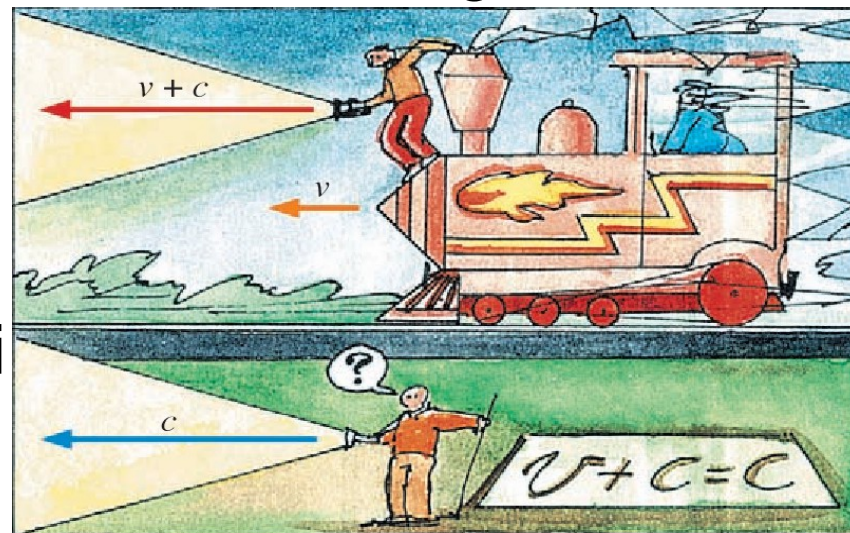


Relativitás, kvantum, atom, atommodellek

- **Einstein** (1905-ben) megállapította, hogy a **fénysebesség egy maximális határsebesség**, és bármely vonatkoztatási rendszerben ugyanakkora ($c=300000$ km/s). Vagyis mozgó tárgyról induló fény sebessége sem lehet több ennél. Ennek következtében viszont mozgó tárgyon és a tér egy más helyén **az idő** értéke és múlása **relatív**, más vonatkoztatási rendszerekben más és más, vagyis nincs abszolút idő. Az idő értéke és a jelenségek mért ideje attól függ, hogy hol mérjük és hogy a mérő hely mozog-e a másikhoz képest. **Pl.** a Földhöz képest mozgó tárgyon (pl. űrhajó) lassabban telik az idő, mint a Földön. Einstein bevezette a **tér – idő** fogalmát, amelyben az idő a tér különböző helyein más és más, mivel nem is tudjuk egyidejűleg megmérni az időket, hiszen ahhoz, hogy a másik helyen is megmérjük oda kell menni és ez nem lehet azonnal, csak max. a fénysebességgel haladva.



- **Energia – tömeg kapcsolata**

Einstein (1905-ben) megállapította, hogy bármely test energiája egyenesen arányos a tömegével. $E = m \cdot c^2$

Eszerint a kis részecskéknek is hatalmas energiájuk van. Ez be is bizonyosodott az első atombomba robbantásnál, ahol ez az atomenergia felszabadult és hatalmas pusztítást végzett. Hirosimában 10 gramm atom tömeg - energiája szabadult fel, alakult át energiává.

- **Tömegnövekedés**

A részecskék (vagy bármely test, tárgy) tömege nő, ha a sebessége nő. Ez csak nagy sebességű részecskékénél mérhető nagyságú. A fénysebességhez közelítve a mozgó tárgy tömege a végtelenhez közelít. Ezért nem lehet semmit felgyorsítani a fénysebességre, mivel végtelen tömeg gyorsításához végtelen nagyságú erő kellene.

- Max Planck (1900-ben) megállapította, hogy az anyagok hő kibocsátása nem lehet akármilyen energiával, hanem csak valamilyen energia csomag, **energia-kvantum** adagokban. Ez az **energia-kvantum**: $E = h \cdot f$, ahol f az anyag hősugárzásának frekvenciája, h pedig a Planck állandó

