

OPTIKA

STATISZTIKUS OPTIKA – IDŐBELI KOHERENCIA

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Atomfizika Tanszék, dr. Erdei Gábor

„Ágazati felkészítés a hazai ELI projekttel összefüggő képzési és K+F feladatokra”

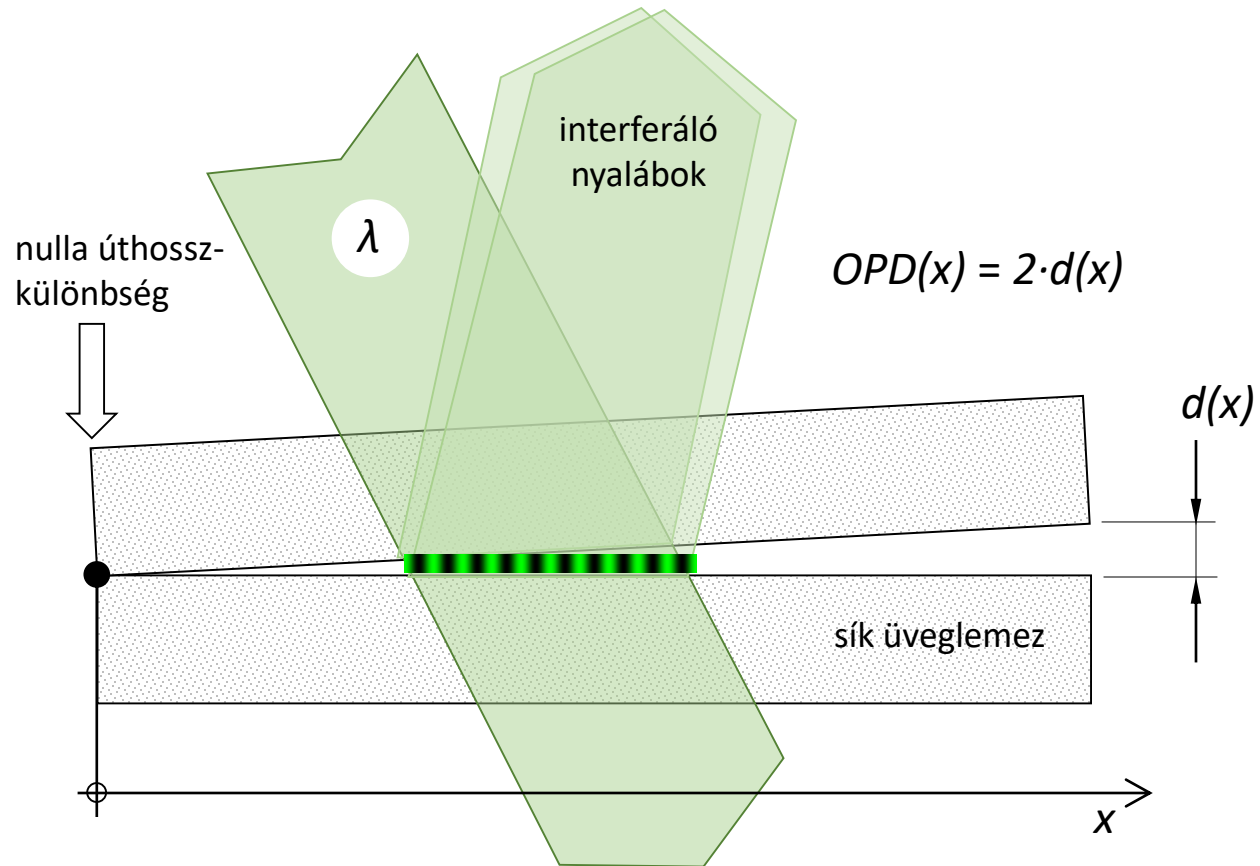
TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0005



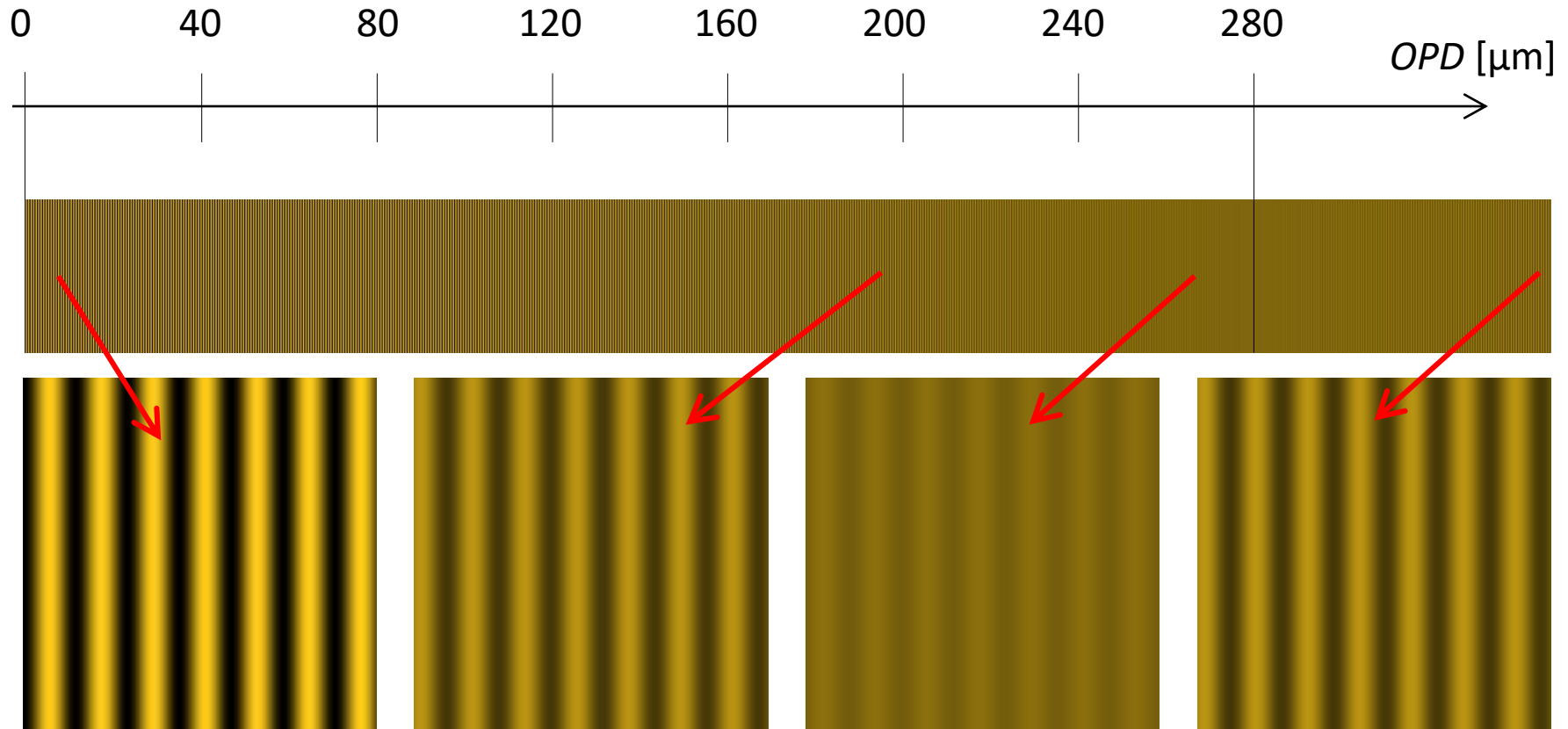
Nemzeti Fejlesztési Ügynökség
www.ujszecenyterv.gov.hu
06 40 638 638



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.



