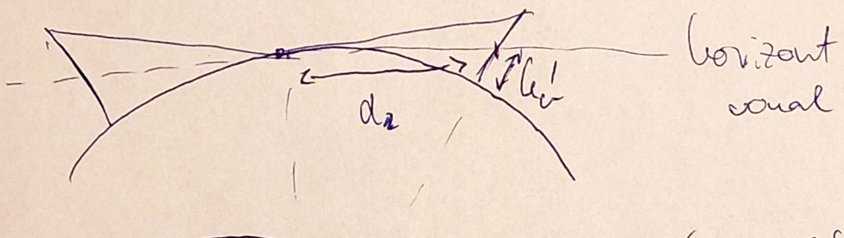
$$a_{sz} = 20 \lg\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) - (G_A + G_v) - 20 \lg\left(2\beta \frac{h_A h_v}{d}\right)$$

$$\Rightarrow \boxed{a_{sz} = 20 \lg\left(\frac{d^2}{h_A h_v}\right) - (G_A + G_v)}$$

- frekifüggetlen
- $\sim d^4$

Látszólagos antennamagasságok:





$\boxed{\text{látszólagos magasság}}$

$h_v = h_{v,t} - h'_v$

$$R_0^2 + d^2 = (R_0 + h'_v)^2$$

$h'_v \ll R_0$

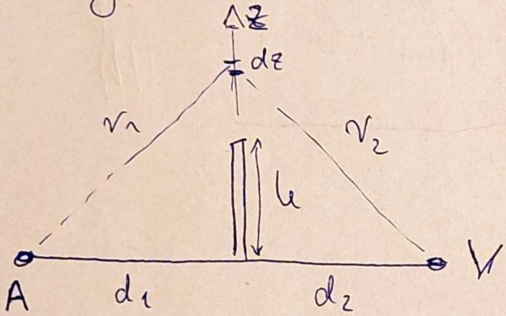
$$d_z \cong \sqrt{2R_0 h'_v} = 3{,}56\sqrt{h'_v}$$

$$h'_v = \frac{d^2}{2R_0}$$

Diffrakció: az akadályok mögé bejutó hullámok jelensége

- **Huygens-elv**: a terjedő hullám frontjának minden pontja hullámforrásként viselkedik, a hullám ezen elemi hullámok szuperpozíciójaként fogható fel

- vizsgált eset: keskeny akadály, „késél"
  (merőleges A-V vonalra!)



végeredmény:

$$E_V = \frac{E_0}{1-j}\int_{\nu_0}^{\infty} e^{-j\frac{\pi}{2}\nu^2}\, d\nu$$

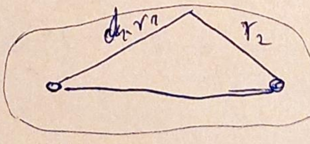
ahol

$$\nu_0 = h\cdot\sqrt{\frac{2(d_1+d_2)}{\lambda d_1 d_2}}$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1+d_2}}$$

1. Fresnel ellipszoid sugara

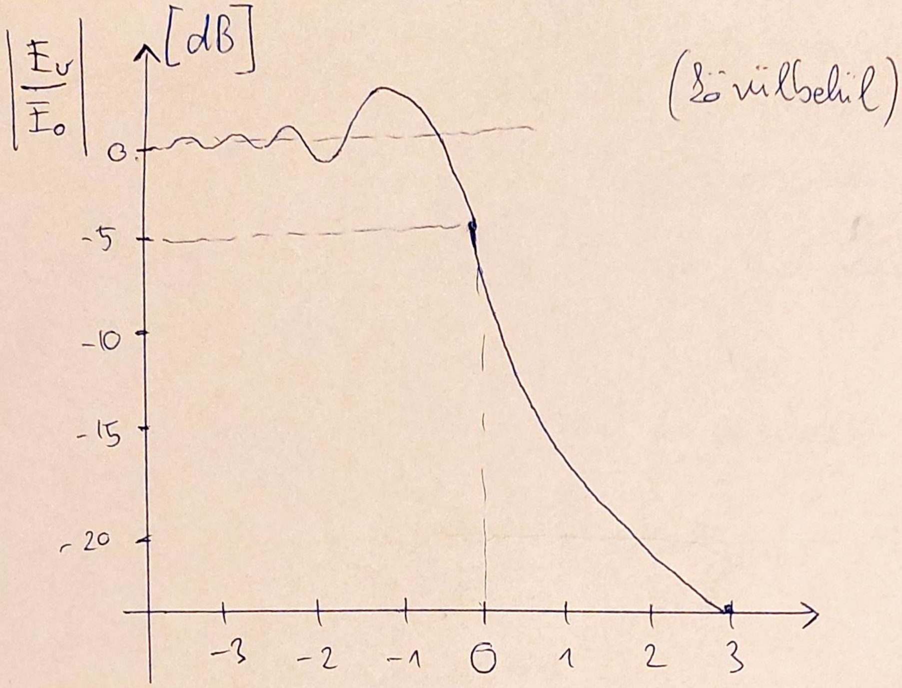
→ $\boxed{\nu_0 = \frac{h}{r_1}\cdot\sqrt{2}}$: relatív belógás



