

2. Kvantumfizikai jelenségek és fogalmak

2.1. EM SUGÁRZÁSOK KETTŐS TERMÉSZETE

1. Részecske- és hullámtulajdonságok EM jelenségekben

2. A Compton-jelenség

3. Kísérletek a fény részecske- vagy hullámjellegének eldöntésére

2.2. AZ ANYAGHULLÁMOK

1. Az elektronok elhajlása

2. Atom- és molekulanyalábok elhajlása

3. Hullámcsomag

2.3. MIKRORÉSZEK IMPULZUSMOMENTUMA

1. A H-atom Bohr-féle elmélete

2. Atomnyalábok mágneses analízise

3. Az elektron sajátperdülete (spinje)

4. Mikrorészecskék impulzusmomentuma

2. Kvantumfizikai jelenségek és fogalmak

Cél: azoknak a legfontosabb kísérleti eredményeknek és tényeknek az áttekintése, amelyek a kvantumfizika alapjait képezik

Terület: mikrofizika → tágabb, mint az atomfizika

2.1. EM SUGÁRZÁSOK KETTŐS TERMÉSZETE

1. Részecske- és hullámtulajdonságok E.M. jelenségekben

→ a klasszikus fizika máshol sikeres modelljeivel nem értelmezhető jelenségek a fény fizikájában

- *Elhajlás, interferencia, polarizáció* → hullámkép
- *energia és impulzus átadás* → részecskékép

A fotonhipotézis bevezetése: felületi fotoelektromos jelenség értelmezésénél
→ siker a leírásnál → a fény részecske-tulajdonságokat is mutat

- *Az optikai Doppler-jelenség*
- *A fénynyomás*

**[P.N. Lebegyev (1866-1912); 1900 körül
egyeznek az el. din. képleteivel (<%-ra)
Nagy asztrofizikai jelentősége van
– üstökösök csóvája
– csillagok belsejében kialakuló
viszonyok]**

**Hullámkép és fotonkép egyformán sikere-
sen leírja**

Ok:

- **fénynyomás → statisztikusan megfigyelt jelenség**
- **Doppler-effektus → mindkét képben helyesen van meg a koordinátatransz.**

2. A Compton-jelenség

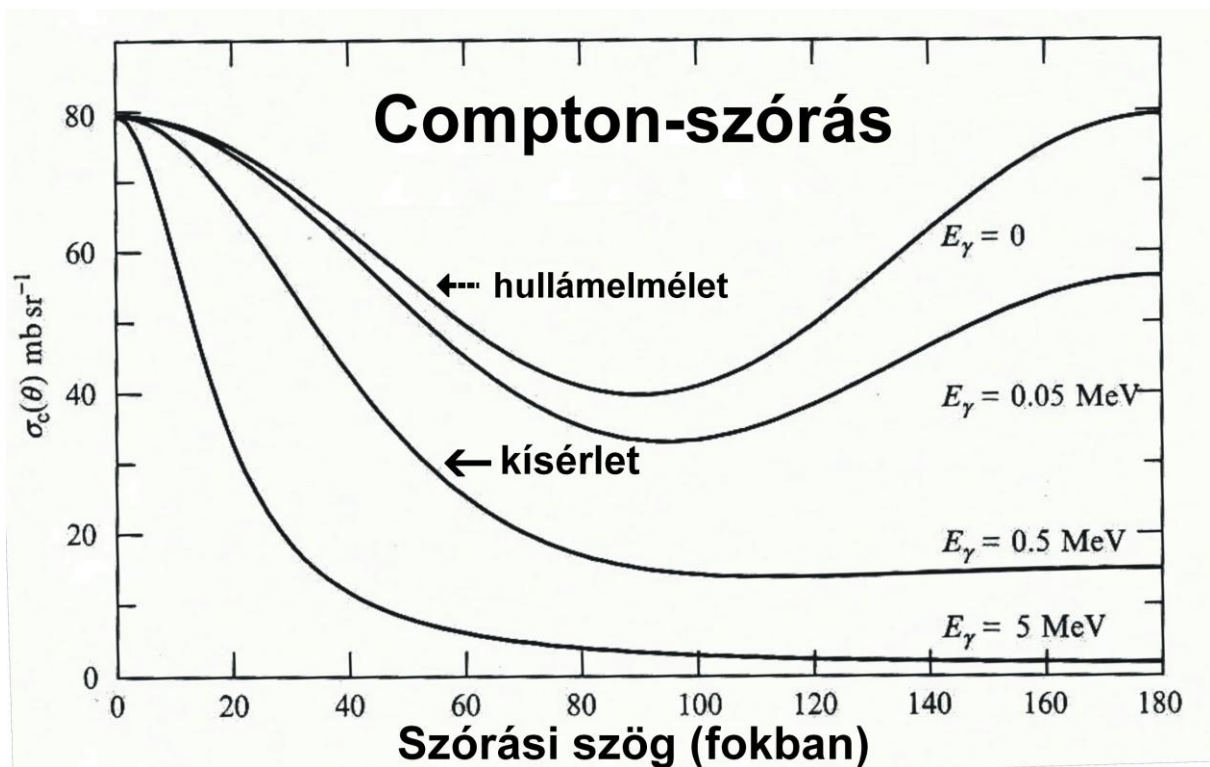
[ARTHUR HOLLY COMPTON (1892-1962)

