

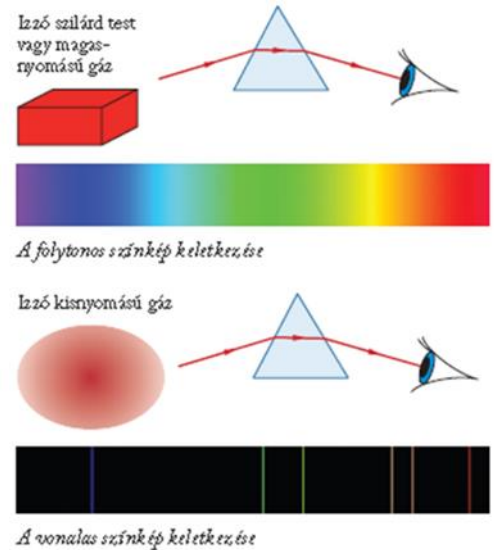
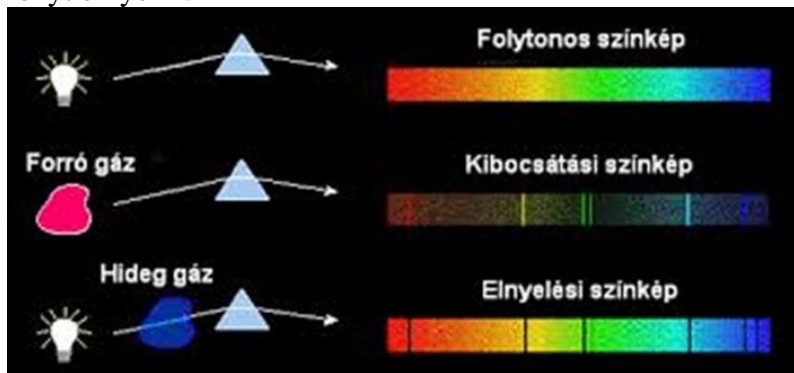
## Az atommodellek kísérleti alapjai

### Előzmények

1802: William Wollaston: A Nap spektrumvonalában fekete vonalak észlelhetők.

1815: Joseph Fraunhofer: spektroszkópot épített, vizsgálta a spektrumvonalakat. A Nap spektrumában 576 vonalat ismert fel: Fraunhofer-vonalak.

1859: Kirchoff és Bunsen közös cikke: Ha gázok vagy gőzök atomjaival energiát közlünk, akkor azok a rájuk jellemző vonalas spektrumot bocsátják ki. Ugyanezek az atomok képesek a kibocsátott fény hullámhosszával egyező hullámhosszú fényt elnyelni.



A színekép az atomok ujjenyomata. A vonalak száma és elhelyezkedése alapján beazonosítható egy-egy elem. A vonalas színekép az atomi energia kvantáltságának egyik kísérleti bizonyítéka. Ma már tudjuk, az atomok elektronjai nem lehetnek bármilyen energiájú állapotban, csak meghatározottakban. A magasabb energiájú állapotba gerjesztett atom alacsonyabba kerülhet energiavesztéssel. Mivel az atom lehetséges energiaértékei diszkrét, a köztük lévő energiavesztés sem lehet folytonos, azaz a kibocsátott sugárzás spektruma sem az.

1885: Balmer-formula a hidrogén látható fény tartományában lévő színeképvonalaira.

$$\lambda = 364,56 \text{ nm} \frac{n^2}{n^2 - 2^2}$$

1889: Rydberg. Bevezeti a hullámszámot.

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

1897: Thomson – elektron felfedezése (közvetlen kísérleti előzménye: 1834: Faraday elektrolízise)

Egy atommodellnek magyaráznia kell a...

- Az atom stabilitását
- A kémiai kötések létrejöttét
- A periódusos rendszer kiépülését
- A vonalas színeképek keletkezését

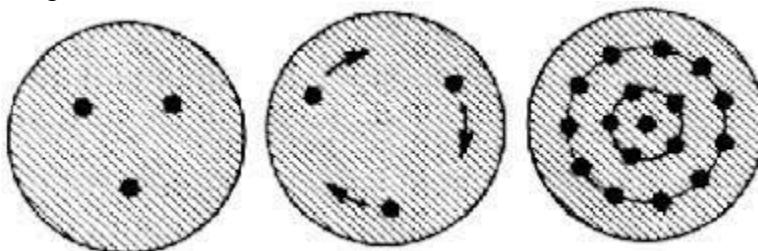
## Az első elképzelések az atom felépítéséről

### 1. Thomson modell („Mazsolás puding” modell) - 1904

Az atom egy folytonos pozitív töltéseloszlású anyagból, és a beleágyazott pontszerűnek tekinthető elektronokból áll.