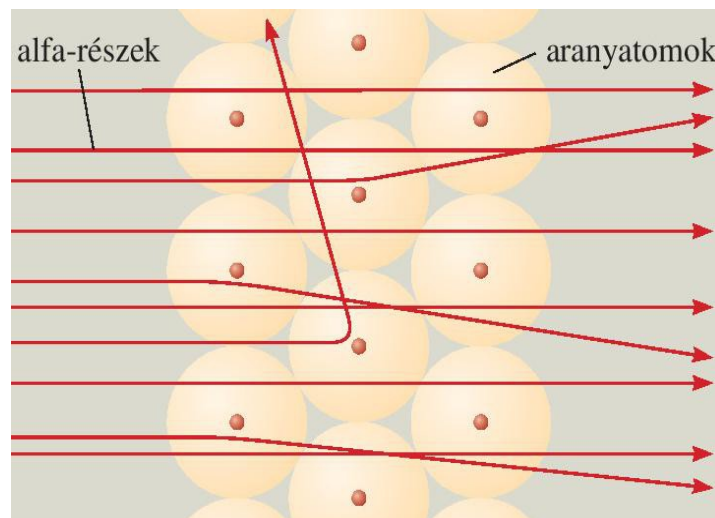
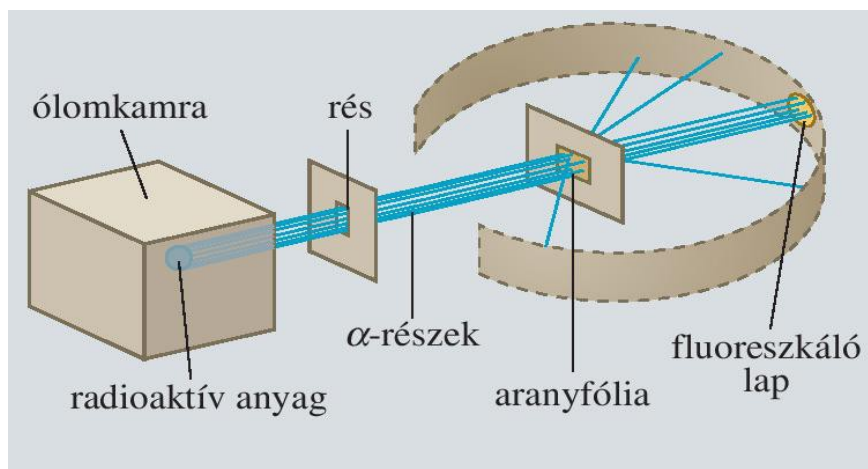
Az atom felépítése, fénykibocsátás

Atomok, atommodellek

- Már az ókorban Démokritosz (i. e. 500) úgy gondolta, hogy minden anyag tovább nem osztható alapegységekből, atomokból áll. A 19. század végétől a tudósok különböző kísérletek alapján alkottak elméleteket, modelleket az atom lehetséges felépítésére. A kísérletek azt mutatták, hogy az atomok **mérete, átmérője** 10^{-10} m nagyságrendű, és az atomok, molekulák **tömege** 10^{-27} kg nagyságrendű.
- **Thomson atommodell** (ez a 2 sor kiegészítő tananyag, nem kell megtanulni)
Thomson: Az atom egy tömör pozitív gömb, amiben benne vannak a kis negatív elektronok. („mazsolás puding” modell)

Rutherford radioaktív alfa sugárzással, alfa-részecskékkel (2proton+2neutron) végzett **szórási kísérlete** (lásd a következő oldal) megcáfolta azt a modellt, ami alapján az atom tömör gömb. A kísérletek alapján az atom nagy része üres, amin akadály nélkül áthaladtak az atomnál kisebb részecskék.

- **Rutherford szórási kísérlete**



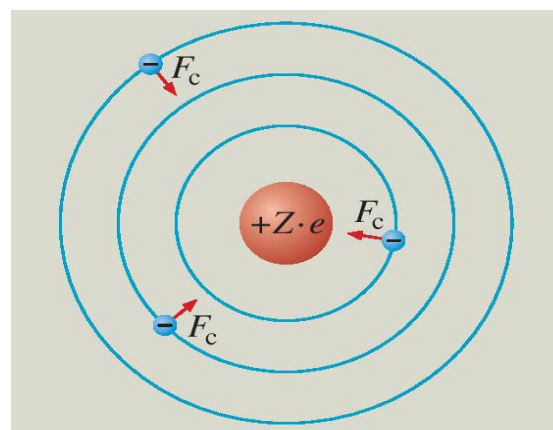
Rutherford szórási kísérletének elvi vázolata

Vékony aranyfólián az alfa részecskék nagy része akadálytalanul áthatol, tehát az atom nagy része üres.