▪ Nátrium D-vonal interferenciája (Fizeau, 1862) ▪



$\lambda_1 = 589,0 \text{ nm}$
 $\lambda_2 = 589,6 \text{ nm}$

a 492. csík körül
 eltűnik a láthatóság

• Kéthullám interferencia két frekvencián •

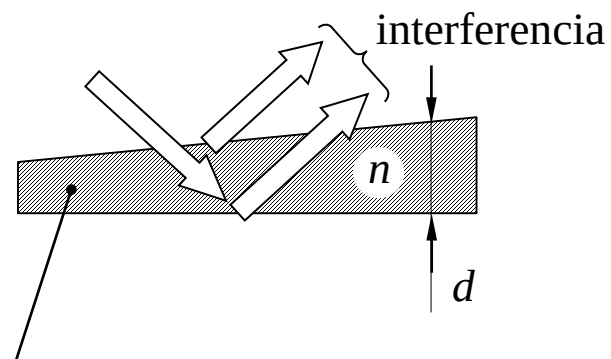
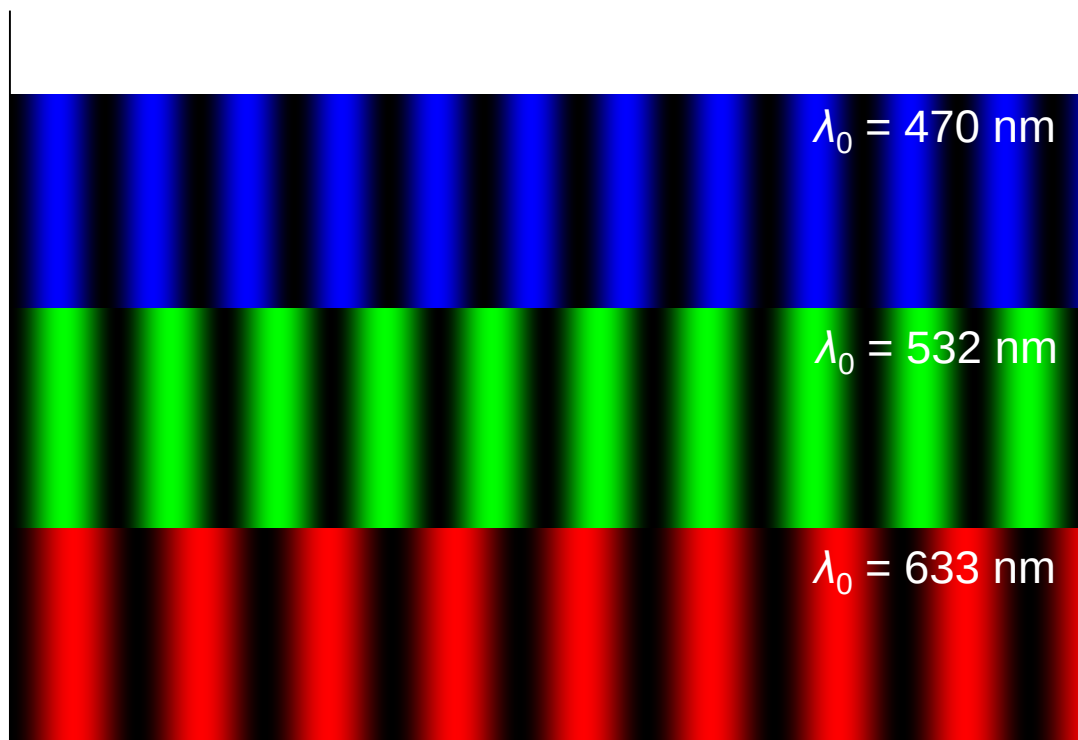
$$\begin{aligned}
 (E_a(\mathbf{r},t) + E_b(\mathbf{r},t))^2 = & \\
 = & A_1 A_1 \cos(\omega_1 t + \Phi_{a1}) \cdot \cos(\omega_1 t + \Phi_{a1}) + A_1 A_2 \cos(\omega_1 t + \Phi_{a1}) \cdot \cos(\omega_2 t + \Phi_{a2}) + A_1 B_1 \cos(\omega_1 t + \Phi_{a1}) \cdot \cos(\omega_1 t + \Phi_{b1}) + A_1 B_2 \cos(\omega_1 t + \Phi_{a1}) \cdot \cos(\omega_2 t + \Phi_{b2}) + \\
 & + A_2 A_1 \cos(\omega_2 t + \Phi_{a2}) \cdot \cos(\omega_1 t + \Phi_{a1}) + A_2 A_2 \cos(\omega_2 t + \Phi_{a2}) \cdot \cos(\omega_2 t + \Phi_{a2}) + A_2 B_1 \cos(\omega_2 t + \Phi_{a2}) \cdot \cos(\omega_1 t + \Phi_{b1}) + A_2 B_2 \cos(\omega_2 t + \Phi_{a2}) \cdot \cos(\omega_2 t + \Phi_{b2}) + \\
 & + B_1 A_1 \cos(\omega_1 t + \Phi_{b1}) \cdot \cos(\omega_1 t + \Phi_{a1}) + B_1 A_2 \cos(\omega_1 t + \Phi_{b1}) \cdot \cos(\omega_2 t + \Phi_{a2}) + B_1 B_1 \cos(\omega_1 t + \Phi_{b1}) \cdot \cos(\omega_1 t + \Phi_{b1}) + B_1 B_2 \cos(\omega_1 t + \Phi_{b1}) \cdot \cos(\omega_2 t + \Phi_{b2}) + \\
 & + B_2 A_1 \cos(\omega_2 t + \Phi_{b2}) \cdot \cos(\omega_1 t + \Phi_{a1}) + B_2 A_2 \cos(\omega_2 t + \Phi_{b2}) \cdot \cos(\omega_2 t + \Phi_{a2}) + B_2 B_1 \cos(\omega_2 t + \Phi_{b2}) \cdot \cos(\omega_1 t + \Phi_{b1}) + B_2 B_2 \cos(\omega_2 t + \Phi_{b2}) \cdot \cos(\omega_2 t + \Phi_{b2})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \langle (E_a(\mathbf{r},t) + E_b(\mathbf{r},t))^2 \rangle = & \\
 = & \frac{A_1 A_1}{2} + \frac{A_1 A_2}{2} \cos((\omega_1 - \omega_2)t + \Phi_{a1} - \Phi_{a2}) + \frac{A_1 B_1}{2} \cos((\omega_1 - \omega_1)t + \Phi_{a1} - \Phi_{b1}) + \frac{A_1 B_2}{2} \cos((\omega_1 - \omega_2)t + \Phi_{a1} - \Phi_{b2}) + \\
 & + \frac{A_2 A_1}{2} \cos((\omega_2 - \omega_1)t + \Phi_{a2} - \Phi_{a1}) + \frac{A_2 A_2}{2} + \frac{A_2 B_1}{2} \cos((\omega_2 - \omega_1)t + \Phi_{a2} - \Phi_{b1}) + \frac{A_2 B_2}{2} \cos((\omega_2 - \omega_2)t + \Phi_{a2} - \Phi_{b2}) + \\
 & + \frac{B_1 A_1}{2} \cos((\omega_1 - \omega_1)t + \Phi_{b1} - \Phi_{a1}) + \frac{B_1 A_2}{2} \cos((\omega_1 - \omega_2)t + \Phi_{b1} - \Phi_{a2}) + \frac{B_1 B_1}{2} + \frac{B_1 B_2}{2} \cos((\omega_1 - \omega_2)t + \Phi_{b1} - \Phi_{b2}) + \\
 & + \frac{B_2 A_1}{2} \cos((\omega_2 - \omega_1)t + \Phi_{b2} - \Phi_{a1}) + \frac{B_2 A_2}{2} \cos((\omega_2 - \omega_2)t + \Phi_{b2} - \Phi_{a2}) + \frac{B_2 B_1}{2} \cos((\omega_2 - \omega_1)t + \Phi_{b2} - \Phi_{b1}) + \frac{B_2 B_2}{2}
 \end{aligned}$$

