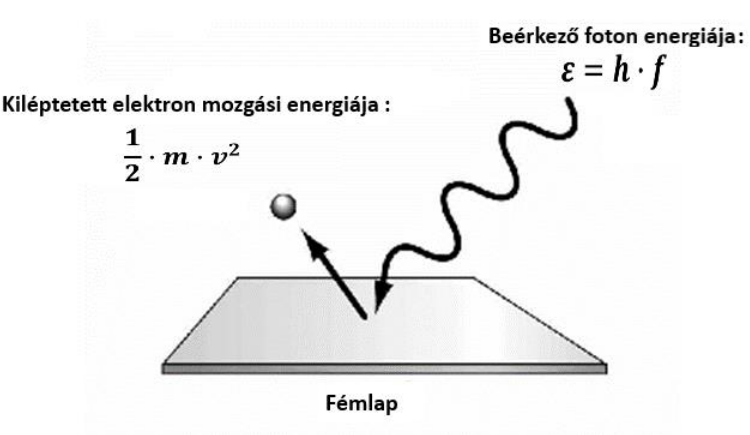
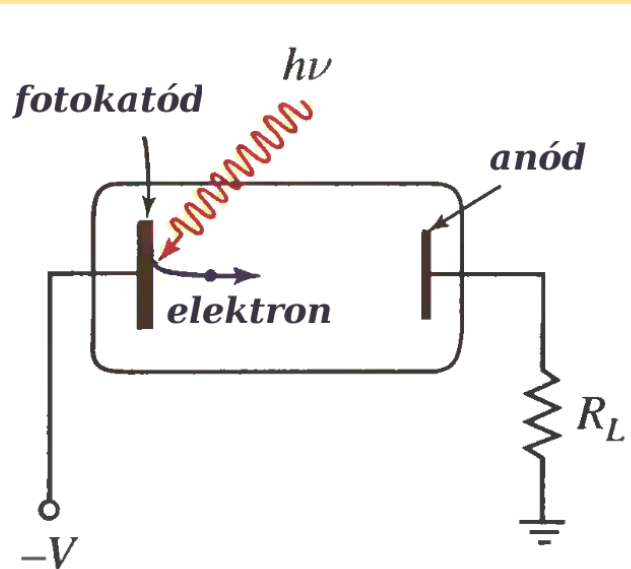


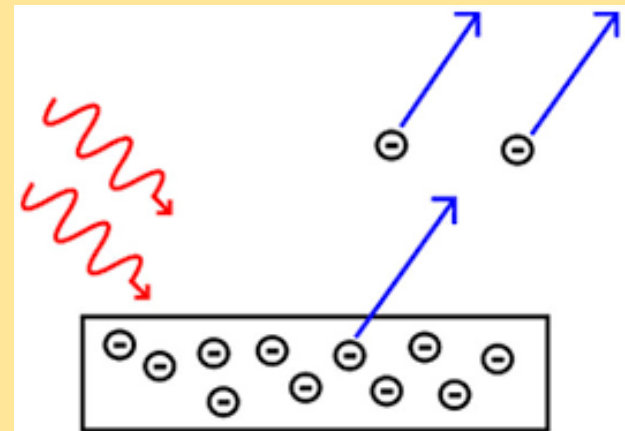


Fényelektromos hatás

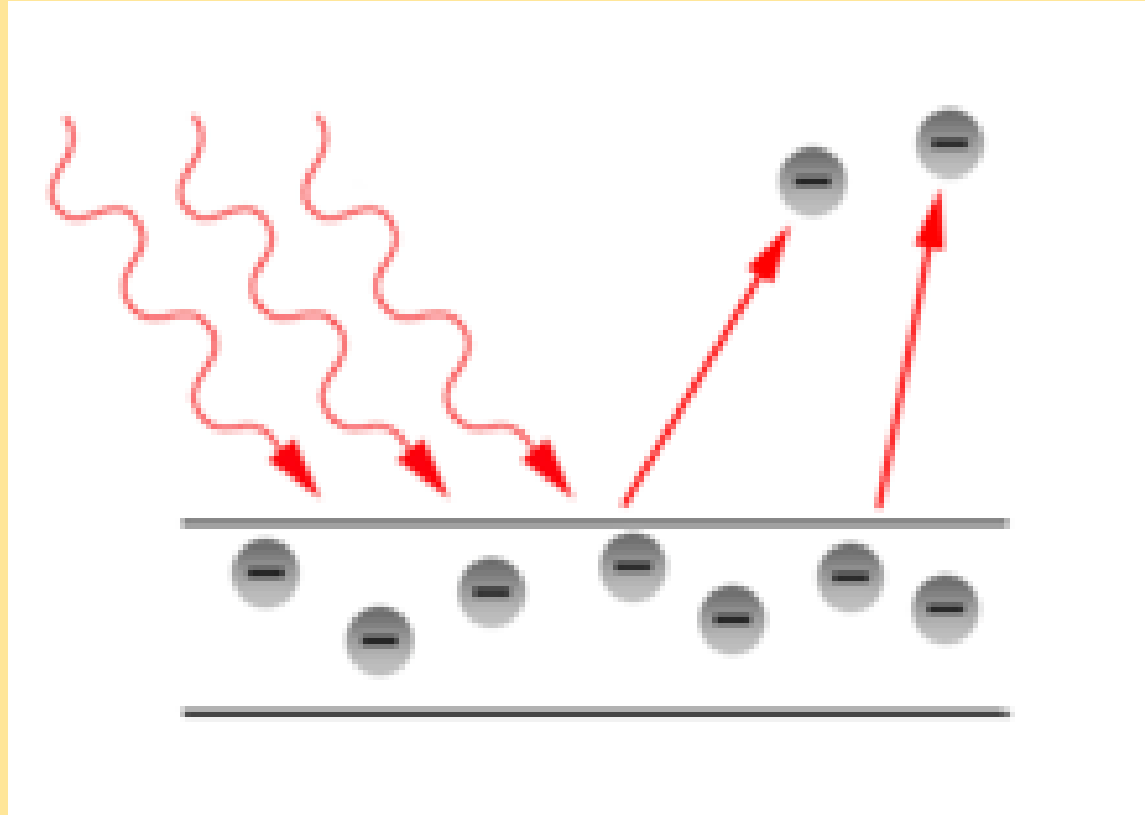
Foton



MA DG 2020

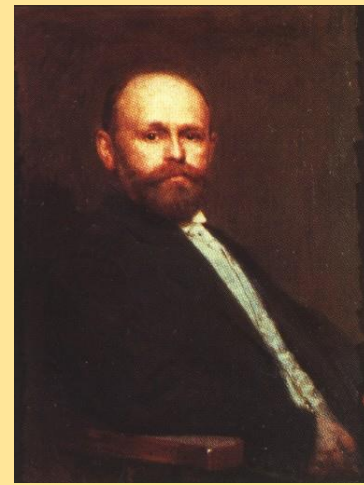
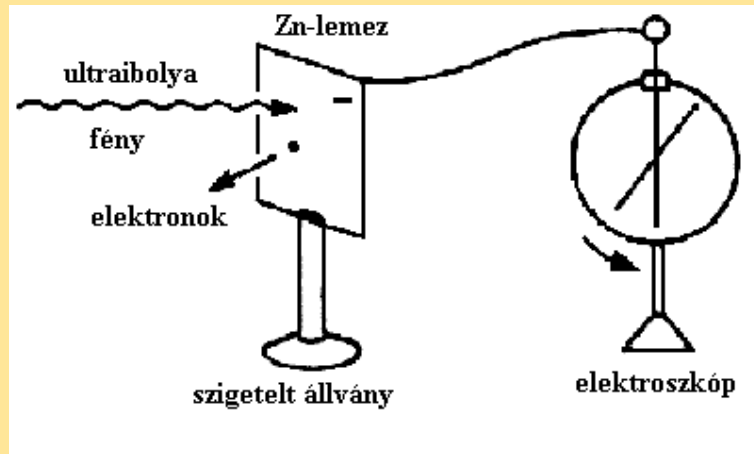