- **Rutherford atommodell**

Rutherford: Az atom közepén van a pozitív atommag, körülötte forognak (körmozgást végeznek) a negatív elektronok. Mivel az elektronok kicsik, az atom nagy része üres.

Ez a modell nem magyarázza meg a fénykibocsátást, mert a keringő elektronok sugárzásából származó energia-veszteségük miatt bele kellene esniük az atommagba.



- **Bohr-féle atommodell**

A Rutherford modell továbbfejlesztése:

Az elektronok csak meghatározott pályákon keringhetnek. Ezeknek más-más energiájuk van. Ezek az **energiaszintek**. Az elektronok tehát csak meghatározott energiájú állapotokban lehetnek az atomban. Csak olyan energiát (energiacsomagot, „**energiakvantumot**”) tudnak leadni és felvenni, ami két energiaszint különbsége. Ekkor átugranak egyik energiaszintről a másikra, anélkül, hogy a kettő között lettek volna (kvantumugrás). Ez a „**kvantummechanika**” elmélet meglepő, de igaz jelensége.

- Az atomban levő elektronok energiaszintjeinek magyarázata mellett egy másik jelenség is az „energiakvantum” bevezetésével volt csak magyarázható. Ez a fényelektromos jelenség, más néven fotoeffektus. →

- **Fényelektromos jelenség - fotoeffektus**

Fény hatására fém felületéről elektronok lépnek ki, így áram jön létre. De csak akkor, ha a fény frekvenciája egy bizonyos értéknél nagyobb. Pl. cinklemez esetén látható fény esetén nem lépnek ki elektronok csak a nagyobb frekvenciájú UV fény esetén jön létre az elektronok kilépése.

A fényelektromos jelenséget Planck és Einstein a fény kvantum-energia csomag elméletével magyarázta meg:

Magyarázat:

A fény energiakvantumokból, „fotonokból” áll, amelyeknek energiája a fény frekvenciájától függ.

A fényrészecskék, **fotonok energiája** $E_{\text{foton}} = h \cdot f$, ahol **f** a fény frekvenciája, **h** a Planck állandó ($6,62 \cdot 10^{-34}$ Js)

A fotonok, ha elég nagy az energiájuk, vagyis a fény frekvenciája, akkor a fémlemez elektronjait ki tudják lökni a fémből.

(**gyakorlati felhasználás:** pl. **fotocella** – biztonsági berendezéseknél, ajtóknál, félvezetők megvilágítása: pl. **napelem**, a fotoeffektus hatással működik a **digitális fényképezőgép**)

- **A fény kettős természete: hullám és részecske** (tankönyv 106.-107.o.)

Részecske természet

A már ismert hullámjelenségeken kívül számos jelenség (pl. a fényelektromos jelenség) azt bizonyította, hogy a fény részecske természetű is.

Einstein megállapította azt is, hogy egy részecske tömege és energiája egymással egyenesen arányos:

$E=m \cdot c^2$ (E az energia, m a tömeg, c a fénysebesség)

Ha Einstein tömeg és energia kapcsolatának képletét összevetjük a foton energiaképletével, akkor a foton energiája: $E=m \cdot c^2$ és $E=h \cdot f$

A kettőből következik, hogy a fotonnak vagyis a fénysugár részecskéinek van

energiája és így tömege is. A foton tömege így:

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

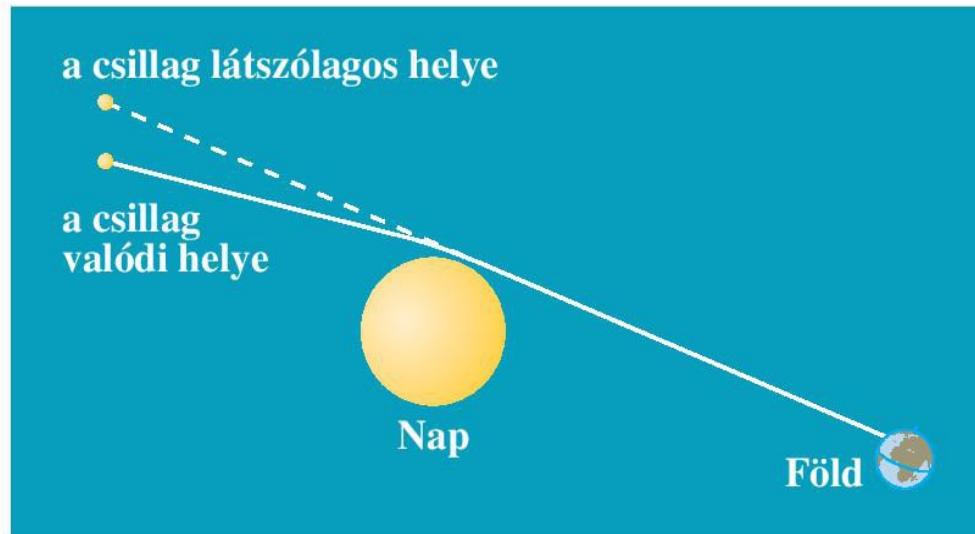
A foton részecske természetének egyéb bizonyítékai:

Fekete lyukak

Vannak kihűlt csillagok, amelyek összehúzódva olyan nagy tömegűek, hogy minden tömeget, így a tömeggel rendelkező fotonokat is magukba vonzanak így minden fényt elnyelnek és nem jön belőlük ki a fény.

Fényelhajlás a csillagok mellett

Egy csillagból jövő fényt, vagyis a csillag helyét a Nap mellett máshol látjuk, mint ahol van, mert a fénye a Nap mellett a tömegvonzás miatt elhajlik. Vagyis a Nap tömege vonzza a fénysugarat, tehát a fény részecskékből áll, amiknek van tömege.



A fény elhajlása a Nap közelében.

Az elektron hullámtermészete

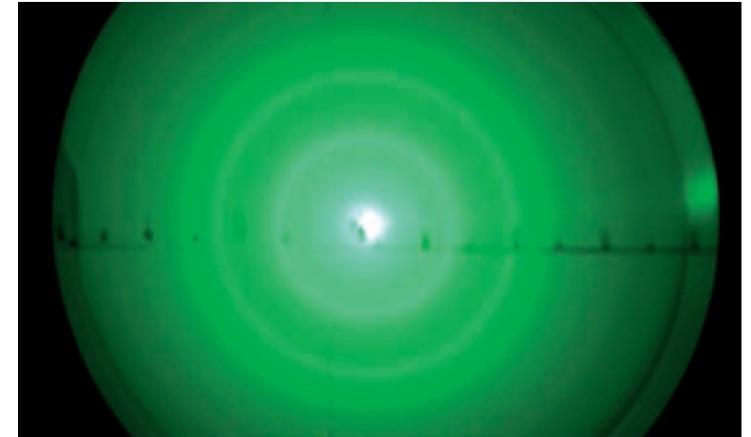
Elektron interferencia

Az elektronok két résen való áthaladásakor a rés mögött interferenciakép (erősítés, kioltás helyek) jelenik meg. Tehát az elektronsugár hullámként viselkedik, ahol a két résből jövő hullám erősíti és gyengíti egymást.

Érdekesség, hogy az elektronokat egyesével indítva is megjelenik az interferencia, tehát 1 db elektron is, mint egy „hullámcsomag” érzékeli mindkét rést, vagyis mint hullám „mindkét résen áthalad”.

Az elektron hullám tulajdonságának felhasználása:

elektronmikroszkóp – a legnagyobb felbontású, legnagyobb nagyítású mikroszkóp



Az anyagok kettős természete

Következtetés: De Broglie (1924-ben): Ha a fény, ami hullám, részecskéként (fotonokként) is viselkedik, és az elektron, ami részecske, hullámként is viselkedik, akkor minden részecskének, minden anyagnak kettős természete van: részecske és hullám: „anyaghullám”

- Valószínűségi hullám, megtalálási valószínűség

A részecskék (pl. elektron) hullám tulajdonsága azt is jelenti, hogy nem mondható meg, hogy pontosan hol van, hanem egy valószínűségi hullámegyenlettel írhatjuk le az állapotát.