• Rövid időtartamra történő átlagolás után •

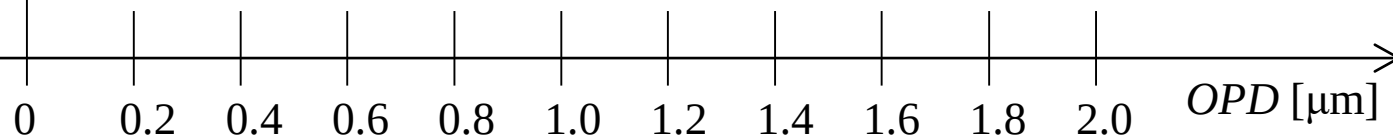
$$\begin{aligned}
 \langle (E_a(\mathbf{r},t) + E_b(\mathbf{r},t))^2 \rangle = & \\
 = & \frac{A_1 A_1}{2} + \frac{A_2 A_2}{2} + \frac{B_1 B_1}{2} + \frac{B_2 B_2}{2} + \\
 & + \frac{A_1 B_1}{2} \cos(\Phi_{a1} - \Phi_{b1}) + \frac{A_2 B_2}{2} \cos(\Phi_{a2} - \Phi_{b2}) + \frac{B_1 A_1}{2} \cos(\Phi_{b1} - \Phi_{a1}) + \frac{B_2 A_2}{2} \cos(\Phi_{b2} - \Phi_{a2}) + \\
 & + \frac{A_1 A_2}{2} \cos((\omega_1 - \omega_2)t + \Phi_{a1} - \Phi_{a2}) + \frac{A_1 B_2}{2} \cos((\omega_1 - \omega_2)t + \Phi_{a1} - \Phi_{b2}) + \\
 & + \frac{A_2 A_1}{2} \cos((\omega_2 - \omega_1)t + \Phi_{a2} - \Phi_{a1}) + \frac{A_2 B_1}{2} \cos((\omega_2 - \omega_1)t + \Phi_{a2} - \Phi_{b1}) + \\
 & + \frac{B_1 A_2}{2} \cos((\omega_1 - \omega_2)t + \Phi_{b1} - \Phi_{a2}) + \frac{B_1 B_2}{2} \cos((\omega_1 - \omega_2)t + \Phi_{b1} - \Phi_{b2}) + \\
 & + \frac{B_2 A_1}{2} \cos((\omega_2 - \omega_1)t + \Phi_{b2} - \Phi_{a1}) + \frac{B_2 B_1}{2} \cos((\omega_2 - \omega_1)t + \Phi_{b2} - \Phi_{b1})
 \end{aligned}$$

