

Fizika mérnököknek 2.

10. előadás - Atomfizika

Mingesz Róbert

Szegedi Tudományegyetem

2010. április 19.

- 1 Transzportfolyamatok
 - Hőáramlás és hőszugárzás
 - Diffúzió
- 2 Atomfizika
- 3 Röntgensugárzás
 - A röntgensugárzás alkalmazásai
- 4 A hőmérsékleti sugárzás
 - A Planck-féle sugárzási törvény
- 5 A fény kettős természete
 - Fényelektromos jelenségek
 - A fény mint részecske
- 6 A mikrorészecskék kettős természete
- 7 A Heisenberg-féle határozatlansági reláció

- Hővezetési egyenlet:

$$\frac{\Delta Q}{A \Delta \tau} = -\alpha \Delta T$$

- Ha a hőmérséklet változik:

$$\frac{dQ}{A d\tau} = -\alpha(T - T_s)$$

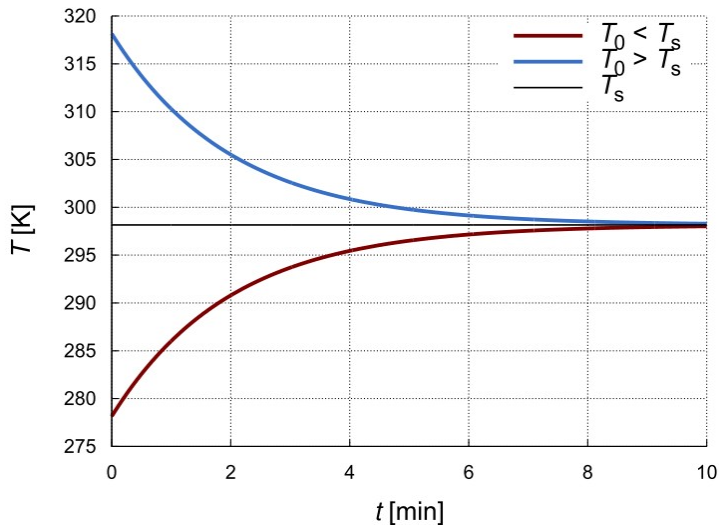
- Átrendezve:

$$\frac{C}{A} \frac{dT}{d\tau} = -\alpha(T - T_s)$$

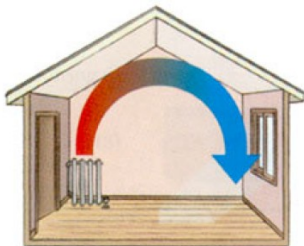
- Megoldva a differenciálegyenletet:

$$T = T_s + (T_0 - T_s)e^{-\frac{\alpha A}{C}\tau}$$

Newton-féle lehűlési törvény

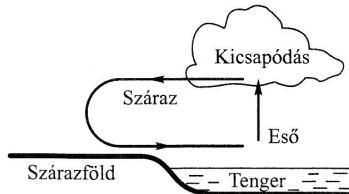
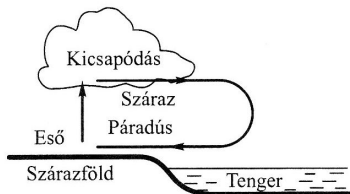
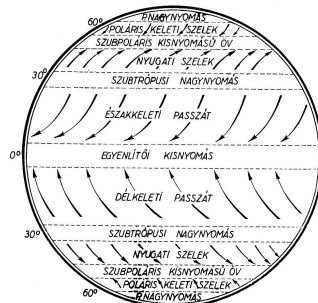
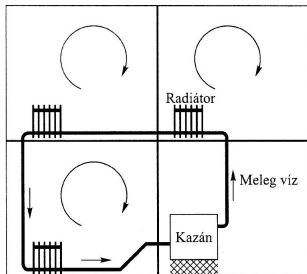


