

Fizika mérnököknek 2.

11. előadás - Atomfizika

Mingesz Róbert

Szegedi Tudományegyetem

2010. április 26.

1 Az atomfogalom kialakulása

2 A Bohr-féle atommodell

A kvantumszámok

A Pauli-elv

3 Az atomok színeképe

Spontán és kényszerített emisszió

Lumineszcencia sugárzások

Lézerek

Az atomfogalom kialakulása

Görögök:

Leukipposz, Démokritosz: minden létező kicsiny, az érzékszervek által nem látható atomokból áll.

Állandó súlyviszonyok törvénye \Rightarrow

Dalton: az elemek kis részecskékből, atomokból állnak, a vegyületek ezek egyesülnek

Avogadro-törvény: azonos térfogatú, nyomású és hőmérsékletű gáz azonos számú molekulát tartalmaz

Brown-féle mozgás: a gáz és folyadékok részecskéinek véletlenszerű mozgása

Kinetikus gázelmélet

Az atomfogalom kialakulása

Laue: röntgensugarak elhajlása (\Rightarrow kristályrács)

Prout: minden elem hidrogénatomokból áll

Mengyelejev: az elemek tulajdonságainak szabályszerűségei \Rightarrow periódusos rendszer

Az elektrolízis Faraday-féle törvényei

Katódsugarak: az anyagból elektronok lépnek ki

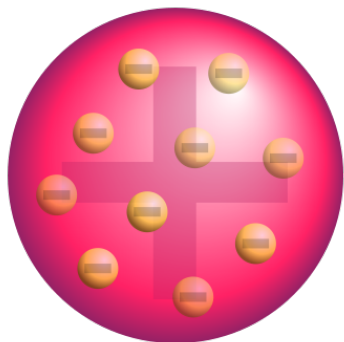
Elektron töltésének és tömegének hányadosa Millikan-kísérlet: az elemi töltés nagysága

Az energia kvantáltsága, részecske-hullám kettősség

- Planck-féle sugárzási törvény
- Optikai spektrumok \Rightarrow Bohr-féle atommodell
- A fény részecsketermészete
- A részecskék hullámtermészete

\Rightarrow Kvantummechanika

A Thomson-féle atommodell



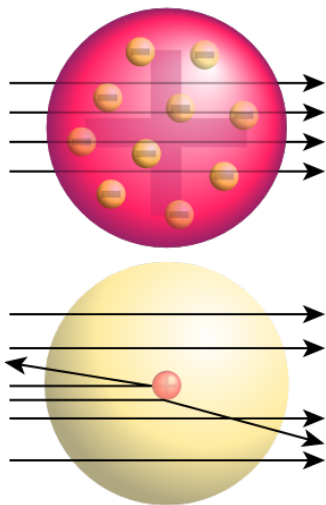
A + töltés egy tömör gömbben egyenletesen oszlik el

A pontszerű elektronok ebben a gömbben helyezkednek el (mazsolás puding)

Katódsugarak szóródása \Rightarrow az anyag nem lehet tömör

Lénárd-féle atommodell: a + töltések kis helyeken csoportosulnak

Rutherford-féle atommodell



Rutherford-féle szórás kísérlet:
 α -sugarak szórása aranyfólián

Az eltérülő részecskék
eloszlásából következtetni lehet
az anyag szerkezetére.

Az + töltés kis térfogatban
összpontosul

Az atommag körül keringenek az
elektronok

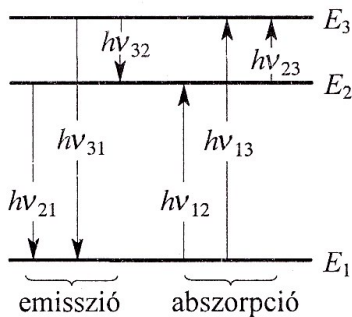
A klasszikus elektrodinamika
szerint a keringő elektronok
sugároznak, így energiát
veszítenek, majd beesnek az
atommagba \Rightarrow ez a modell
instabil.