▪ Diszkrét hullámhosszak interferenciája ▪

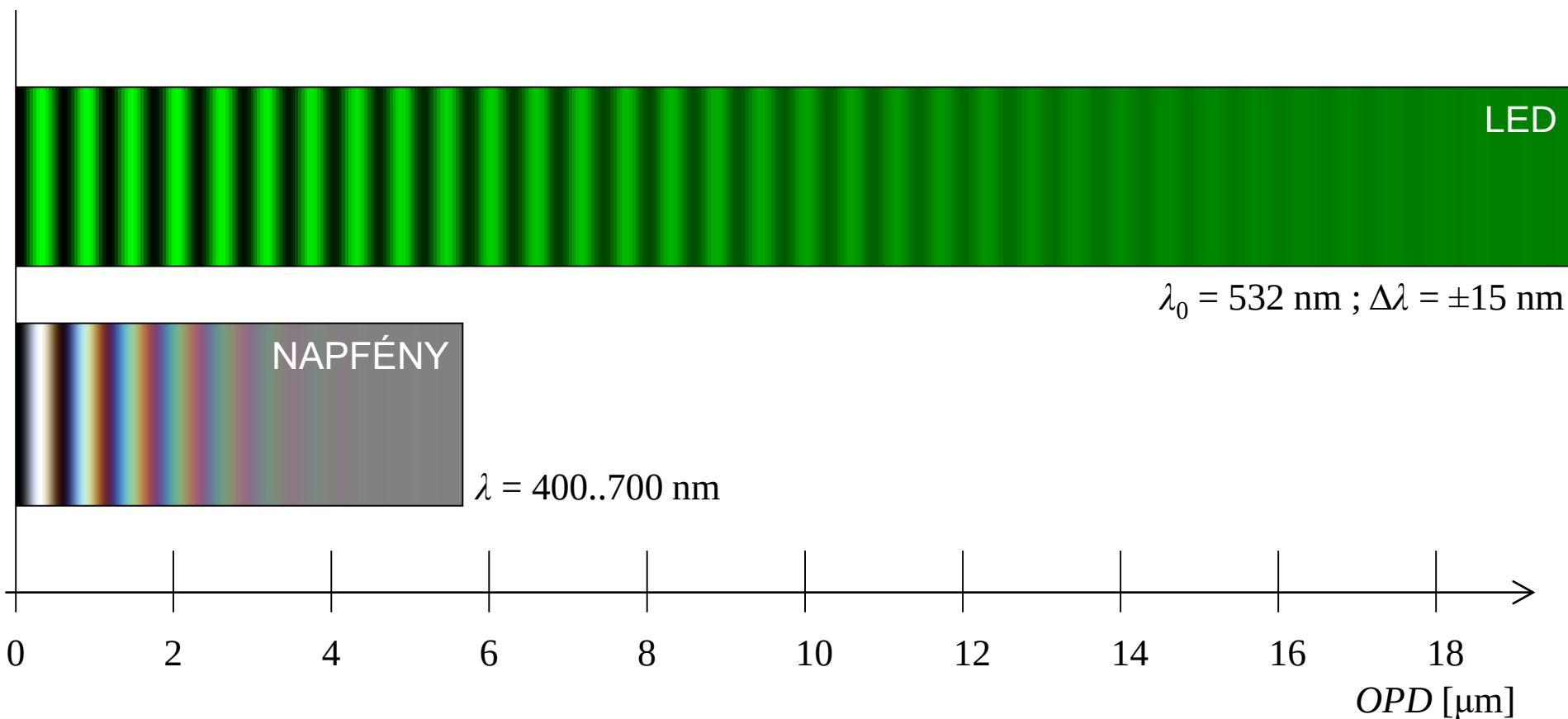


ékes lemez, pl. szappan-buborék
hártya, v. Fizeau-interferométer

Merőleges beesésnél: $OPD = n \cdot 2d$

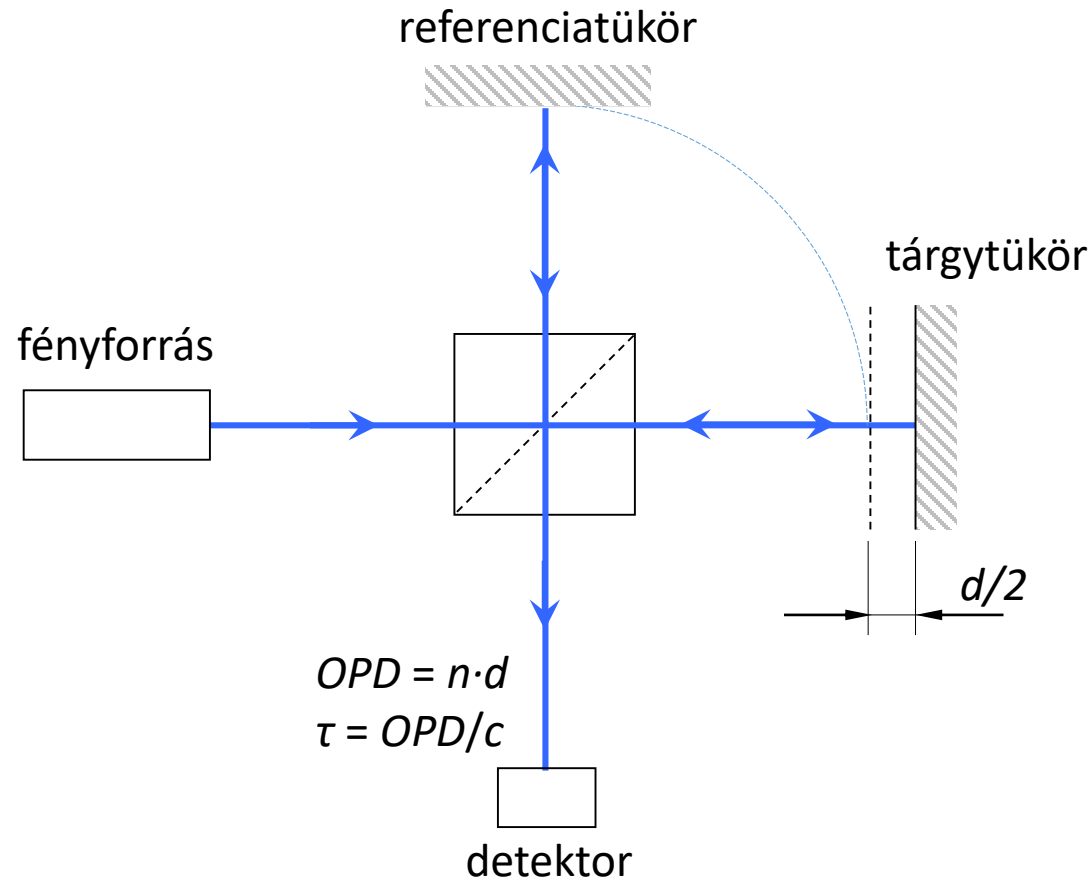


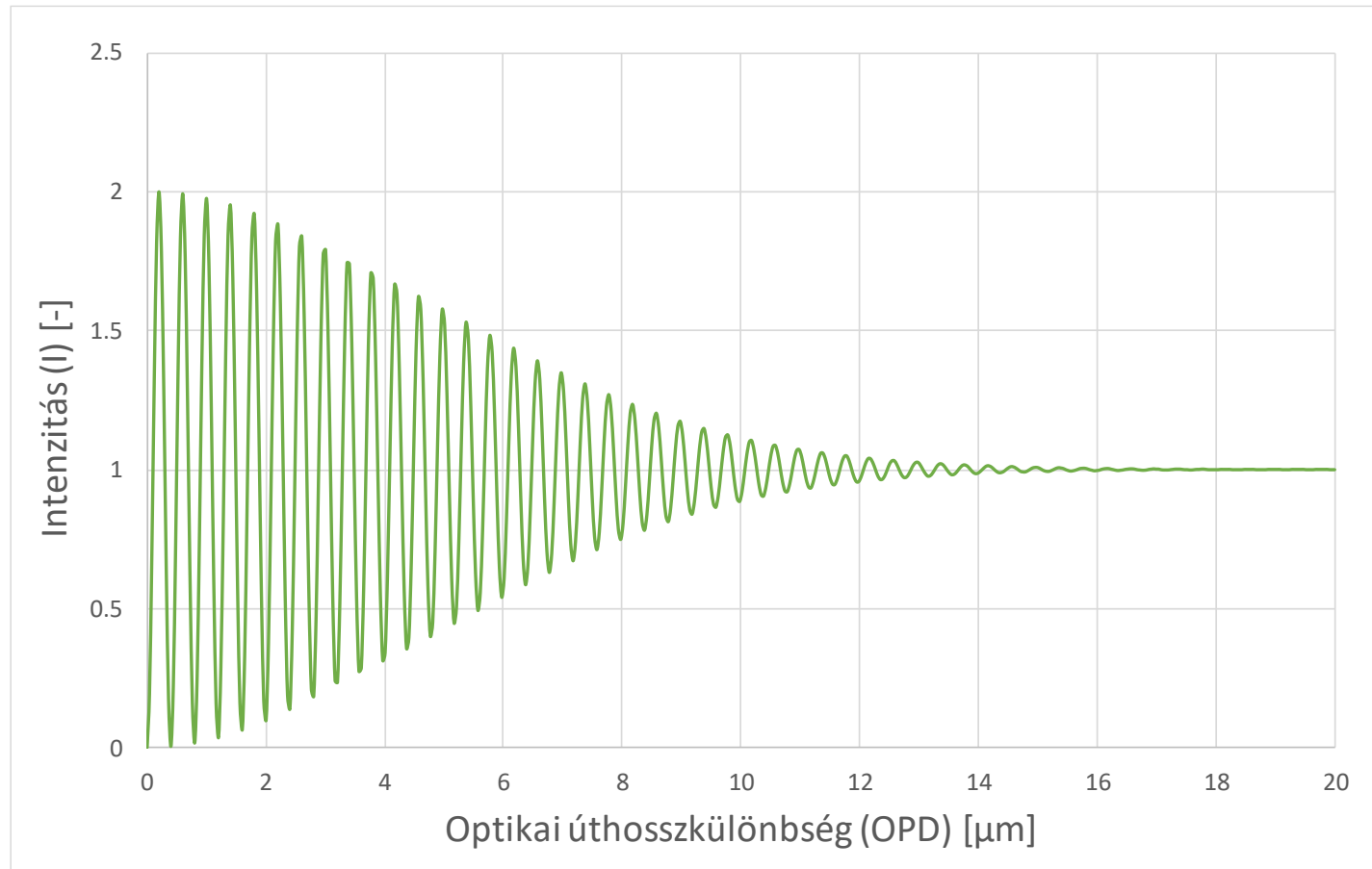
• Folytonos spektrumú hullámok interferenciája •



Ahol a láthatóság eltűnik: $OPD = n \cdot l_L$

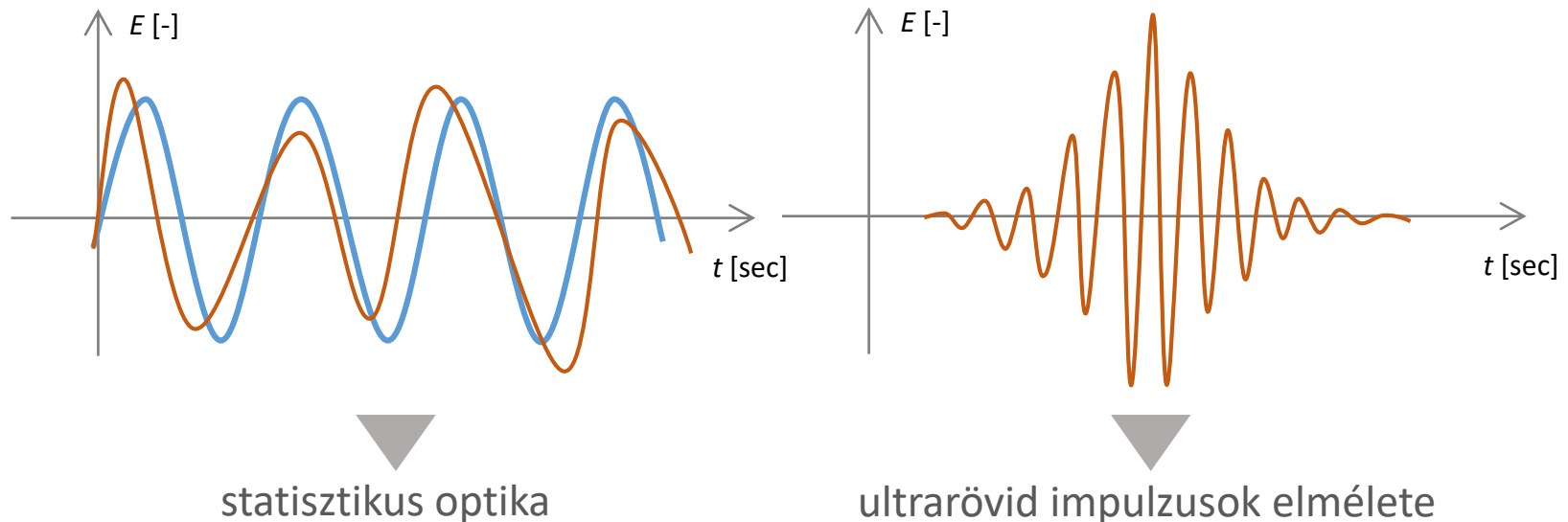
▪ Michelson- (Twyman-Green) interferométer, 1880 ▪