*Mi tartja össze a pozitív töltésanyagot?* – Mint a folyadékokat összetartó kohéziós erő.

*Milyen mozgást végeznek az elektronok?* – Vagy nyugalomban vannak, vagy egy meghatározott pályán körmozgást végeznek.



*Hogyan magyarázza a periódusos rendszer kiépülését?* – Ha egy adott számnál nagyobb számú elektront helyezünk el az elektronszerűn (gyűrűn), az atom csak akkor marad stabil, ha a gyűrű belsejébe is helyezünk újabb elektronokat. Az elektronszerű rendezés ismétlődő szakaszai.

*Hogyan magyarázza a vonalas színeképek létrejöttét?* – Fényjelenséget észlelünk, ha a rendszer rezgést végez – elektromágneses sugárzást bocsát ki. A spektrumvonalakat nem tudja magyarázni. *Hogyan magyarázza az atom stabilitását?* – A keringő elektronok sugároznak, az atom nem stabil.

### 2. Rutherford szórási kísérlete (1911) és a Rutherford-féle atommodell

Animáció a szórási kísérletről

<http://www.sukjaro.eu/cikkek/rutherford/atommr.htm>

Szimuláció

<http://sukjaro.eu/SCsaba/Rutherford/Rutherford.htm>

Rutherford szórási kísérlete (1911) a modern fizika egyik meghatározó kísérlete. Az első sikeres anyagszerkezeti kutatás. A mai anyagvizsgálatok alapját adja (ütközési kísérletek, CERN, részecskegyorsítók).

Rutherford vákuumkamrában nagy energiájú  $\alpha$ -részecskékkal (2-szeresen pozitív töltésű He atommagok) bombázott vékony aranyfűstlemezre. A részecskék bizonyos anyagokba csapódva felvillanást okoznak (szcintilláció). Az  $\alpha$ -részecskék kibocsátásához radioaktív preparátumot



(polóniumforrást) alkalmazott. A részecskék folyamatosan lépnek ki a preparátumból, az aranyfóliába csapódnak, szóródást követően az ernyőn fényvillanást okoznak.

### Kérdések/feladatok

1. Ábrázold Rutherford-kísérleti összeállítását! Nevezd meg az egyes berendezéseket!

2. Miért volt szükség a vékony aranyfűstlemez használatára?

3. Magyarázd a vákuumkamra szerepét!

Az akkoriban elfogadott atommodell a Thomson-modell volt.

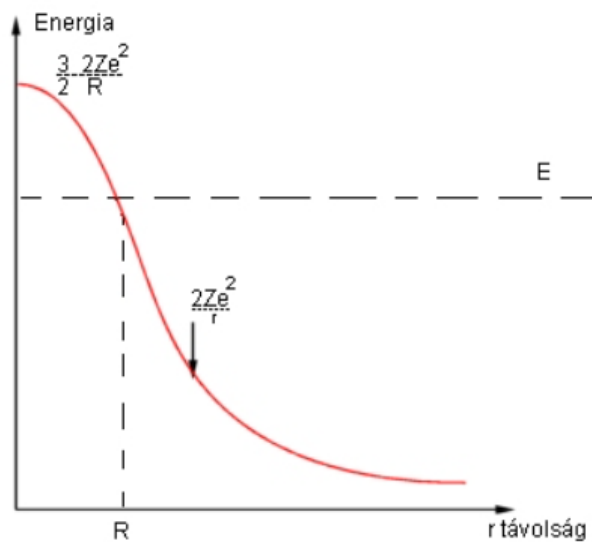
4. Hogyan modellezi Thomson az atomot?

5. A Thomson modell alapján fogalmazz meg hipotéziseket a szórási kísérlet kimenetelével kapcsolatban!

6. Elhanyagolva a kistömegű elektronok hatását, értelmezd energetikai szempontból a folyamatot ( $\alpha$ -részecske ütközése az atommal)!

- a. Hogyan változik a részecske sebessége és mozgási energiája az ütközés során? Hogyan magyarázod a változást? Milyen erő hat az érkező részecskére?
- b. Mi történik a részecskével, ha a mozgási energiája nullára csökken? Válaszodat indokold!
- c. Jellemezd energetikai szempontból a részecskét az atomon belül!

A részecske elektrosztatikus potenciális energiájának felírása a gömb középpontjától mért  $r$  távolság függvényében.



Az  $r=0$  helyen a potenciálgát maximális magassága másfélszer akkora, mint az atom felszínén.

Végezzük el a számításokat aranyatomra! Becsléssel határozzuk meg az aranyatom sugarát, majd adjuk meg a maximális potenciális energiát! (2,64 keV)

A potenciálgát magassága több, mint ezerszer kisebb, mint a részecske mozgási energiája (4,87 MeV). Mi várható ezek alapján?