effektus: 1922-1923; 1927: Nobel.díj]

Vizsgálta: Röntgen-sugarak szórása
paraffinon

- a szórt sugárzásban nagyobb hullámhosszú komponens
- szögeloszlás eltér a várttól (90°-ra szimmetrikusat várunk, nem az)

Compton-szórás hatáskeresztmetszete

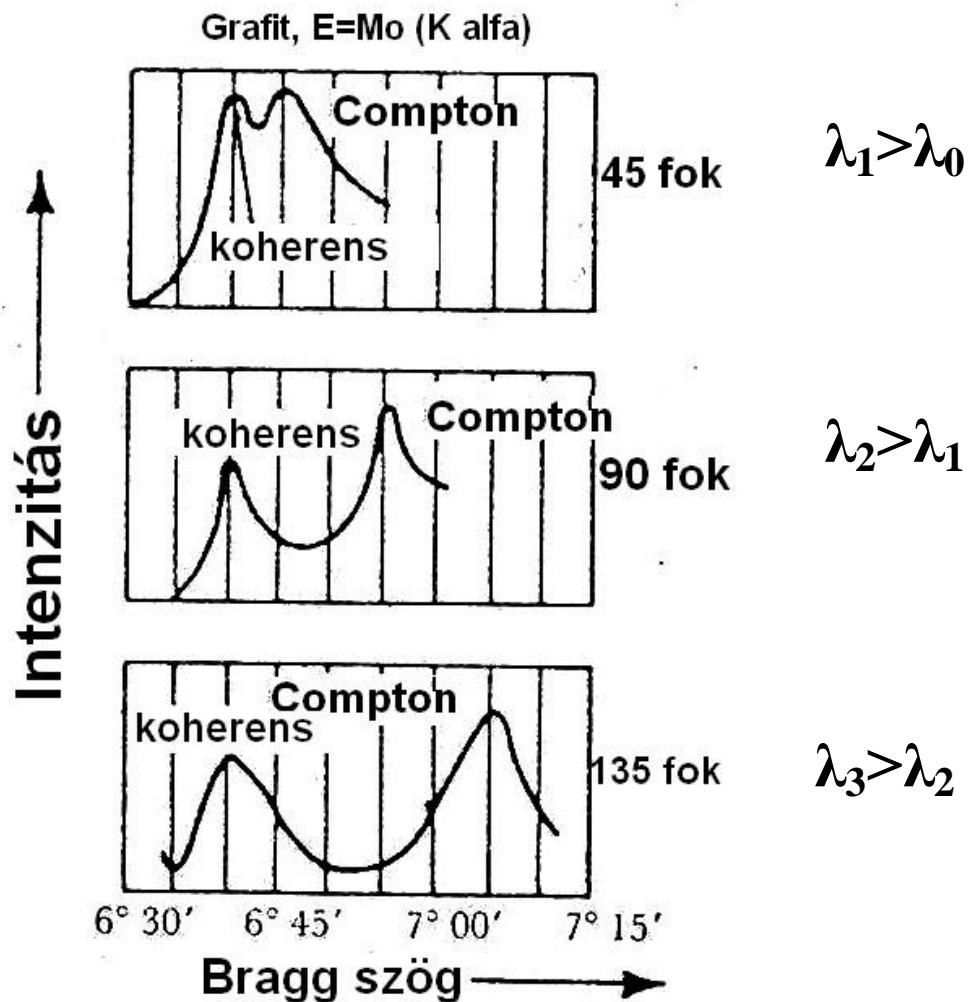


Hullámkép: polarizáció keresztül azonos frekvenciájú rezgés