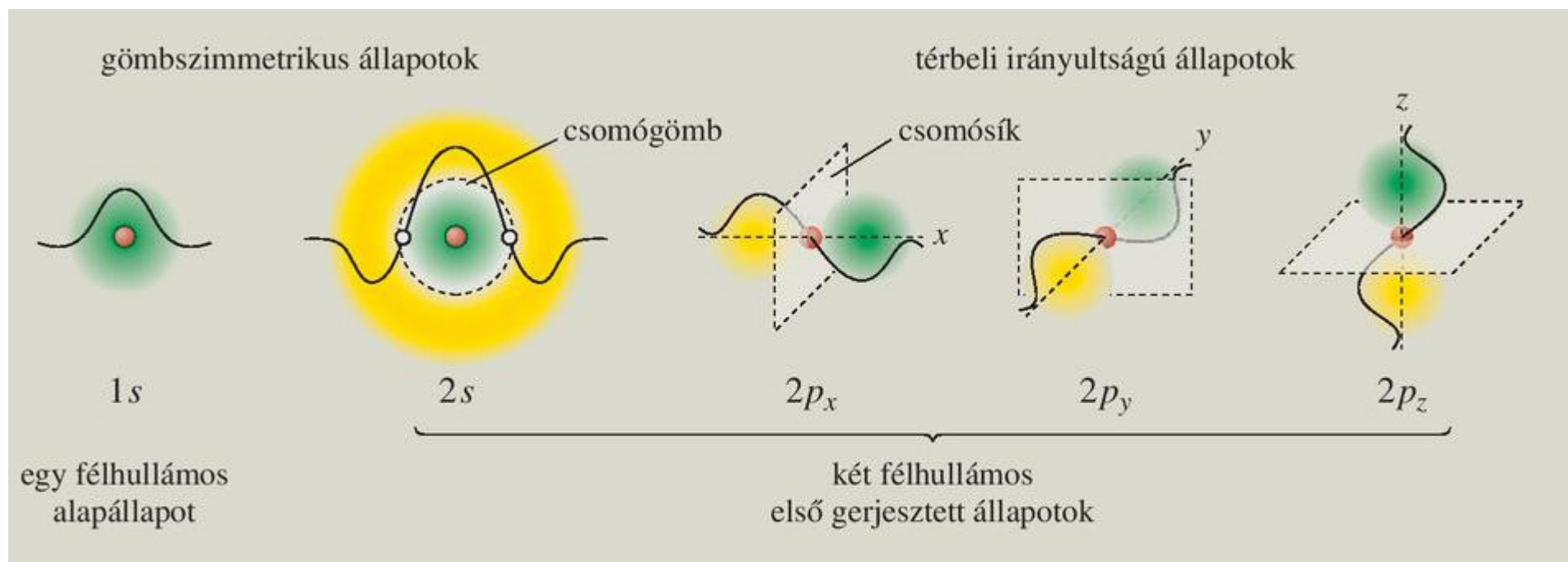
Ez a matematikai függvény (hullámfüggvény vagy más néven állapotfüggvény) megadja a „megtalálási valószínűségét”, vagyis azt, hogy ha megmérjük a helyét, akkor a méréskor mekkora valószínűséggel találjuk meg az adott helyen. A mérések közben a részecske helye nem meghatározható. (Ezt a függvény Schrödinger írta le, ezért **Schrödinger függvénynek** nevezik.)

- **Kvantumpár részecskék**

Létrehozhatók részecskepárok, amelyek azonos állapotban de különböző spin-nel (forgásiránnyal) rendelkeznek. Ezek akármilyen messze kerülnek egymástól, ha az egyiknek megváltozik a spinje méréskor, akkor a másiké is, mivel nem lehet a kettő ugyanaz. Viszont ez azt jelenti, hogy bármilyen távol azonnal (a fénysebességnél gyorsabban) megjelenik az információ. Vagyis ez az információ végtelen gyorsan terjedhet? (Ez még egy ma is megmagyarázhatatlan azonnali „távolhatás”.) Fotonokkal létrehoztak már ilyen kísérletet. Vajon nagyobb részecskékkel is lehetséges ez a „távolhatás” ?

- **Az atommodell teljes kiegészítése az elektron hullámtermészetével (kvantummechanikai atommodell):**

Az elektronok az atomban a Schrödinger megtalálási valószínűségi függvénnyel leírható állóhullám állapotban vannak. Ezek alap-energiaszintjeit a **főkvantumszám**mal jellemezzük: Jele: **n** , értéke lehet: 1, 2, 3, ... (poz. egész szám)
 Az állóhullámok csomósíkjainak számát a **mellékvantumszám** adja meg. Jele: **l** , értékei: $l = 0, 1, \dots, n-1$ (0 és $n-1$ közti egész)
 Ez alapján van $n=1$ $l=0$ (más néven: 1s) pálya,



A hidrogénatom hullámmodelljének lehetséges elektron-állóhullám alakjai alap- és első gerjesztett állapotokban

Az elektron rendelkezik **mágneses kvantumszámmal**

Jele: **m**, értékei egész számok $-l$ és $+l$ között (l : mellékv.sz.)