A Bohr-féle atommodell

Az atom elektronjai csak stacionárius, állandó energiájú pályákon tartozkodhatnak

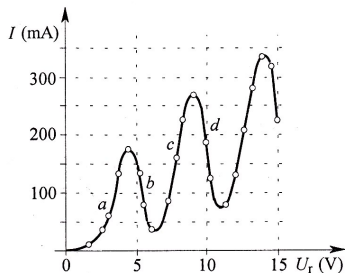
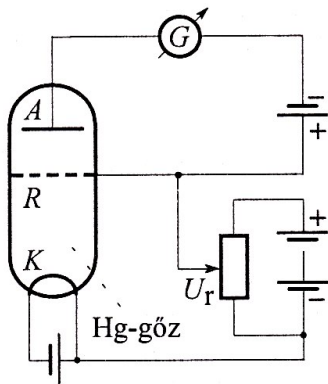
⇒ az atom nem sugároz

Sugárzás abszorpciója vagy emissziója csak stacionárius állapotok közötti átmenetkor lehetséges



$$h\nu = E_n - E_k$$

Franck-Hertz kísérlet



A meghatározott energiájú elektronok átadják energiájukat a gáznak, ekkor lefékeződnek

Az atomi energianívók

Diszkrét, jól meghatározott energiaszintek

Energiaközlés a környezettel \Rightarrow elektromágneses hullám:
jól meghatározott, diszkrét energiacsomagok

$$h\nu = E_n - E_k$$

Idő mérése: $T = 1/\nu$

Távolság mérése: $\lambda = c/\nu$

A hidrogén atom Bohr-féle elmélete

A hidrogén atom:

- atommag: M tömegű, $+e$ töltésű, nyugalomban van; $Z = 1$
- elektron: m tömegű, $-e$ töltésű, körpályán kering

Bohr-féle kvantálási feltétel: az impulzusmomentum csak diszkrét értéket vehet fel

$$mrv = n \frac{h}{2\pi}$$

ahol n : **főkvantumszám**

A körpálya feltétele:

$$m \frac{v^2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r^2}$$

A pálya sugara:

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{Zme^2} n^2$$

A hidrogén atom Bohr-féle elmélete

A elektron energiája:

$$E_n = -\frac{Z^2 e^4 m}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2} \frac{1}{n^2} + E_0$$

Az állapotok közötti átmenetkor kisugárzott energia:
(kezdőállapot: n , végállapot: k)

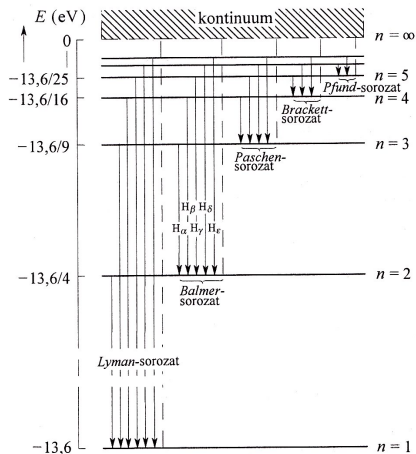
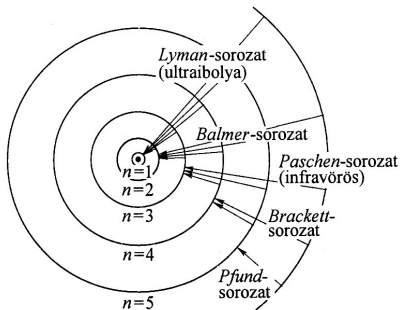
$$h\nu = E_n - E_k = \frac{Z^2 e^4 m}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2} \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Rydberg-állandó:

$$R = \frac{e^4 m}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^3 c}$$

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

A hidrogén atom spektruma



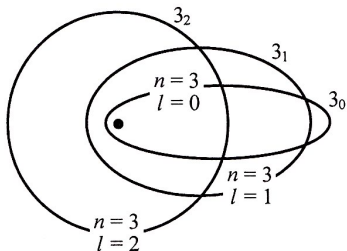
A Bohr-Sommerfeld-féle hidrogénatom modell



Elegendően nagy felbontóképesség \Rightarrow a színeképvonalak nem egyszerű vonalak, hanem több, egymáshoz közel álló komponensből állnak