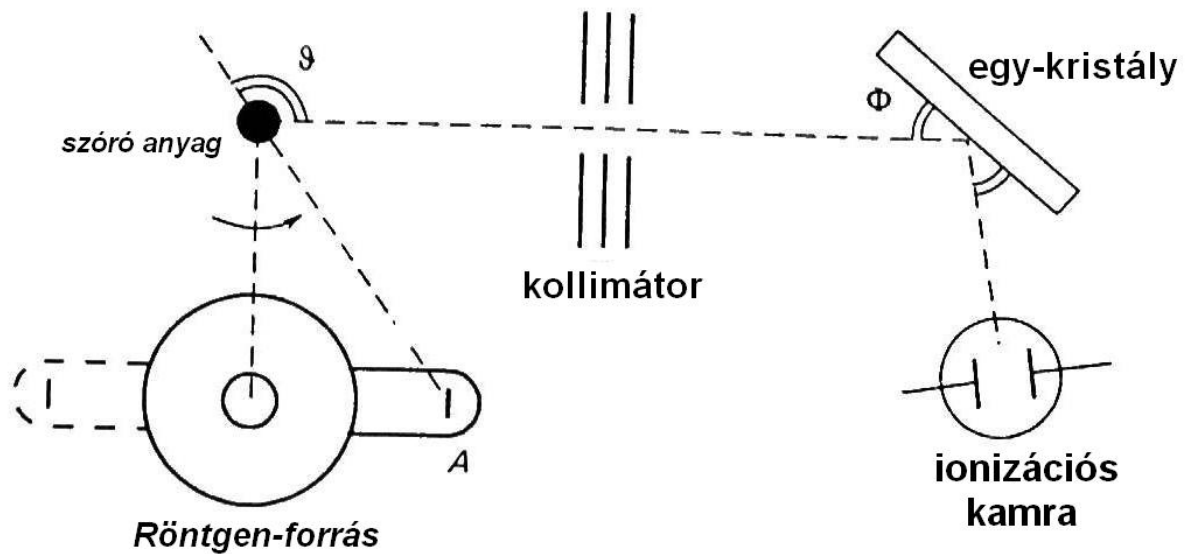
→ **nem nőhetne a hullámhossz** → **sikertelen!**

Röntgen-szórás grafiton

$$E_\gamma ({}_{42}\text{Mo}[\text{K}_\alpha]) = 19.61 \text{ keV}$$



Compton kísérlete:



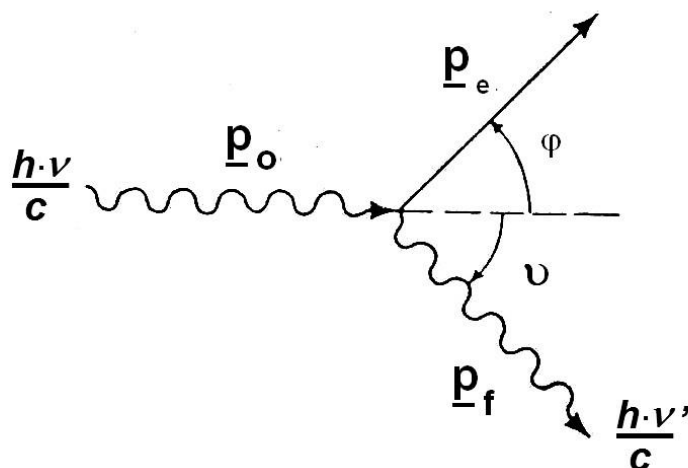
Magyarázat:

fotonképben (Compton – Debye)