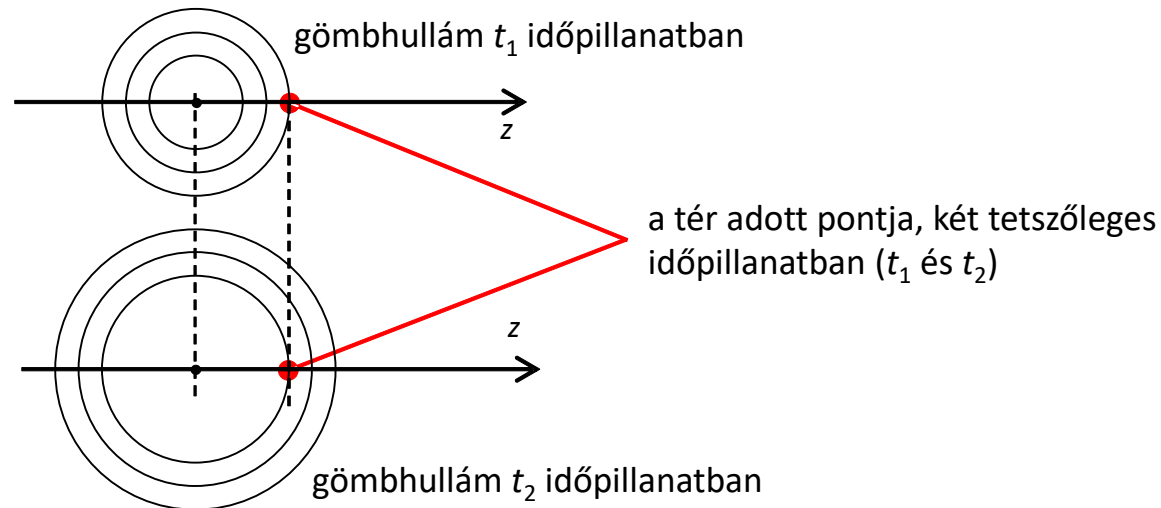




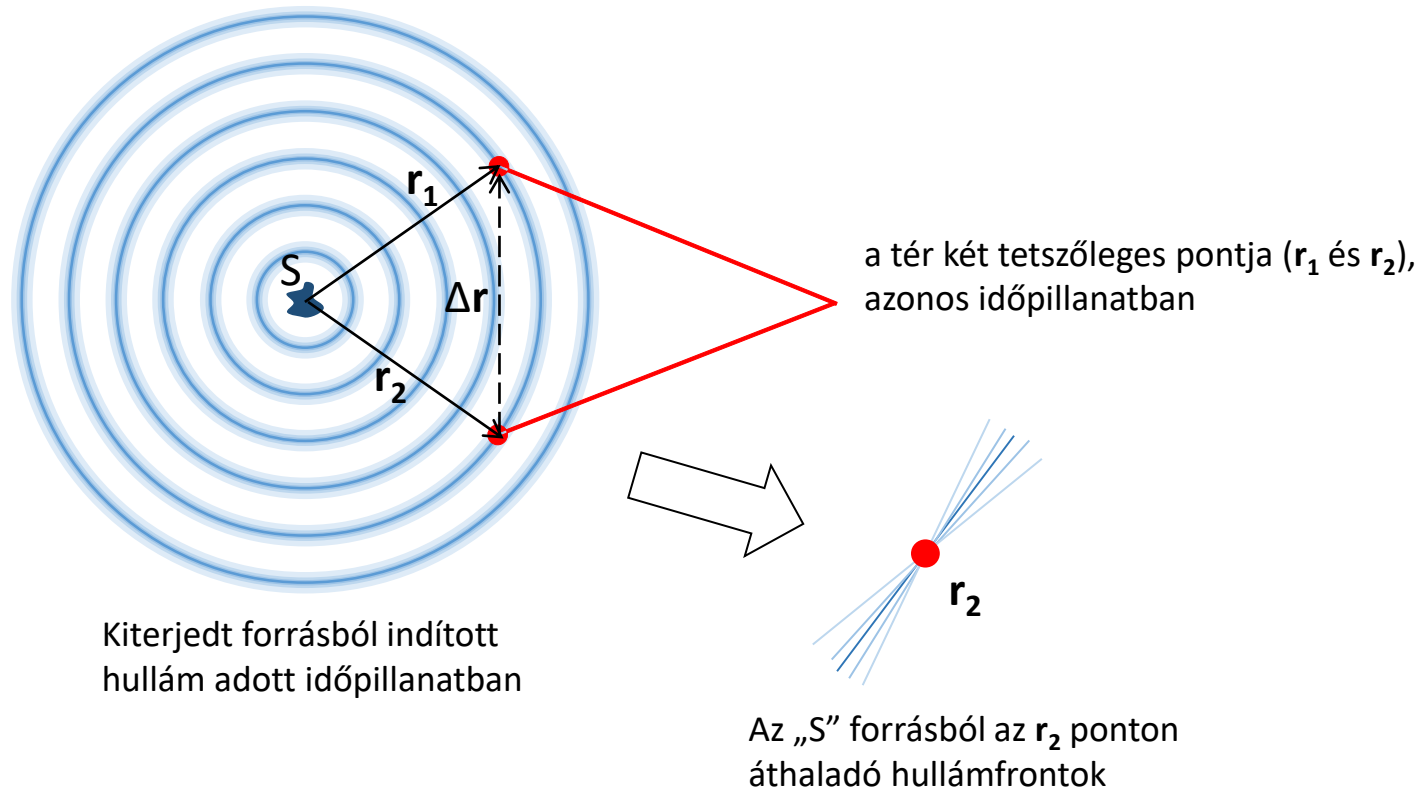
▪ A koherencia fogalma (Laue, 1907) ▪

- A lineáris rendszerek sajátfüggvényei: harmonikus (szinuszos) függvények
- Az ideális periodicitástól való eltérés tulajdonsága: koherencia
- A koherencia fokai: koherens, részlegesen koherens és inkoherens rezgés
- Részleges koherencia okai: nem teljesen harmonikus hullám, véges impulzus
- A koherencia fajtái: időbeli és térbeli koherencia, polarizációs koherencia
- Értelmezés: a rezgést két eltérő térbeli pontban vagy időpillanatban vizsgálva a fázisállapotok mennyire vannak összhangban (mennyire koherensek)
- Időbeli koherencia: a tér egy pontjában vizsgáljuk a rezgés időbeli viselkedését