Fotoeffektus



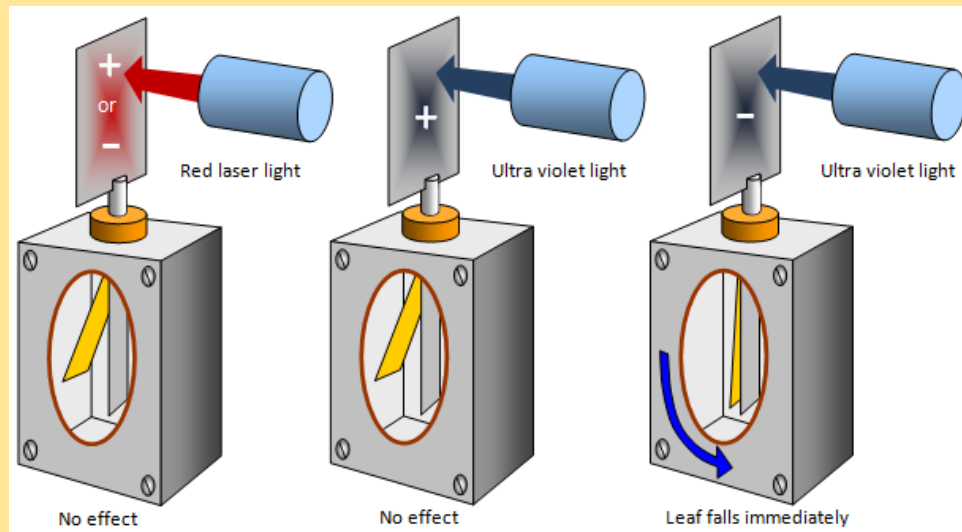
A fény hatására történő elektronkilépést fényelektromos jelenségnek vagy **fotoeffektus**nak nevezzük.

Fotoeffektus felfedezése. Hallwacs kísérlete



Wilhelm Ludwig Franz Hallwachs (1859 –1922)
német fizikus

A fotoeffektus jelenségét a német Hallwacs és tőle függetlenül az orosz Sztolenov fedezte fel 1888-ban.



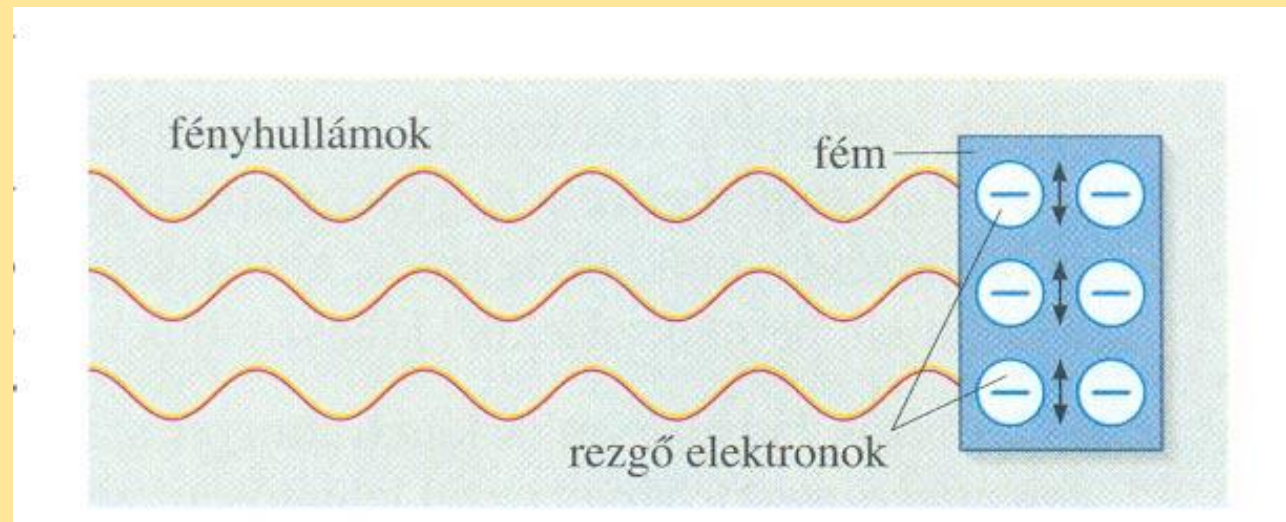
Hallwachs alkálifémek kvarclámpával (higanygőzlámpa) történő megvilágítása során a fémből kilépő negatív töltésű részecskéket detektált. Innen ered a fotoeffektus másik neve, a **Hallwachs-hatás**.

Később J. J. Thomson és Lénárd Fülöp bebizonyította, hogy ezek a részecskék elektronok. A fotoeffektus mennyiségi törvényeit - a kilépő elektronok számát és sebességét a frekvencia függvényében - Lénárd Fülöp határozta meg.

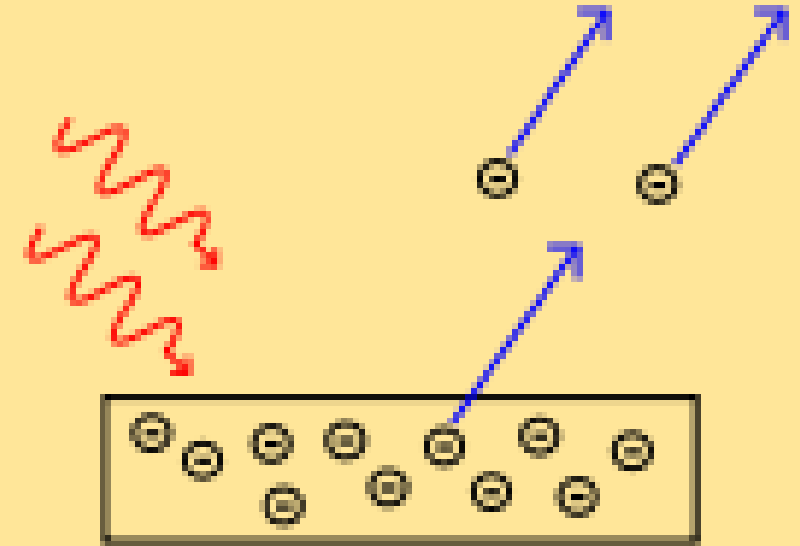
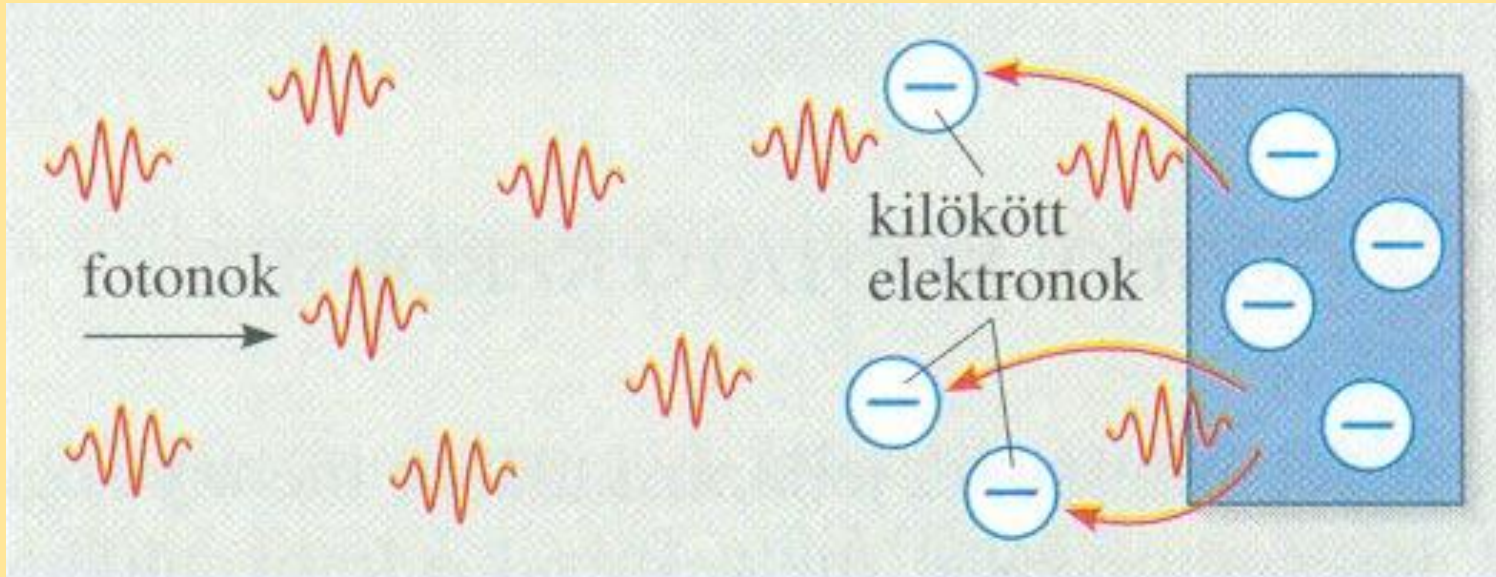
Hogyan értelmezzük a fotoeffektust ?