[P. DEBEY (1884-1966); Nobel-díj 1936]

**Lényeg → foton elemi folyamatban hat
kölsön az elektronnal**

**Energia, impulzus és szögviszonyokat ez
határozza meg → helyes eredmény**



$$(I) \quad \underline{p}_0 = \underline{p}_e + \underline{p}_f$$

$$(II) \quad p_0 \cdot c + m_0 \cdot c^2 = \sqrt{p_e^2 \cdot c^2 + m_0^2 \cdot c^4} + p_f \cdot c$$

$$(I) \Rightarrow p_e^2 = p_0^2 + p_f^2 - 2 \cdot p_0 \cdot p_f \cdot \cos \nu$$

$$(II) \Rightarrow h \cdot \nu + m_0 \cdot c^2 = \sqrt{h^2 \cdot \nu^2 + h^2 \cdot \nu'^2 - 2 \cdot h \cdot \nu \cdot h \cdot \nu' \cdot \cos \nu} + m_0^2 \cdot c^4 + h \cdot \nu'$$

$$\rightarrow h \cdot \nu + m_0 \cdot c^2 - h \cdot \nu' = \sqrt{h^2 \cdot \nu^2 + h^2 \cdot \nu'^2 - 2 \cdot h^2 \cdot \nu \cdot \nu' \cdot \cos \nu} + m_0^2 \cdot c^4$$

$$- 2 \cdot h^2 \cdot \nu \cdot \nu' - 2 \cdot h \cdot \nu' \cdot m_0 \cdot c^2 + 2 \cdot h \cdot \nu \cdot m_0 \cdot c^2 = -2 \cdot h^2 \cdot \nu \cdot \nu' \cdot \cos \nu$$

Az eredmény:

$$h \cdot \nu' = \frac{h \cdot \nu \cdot m_0 \cdot c^2}{h \cdot \nu - h \cdot \nu \cdot \cos \nu + m_0 \cdot c^2} = \frac{h \cdot \nu}{\gamma(1 - \cos \nu) + 1}$$

ahol:
$$\gamma = \frac{h \cdot \nu}{m_0 \cdot c^2}$$

Az elektron energiája:

$$m \cdot c^2 - m_0 \cdot c^2 = h \cdot \nu - h \cdot \nu' = \frac{h \cdot \nu}{1 + \frac{1}{(1 - \cos \nu) \cdot \gamma}} = \frac{h \cdot \nu}{1 + \frac{m_0 \cdot c^2}{h \cdot \nu \cdot (1 - \cos \nu)}}$$

A szórt foton hullámhossz-változása:

$$\begin{aligned}\Delta\lambda &= \frac{c}{\nu'} - \frac{c}{\nu} = \frac{c}{\nu} \cdot \gamma \cdot (1 - \cos \nu) + \frac{c}{\nu} - \frac{c}{\nu} = \\ &= \frac{c}{\nu} \cdot \left(\frac{h \cdot \nu}{m_0 \cdot c^2} \right) \cdot (1 - \cos \nu) = \frac{h}{m_0 \cdot c} (1 - \cos \nu) = \frac{h}{m_0 \cdot c} \cdot 2 \cdot \sin^2 \frac{\nu}{2} = \\ &= 2 \cdot \Lambda \cdot \sin^2 \frac{\nu}{2}\end{aligned}$$

Compton hullámhossz Λ :

$$\frac{h}{m_0 \cdot c} = \Lambda \rightarrow \Lambda = 0.02477 \text{ \AA} = 2.427 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

Láttuk:
$$h \cdot \nu' = \frac{h \cdot \nu}{\gamma(1 - \cos \nu) + 1}$$

a) $\gamma \ll 1 \rightarrow h \cdot \nu \approx h \cdot \nu'$

b) $\gamma > 1$ és $\nu \gg 0$

$$h \cdot \nu' = \frac{h \cdot \nu}{\gamma \cdot (1 - \cos \nu) + 1} \approx \frac{m_0 \cdot c^2}{1 - \cos \nu}$$

$$\nu \sim \pi \rightarrow h \cdot \nu' \approx \frac{m_0 \cdot c^2}{2} = 250 \text{ keV}$$