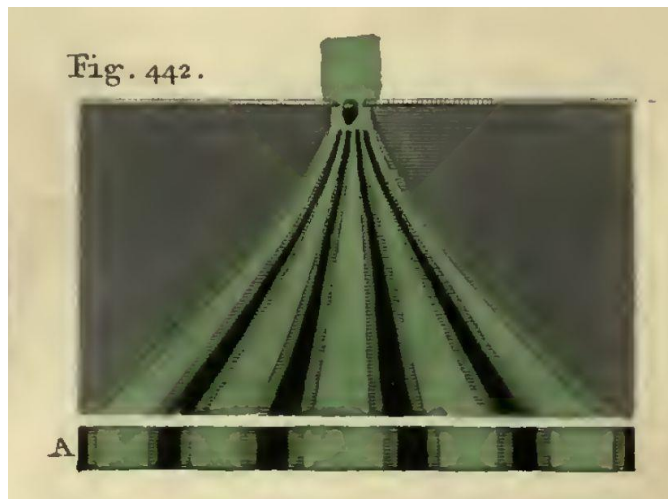
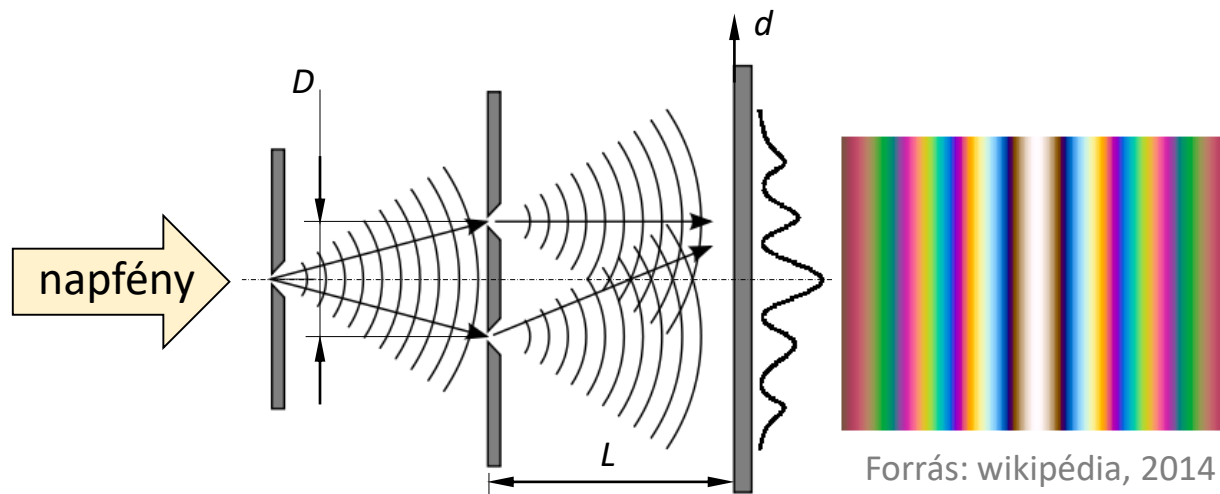




Ahhoz, hogy két különböző időpillanatban vizsgálhassuk a rezgést, két komponensre kell osztanunk, és az egyik komponenst késleltetnünk kell $\tau = t_2 - t_1$ időtartammal.