$r_1 + r_2 = d_1 + d_2 + \frac{\lambda}{2}$

ha ez

4.



<u>Refrakció:</u> A törésmutató változása miatti hullámelhajlás.

$N = (n-1)\cdot 10^{6}$: törésmutató index

általánosan: $n - 1 = \sum_i m_i \left(A_i + \frac{B_i}{T} \right)$

m_i: sűrűség

A_i, B_i: konstansok

légkörre: $N = (n-1)\cdot 10^6 = 77{,}6 \frac{p}{T} + 3{,}73 \cdot 10^5 \cdot \frac{e}{T^2}$

p: légnyomás
T: hőmérséklet
e: vízgőz parciális nyomása

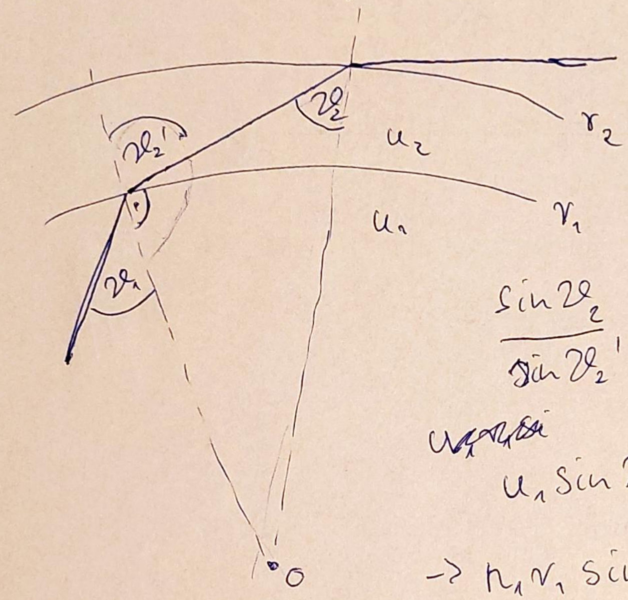
$\Big\}$ <u>meteorológiai tényezők</u>

Standard atmoszféra: ITU által meghatározott, átlag

- N a magassággal csökken

  → hullámok a ***föld felé*** hajlanak el

Rétegzett törésmutatójú közeg:



$$\frac{\sin \vartheta_2}{\sin \vartheta_2'} = \frac{r_1}{r_2} \quad \text{: szinusztétel}$$

$$n_1 \sin \vartheta_1 = n_2 \sin \vartheta_2'$$

$$\rightarrow n_1 r_1 \sin \vartheta_1 = n_2 r_2 \sin \vartheta_2$$

$$\rightarrow n\, r \sin \vartheta = \text{konst}$$

$$\Rightarrow \boxed{n\, r \cos \varphi = \text{konst}}$$

φ: kilövési elevációs szög

<u>némi levezetés:</u>

$$n(r) = 1 + N \cdot 10^{-6}$$

$$r = R_0 + h$$

$$\cos\varphi \simeq 1 - \frac{\varphi^2}{2} \quad (\text{kis } \varphi\text{-re})$$

$$\Longrightarrow \boxed{N(h) \cdot 10^{-6} + \frac{h}{R_0} - \frac{\varphi^2}{2} = \text{konst.}}$$

kis tényezőket elhanyagolva

5.