Az elektron 4. kvantumszáma a **spinkvantumszám (s)**, amely csak kétféle lehet, $-\frac{1}{2}$ vagy $\frac{1}{2}$

- **Pauli elv:** Nem lehet az atomban két elektron ugyanabban az állapotban, vagyis nem lehet mind a 4 kvantumszáma ugyanaz.
- **Energia-minimum elve:** Az elektron az atomban a lehető legkisebb energiájú állapot elérésére törekszik.

Ezek alapján meg lehet mondani, hogy mely pályákon, másnéven „n” energiaszinten hány darab elektron lehet:

n=1 esetén $l=0$, $m=0$, $s=-\frac{1}{2}$ vagy $\frac{1}{2}$, tehát **2 elektron**

n=2 esetén $l=0$, $m=0$, $s=-\frac{1}{2}$ vagy $\frac{1}{2}$, tehát 2 elektron

$l=1$, $m=-1$ vagy 0 vagy 1,

s minden m értékhez kettő $-\frac{1}{2}$ vagy $\frac{1}{2}$,

tehát összesen 6 elektron

vagyis az $n=2$ esetén összesen $2+6=$ **8 elektron**

Fénykibocsátás, fényelnyelés, színeképek

- **Fényelnyelés:** Egy elektron elnyel egy fotont (energiakvantumot), ennek hatására átkerül az egyik alacsonyabb szintről egy magasabbra (gerjesztett állapotba kerül). Csak olyan fotont tud elnyelni, aminek az energiája egyenlő két energiaszint különbségével: $h \cdot f = E_x - E_y$

Mivel a foton energiája arányos a frekvenciájával, ezért csak bizonyos frekvenciájú és hullámhosszú (színű) fotonokat,

fényt képes elnyelni az

atom. Ezeknek a

frekvenciáknak,

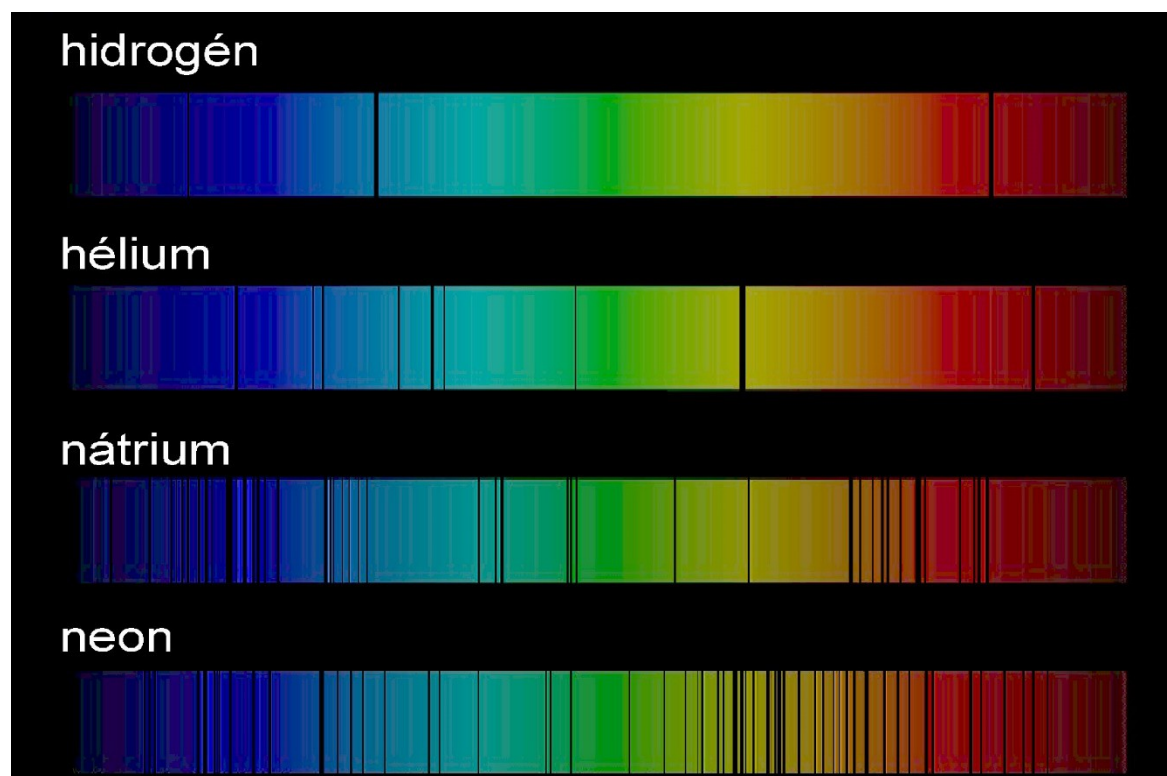
hullámhosszaknak a

sorozata hiányzik a

teljes színeképből.

