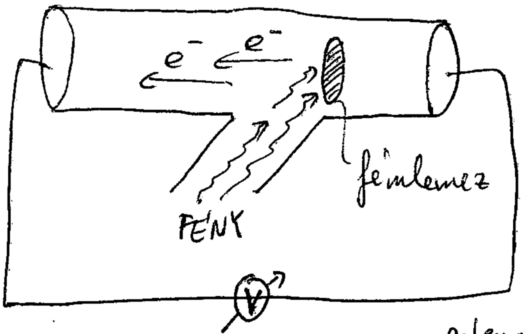
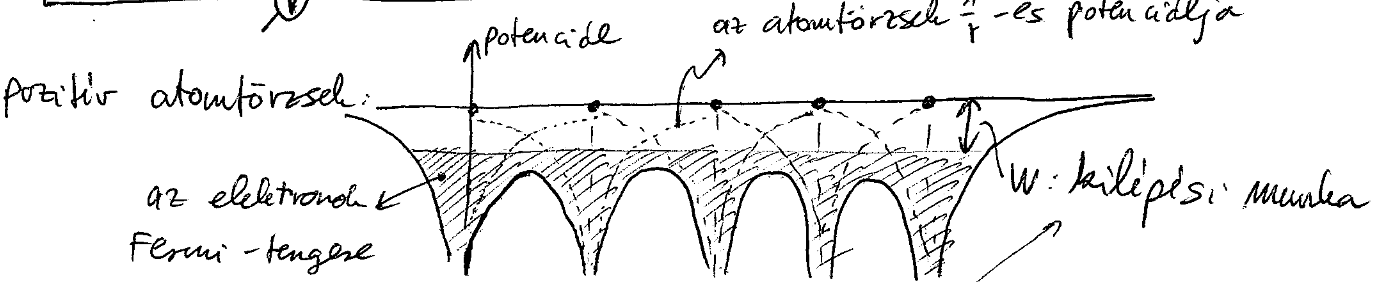
KVANTUMMECHANIKA

Fotoelektromos jelenség – FOTOEFFEKTUS: a fény (elektromágneses hullám) részecskeként (is) viselkedik!

Kísérlet (1902, Lénárd Fülöp Nobel-díjas):



fény hatására elektronok lépnek ki („katódsugár") a fémből.



A fotoeffektus energiamérlege: $\boxed{\frac{1}{2} m v_{max}^2 + W = h\nu}$

frekvencia (fényé)

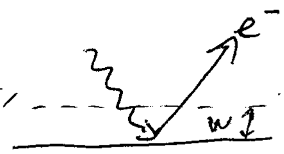
(értelmezés: Einstein - Nobel-díj)

elektron mozgási energiája

Planck-állandó

foton energiája

Einstein értelmezése: a fény $h\nu$ energiájú csomagokból áll.
Ezeket a csomagokat adja át a foton az elektronnak, ennek hatására az kilép a helyéről.

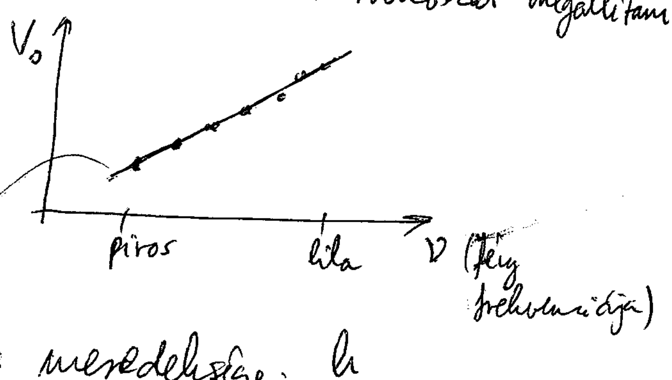


Lénárd-kísérlet: az elektronok energiája nő, ha a fény frekvenciája nő!
Az intenzitást növelve nem nő az e^--ok energiája, csak a száma.
Ez ellentmond a fény Maxwell-féle hullám-értelmezésének!
Mérés: mekkora feszültséggel lehet a kilökött elektronokat megállítani

$$eV_0 = \frac{1}{2} m v_{max}^2$$

elektron töltése

megállításhoz szükséges feszültség



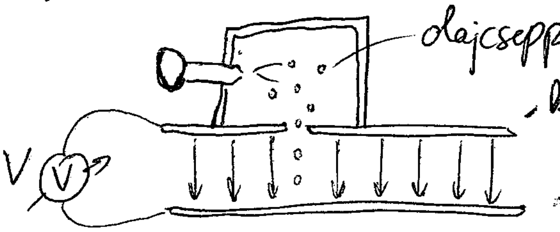
$$h\nu - W = \frac{1}{2} m v_{max}^2 = eV_0$$

$$V_0 = \frac{h}{e}\cdot\nu - \frac{W}{e}$$ ⇒ egyenes meredeksége: $\frac{h}{e}$.