A hullámmodell ellentmondásai

- A nagyobb fényerősségnél nagyobb sebességgel kéne kilépni az elektronoknak
- Nem magyarázható a határfrekvencia (**csak bizonyos frekvencia fölötti fény vált ki elektronkilépést**, ami anyagonként változó)
- A számítások szerint az elektromágneses mezőben a kis méretű rezgő elektronoknak, **napokig kellene gyűjteni az energiát** ahhoz, hogy a fémből ki tudjanak lépni

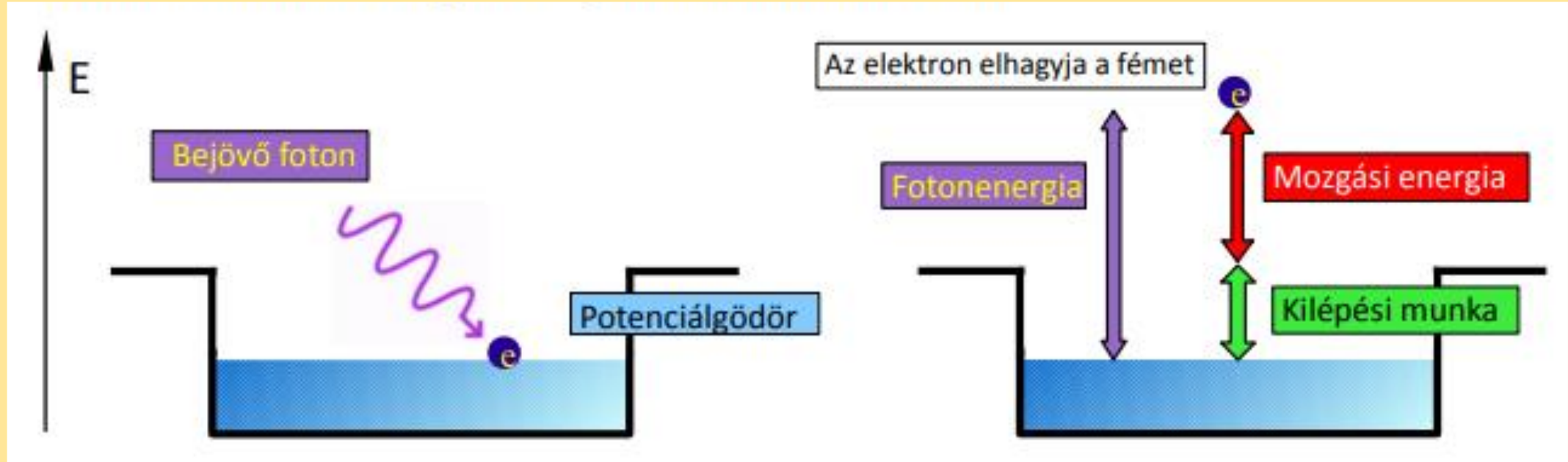


A fotoeffektus értelmezése a fotonmodell alapján



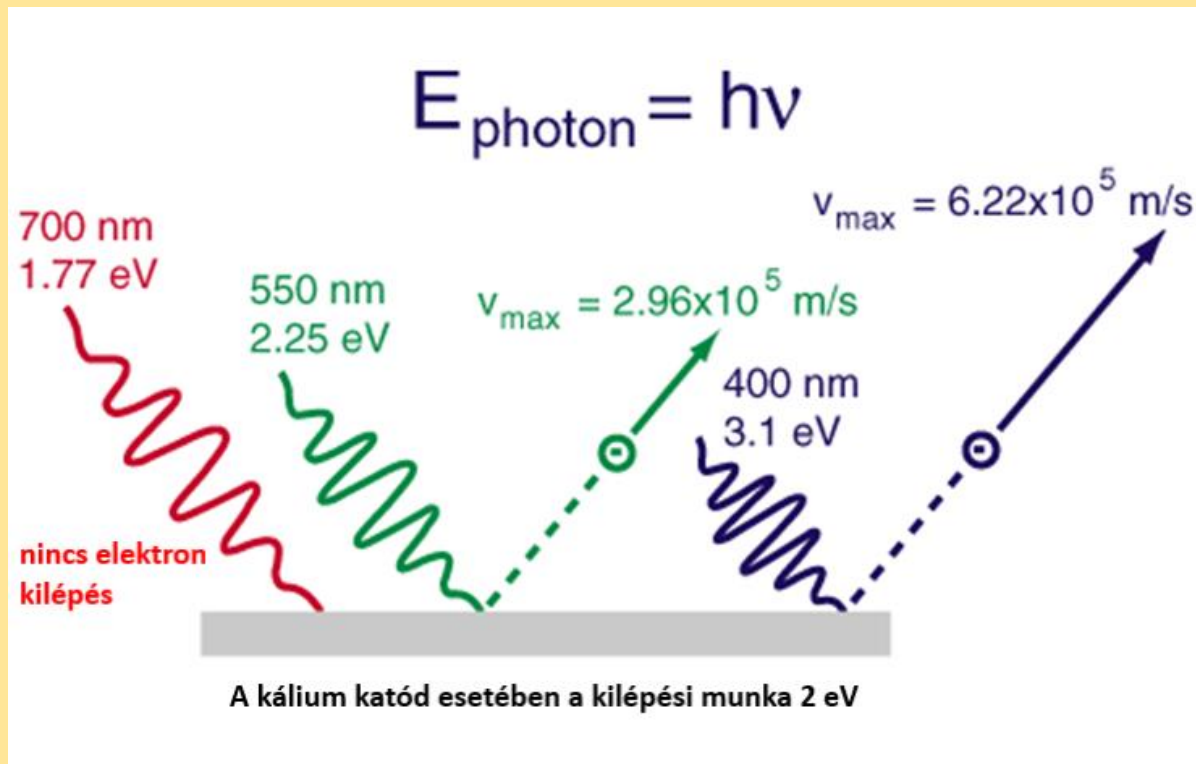
A fény hullámmmodellje és a kísérleti eredmények közötti ellentmondást **Einstein oldotta fel 1905-ben**. Elméletéhez felhasználta Planck kvantumhipotézisét. A fény beérkezésénél $\epsilon = h \cdot f$ energiájú fotonokat tételezett fel.

Mikor lépnek ki elektronok? A fotoeffektus energiamérlege



A fotoeffektus energiamérlege: A fémekben lévő elektronok egy potenciálgödörbe vannak bezárva. Ha egy foton energiáját elnyelve nagyobb energiára tesznek szert, mint a „potenciálgödör mélysége”, akkor el tudják hagyni a gödröt (a fémét). A maradék energia mozgási energiává alakul.