Ez az **elnyelési színekép**.

Minden anyag atomjainak elektronszerkezete más, ezért az anyag színeképe jellemző az adott anyagra.

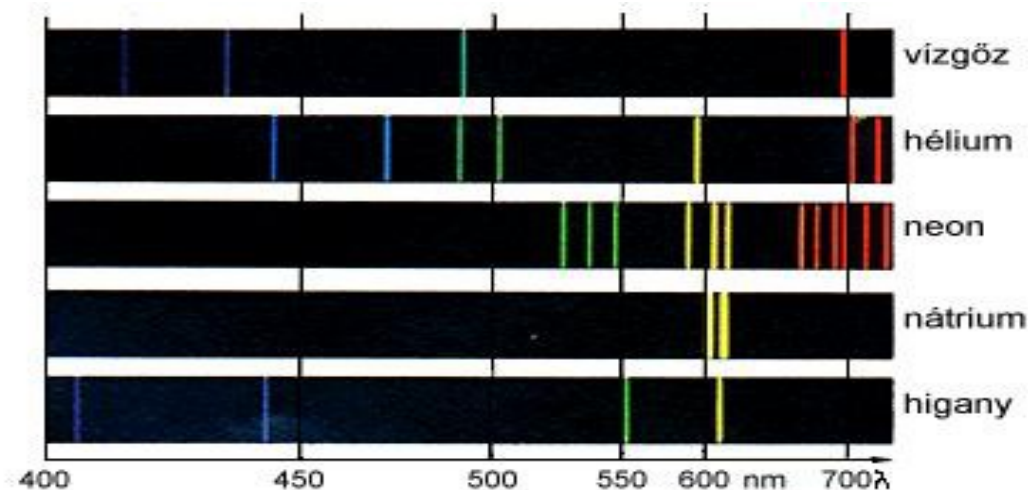
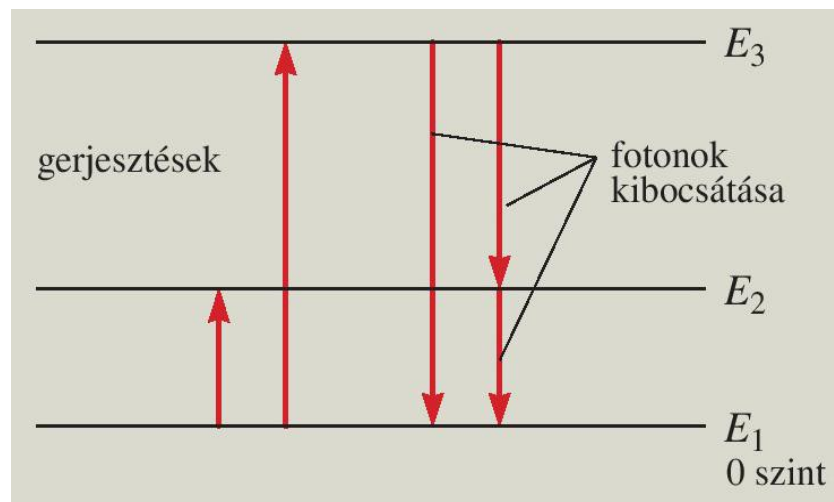


Fénykibocsátás: A fényelnyelés fordítottja. A gerjesztett (pl. árammal, vagy hővel gerjesztett) elektron az energiaminimum elve miatt alacsonyabb energiaszintre ugrik vissza és a két szint közötti különbségű energiájú fotont bocsát ki. Mivel a kibocsátott foton energiája arányos a frekvenciájával, ezért csak bizonyos frekvenciájú és hullámhosszú (színű) fotonokat, fényt képes kibocsátani az atom.

Ugyanazokat, amiket elnyelni képes. Ezeknek a frekvenciáknak, hullámhosszaknak a sorozata a **kibocsátási színekép**.