Hőáramlás



- A sűrűségkülönbség hatására indul meg
- α : hőáramlási együttható

$$\frac{\Delta Q}{A \Delta \tau} = -\alpha \Delta T$$



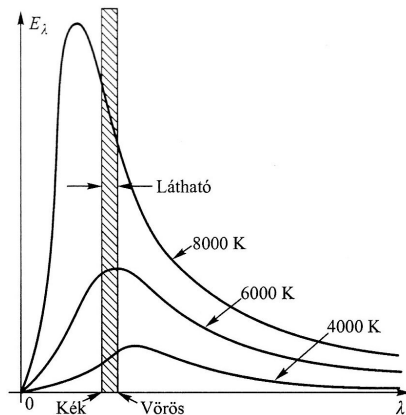
Hőszugárzás

- Magas hőmérséklet
⇒ elektromágneses sugárzás:
hőszugárzás
- **Stefan-Boltzmann-törvény:** a
kisugárzott hő

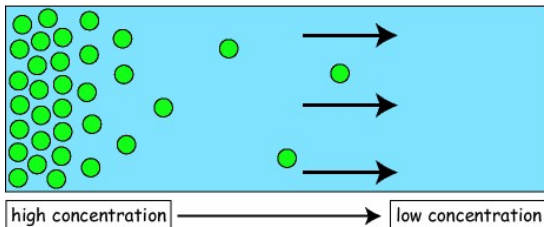
$$\frac{\Delta Q}{A \Delta \tau} = \epsilon \sigma T^4$$

- Az átadott hő két különböző
hőmérsékletű test között:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon \sigma A (T_2^4 - T_1^4)$$



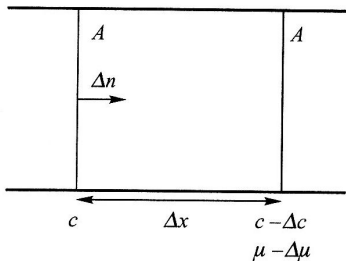
A diffúzió



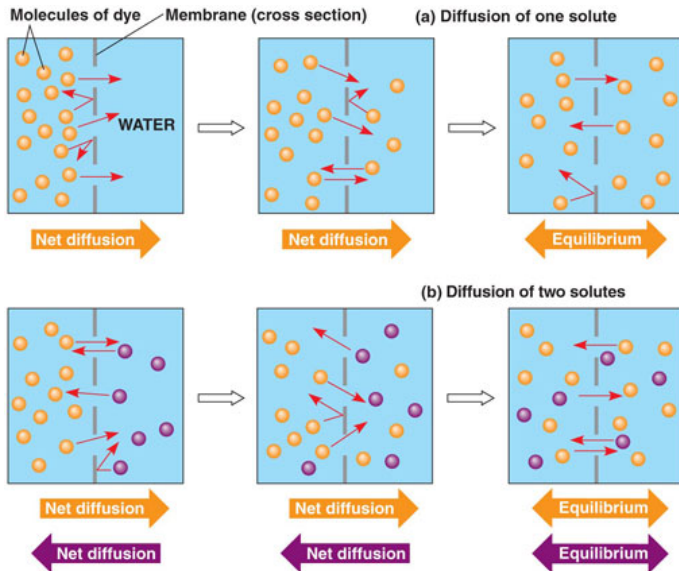
- Fick-törvény:

$$\frac{\Delta n}{A \Delta \tau} = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

D : diffúziós együttható

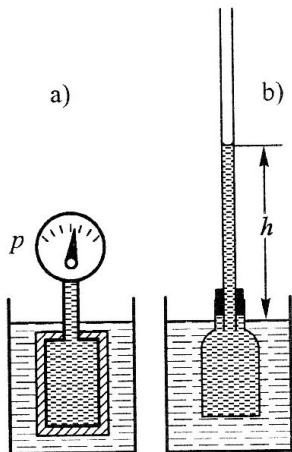


A diffúzió

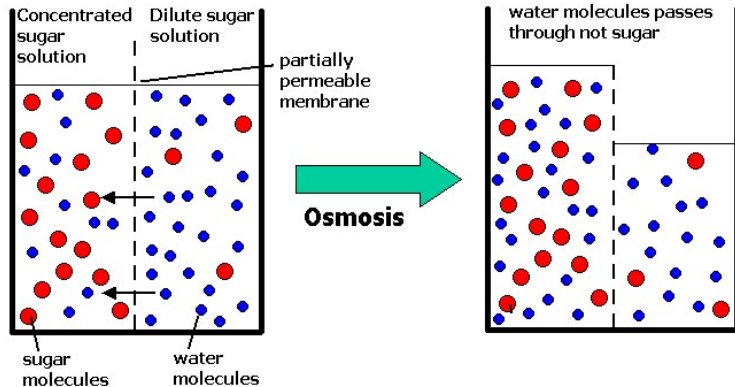


- Diffúzió \Rightarrow az anyag egyenletesen oszlik el
- Membránok, féligáteresztő hártyák: akadályozzák bizonyos részecskék mozgását (pl. oldott anyag)
 \Rightarrow ozmózisnyomás (Π)