Hullámhossz változás:

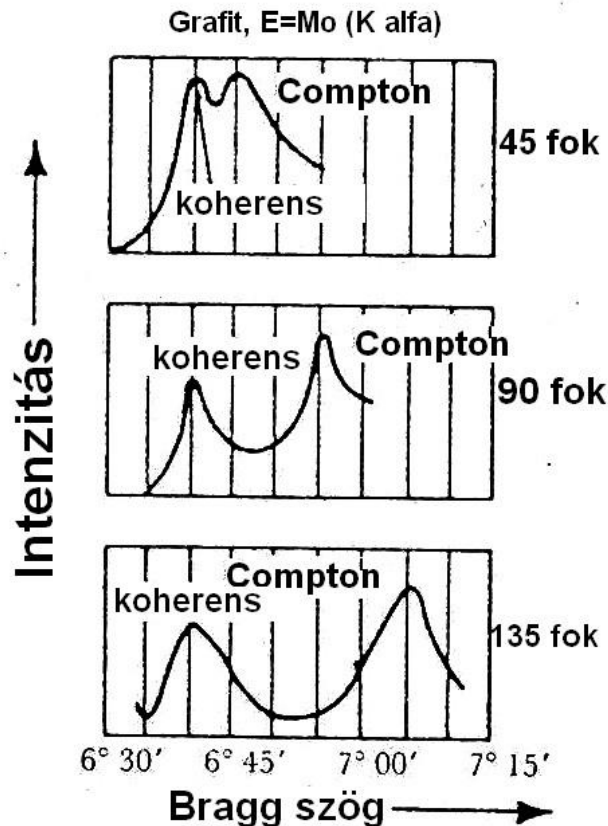
$$\Delta\Lambda_{\pi/2} = h/(m_0 \cdot c) = 2.427 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

$$\Delta\Lambda_{\max} = 2 \cdot h/(m_0 \cdot c) = 2 \cdot \Lambda$$

Lényeg: a Compton-szórás valóban elemi folyamat

Kísérlet: mindenben igazolja

Láttuk: szórási spektrum → két komponens



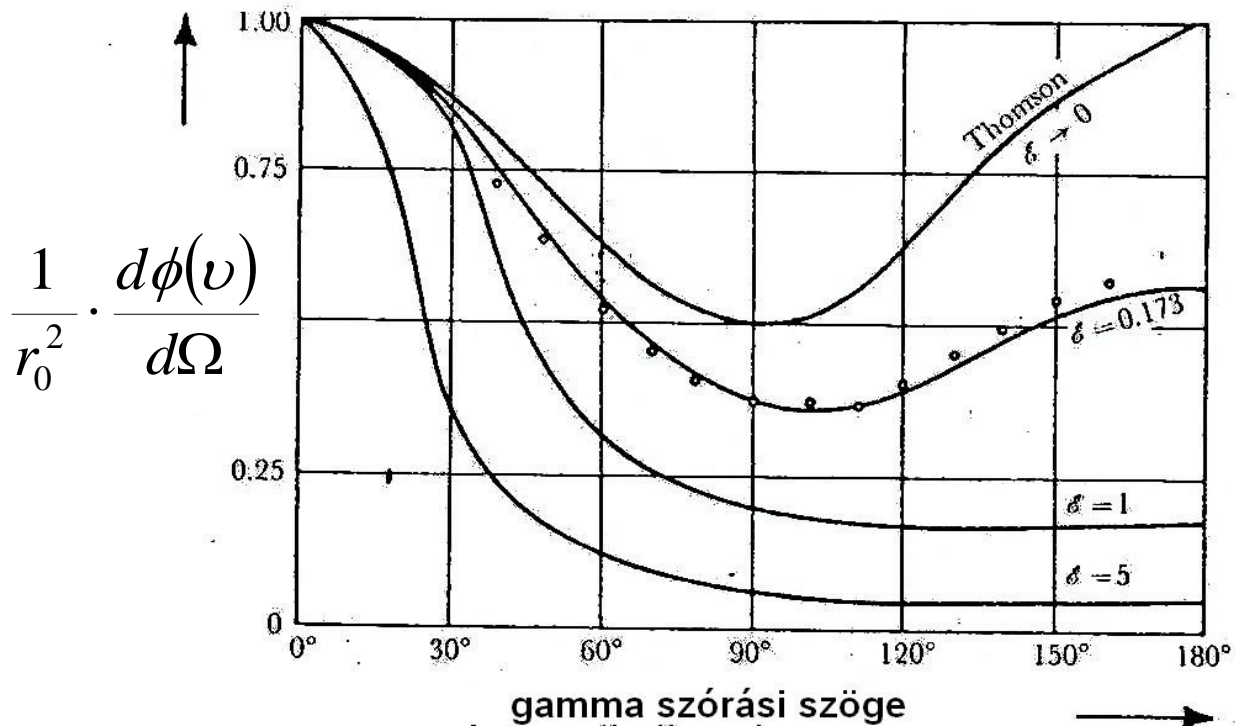
- **Compton-csúcs szélessége: impulzus-csere a maggal (a levezetés nem vette figyelembe)**
- **Nagy (néhány MeV) energián a rugalmas csúcs eltűnik**
- **Elektron és gamma foton kilépésének egyidejűsége**

