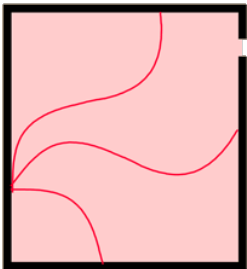


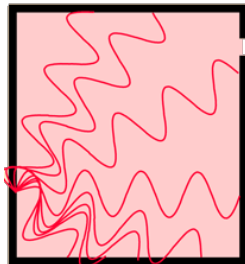
A kvantummechanika kísérleti előzményei

Hőmérsékleti sugárzás (fekete test sugárzás)

Mi az a “fekete test”?



Üreg egy kis nyílással. Az üreg minden hullámhosszu elektromágneses hullámot tökéletesen vissza ver. Csak azok a módusok valósulhatnak meg, amelyek eltűnnek az üreg határán! (Mikrohullámú sütő.)



A megvalósuló módusok száma függ a ν frekvenciától. Minél nagyobb a frekvencia annál több módus fér bele az üregbe:

$$n(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3}$$

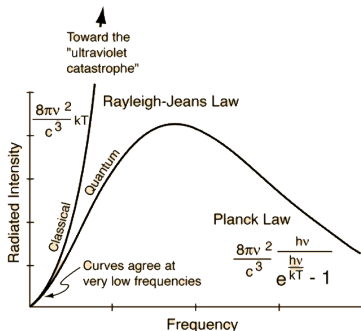
Hőmérsékleti sugárzás (fekete test sugárzás)

Mi a gond ezzel?

A statisztikus fizika szerint termikus egyensúlyban minden módusra $k_B T$ energia jut. A ν , $\nu + \Delta\nu$ tartományban, egységnyi térfogatban kisugárzott energia:

$$E(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} k_B T$$

Az összes kisugárzott energia ennek a frekvencia szerinti integrálja, ami **divergál!** Ultraibolya katasztrófa.



A természetben nem találkozunk ilyen katasztrófával.

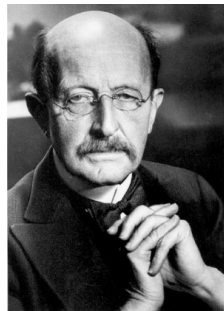
Hőmérsékleti sugárzás (fekete test sugárzás)

Az elektromágneses sugárzás energiája legyen kvantált: $E_n(\nu) = nh\nu$! Az energia várható értéke:

$$E(\nu) = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} E_n e^{-\beta E_n}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-\beta E_n}}, \quad \beta = \frac{1}{k_B T}$$

Vezessük be a

$$Z = -\ln \sum_{n=0}^{\infty} e^{-\beta E_n} \quad \text{mennyiséget.}$$



Max Planck

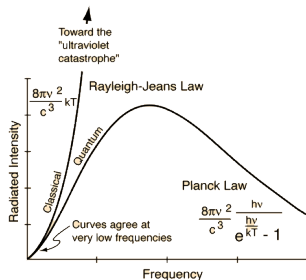
$$\frac{\partial Z}{\partial \beta} = -\frac{\partial}{\partial \beta} \left(\ln \sum_{n=0}^{\infty} e^{-\beta E_n} \right) = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} E_n e^{-\beta E_n}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-\beta E_n}} = E(\nu)$$

Hőmérsékleti sugárzás (fekete test sugárzás)

Az állapotösszeg:

$$\begin{aligned}\sum_{n=0}^{\infty} e^{-\beta E_n} &= \sum_{n=0}^{\infty} e^{-\beta n h \nu} \\ &= \underbrace{\sum_{n=0}^{\infty} \left(e^{-\beta h \nu} \right)^n}_{\text{geometriai sor}} = \frac{1}{1 - e^{-\beta h \nu}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial Z}{\partial \beta} &= -\frac{\partial}{\partial \beta} \ln \left(\frac{1}{1 - e^{-\beta h \nu}} \right) \\ &= \frac{\partial}{\partial \beta} \ln(1 - e^{-\beta h \nu}) = \frac{h \nu e^{-\beta h \nu}}{1 - e^{-\beta h \nu}}\end{aligned}$$

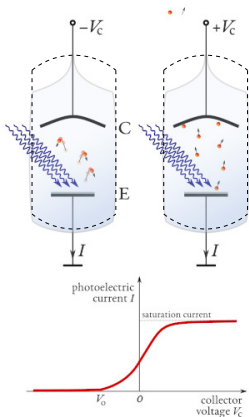


Az egységi térfogatból
kisugárzott energia a
 $\nu, \nu + \Delta\nu$ frekvencia tar-
tományban:

$$E(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu e^{-\beta h \nu}}{1 - e^{-\beta h \nu}}$$

Foto effektus

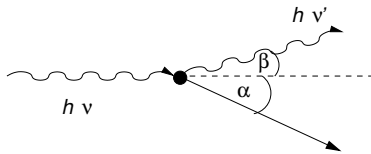
Az elektromágneses sugárzás energiája $h\nu$ kvantumonként változik $\Rightarrow$ hullám és részecske természet egyszerre?