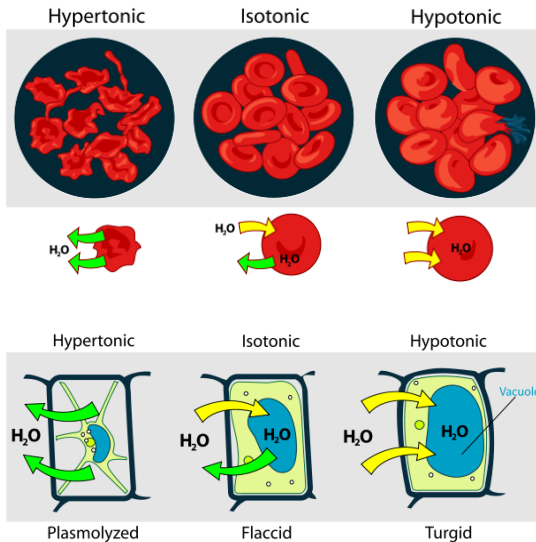
$$\Pi = cRT$$



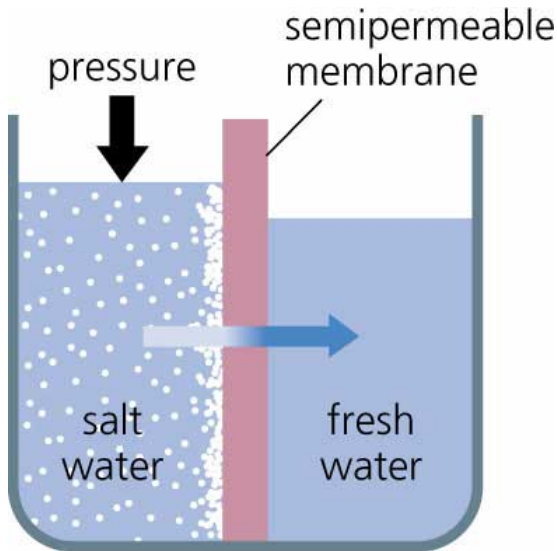
Ozmózis



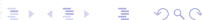
Ozmózis élő szervezetekben



Fordított ozmózis



Precision Graphics



● Héjfizika

- Az elektronszéj tulajdonságai
- Elektromágneses hullámok
- A részecskék kettős természete

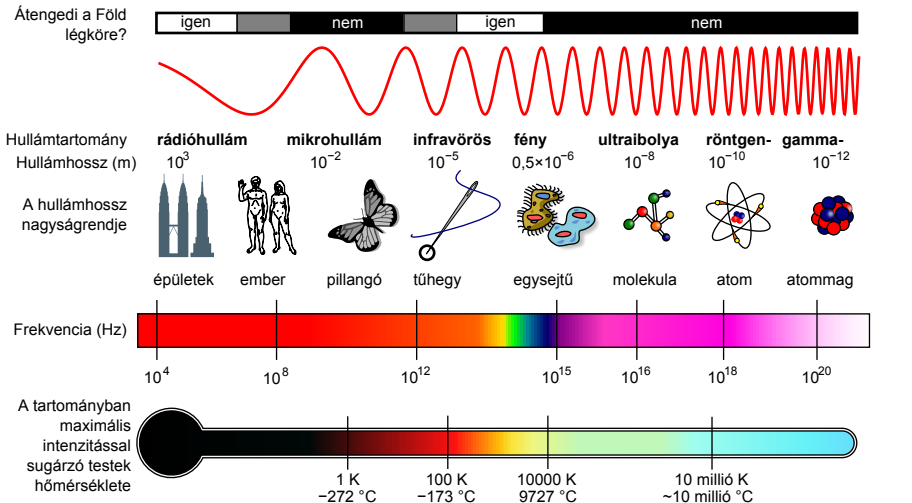
● Magfizika

- Az atommag szerkezete
- Radioaktív sugárzás
- Magreakciók
- Atomreaktorok működése
- A csillagokban lejátszódó folyamatok