\Rightarrow nem csak körpályák lehetségesek, hanem ellipszis pályák is:



A hidrogénatom kvantummechanikai modellje

Elektron: egy hullámfüggvény írja le

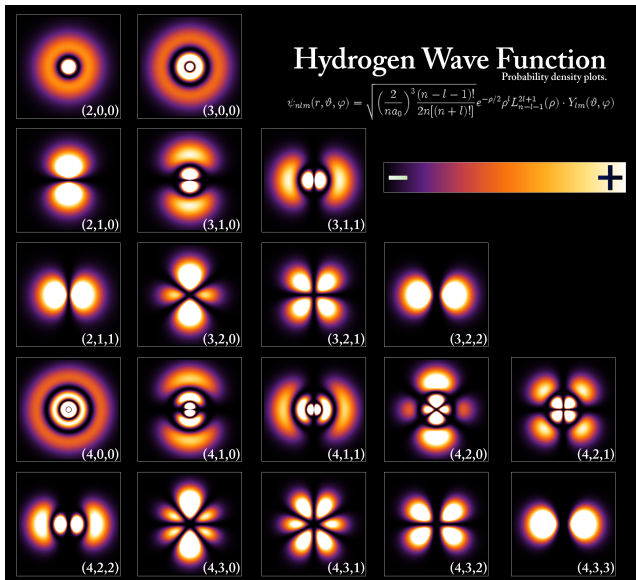
Az elektron Schrödinger-egyenlete a hidrogénatomban:

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi + U\psi = E\psi$$

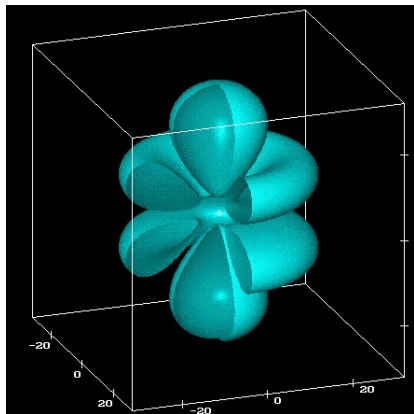
Polár koordinátarendszerben:

$$\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial\psi}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial\psi}{\partial\theta}\right) + \frac{1}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial^2\psi}{\partial\phi^2} + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U) = 0$$

A hidrogénatom kvantummechanikai modellje



A hidrogénatom kvantummechanikai modellje



n – főkvantumszám (pálya sugara, energiája)

l – mellékkvantumszám ($0, 1, \dots, n-1$)

a pálya impulzusmomentuma (alakja)

a pályák elnevezése: s, p, d, f, g, h

m_l – mágneses kvantumszám ($-l, \dots, +l$)

a pálya irányítása (egy külső térhez képest)

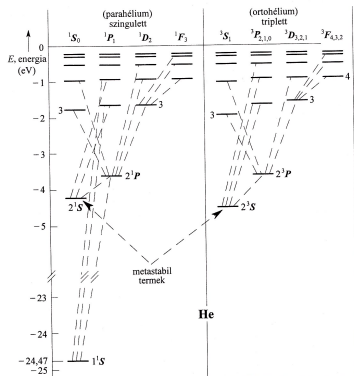
m_s – spinkvantumszám ($\pm 1/2$)

az elektron saját-impulzusmomentumának iránya

Elektronokat tartalmazó rendszerben nem lehet több elektron ugyanabban a kvantumállapotban.

A Pauli-elv minden fermion-ra igaz. (Fermion: feles spinnel rendelkező részecske.)

Következmény: egy elektronpályán (rögzített n , l és m_l) két ellenkező spinű elektron tartózkodhat.