A színeképelemzés felhasználása:

- ismeretlen anyagokban levő elemek meghatározása (anyagvizsgálat)
- csillagok anyagának meghatározása
- különböző szín-összetételű fényforrások gyártása



Fényforrások

Minden fényforrás esetén az fényforrás anyagának atomjaiban, molekuláiban levő elektronok gerjesztett állapotba kerülnek (energiát vesznek fel, és magasabb energiaszintre jutnak). Az energiát az elektromos áramlásban részt vevő elektronoktól kapják. A gerjesztett állapotból az energia-minimum elve miatt kisebb energiaszintre ugranak és fotont, fényt bocsátanak ki.

Fényforrás hatásfoka: megadja, hogy a felhasznált összes energiának hány százalékát alakítja fényenergiává.

Hagyományos izzószálas égő

A fém izzószálban (volframszál) levő szabadon mozgó (delokalizált) elektronok kerülnek gerjesztett állapotba és kisebb energiaszintre ugorva fényt bocsátanak ki. Eközben az izzószál jelentősen felmelegszik. Hatásfoka nagyon kicsi, 10-20 %, sokkal jobban melegít, mint világít. Élettartama kicsi. Ma már nem használják világításra.

Az izzó volframszálat fűtőszálként fűtésre használják.
(pl. vasaló, hőszugárzó, kenyérpirító, hajszárító, elektr. főzőlap, stb.)

Halogén égő

A hagyományos fém izzószálat (volframszál) egy kis üvegbúra vesz körül, amelyben gáz és halogén anyag (jód vagy bróm) van. A halogén anyag kémiai reakcióba lép az izzó fémszállal és egy bevonatot hoz rajta létre. Ez növeli a izzószál fényerejét, és az élettartamát. Hatásfoka nagyobb, mint a nem halogén izzóé, de nem nagy, 20-40 %. A halogén égő is eléggé energia veszteséges a felmelegedés miatt, ezért ennek a megszüntetését is tervezik.



Gázt tartalmazó üvegcsöves égők, energiatakarékos égő

Üvegcsőben levő gáztatomok, gázmolekulák elektronjait gerjeszti az elektromos áram, vagyis a csőben áramló elektronok. A gáztatomok elektronjai kisebb energiaszintre ugorva fényt bocsátanak ki. A gáz anyagától függ, hogy milyen színű fénysugarakat bocsát ki az égő. (Van higanygőzt, neont, kripton, nátriumgőzt,... tartalmazó égő.)

Előnye: Hatásfoka nagy: 50-70 % , élettartama több ezer óra

Hátránya: csak néhány perc után éri el teljes fényerejét.

Felhasználása: utcai reklámcsövek, lakásvilágítás



LED égő (Light Emitting Diode)

Félvezető szilícium kristályrácsába más atomot (foszfort vagy bórt) juttatva a szilícium-kristálynak elektrontöbblete (negatív, n-típusú félvezető) vagy elektronhiánya (pozitív, p-típusú félvezető) lesz.

Ha egy p és n típusú félvezető van egymás mellett, akkor az elektronok az egyik irányból át tudnak menni az egyikből a másikba, a másik irányból nem. Vagyis egy p-n félvezetőpár az egyik irányba vezeti az áramot, a másikba nem (dióda). A LED amelyik irányba vezeti az áramot, ott a gerjesztett elektronok az egyik rétegből a másikba jutva magasabb energiaszintről alacsonyabbra jutnak és fényt bocsátanak ki. Előnyei: hatásfoka a legnagyobb, 70-90 %, élettartama szinte végtelen (több tízezer óra). Bekapcsoláskor azonnal eléri maximális fényerejét. Mivel szilárd szilícium-kristályokból készítik, bármilyen alakú lámpatest, égő készíthető LED fényforrásként.

Fényerősség – lumen

A fényforrások fényének erősségét, fényteljesítményét **lumen**-ben mérik. A fény-források dobozán ez az adat megtalálható.

Néhány példa lumen értékekre:

Asztali lámpa kb. 200-300 lumen

Egy kis konyha bevilágításához kb. 1000 lumen szükséges.

Egy nappali szoba bevilágításához kb. 2000-2500 lumen szükséges. (pl. 3 db 800 lumenes égő, mivel az égők fényerőssége összeadódik)

LED égők képei:
(ezek példák, különböző alakú égők vannak)