● Részecskefizika

- Az anyag építőkövei
- Elemi részecskék
- Kozmikus sugárzás

Az elektromágneses spektrum



A röntgensugárzás

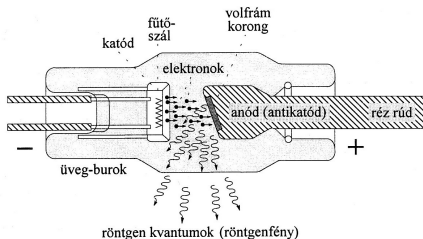
- Nagyenergiájú elektromágneses sugárzás

- Előállítása: röntgenső

Elektronok fékezése \Rightarrow fékezési röntgensugárzás

Jellemzői:

- erősség (intenzitás) – a fűtőáram függvénye
- keménység – a gyorsítófeszültség függvénye



A röntgensugárzás tulajdonságai

- Nagy frekvencia, kis hullámhossz (atomi nagyságrend)
- Fluoreszkáló hatást keltenek
- A fényképezőlemezt megfeketítik
- A levegőt ionizálják
- Nagy áthatolóképesség (függ az anyagtól)

A röntgensugárzás áthaladása anyagon

- Főbb folyamatok:

- Abszorpció (elnyelődés)
ionizáció (elektronok kiválása az atomokból)
- Szórás (szekunder röntgensugárzás)
 - szórt sugárzás (a primer sugárzással azonos hullámhossz)
 - karakterisztikus sugárzás (az anyagra jellemző, diszkrét hullámhossz)

- A röntgensugárzás gyengülése

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

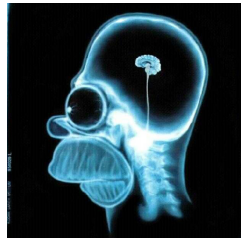
μ : gyengítési együttható. Függ:

- hullámhossz (λ)
- atomsúly (a nehéz atomok jól nyelik el)
- sűrűség

A víz és szerves anyagok alig, a csontok, fémek erősen gyengítik.

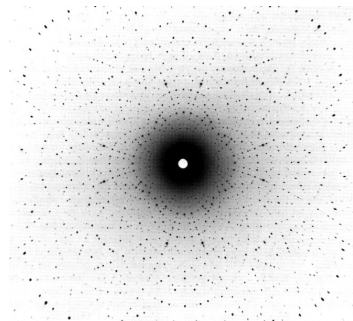
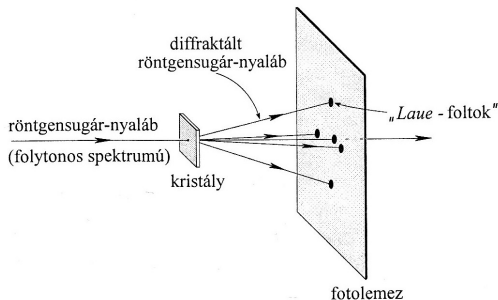
Gyakorlati alkalmazások

- Orvosi alkalmazások (\Rightarrow röntgen dózis)
- Technikai vizsgálatok
Szerkezet megállapítása, hibakeresés
- Anyagvizsgálat

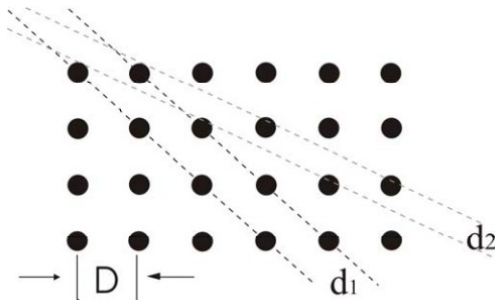
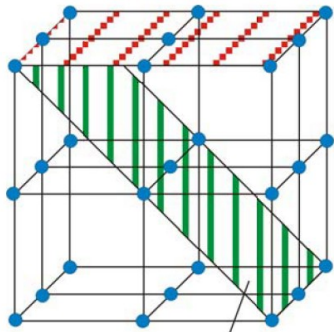