A fotonok hatására elektronok lépnek ki a katódból. Az elektronok energiája $E = h\nu - E_0$, E_0 : kilépési munka. Ha az anód pozitív a katódhoz képest, a kilépő elektronok beleütköznek az anódba, anód áramot hoznak létre. Ha az anód negítvabb a katódnál és az anód feszültség nagyobb mint a kilépő elektronok energiája: $eV_A > h\nu - E_0$, nincs anód áram. A fény intenzitásának a növelésével a fotonok száma nő, de azok energiája változatlan marad! (video)

Compton effektus

A fény szóródik az elektronokon, úgy viselkedik mint egy részecske.



$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos(\beta))$$

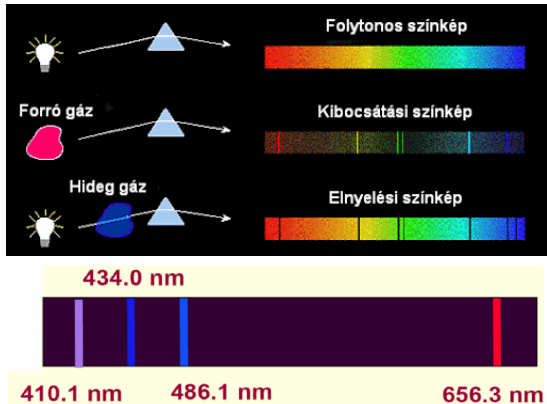
Négyes impulzus megmaradás:

$$h\nu + m_0c^2 = h\nu' + mc^2$$

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'} \cos(\beta) + mv \cos(\alpha)$$

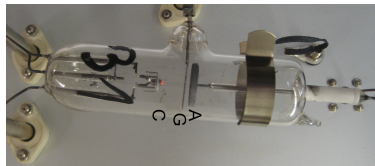
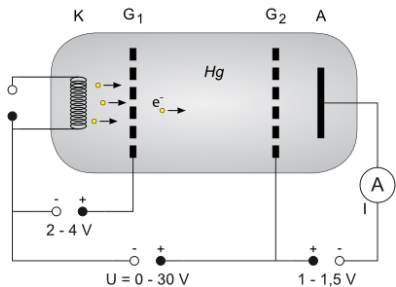
$$0 = \frac{h}{\lambda'} \sin(\beta) - mv \sin(\alpha)$$

Vonalas színekép

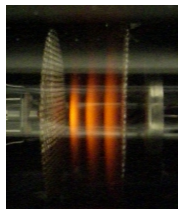
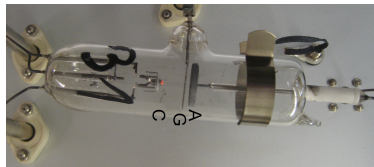
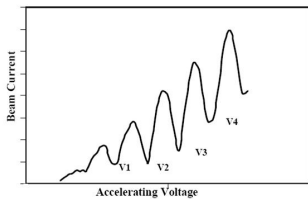
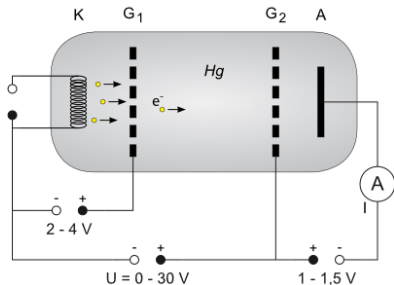


Honnan származnak a "vonalak"? Csak diszkrét energia különbségek lehetnek az atomi spektumban? Ha az elektron a mag körül kering, miért nem sugároz? Miért nem esik bele a pozitív magba? Bohr modell: a perdület is kvantált:
$$L = nh/2\pi.$$

Franck-Hercz kísérlet (video)



Franck-Hercz kísérlet (video)



Részecske hullámtermészet

Részecske-hullám dualitás

Louis de Broglie - analógia a fotonokkal

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{h}{p}$$

- Elektron diffrakció (video)
- Két résen egyszerre áthaladó atomok és molekulák interferenciája