Piros, zöld és kék fotonok energiája



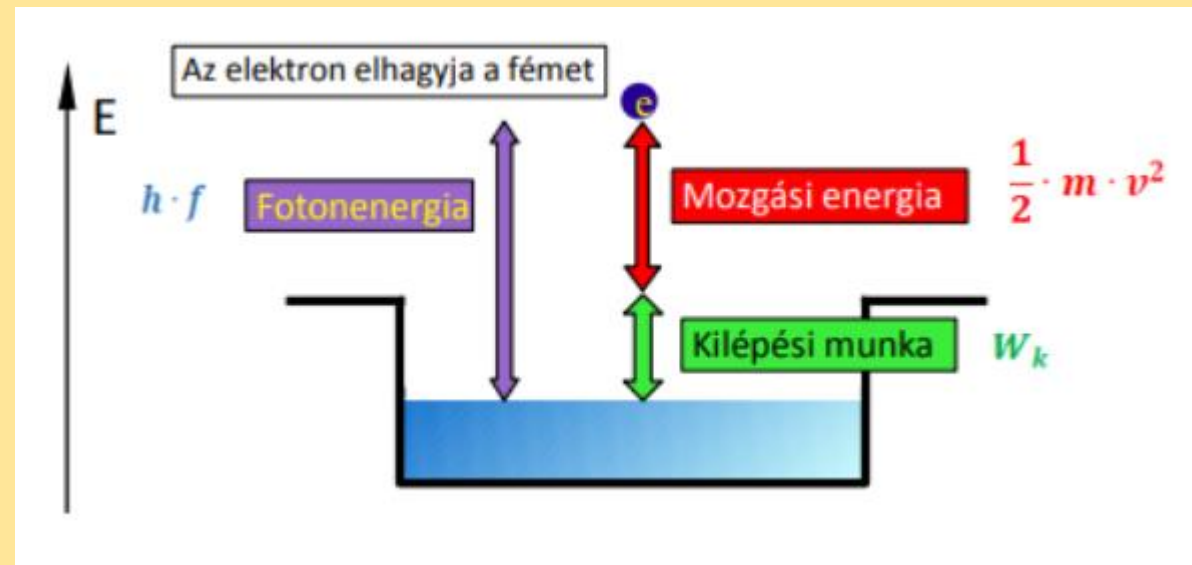
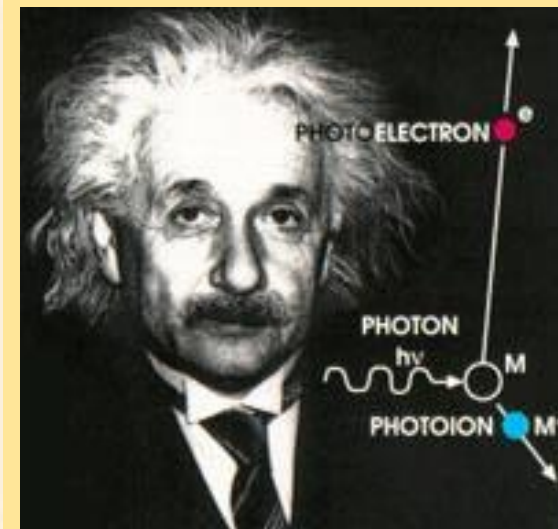
- Az ábrán látható, hogy a piros foton energiája nem elegendő egy elektron kiléptetéséhez.
- A kék foton energiája nagyobb, mint a zöldé, így az általa kiléptetett elektron is nagyobb mozgási energiával rendelkezik.
- Az elektron mozgási energiája egyenlő a foton energiájának és a kilépési munkának a különbségével: $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = h \cdot f - W_k$.

Fényelektromos egyenlet = Nobel díj (1922)

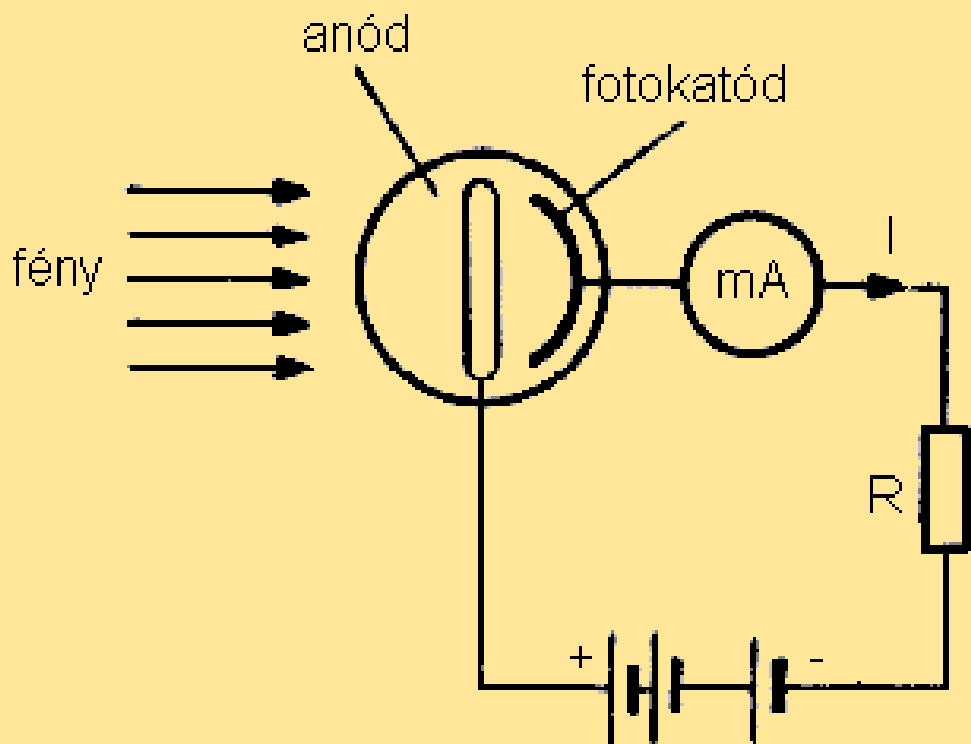
$$h \cdot f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + W_k$$

- $h \cdot f$ a katód felé érkező foton energiája
- W_k kilépési munka, ennyi munkát kell végezni egy elektron katódból való kiléptetéséhez
- $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ a katódból a beérkező foton által kiléptetett elektron energiája

A fém felületére belépő foton energiája megegyezik a kilépő elektron energiájának és a kilépési munkának az összegével.



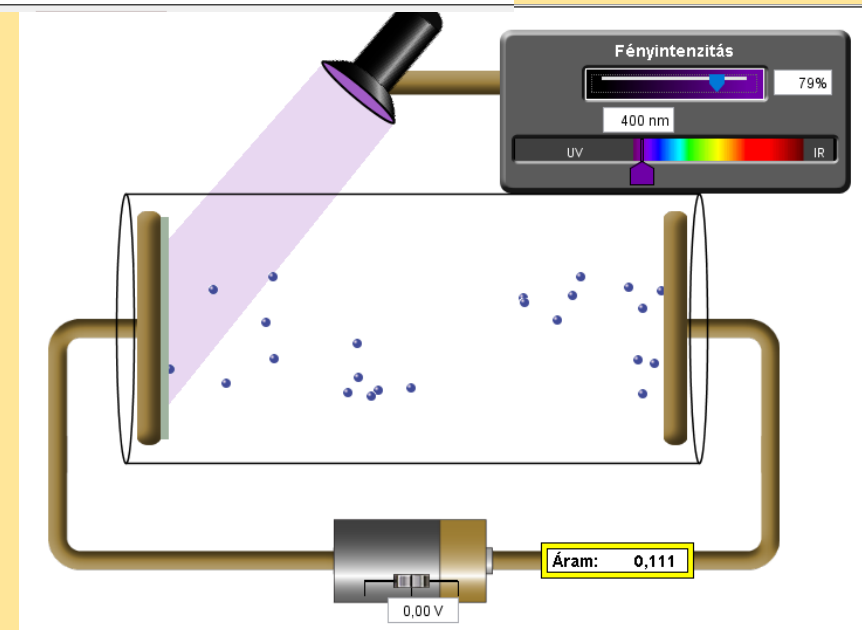
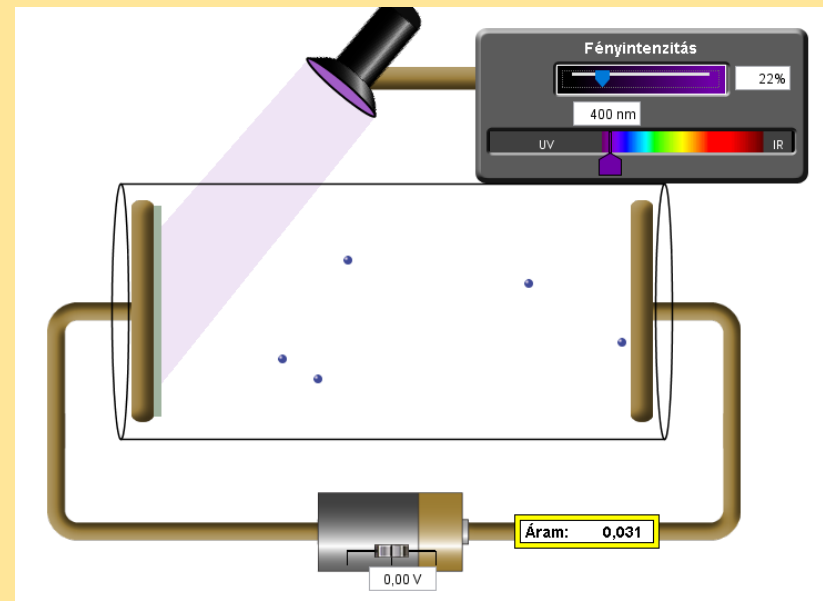
Mindennapi alkalmazás. Fotocella



- A fényelektromos jelenséget használjuk ki a fotocellánál.
- A hagyományos fotocella egy légritkított cső, amelynek katódja valamilyen alkáli fémmel van bevonva, amelynek kicsi a kilépési munkája, nagy felületű, íves kiképzésű. Az anód általában gyűrű alakú.
- Ha a cellára az ábrának megfelelően fényt bocsátunk akkor az érzékeny ampermérő áramot jelez.