Laue-eljárás

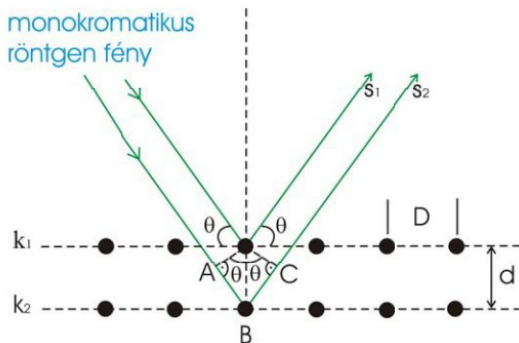
- Folytonos spektrumú röntgennyaláb + egykristály
⇒ bizonyos, jól meghatározott irányokba erősítés (interferencia)



Interferencia kristályokon



Interferencia kristályokon



- Az erősítés feltétele:

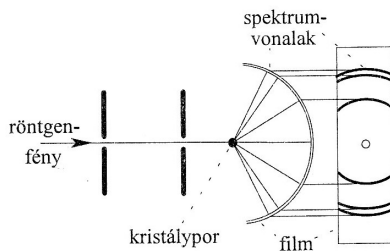
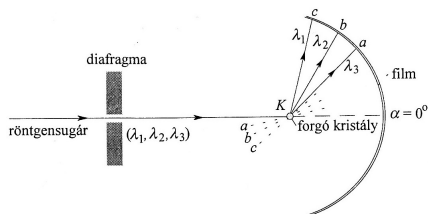
$$AB + BC = k\lambda$$

$$AB = BC = d \sin \theta$$

$$2d \sin \theta = k\lambda$$

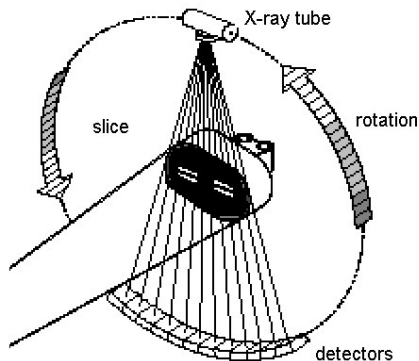
Interferencia kristályokon

- **Bragg-féle forgókristály módszer**
Spektrális analízis
- **Debye-Scherrer-féle por módszer**
Nincs szükség egykristályra. Kristályszerkezet elemzése.



Komputertomográfia

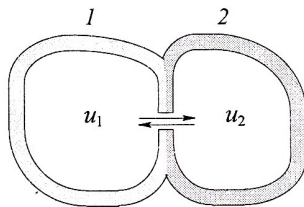
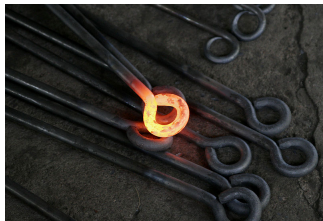
- Több irányból készített felvétel + számítógép
⇒ egy szelet képe
- Sok szelet ⇒ 3D kép



A hőmérsékleti sugárzás

• Tapasztalatok:

- A felmelegített testek hősugárzást bocsátanak ki (infravörös sugárzás majd látható)
- A melegebb test lehűl, a hideg felmelegszik
- A sugárzás erőssége a hőmérséklettel nő
- A spektrum a hőmérséklet függvénye
- Azon testek sugároznak jól, melyek jól abszorbeálnak
- Egyensúly a testek és a tér között
- Egyensúly a különböző térrészek elektromágneses energiasűrűsége között



A hőmérsékleti sugárzás

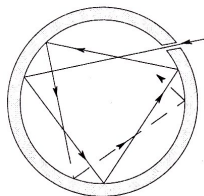
- **Emisszióképesség** $e(\nu, T)$: egységnyi felület egységnyi frekvenciatartományban kisugárzott teljesítménye

$$e(T) = \int e(\nu, T) d\nu$$

- **abszorpcióképesség** $a(\nu, T)$: a sugárzás mekkora részét nyeli el
- **Abszolút fekete test**: a ráeső elektromágneses sugárzást teljes egészében elnyeli $\Rightarrow a(\nu, T) = A(\nu, T) = 1$
Emisszióképessége: $E(\nu, T)$