egyidejűség: Bothe – Geiger először,
utánuk sokan: 10^{-11} sec-re egyidejűleg
(pl.: Bay Zoltán, Szepesi Zoltán)

- **Elektron energiája: a formula szerint**
- **Tényleges folyamatok:**
 hatáskeresztmetszet \rightarrow atomra \sim a résztvevő el. számával ($E > E_{\text{köt.}}$)
 $\sigma \sim Z$
- **Szabad el.ra: a szórt fotonok hatáskeresztmetszetének szögeloszlását a Klein – Nishina formula írja le**

$$d\phi(\nu) = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{e^2}{m_0 \cdot c^2} \right) \cdot \sin \nu \cdot \frac{1 + \cos^2 \nu}{2} \cdot \frac{1}{[1 + \gamma \cdot (1 - \cos \nu)]^2} \cdot \left[1 + \frac{\gamma^2 \cdot (1 - \cos \nu)^2}{[1 + \cos^2 \nu] \cdot [1 + \gamma \cdot (1 - \cos \nu)]} \right] d\nu$$

$$r_0 = \frac{e^2}{m_0 \cdot c^2} \rightarrow \text{a klasszikus el. sugár}$$



3. Kísérletek a fény részecske- vagy hullám-jellegének eldöntésére

Fény (E.M. sug.): részecske, vagy hullám?