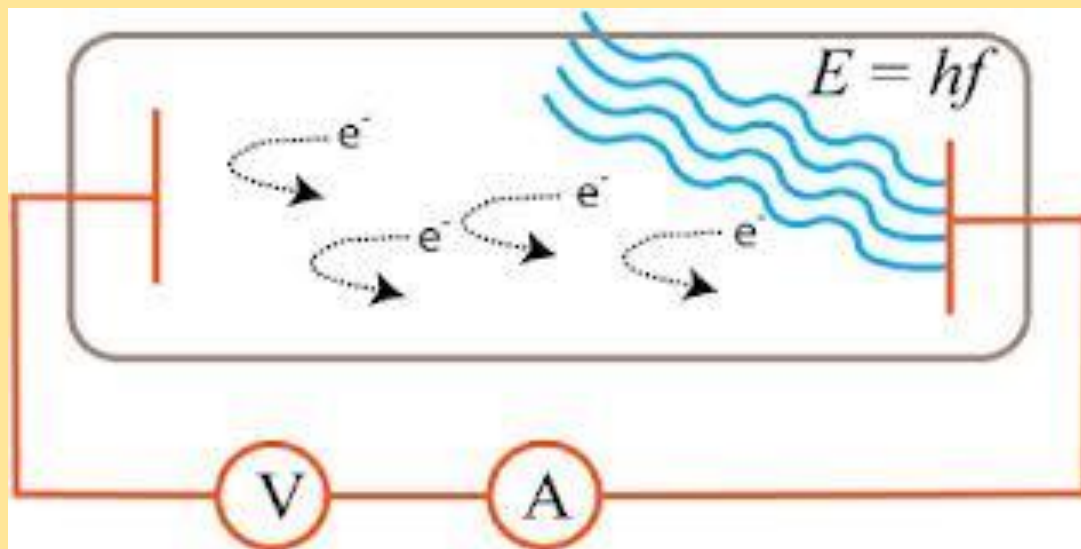
Fotocella, működése

- Erősebb megvilágításnál több elektron lép ki.
- A kilépő elektronok maximális energiáját csak a fény frekvenciája befolyásolja.
- Nagyobb frekvenciájú fény nagyobb mozgási energiájú elektronokat léptet ki.
- Az effektus csak egy bizonyos határfrekvenciánál nagyobb fény esetén lép fel.
- Az elektronkilépés a megvilágítást követően azonnal bekövetkezik.



Megjegyzés: Az elektronika fejlődésének következtében a gyakorlati alkalmazásokban a fotocellát felváltották a fotodiódák. A fotodiódáknak megvilágítás hatására megváltoznak az elektromos tulajdonságai. Fény hatására nem szabadulnak ki belőlük elektronok, hanem úgynevezett elektron-lyuk párok keletkeznek bennük, melyek erősen megnövelik a fotodióda áramát.

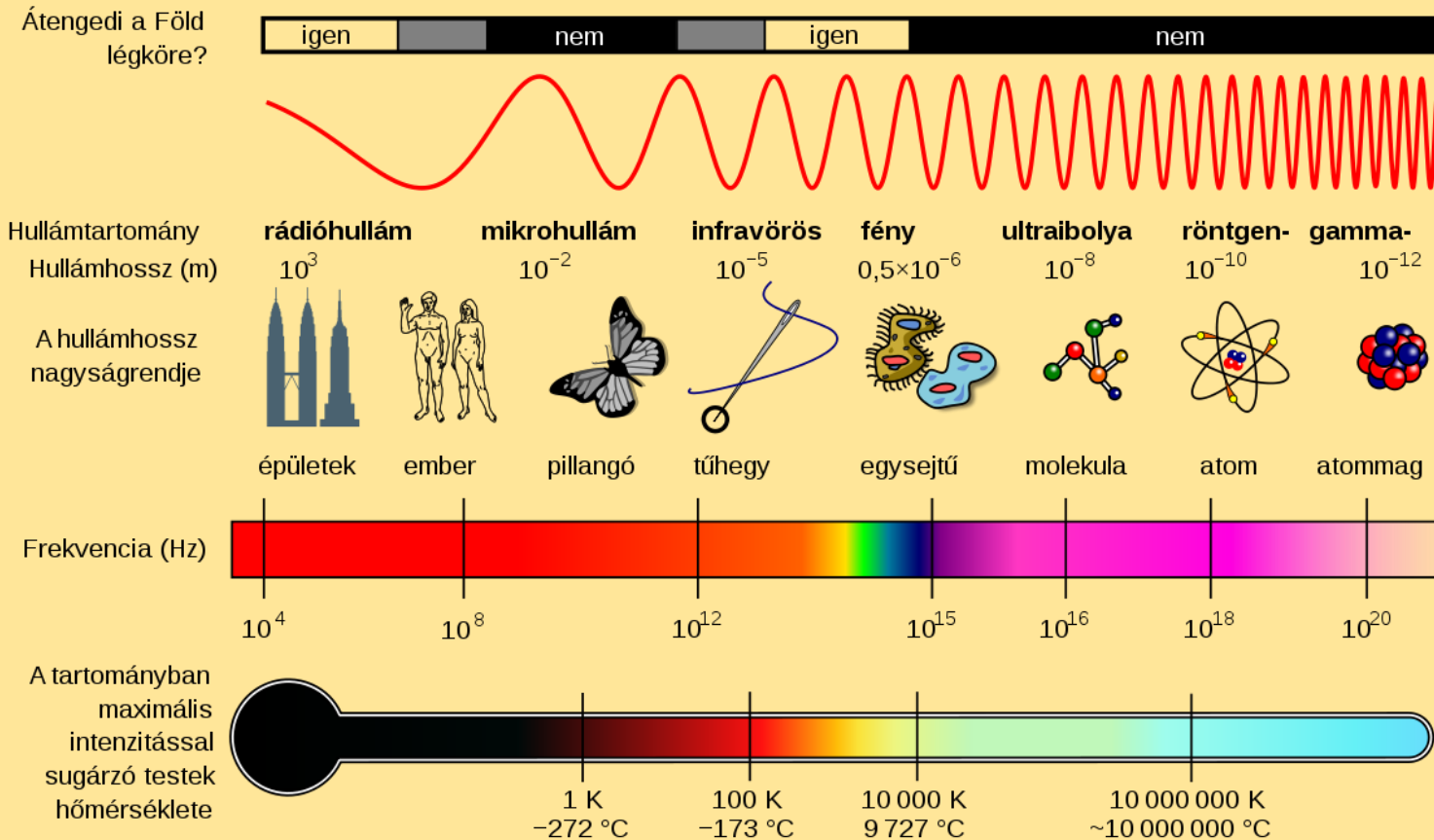
Ellentér módszer



Ellentér módszer alkalmazásakor az anódra negatív a katódra pozitív polaritást kapcsolunk. Bizonyos ellenfeszültségnél már nem lépnek ki elektronok.