- **Spektrális energiasűrűség**: $u(\nu, T)$
- **Kirchhoff-törvény**:

$$\frac{e(\nu, T)}{a(\nu, T)} = \frac{E(\nu, T)}{A(\nu, T)} = \frac{c}{2\pi} u(\nu, T)$$



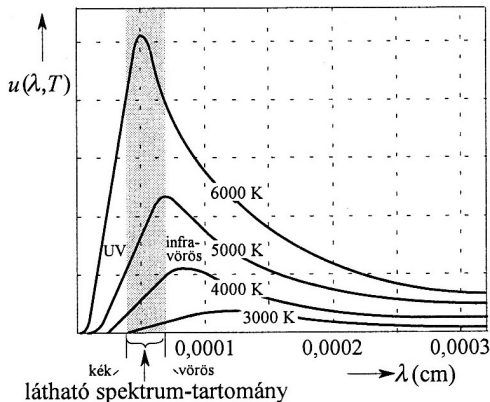
A Stefan-Boltzmann-féle törvény

- A Stefan-Boltzmann-féle törvény:

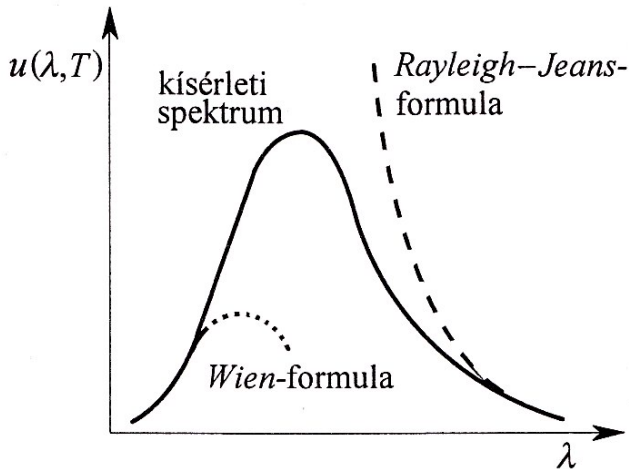
$$E(T) = \sigma T^4$$

- Wien-féle eltolódási törvény:

$$\lambda_{\max} T = \text{konstans}$$



A Planck-féle sugárzási törvény



- Korábbi elméletek \Rightarrow hibás eredmények

A Planck-féle sugárzási törvény

Kiinduló feltételezések:

- Hőmérséklet \Rightarrow hőmozgás \Rightarrow a töltések apró (különböző frekvenciájú) oszcillátorként működnek
- Ezek az atomi oszcillátorok kölcsönhatnak az elektromágneses térrel \Rightarrow energiacsere az anyag és a tér között
- Az oszcillátorok energiája nem lehet tetszőleges, hanem egy minimális egységnek az egész számú többszöröse:

$$\epsilon_n = n \cdot \epsilon_0, \quad \epsilon_0 = h \cdot \nu$$

Planck állandó: $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

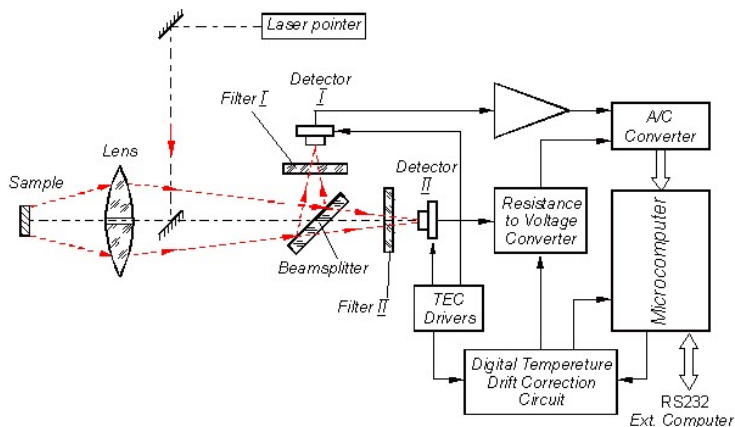
- Az energiaátadás a tér és az anyag között is csak ezeket a diszkrét értékeket veheti fel