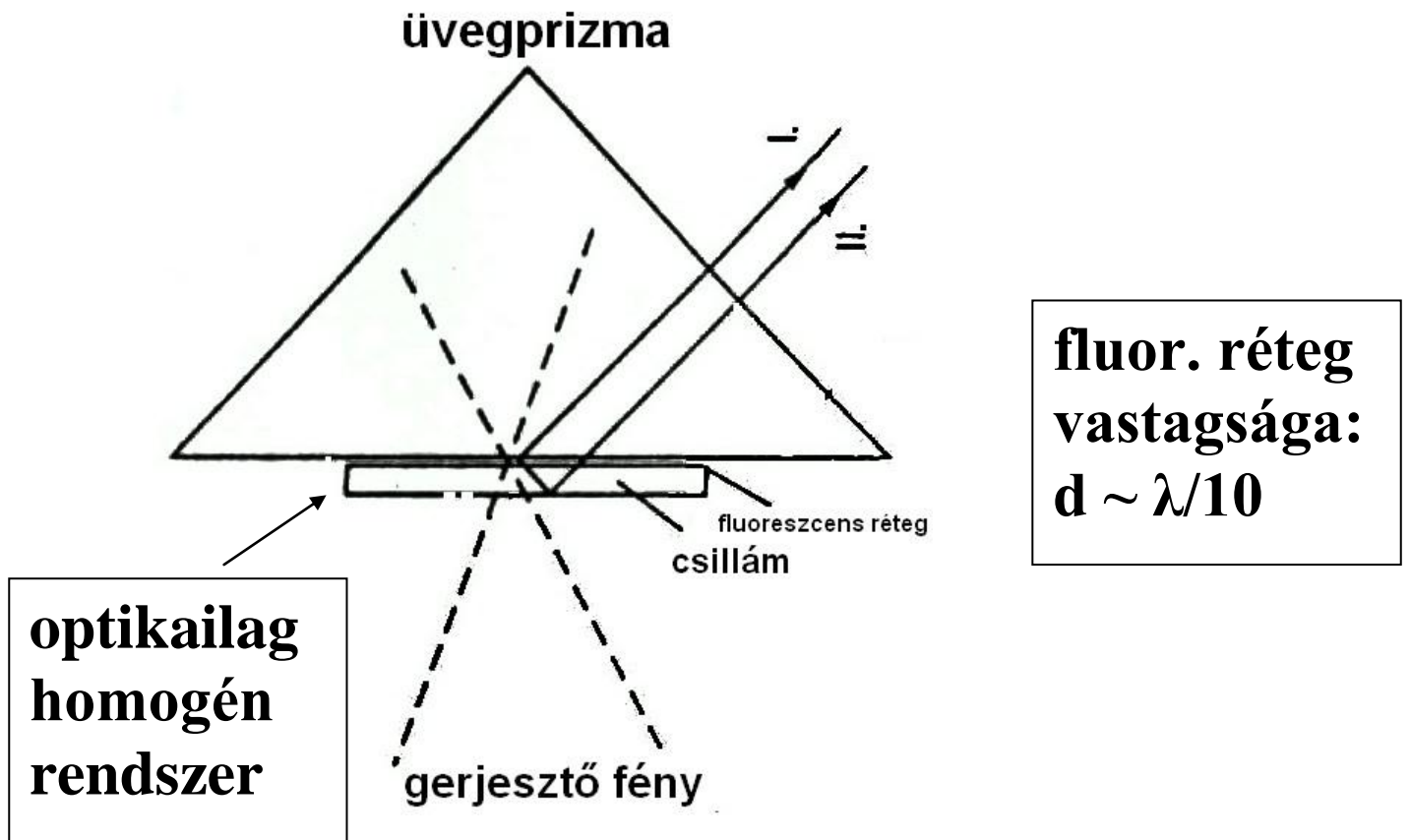
- **Einstein: túsugárzás elmélet (egy próbálkozás a sok közül)**
Lényeg: a foton kis térszögű, $\sim m$ hosszúságú hullámvonulat

Cáfolat: Selényi Pál kísérlete

[SELÉNYI PÁL (1884-1954), 1911, 1938]

Lényeg: nagyszögű interferencia (nyílásszög $> 90^\circ$ – nál is)