A mérésből tehát $\frac{h}{e}$ adódik. Ha e ismert ⇒ h (Planck-állandó) kiszámítható

Az elemi töltés: = e^- töltése. Millikan határozta meg.

olajcseppeket porlasztott = a fúvóka feltöltötte a cseppeket



a cseppeket a gravitáció lefelé, az ismert elektromos tér felfelé húzza.

A cseppek mérete becsülhető a sebességükből ($V=0$ esetben) ⇒ gravitációs erő ismert

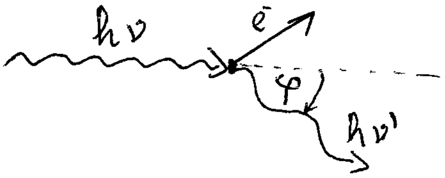
$-e\underline{E} = mg$ ⇒ m, g és $\underline{E}$ ismert → q kiszámítható

Kiderült, hogy a $q_1, q_2, q_3 \dots$ csepp-töltések mindig egy elemi töltés egész számú többszörösei!

⇒ elemi (e^-) töltés $= 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,C$

COMPTON-EFFEKTUS: itt is részecskeként jelenik meg az E.M. sugárzás.

A foton szóródik egy elektronon, meglöki egy biliárd-golyóhoz hasonlóan.



energiamegmaradás:

$$h\nu + mc^2 = h\nu' + \sqrt{(m_0c^2)^2 + (p_ec)^2}$$

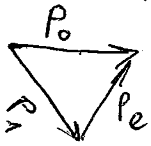
m_0: elektron tömege; p_e: elektron impulzusa

Megjegyzés: p impulzusú részecske energiája relativisztikusan: $E^2 = (mc^2)^2 + (pc)^2$ ⟶ $m=0$ esetén $E = pc$ (pl. foton)

Kis sebességekre: $E = \sqrt{m^2c^4 + p^2c^2} = mc^2\sqrt{1+\frac{p^2}{m^2c^2}} \approx mc^2\left[1 + \frac{p^2}{2m^2c^2}\right] = E_0 + \frac{p^2}{2m} = E_0 + \frac{m^2v^2}{2m} = \underbrace{mc^2}_{\text{nyugalmi energia}} + \underbrace{\frac{1}{2}mv^2}_{\text{mozgási E.}}$

impulzusmegmaradás:

fotón impulzusa: $p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c}$



$\underline{p_0} = \underline{p_1} + \underline{p_e}$ ⇒ koszinusztétel szerint:

p_0: foton, ütk. előtt; p_1: foton, ütk. után; p_e: elektron

$$p_e^2 = p_0^2 + p_1^2 - 2p_0p_1\cos\varphi$$

Az energiamegmaradásból:

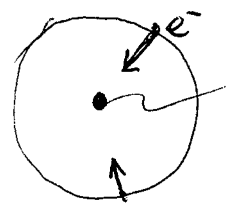
$$(h\nu - h\nu' + m_0c^2)^2 = m_0^2c^4 + p_e^2c^2 = m_0^2c^4 + (h\nu)^2 + (h\nu')^2 - 2h^2\nu\nu'\cos\varphi$$

$$-\cancel{2}h^2\nu\nu' + m_0c^2h\nu - m_0c^2h\nu' + \cancel{2}h^2\nu\nu'\cos\varphi = 0$$

$$h\nu = h\nu'\left(1 + \frac{h\nu}{m_0c^2}(1-\cos\varphi)\right) \Rightarrow \boxed{h\nu' = \frac{h\nu}{1+\frac{h\nu}{m_0c^2}(1-\cos\varphi)}}$$

A BOHR-MODELL

A Bohr-modell szerint az e^--okat a Coulomb-erő tartja kör-(ellipszis)pályán



Nem bármilyen sugáron, csak bizonyos pályákon keringhet az elektron. Feltétel:

$$\text{perdület} = \frac{h}{2\pi}\cdot n \equiv \hbar \cdot n$$

↳ egész szám

Körmozgás egyenlete:

$$\frac{mv^2}{r} = k\cdot\frac{Q_1\cdot Q_2}{r^2} = k\cdot \underbrace{Z}_{\text{rendszám}}\cdot\frac{e^2}{r^2}$$

↳ $m\cdot r\cdot v = n\cdot\hbar$

↳ $v = \frac{n\hbar}{m\cdot r}$

↳ $$m\left(\frac{n\hbar}{mr}\right)^2 = k\cdot Z\cdot\frac{e^2}{r}$$

$$\frac{n^2\hbar^2}{mr} = kZe^2 \rightarrow r = \frac{n^2\hbar^2}{Z m\cdot k\cdot e^2}$$ a körpálya sugara.