A végeredmény:

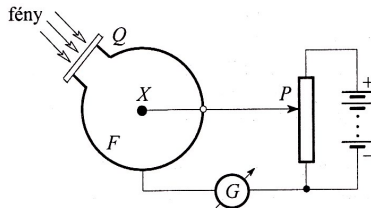
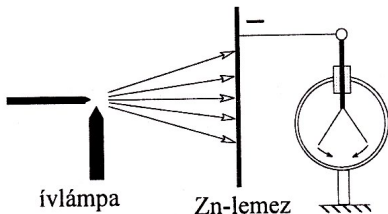
$$u(\nu, T) = \frac{4\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

A pirométer

- Magas hőmérsékletek mérése:
 - sugárzás intenzitása
 - a sugárzás hullámhossza (\Rightarrow színhőmérséklet)

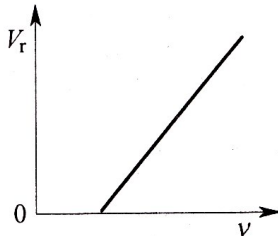
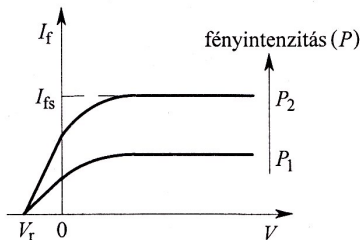


Fényelektromos jelenségek



- Fény hatására elektronok lépnek ki a fémből (fotoeffektus)
- Fotocella: fény hatására áram indul meg

A fotocella árama



- A fényintenzitás a maximális áramot határozza meg
- A fény hullámhossza az elektronok maximális energiáját határozza meg
- Az elektronok kilépése azonnal bekövetkezik
- Ezek a jelenségek a fény hullámelméletének ellentmondanak

Einstein-féle fényelektromos egyenlet

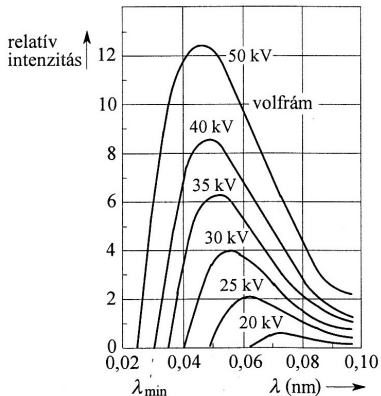
- **Fotonhipotézis:** a fény diszkrét, $h\nu$ energiájú fénykvantumokból (fotonokból) áll, melyek egyenes vonalban, fénysebességgel mozognak
A foton energiája:

$$E_{\text{foton}} = h\nu$$

- A kilépő elektronok maximális energiája (Einstein-féle fényelektromos egyenlet):

$$\frac{1}{2}mv_{\text{max}}^2 = h\nu - A$$

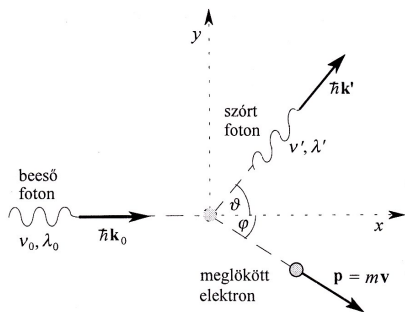
ahol A : a kilépési munka (anyagra jellemző)



- Egy röntgen foton csak egy elektrontól kaphat energiát

$$h\nu_{\max} = h \frac{c}{\lambda_{\min}} = \frac{1}{2}mv^2 = eV$$

A Compton-effektus



- Röntgenfotonok rugalmas ütközése elektronokkal: úgy viselkednek, mint egy részecske
- A foton tömege és impulzusa:

$$m_{\text{foton}} = \frac{h\nu}{c^2}$$

$$p_{\text{foton}} = \frac{h\nu}{c}$$

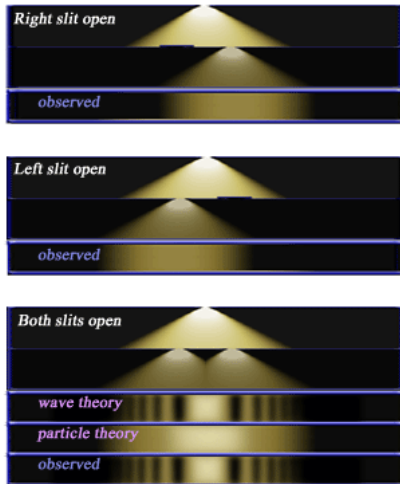
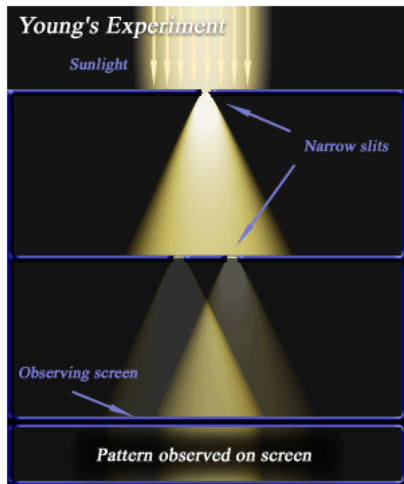
- Hullámszámvektor bevezetésével:

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad \mathbf{p}_{\text{foton}} = \hbar \cdot \mathbf{k}$$

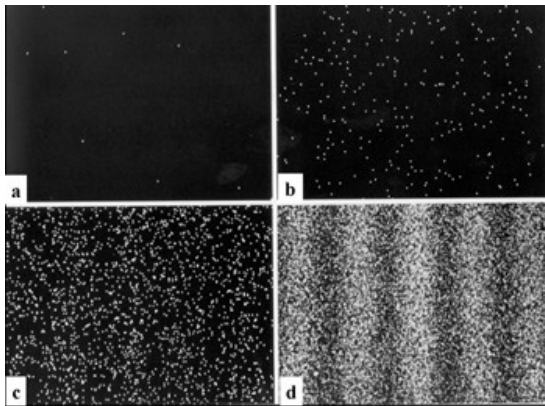
A fény kettős természete

- Hullámtermészet (elektromágneses hullám)
 - interferencia
 - polarizáció
- Részecske természet (meghatározott energia, impulzus és tömeg)
 - fotoeffektus
 - Compton-szórás
- Mindkét módon magyarázható jelenségek:
 - fénynyomás
 - Doppler-effektus

Interferencia



Elektronok interferenciája



- Az elektronok eloszlása ugyanolyan mintát követ, mint a fény interferenciaképe
(akkor is, ha egyszerre csak egy elektron van a rendszerben)

A mikrorészecskék kettős természete

- De Broglie: nem csak a fény, hanem minden mikroszkópikus részecske rendelkezik kettős természettel
- A részecskék mozgását egy hullámfüggvény írja le (\Rightarrow kvantummechanika)

$$mv = p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

$$\nu = \frac{E}{h} = \frac{mc^2}{h}$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

$$\Psi = Ae^{i(\mathbf{k}\mathbf{r} - \omega t)}$$

Az elektronok kettős természete

- Ha az elektronokat felgyorsító feszültség: $U = 10^5 \text{ V}$
 $\Rightarrow \lambda \approx 0,04 \cdot 10^{-10} \text{ m}$
Ez megegyezik a röntgensugárzás hullámhosszával
- Diffrakciós kísérletek
(Laue, Bragg, Debye-Scherrer)
- Elhajlás, interferencia
- Elektronmikroszkóp: az elektronok hullámhossza befolyásolja a felbontást

Hasonlóan lehet vizsgálni az atomsugarak, molekulásugarak valamint a neutronok diffrakcióját (Stern és munkatársai)

A Heisenberg-féle határozatlansági reláció

- Egy részecske bizonyos megfigyelhető változóit (fizikai tulajdonságait) nem lehet egyszerre tetszőleges pontossággal meghatározni.
- Részecske helye és impulzusa
ok: de Broglie hullámok valószínűségi jelentése

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar/2$$

- Energia - idő
Pl. egy energiaállapot energiájának meghatározottsága és az adott állapot élettartalma

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$$