Hogy magyarázható az ettől eltérő viselkedés? (kinetikus energia kisebb a potenciálgát magasságánál  $\rightarrow$  a gömb sugarára felső becslés)

Ha tehát az alfa-részek az atommagon „visszapattannak”, hogyan lehetséges az, hogy a legnagyobb részük mégis áthatolt a fólián?

Az atommagok kicsik, de „távol” vannak egymástól, hiszen az atommagok átlagos távolsága (a körülöttük lévő elektronok miatt) több mint tízezerszer akkora, mint az atommagok mérete. Ezért az alfa-részek nagy része az atommagok között átsuhant (az elektronok – kis tömegük miatt – nem tudnak számottevő irányváltást okozni), és csak kis részük talált telibe egy-egy atommagot, és „pattant vissza”.

#### Rutherford-modell és hiányossága

- Naprendszer analógia
- Az összes pozitív töltés az atommagban van (1 fm sugarú)
- A mag körül az elektronok körpályán keringenek

- Az elektronok gyorsulnak (centripetális gyorsulás) → a gyorsuló töltés elektromágneses hullámokat kelt → az atomok állandóan sugároznak, az elektronok sugárzásuk miatt veszítenek energiájukból → rövid idő alatt az atommagba zuhannak → nem stabil
- A mag körül keringő elektronok száma megegyezik az elem rendszámával – periódusos rendszer.

### 3. Bohr-modell

Niels Bohr továbbfejlesztette Rutherford atommodelljét. Különböző feltételeket fogalmaz meg az elektron keringésével kapcsolatban.

**1. Az elektronok az atommag körül körpályán keringenek.**

Mi tartja körpályán az elektront? → centripetális irányú eredő erő: elektrosztatikus erő.

**2. Az elektronok csak meghatározott sugarú pályákon keringhetnek, amelyeken nem sugározhatnak. Adott pályákon az energia állandó.** (Állandósult, stacionárius állapotok, diszkrét energia.)

Azok a megengedett pályák, amelyeken az elektron perdülete a  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$  (h-vonás) egész számú többszöröse.

$$m \cdot r \cdot v = n \cdot \frac{h}{2\pi} \quad (1)$$

**3. Frekvenciafeltétel: Az elektronpályák között lehetséges az átmenet, azaz, hogy az elektron egyik pályáról a másikra kerüljön. Ekkor az atom egy fotont bocsát ki vagy nyel el. A kibocsátott foton energiája a két pálya energiakülönbségének felel meg.**

$$h \cdot f = E_n - E_k \quad (2)$$

A Bohr-modell matematikai magyarázatot adott a Hidrogén színképvonalaira.

Az első feltétel szerint:

$$\sum F = m \cdot a_{cp}$$

$$k \frac{e^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r} \quad (3)$$

(1) és (3) segítségével kifejezhető a pályasugár.

$$r = \frac{n^2 \hbar^2}{k m e^2} \quad (4)$$

Behelyettesítve a konstansok értékét, megkapjuk az n. pálya sugarát:

$$r_n = r_0 \cdot n^2$$

$$r_0 = 0,53 \cdot 10^{-10} m: \text{Bohr} - \text{sugár}$$

Adjuk meg az n. pályán keringő elektron energiáját!

$$E_n = E_{kin} + E_{pot} = \frac{1}{2} m v^2 - k \frac{e^2}{r}$$

A (3) egyenletből fejezzük ki  $m v^2$ -et!

Így az energia:

$$E_n = -\frac{1}{2}k \frac{e^2}{r}$$

A pályasugár helyére (4)-et helyettesítsük vissza!

$$E_n = -\frac{k^2 m e^2}{2 \hbar^2} \frac{1}{n^2}$$

n=1 esetén:

$$E_1 = -2,18 \text{ aJ} = 13,6 \text{ eV}$$

Ez a legkisebb energiájú pálya. A hidrogén alapállapotban van. A negatív előjel azt jelzi, hogy az elektron kötött állapotban van.