$n=1$ és $Z=1$ (hidrogén) esetén: $$r = \frac{\hbar^2}{m\cdot k\cdot e^2} = \frac{(1{,}055\cdot 10^{-34})^2}{9{,}1\cdot 10^{-31}\cdot 9\cdot 10^9\cdot(1{,}6\cdot 10^{-19})^2}\,m =$$

a hidrogénatom sugara →

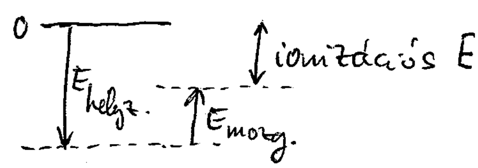
$$= 53\cdot 10^{-12}\,m = 0{,}53\cdot 10^{-10}\,m = \underline{\underline{0{,}53\,\text{Å}}}$$

Ez a BOHR-SUGÁR.

$$v = \frac{n\hbar}{mr} = \frac{n\hbar}{m}\cdot\frac{mke^2}{n^2\hbar^2} = \frac{ke^2}{n\hbar}$$

Mozgási energia: $$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{m}{2}\left(\frac{ke^2}{n\hbar}\right)^2 = \frac{1}{2}\,\frac{mk^2e^4}{n^2\hbar^2}$$

Helyzeti energia: $$-e\frac{ke}{r} = \frac{-ke^2}{n^2\hbar^2}mke^2 = -\frac{mk^2e^4}{n^2\hbar^2}$$

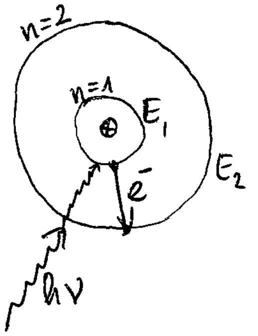


Tehát a hidrogénatom ionizációs energiája: $$\frac{mk^2e^4}{n^2\hbar^2}\left(\frac{1}{2}-1\right)\Big|_{n=1} =$$

$$= -\frac{1}{n^2}\cdot\frac{mk^2e^4}{2\hbar^2}\Big|_{n=1} = -\underbrace{\frac{mk^2e^4}{2\hbar^2}}_{E_0} = \underline{\underline{13{,}6\ eV}}$$ (elektronvolt)

(emlékeztető: egy elektron 1 volt gyorsítófeszültség hatására 1 eV energiára tesz szert)

<u>Színképek</u>: az a fény nyelődik el, amelyik az atomot pontosan gerjeszteni tudja:



$$h\nu = |E_1 - E_2| = \text{energiaszintek különbsége}$$

$$h\nu = E_0\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

pl. a héliumot a színképe alapján fedezték fel: a Napban van

A H-atom energiaszintjei:

0 ———

n=4; $-E_0/16$

n=3; $-E_0/9$

n=2; $-E_0/4$

} gerjesztett állapotok

n=1; $-E_0$ alapállapot (legmélyebb energiaszint)

A gerjesztett állapotból visszajutva az atom egy fotont sugároz ki:

$$h\nu = E_0\left(\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right)$$

A H-atom első felfedezett sorozata: Balmer-sorozat: n=2-es szintre ugrik vissza

Lyman-sorozat: n=1-re ugrik le. (alapállapot)

n=3 sorozat: infravörös tartományban

SPECIÁLIS

RELATIVITÁSELMÉLET

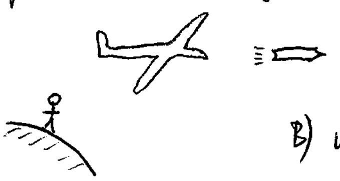
Einstein (1905): két posztulátum: 1) a fizika törvényei minden inercia-rendszerben ugyanazok

2) a vákuumbeli fénysebesség ugyanakkora minden inerciarendszerben.

MEGRÁZÓ KÖVETKEZMÉNYEK!