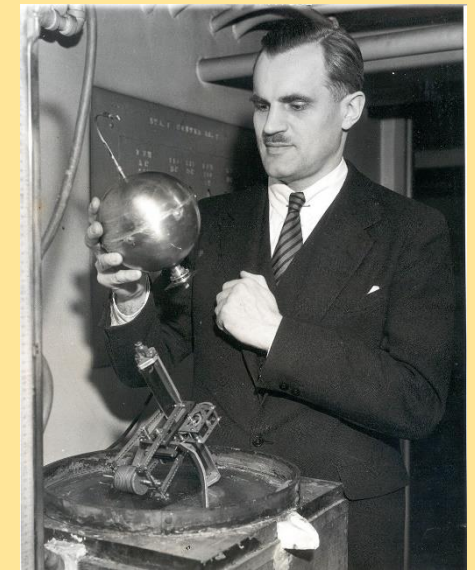
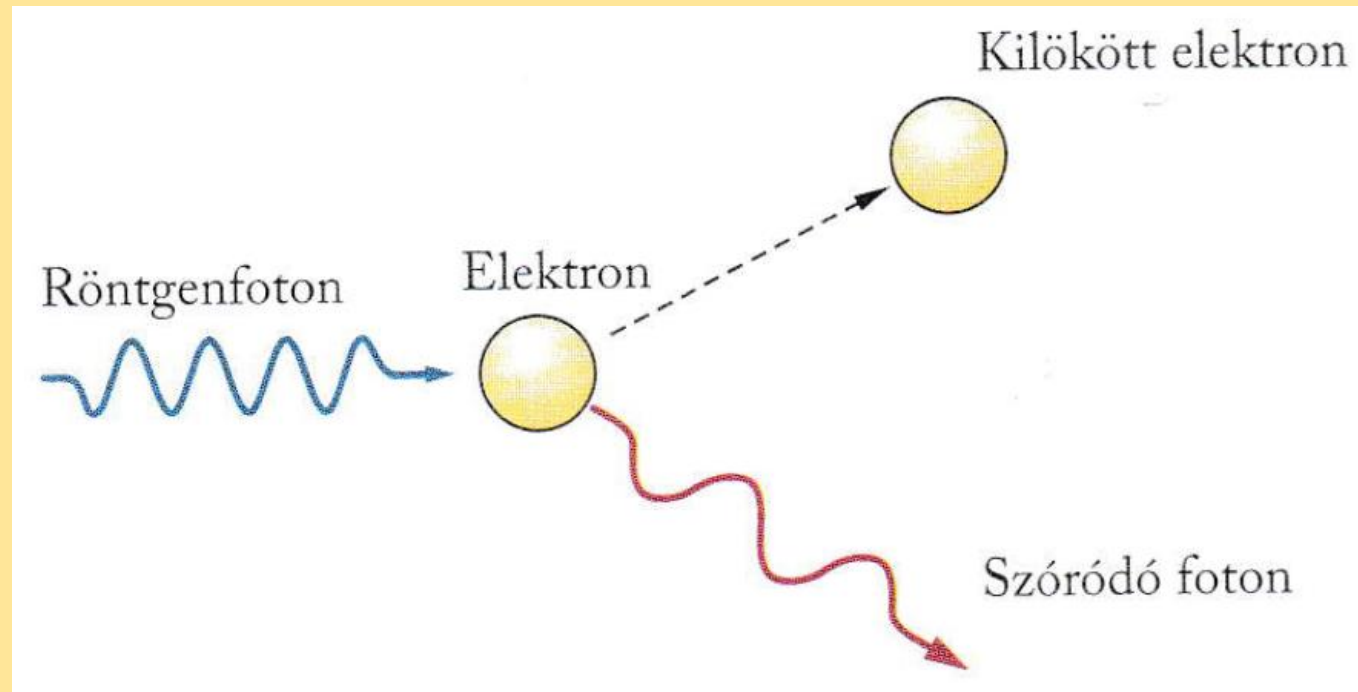
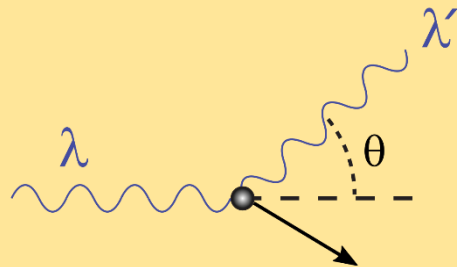
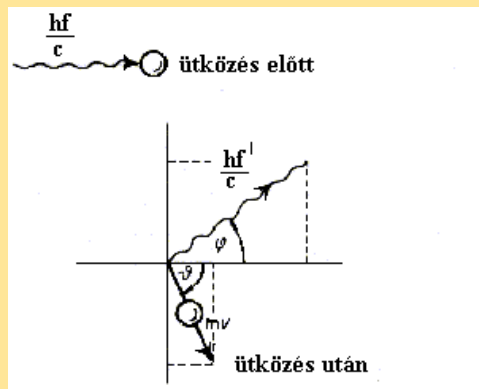
A zárófeszültség értékéből meghatározhatjuk a katódból kilépő elektronok maximális energiáját.

Elektromágneses hullámok spektruma



- A **foton az elektromágneses sugárzás elemi része** (úgy képzelhető el mint egy véges hosszúságú hullámvonulat) , amely bizonyos hullámhosszal, frekvenciával és meghatározott energiaegységgel, kvantummal rendelkezik.
- A foton energiája egyenesen arányos a frekvenciájával ($\varepsilon = h \cdot f$).
- Egy röntgen foton energiája sokkal nagyobb, mint egy mikrohullámú foton energiája.

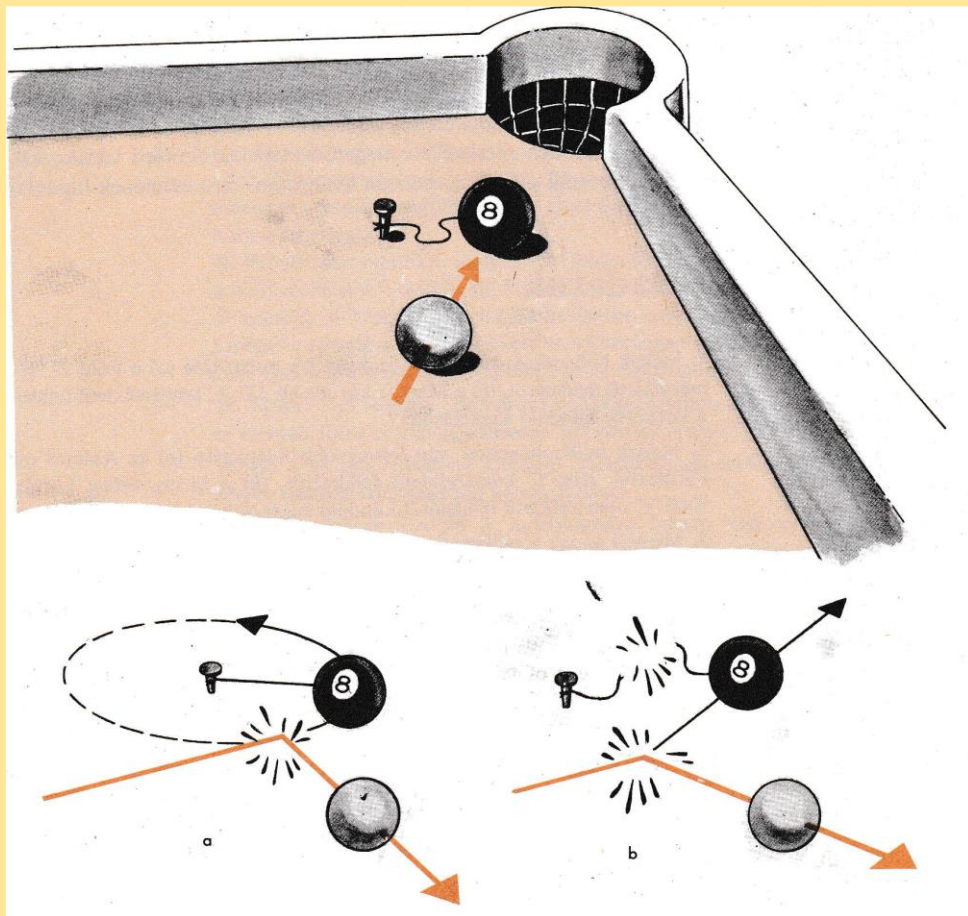
A fényszecske természetének újabb igazolása: Compton kísérlete



Arthur Holly Compton (1892-1962) amerikai fizikus. 1927-ben Nobel-díjban részesült a róla elnevezett Compton-szórás felfedezésének köszönhetően.