$\frac{d}{dh} \rightarrow \quad \frac{dN}{dh} \cdot 10^{-6} + \frac{1}{R_0} - \varphi \cdot \frac{d\varphi}{dh} = 0 \quad (1)$

ha N(h) konstans: $\frac{1}{R_0} - \varphi \cdot \frac{d\varphi}{dh} = 0$

egyenes egyenlete polár koordináta rendszerben

→ tegyük egyenessé változó N(h) esetén is

$$\frac{1}{kR_0} - \varphi \cdot \frac{d\varphi}{dh} = 0 \quad (2)$$

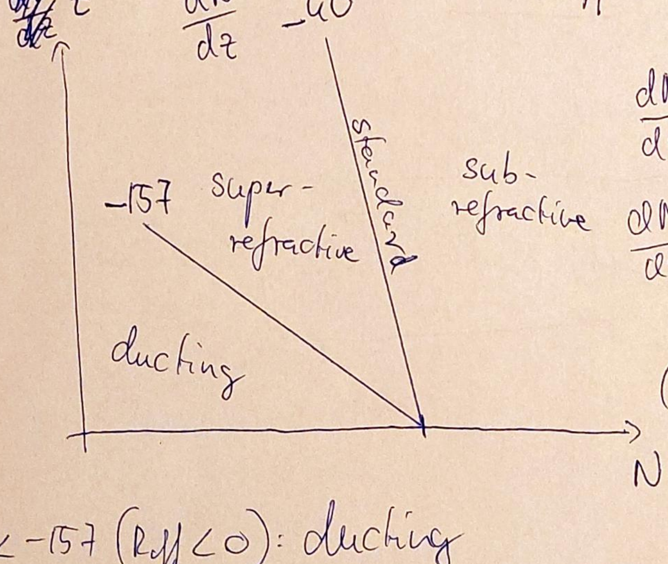
(1) és (2): $\boxed{k = \frac{1}{R_0 \frac{dN}{dh} \cdot 10^{-6} + 1}}$ földsugár tényező

kR_0: effektív földsugár

standard atmoszféra: $\frac{dN}{dh} = -40$ (alsó rétegekben)

$\rightarrow k = \frac{4}{3}$

$\rightarrow R_{eff} = 8\,500$ km



$\frac{dN}{dz} = -40$: standard

$\frac{dN}{dz} = -157$: ideális

$R_{eff} = \infty$

(a hullám pont a Föld felszínével együtt halad)

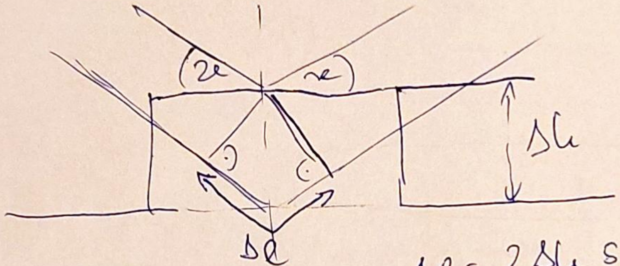
$\frac{dN}{dz} < -157$ ($R_{eff} < 0$): ducting

(veredek törés)

Szóródás: Egyenetlen felületen történő reflexiók együttese.

- ha a reflektált összetevők közötti fáziskülönbség $\frac{\pi}{2}$-nél kisebb, a felület egyenes
  → (úthosszkülönbség $\lambda/4$-nél kisebb)

- ~~a felület magassági eloszlását g Gauss eloszlásként modellezik~~



$$\Delta l = 2\Delta h \sin\vartheta$$

$$\boxed{\Delta h = \frac{\cancel{\lambda}}{2\cancel{\sin\vartheta}} \frac{\Delta l}{2\sin\vartheta} = \frac{\lambda}{8\sin\vartheta}}$$

egyenetlen felület határa

- valós felület: Gauss eloszlásként értelmezzük

$$\rho_s = e^{-8\left(\frac{\pi \sigma_s \sin\vartheta}{\lambda}\right)^2}$$

σ_s: szórási egyenetlenség

$$\boxed{\Gamma_{egyenetlen} = \rho_s \cdot \Gamma_{sík}}$$

6.

Csapadék:

- a csillapítás frekvenciától, intenzitástól és polarizációtól függ
- ITU: climatic zones táblázat
  - csapadék intenzitás eloszlása csillapítás becsléséhez
- effektív esőzóna hosszúsága:

$$d_{eff} = r \cdot d \qquad r = \frac{1}{1 + \frac{d}{d_0}} \text{ redukciós tényező}$$

$$d_0 = 35 \cdot e^{-0{,}015 R_{001}}$$

ITU ajánlás

R_{001}: ennél nagyobb az esőintenzitás az idő 0,01%-ában

$$A_{001} = \gamma_R \cdot d_{eff}$$