Pl. egyidejű események az egyik megfigyelő számára nem egyidejűek a másik számára.

példa: Sebesség összeadás szabálya módosul:

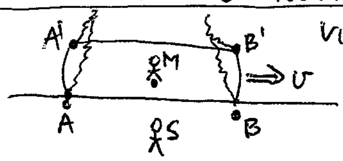


A) repülőről ($v_1 = 1000\,\frac{m}{s}$) rakétát indítanak $v_2 = 2000\,\frac{m}{s}$ relatív sebességgel a földről figyelve a rakéta $v_1 + v_2 = 3000$ m/s sebességgel mozog.

B) most a fényszóróját kapcsolja be. A fénysugár relatív sebessége $3\cdot10^8$ m/s.

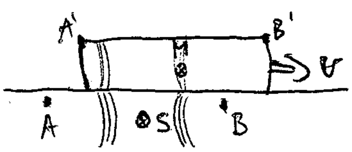
a földről nézve a fénycsóva sebessége: SZINTÉN $3\cdot10^8$ m/s, NEM $3\cdot10^8+1000$ m/s

AZ EGYIDEJŰSÉG RELATIVITÁSA



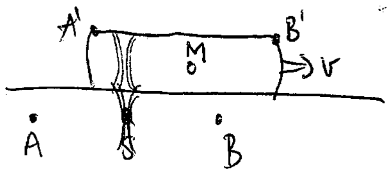
villámcsapás A, B, A', B' pontokban egyidejűleg. M: mozgó megfigyelő

a villám fényét figyelik S: álló megfigyelő



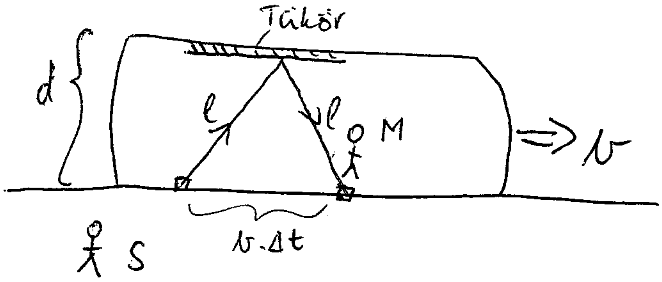
→ M meglátja a B'-ből érkező fényt

→ S meglátja mindkét irányból a villanást. „A és B egyidejűleg villant fel"



→ M szerint „B' előbb villant fel mint A'" !

IDŐ - DILATÁCIÓ



A vonatban felfelé fényt indítunk, ami visszatükröződik a plafonról. M rendszerében a fény függőlegesen fel-le mozog. Az ehhez szükséges idő: $\Delta t_0 = \frac{2d}{c}$.
Ebből $d = \frac{c\Delta t_0}{2}$

S viszont úgy látja, hogy a fény $2l$ utat tesz meg. Az ehhez szükséges idő:

$$\Delta t = \frac{2l}{c} = \frac{2}{c}\sqrt{d^2+\left(\frac{v\Delta t}{2}\right)^2} = \frac{2}{c}\sqrt{\left(\frac{c\Delta t_0}{2}\right)^2+\left(\frac{v\Delta t}{2}\right)^2}$$

Oldjuk meg Δt-re.

$$\Delta t^2 = \frac{4}{c^2}\left[\frac{c^2\Delta t_0^2}{4} + \frac{v^2\Delta t^2}{4}\right] = \Delta t_0^2 + \frac{v^2}{c^2}\Delta t^2$$

$$\Delta t^2\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right) = \Delta t_0^2 \quad \Rightarrow \quad \boxed{\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}}$$

$$\underset{(S)}{\Delta t} > \underset{(M)}{\Delta t_0}$$

Tehát:
tegyük fel, hogy egy kiválasztott inerciarendszerben két esemény ugyanott történik. A köztük eltelt idő ebben a rendszerben mérve Δt_0. Ugyanezt az időtartamot a v = áll. sebességgel mozgó inerciarendszerben ülő megfigyelő $\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ hosszúságúnak méri! (idő-dilatáció)

$v \geq c$ nem lehetséges!

Iker-paradoxon: A és B testvérek, ikrek. B elutazik egy hosszú űrutazásra, nagy sebességgel, majd hazatér A-hoz, aki végig otthon ült. Ekkor A idősebb, mint B! És nem fordítva...
(Magyarázat: A végig inerciarendszerben ült, B viszont valamikor biztosan gyorsult is.)