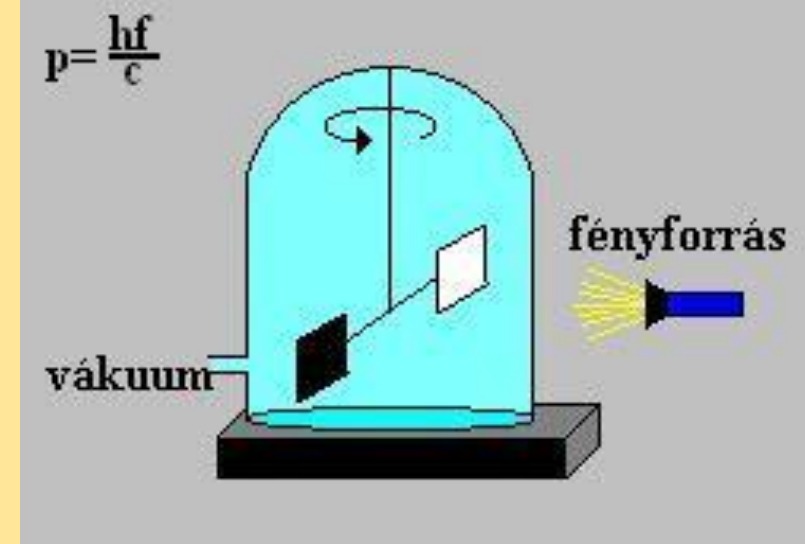
- Compton nagy energiájú röntgen fénnel világított meg grafitot. A röntgen foton ($\varepsilon_1 = h \cdot f_1$) a grafitból egy adott irányba elektront ütött ki. Emellett kilépett a belépőnél kisebb energiájú ($\varepsilon_2 = h \cdot f_2$), más irányú foton.
- A rugalmas ütközés közben a foton energiájának egy részét átadja az elektronnak, így a frekvenciája is lecsökken ($\varepsilon_2 < \varepsilon_1$), miközben másik irányba elpattan.

A foton-elektron effektus modellezése



- Ha a foton részecske természetű, akkor biliárd golyókhoz hasonló ütközéseket produkál.
- Tegyük fel, hogy a biliárdasztalon nyugvó fekete golyó (az elektron) fonállal van hozzáerősítve egy szeghez. Ha egy fekete golyót egy fehér golyóval (foton) megütve találjuk el, akkor, ha az elegendő energiával rendelkezik (nagyobb, mint a kilépési munka) elszakítva a fonalat arrébb üti a fekete golyót.

A fénynyomás



- A foton lendülettel rendelkezik. Egy fénynyaláb tehát nyomás gyakorol arra a felületre, amelyről visszaverődik, vagy amiben elnyelődik. A fénynyomás könnyen értelmezhető fotonok záporaként, de már Maxwell is tudta értelmezni az elektromágneses hullámok segítségével. **A fénynyomás tehát egyaránt értelmezhető a hullám és részecske természettel is.**
- A fénynyomást közvetlenül is ki tudta mutatni az orosz **Lebegyev 1901-ben**. Torziós szárlapátokat helyezett el, egyik oldalukat fehérre, másikat feketére festette. Az eszközt üvegbúra alá helyezte és nagyon nagy vákuumot létesített. A lapátokat periodikusan fénnel világította meg, és a torziós szál sajátfrekvenciájára hangolva a torziós lengések rezonanciaszerű erősödését figyelte meg.
- **(Ha a vákuum nem tökéletes,** akkor a forgás a rajz irányával ellentétes a felmelegedett lapátok által ellökött levegő-molekulák reakcióereje miatt. Ezen az elven Crookes sugárázmérője működik.)

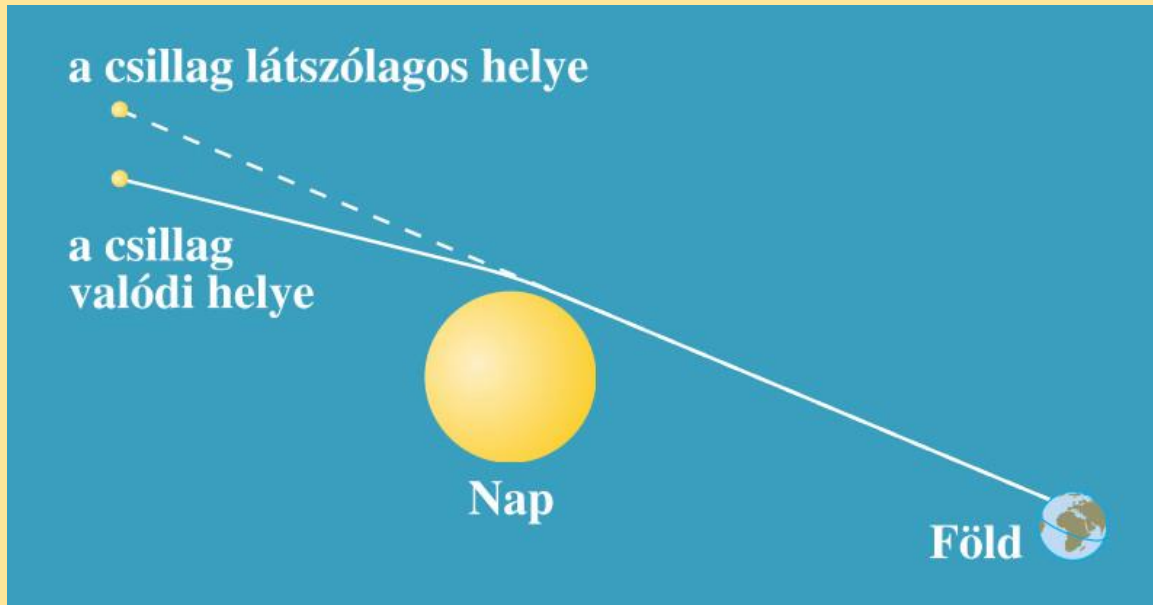
Üstökös csóvájának elhajlása



- A fénynyomás a Nap és a csillagok belsejében már olyan számottevő lehet, hogy képes ellensúlyozni a csillagok gravitációs összehúzóását.
- A világűrben, ahol a gáznyomás elhanyagolható a Nap közelében elhaladó üstökös apró porszemekből álló csóvájának elhajlását a napsugárzás nyomása okozza.

Üstökös csóvájának eltérülése a napfény hatására.

Foton és a gravitációs kölcsönhatás



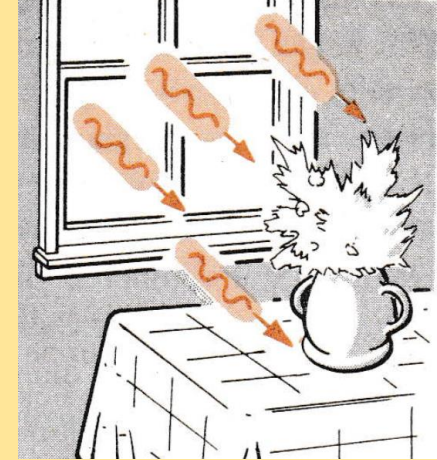
Fény elhajlása a Nap közelében

A gravitációs vonzás fellép az égitestek gravitációs mezője és a tömeggel bíró fotonok között is.

Az általános relativitáselmélet első kísérleti igazolását és az elismerést hozó sikerét az 1919. évi napfogyatkozásnál megfigyelt fényelhajlással aratta.

Tulajdonképpen ez a csillagászati megfigyelés járult hozzá döntő mértékben, hogy a fizikusok többsége komolyan vette **Einstein elméletét**.

Foton: összegzés



- **A foton** az elektromágneses sugárzások, többek között a **fény elemi részecskéje**, legkisebb egysége, kvantuma.
- A modern fizika területén a foton az elektromágneses jelenségekért felelős elemi részecske. Az elektromágneses kölcsönhatás közvetítője és a fény és a többi elektromágneses hullám minden formájáért ez a részecske felelős.
- **A fotonnak nulla az invariáns (nyugalmi) tömege és a c sebessége állandó, a vákuumbeli fénysebesség.**
- Anyag jelenlétében viszont lelassul, vagy el is nyelődhet a frekvenciájával arányos energiát és lendületet közvetítve. Mint minden kvantum, a fotonnak is vannak hullám- és részecsketulajdonságai; teljesül rá a **hullám-részecske kettősség**.