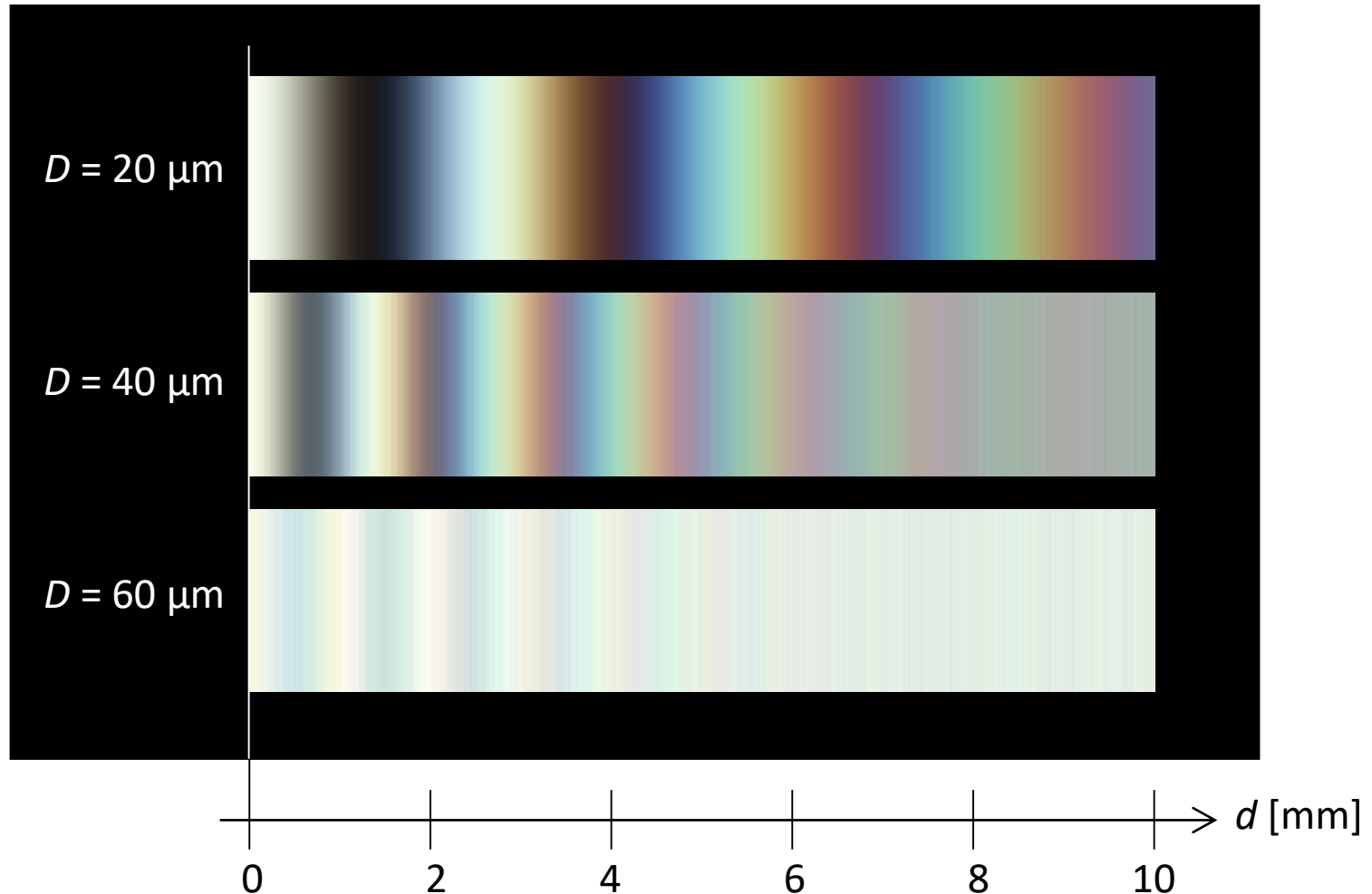
• Young-féle kétréses interferométer •



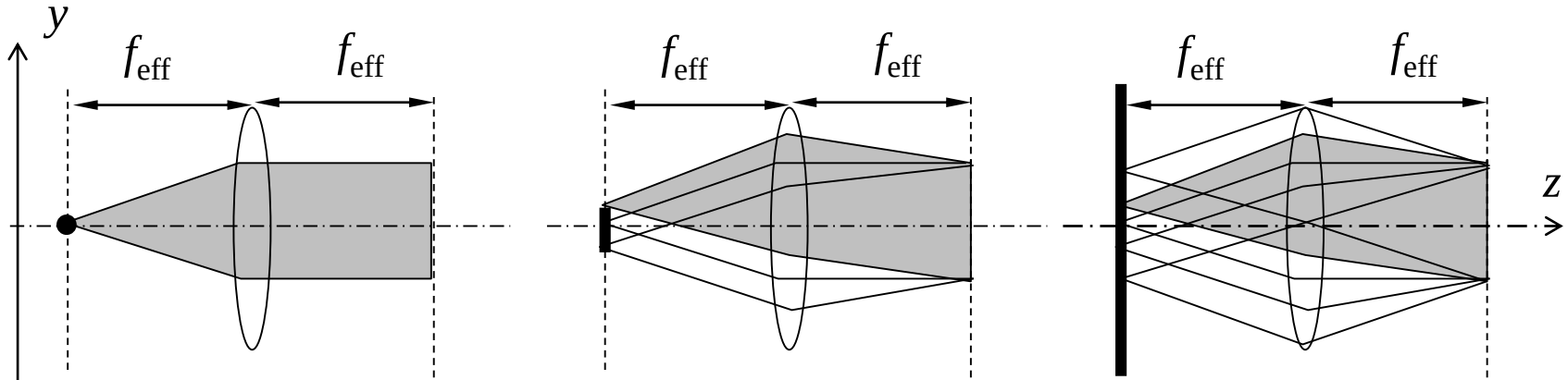
Forrás: T. Young, A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts, Vol. I, 1807

• Kétréses interferencia szűretlen napfénnel •

$$L = 100 \text{ mm} ; \lambda = 400..700 \text{ nm}$$

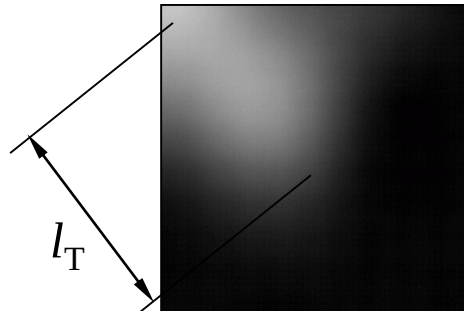


• Térbeli koherencia szabályozása •



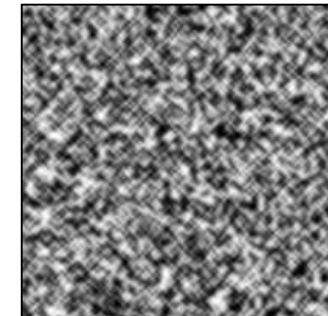
**koherens eset:
pontforrás**

$$E_0 \approx \text{const.} (l_T \gg \lambda)$$



**részlegesen koherens eset:
kisméretű kiterjedt forrás**

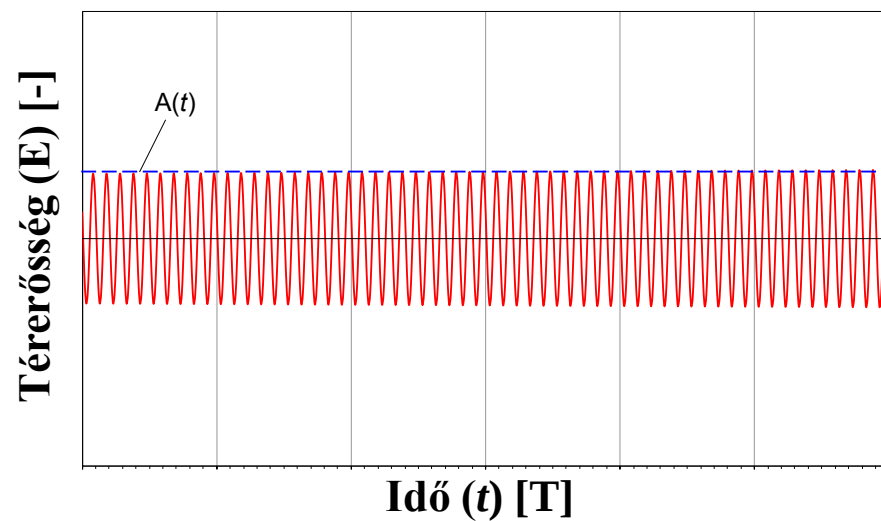
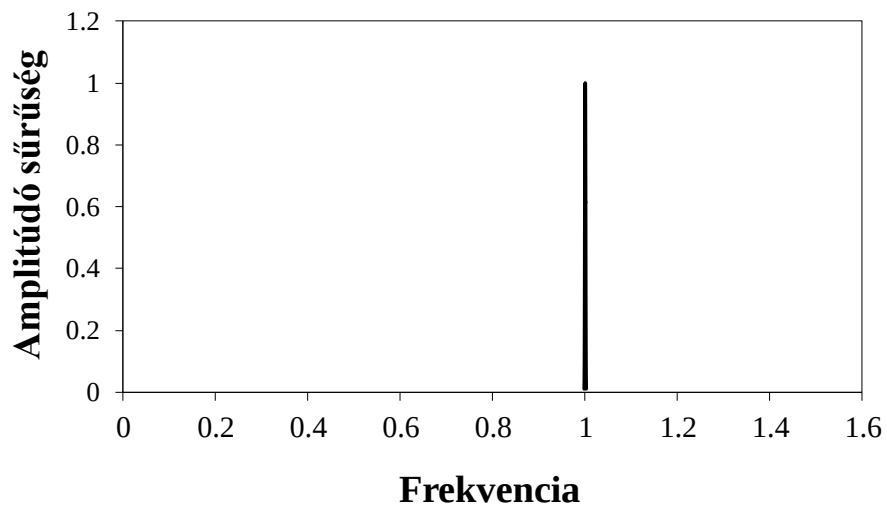
$$E_0 \text{ lassan változik } (l_T > \lambda)$$