Több elektron \Rightarrow több energiaszint

Mely átmenetek között történhet fénykibocsátás: **kiválasztási szabályok**

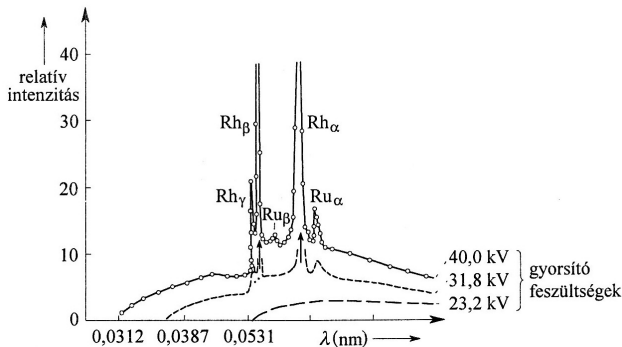
$$\Delta l = \pm 1, \Delta m_l = 0, \pm 1, \Delta s = 0$$

Tiltott átmenetek: ezen átmenetek között nincs dipólsugárzás

Az átmenet mégis megtörténhet, de jóval kisebb valószínűséggel. Okok: magasabb rendű sugárzások, további hatások figyelembevétele.

Metastabil állapotok: csak tiltott átmenettel kerülhetnek alapállapotba, élettartamuk ezerszeres egy átlagos állapothoz képest.

Karakterisztikus röntgensugárzás



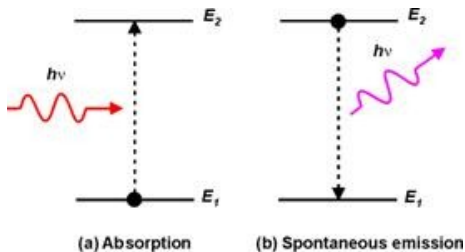
Ütköző elektron \Rightarrow kilökődhet egy elektron a belső héjakról

Héj betöltése egy magasabb energiaszintről \Rightarrow röntgenfoton

A karakterisztikus sugárzás spektruma jellemző az anyagra

A rendszám növekedésével a nagyobb energiák felé tolódnak a vonalak

Kölcsönhatás az elektromágneses térrel



Abszorpció: egy foton elnyelődik \Rightarrow gerjesztett állapot

$$P_\beta = N_1 B_{12} u(\nu_{12}) h\nu_{12}$$

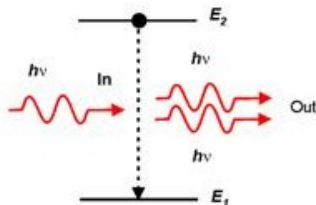
B_{12} : abszorpció valószínűsége, P_β : az elnyelt sugárzás teljesítménye

Spontán emisszió: külső hatás nélkül alapállapotba kerül az elektron

$$P_\alpha = N_2 A_{21} h\nu_{12}$$

A_{21} : spontán emissziós átmeneti valószínűség

Kényszerített emisszió



(c) Simulated emission

Külső tér \Rightarrow kényszerrezgés \Rightarrow a kibocsátott foton paramétereit megegyeznek a bejövő fotonnal

$$P_\gamma = N_2 B_{21} u(\nu_{12}) h\nu_{12}$$

B_{12} : indukált emissziós átmeneti valószínűség
Egyensúly feltétele

$$P_\alpha + P_\gamma = P_\beta$$

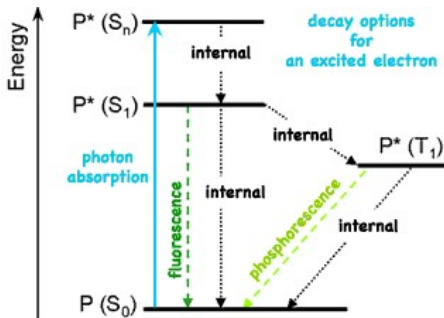
Lumineszcencia

Lumineszcencia: a fénykibocsátás oka nem a sugárzó test hőmérséklete

+ energia \Rightarrow gerjesztett állapot \Rightarrow alapállapot + fény

Fluoreszcencia: fény által történő gerjesztés. A kibocsátott fény hullámhossza eltér a gerjesztő fénytől