Keletkezés, megsemmisülés:

- Többféle természetes folyamat során keletkezhet, például ha **töltést gyorsítunk**, amikor egy atom vagy egy atommag magasabb **energiaszintről alacsonyabbra ugrik**, vagy amikor egy **részecske és az antirészecske találkozik** megsemmisíti egymást.
- A foton elnyelése az előbbi folyamatok időben fordított változatában történhet: például **részecske-antirészecske párok** **keltésével** vagy **atomok és atommagok magasabb szintre kerülésével**.

Foton tömege, lendülete

- A modern fizika elméletileg és kísérletileg is igazolta, hogy a fény az anyag egyik megjelenési formája.
- A fotont olyan fényrészecskének tekinthetjük, amely a vákuumbeli fénysebességgel mozog és **meghatározott energiával, tömeggel és lendülettel rendelkezik.** (Nyugalmi energiája nulla.)

Foton energiája: $\varepsilon = h \cdot f$

Tömeg energia ekvivalencia: $E = m \cdot c^2$

Foton tömege: $m_{foton} = \frac{h \cdot f}{c^2}$

Foton lendülete: $p = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{h}{\lambda}$



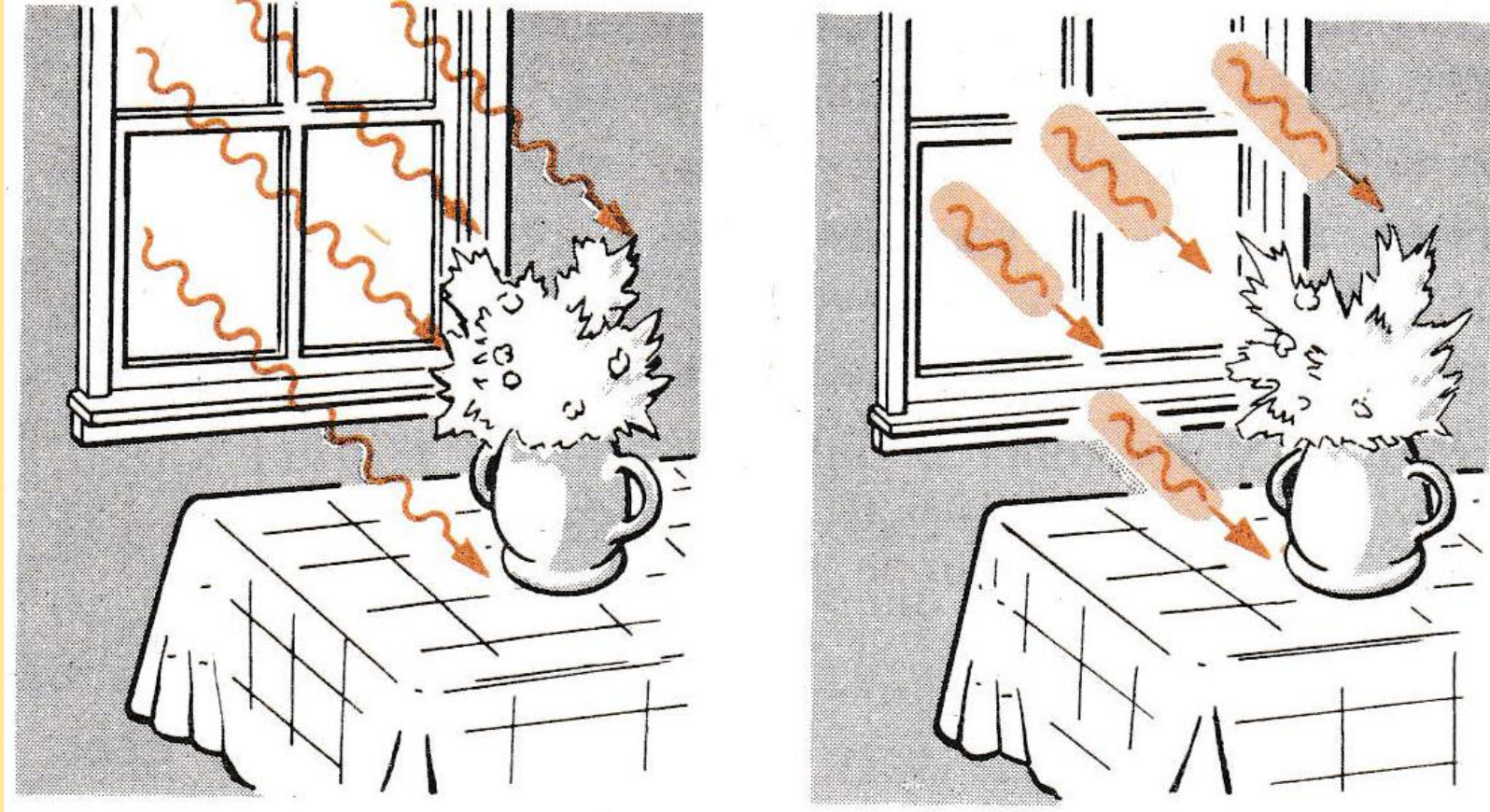
„energiában szegény”



„energiában gazdag”

fénykvantum, $E = h \nu$

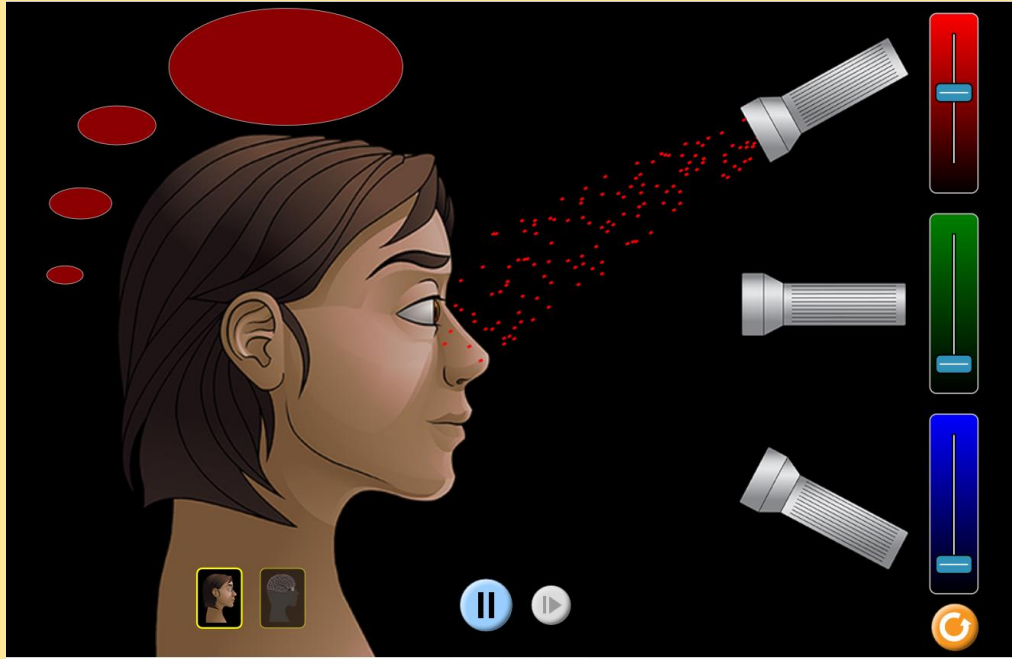
Összefoglalva: A fény fotonok özöne



Régebbi felfogás szerint a fény folytonos hullámvonulat: növekvő amplitúdó jelenti az intenzitás növekedését (baloldali ábra).

A modern fizika szerint (jobboldali ábra) a fény **fotonok** árama és minden egyes fotonnak egy bizonyos energia-kvantuma van. A fény intenzitását a másodpercenként beérkező fotonok száma szabja meg.

Mit látunk?



Baloldali ábra: A buborékban lévő színt látjuk, amikor csak piros fotonok érkeznek felénk.

Jobboldali ábrák: A buborékban lévő színeket látjuk, amikor piros, kék és zöld fotonok érkeznek felénk.

Meghatározó, hogy az intenzitásuk nem azonos.