A Selényi kísérlet vázlatja

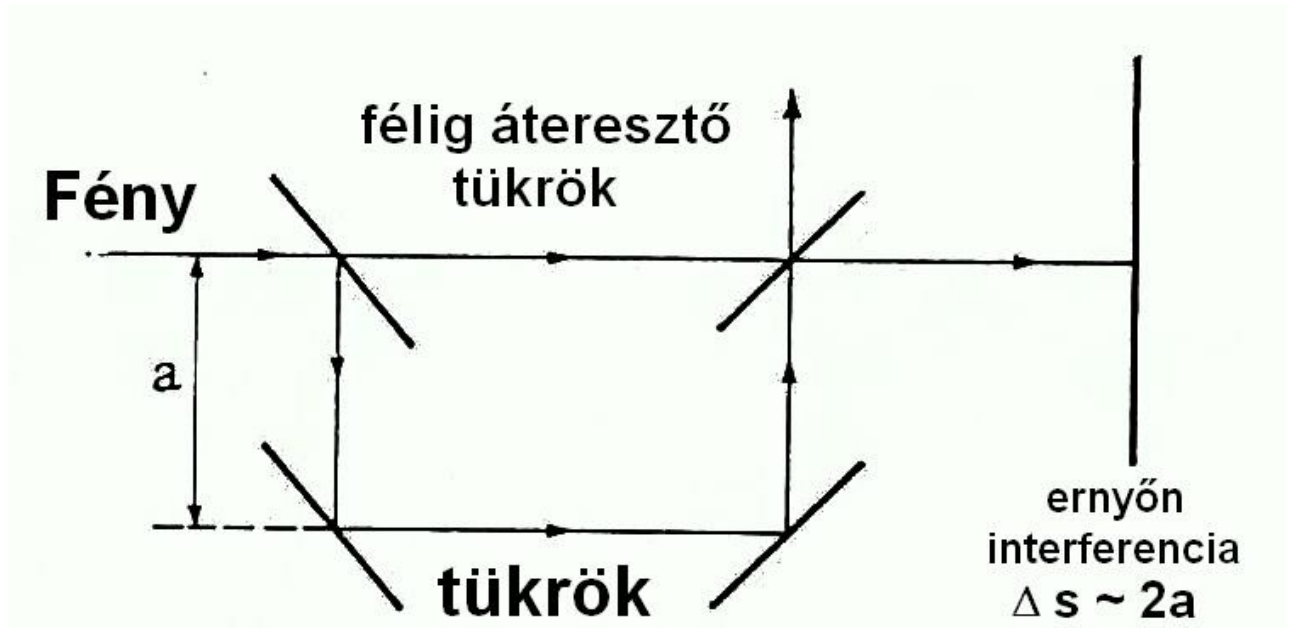


Interferencia megfigyelhető 180° -hoz közeli esetben is \rightarrow fény gömbhullámként viselkedik

- **Mentés: az interferencia több foton valamilyen kölcsönhatásának az eredménye**

Dirac tükörkísérlet-javaslatata

[P. DIRAC (1902–1984), Nobel-díj 1933]

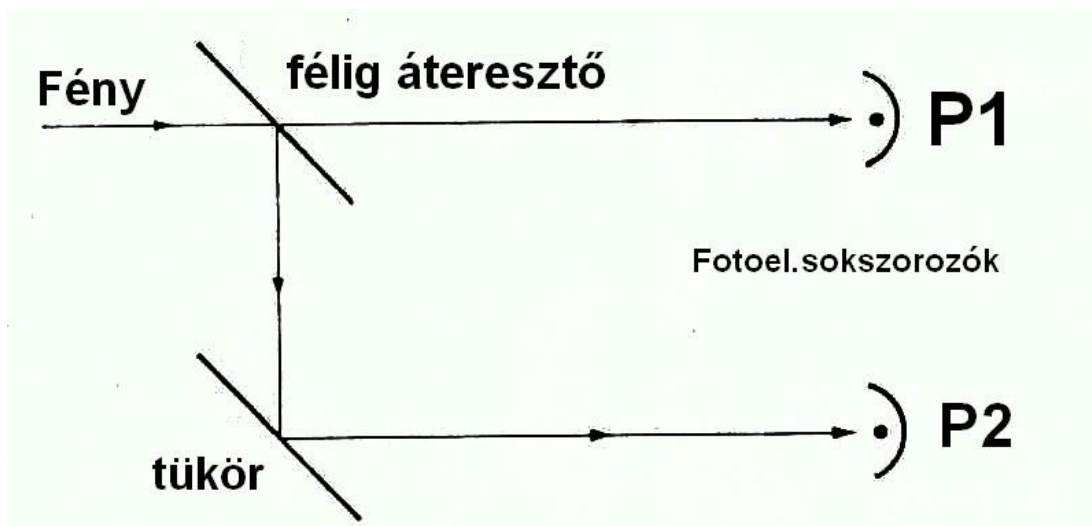


Jánossy Lajos (1956): nagy pontossággal

→ akkor is van interferencia, ha a rendszerben csak egy foton van

spektrométerkar > 13 m → nem ez okozza a jelenséget

Lehet-e fél fotont megfigyelni?



→ **nincs koincidencia (vagy egyik, vagy másik detektor szól)**

Következtetés: lehetetlen interferenciát megfigyelni és a foton útját is meghatározni

Elektromágneses jelenségek → a klasszikus fizika modelljei nem adnak helyes eredményt!