Tehát az n. pálya energiáját a következő kifejezés adja meg:

$$E_n = -2,18 \text{ aJ} \cdot \frac{1}{n^2}$$

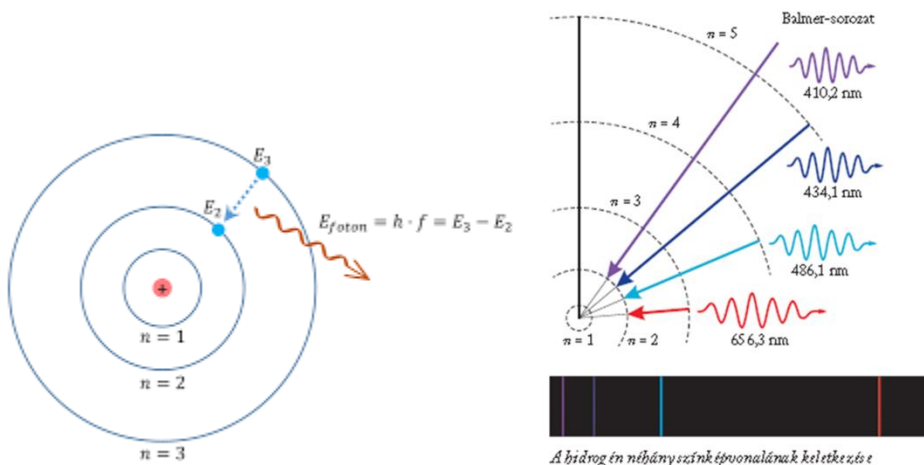
Felhasználjuk a Bohr-féle frekvenciafeltételt:

$$hf = E_n - E_k = -2,18 \text{ aJ} \cdot \frac{1}{n^2} - \left( -2,18 \text{ aJ} \cdot \frac{1}{k^2} \right) = 2,18 \text{ aJ} \left( \frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{2,18 \text{ aJ}}{hc} \left( \frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right) = R \left( \frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

A Balmer-formula általánosítása (k=2).



Az elektron gerjesztéssel (pl. hőközlés) juthat magasabb energiájú, gerjesztett állapotba. Ha olyan mértékű a gerjesztés, hogy az elektron elhagyja az atomot, akkor ionizáltuk azt. Az ehhez szükséges energiát **ionizációs energiának** nevezzük.

## Az elektron hullámtermészete

- de Broglie – az anyaghullám ötlete
- A kettős jelleget kiterjeszti: Az elektron és minden részecske mutat hullámtermészetet is. Ezek a hullámok az ún. anyaghullámok.
- Bohr 2. axiómájából indult ki:

Az elektron csak azokon a pályákon tartózkodhat, melyekre érvényes:

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

$$2\pi r = n \frac{h}{mv} = n \frac{h}{p} = n\lambda$$

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

de Broglie hullámhossz



## Az elektron hullámtermészetének kísérleti igazolása – Davisson-Germer kísérlet

Ni egykristályon adott energiájú elektronnyaláb szóródását vizsgálták. Adott szórási szögnél intenzitásmaximumot figyeltek meg, interferenciaképp keletkezett. Az interferencia hullámjelenség.

Az erősítés feltétele:

$$\Delta x \cdot \sin(\alpha_1) = 1 \cdot \lambda \Leftrightarrow \sin(\alpha_1) = \frac{\lambda}{\Delta x}$$

$$\tan(\alpha_1) = \frac{\Delta p_x}{p_y}$$

Kis szögek esetén:  $\sin(\alpha_1) \approx \tan(\alpha_1)$

$$\frac{\Delta p_x}{p_y} \approx \frac{\lambda}{\Delta x} \Leftrightarrow \Delta p_x \cdot \Delta x \approx p_y \cdot \lambda$$

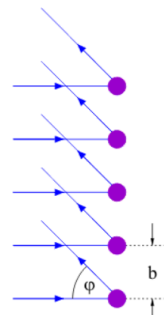
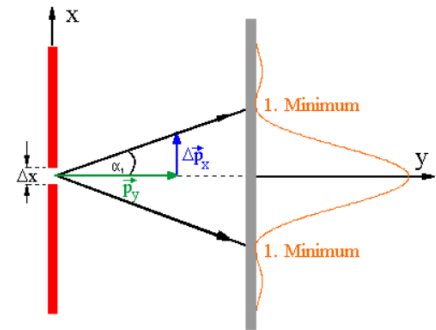
Felhasználva a de Broglie hullámhosszt:

$$\Delta p_x \cdot \Delta x \approx p_y \cdot \frac{h}{p_y} = h$$

## Feladat

Az  $E_{\text{kin}}=54\text{eV}$  kinetikus energiájú elektronok merőlegesen csapódnak a nikkeltálcra felületére. A kristály rácsként működik,  $2,15 \cdot 10^{-10}$  m rácstávolsággal.

Számítsd ki az elsőrendű maximumhoz tartozó elhajlási szöget!



## Irodalom

Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete

Sükösd

Csaba:

<http://www.sukjaro.eu/cikkek/rutherford/atommr.htm>,  
<http://sukjaro.eu/SCsaba/Rutherford/Rutherford.htm>

Dégen Csaba, Elblinger Ferenc, Simon Péter: Fizika 11. Emelt szintű képzéshez.

<https://www.leifiphysik.de/atomphysik> (érdeemes nézegetni, itt mindent megtalálsz)