A külső gerjesztés megszűnte után tovább tart

Az atomok metastabil állapotba kerülnek

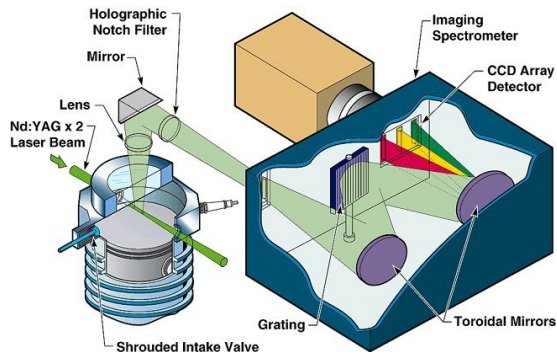
Alapállapotba visszajutás:

- további gerjesztés (hőmozgás), majd alapállapot
- hosszabb várakozás

A lumineszcencia kiváltó okai

Kiváltó ok	Elnevezés
Fény	fotolumineszcencia
Elektron	katódlumineszcencia
Röntgen	röntgenlumineszcencia
γ -sugárzás	radiolumineszcencia
elektromos tér	elektrolumineszcencia
kémiai reakció	kemilumineszcencia
kristályok széttörése, összeolvadása	tribolumineszcencia
baktériumok, szentjánosbogár	biolumineszcencia

A kibocsátott/elnyelt fény az anyagra jellemző \Rightarrow
anyagok azonosítása
anyagszerkezet elemzése
csillagok/bolygók összetétele



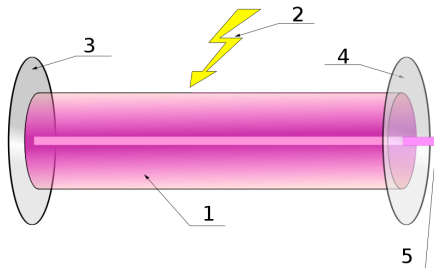
**Broadband Multi-point Raman Scattering for the
Measurement of Major Combustion Species**

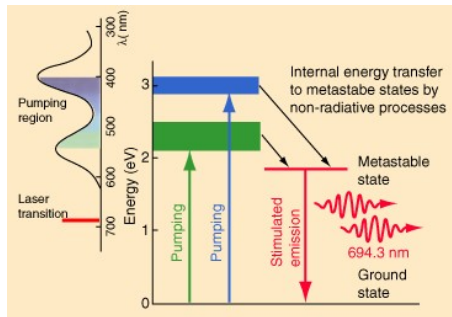
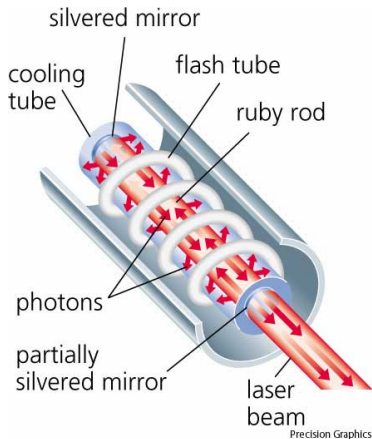
LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Az erősítés feltétele: több atom legyen gerjesztett állapotban:
populáció inverzió

Tulajdonságok:

- monokromázia: nagy spektrális energiasűrűség
- párhuzamosság \Rightarrow jól fókuszálható
- rövid impulzusidő lehetséges \Rightarrow nagy teljesítmény
- nagy fókuszált fényintenzitás érhető el ($10 \cdot 10^{20} \text{ W/cm}^2$)





Lézerek típusai

Gázlézerek: gerjesztés gázkisüléssel
Hélium-neon, Széndioxid, Argon-ion, ...

Kémiai lézerek: gerjesztés kémiai reakció segítségével
Pl. Deutérium-fluorid lézer

Excimer lézerek: *excited dimer*; olyan molekulákat tartalmaz, melyek csak gerjesztett állapotban léteznek
Argon-fluorid, Kripton-fluorid, ...

Szilárdtest lézerek: gerjesztés villanólámpával
Rubin, Nd:YAG (Neodymium doped Yttrium-Aluminium Garnet),
Titán-zafír, ...

Festéklézerek: szerves festék + gerjesztés nagyenergiájú lézerrel
Hangolható hullámhossz

Félvezető lézerek (lézer-dióda)