**inkoherens eset:
diffúz forrás**

$$E_0 \text{ gyorsan változik } (l_T \approx \lambda)$$

▪ Determinisztikus (harmonikus) rezgés ▪

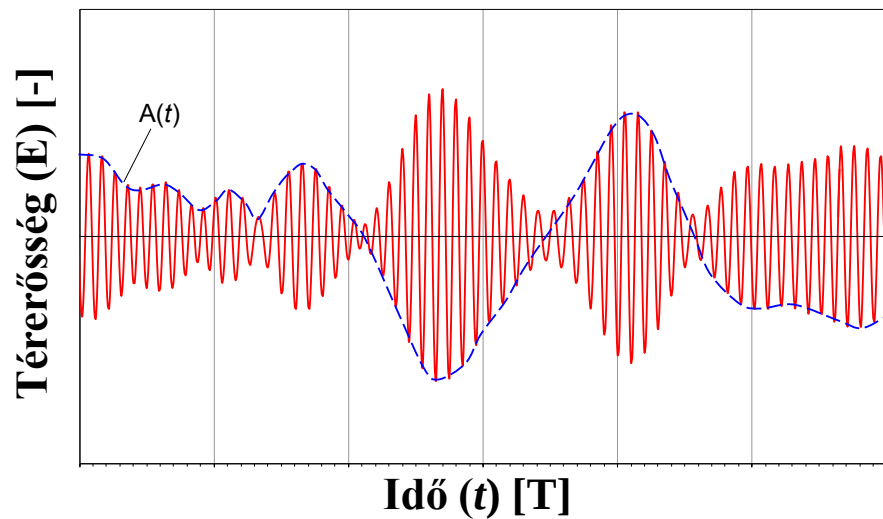


▪ Indeterminisztikus rezgések fajtái ▪

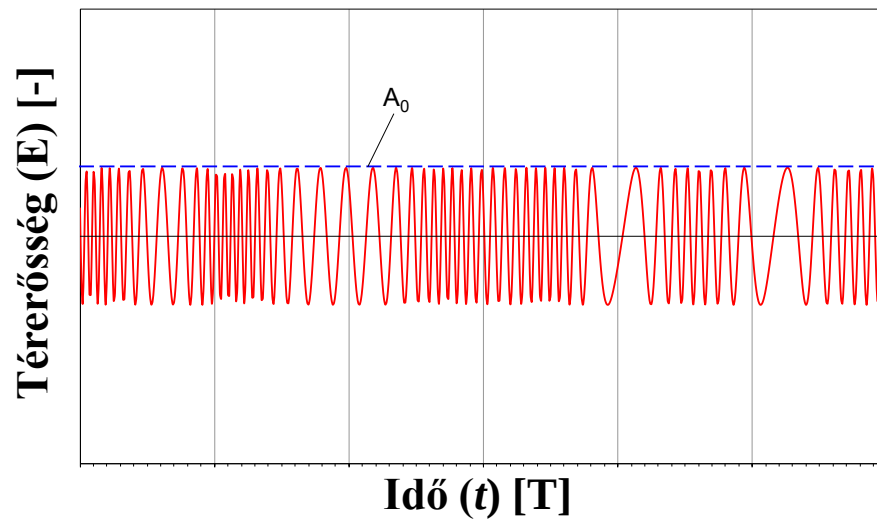
$$E(t) = A(t) \cdot \cos(\omega t + \varphi(t))$$

$$E(t) = A(t) \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$E(t) = A_0 \cdot \cos(\omega t + \varphi(t))$$



Tipikus látható fénysugárzás

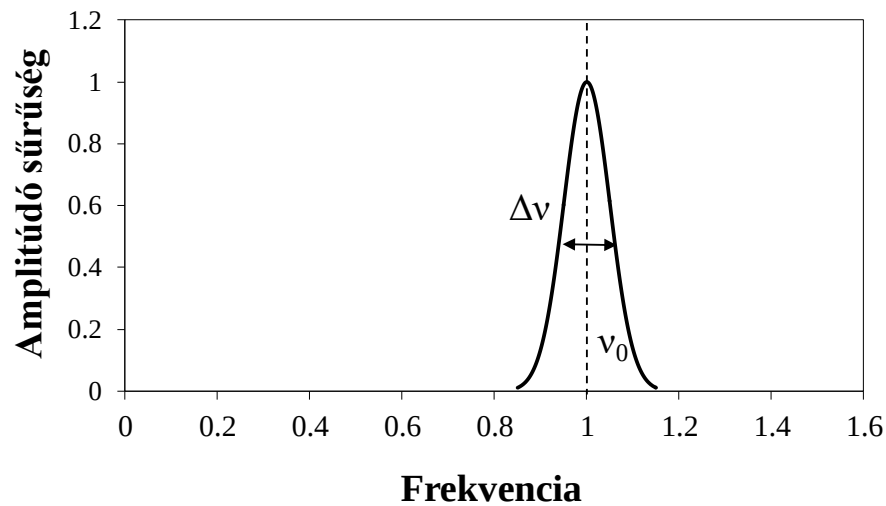


Egymódusú lézerek, FM-modulált rádióhullámok

▪ Részlegesen koherens rezgés ▪

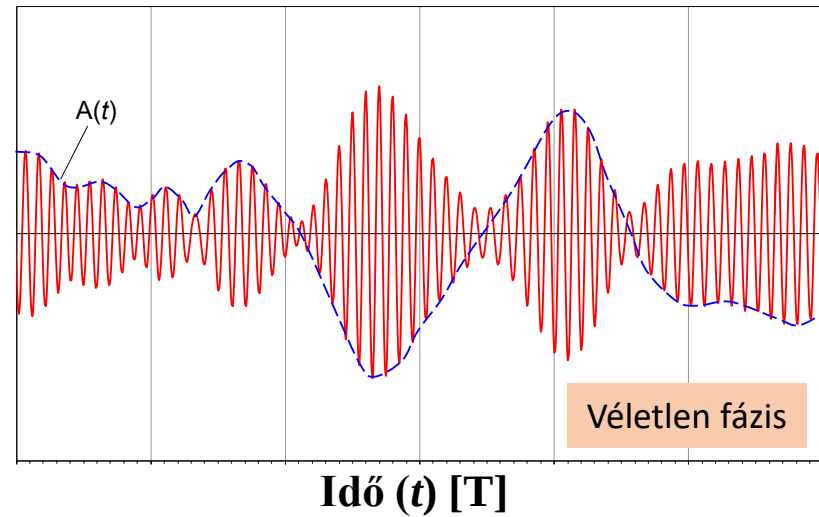
Kvázimonokromatikus eset $\Delta\nu \ll \nu_0$

Normális eloszlás

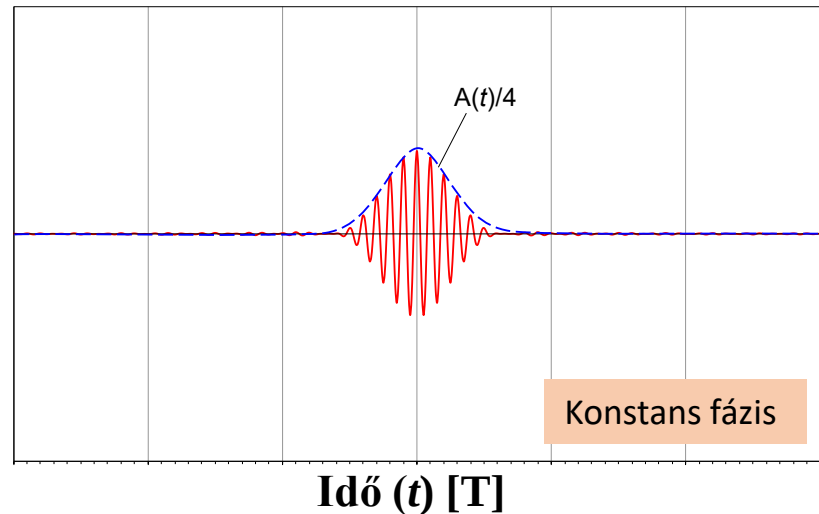


$$\Delta\nu = 2\sigma = \nu_0/10$$

Térerősség (E) [-]

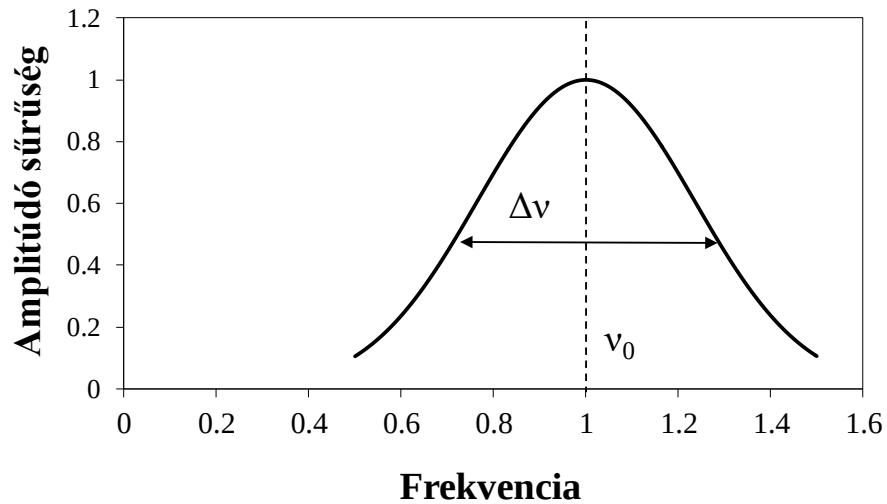


Térerősség (E) [-]



Inkoherens eset $\Delta\nu \approx \nu_0$

Normális eloszlás



$$\Delta\nu = 2\sigma = \nu_0/2$$

