

Misák Sándor

ELEKTRONIKA I.

DE TTK

v.0.3 (2007.10.05.)

2. előadás

1. Elektronikus alkatrészek működésének alapjai a sávelmélet eszköztárával;

2. Vezetési mechanizmusok:

- Vezetés folyadékokban;
- Vezetés gázokban;
- Vezetés dielektrikumokban;
- Vezetés fémekben;
- Vezetés vákuumban;
- Vezetés félvezetőkben.

**ELEKTRONIKUS
ALKATRÉSZEK
MŰKÖDÉSÉNEK ALAPJAI A
SÁVELMÉLET
ESZKÖZTÁRÁVAL**

MAKROVILÁG <---> MIKROVILÁG

MAKROVILÁG:

viselkedés – **részecske** tulajdonság;

vizsgálat – **szabad szemmel** látható;

felépítés – **atomok sokaságából** épül fel

(10^{22} - 10^{23} cm⁻³).

MAKROVILÁG <---> MIKROVILÁG

MIKROVILÁG:

viselkedés – **részecske-hullám dualizmus**

(**de Broigle**-hullámhossz);

vizsgálat – **speciális berendezések** kellenek a vizsgálathoz (pl. **elektron mikroszkóp**, **röntgen-diffrakció**, **atomerő mikroszkóp**);

felépítés – **kvarkok**, **elemi részecskék** (pl. **elektronok**, **protonok**, **neutronok**), **atomok**, **molekulák**.

MIKROVILÁG

ATOM szerkezete:

- **atommag** (proton, neutron);
- **elektron(ok)** (elektronfelhő).

Az elektronok az energiaszinteket a **Pauli-elv** szerint foglalják el.

Minden egyes energiaszint saját egyedi kvantumszám-négyessel bír.

Kvantumszámok – n , l , m , s .

ALAPVETŐ DEFINÍCIÓK

ANYAG:

A materializmus tanítása szerint a tudattól független létező valóság, amely a létező világot alkotja.

Technikai értelemben az ember által alkotott szerszámok, gépek eszközök, műtárgyak építőeleme.

A modern atomfizika egyre mélyebbre hatol az anyag szerkezetébe.

ALAPVETŐ DEFINÍCIÓK

VEGYÜLET, MOLEKULA:

Kémiai szempontból az anyagok két nagy csoportra bonthatók: elemekre és vegyületekre.

A vegyületek kémiai reakciók során elemekből keletkeznek.

A vegyületek azon legkisebb építőegységei, amelyek még rendelkeznek a vegyület valamennyi kémiai tulajdonságával, a molekulák.

ALAPVETŐ DEFINÍCIÓK

ELEM, ATOM:

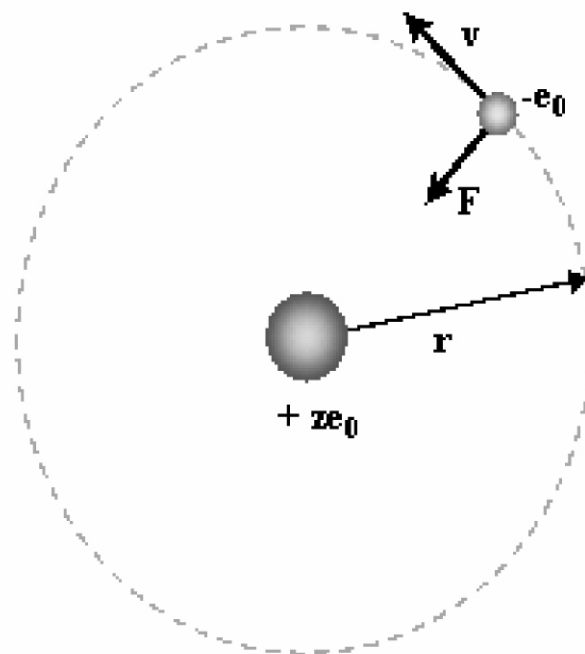
Az **elemek** kémiai szempontból a legegyszerűbb anyagok.

Az **elemek** legkisebb építőelemei az **atomok**.

Az **elem** legkisebb része, amely még rendelkezik annak összes tulajdonságával, az **atom**.

Részecske-hullám **kettőség (dualizmus)**.

BOHR-MODELL



$$d_{\text{atommag}} \approx 10^{-15} \text{ m}$$

$$d_{\text{atom}} \approx 0,8 \cdot 10^{-10} \dots 3 \cdot 10^{-10} \text{ m} \quad (-e_0)$$

$$\Rightarrow |F| = \underbrace{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{ze_0^2}{r^2}}_{\text{Coulomb erő}} = \underbrace{\frac{m_e v^2}{r}}_{\text{Centripetális erő}}$$

A Bohr-féle atommodell vázlata

BOHR-MODELL

pályafeltétel

A megengedett elektronpályákon az elektron impulzusmomentuma (perdülete) csak $\hbar$ egészszámú többszöröse lehet, azaz

$$mvr = n\hbar$$

frekvenciafeltétel

Az atomok fénykibocsátását Bohr két állandó energiájú pálya közti elektronátmenettel értelmezte.

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

DE BROIGLE HIPOTÉZISE

De Broigle a részecskéknek (elektron, proton, stb.) hullámot feleltetett meg.

A hullám jellemzőinek (λ , ν) meghatározásához a fotonra vonatkozó összefüggéseket fogadta el.

Eszerint egy E energiájú, m tömegű, v sebességű részecskéhez:

$$\boxed{\nu = E/h} \text{ frekvenciájú és } \boxed{\lambda = h/p = h/(mv)}$$

hullámhosszú síkhullám rendelhető.

DE BROIGLE HIPOTÉZISE

De Broigle részecske-hullám hipotézisét 1927-ben sikerült kísérletileg bizonyítani (Davisson és Germer).

De Broigle az mv impulzusú részecskéhez $\lambda = h/(mv)$ hullámhosszúságú végtelen síkhullámot rendelt.

Ez viszont nem fogadható el maradéktalanul:

A mozgó részecske kiterjedése véges kell hogy legyen.

Bizonyítás: véges sebesség, mérhető idő, pontszerű becsapódás az ernyőn.

HULLÁMCSOMAG

Az ellentmondás feloldható, ha a részecskéhez **nem** végtelen síkhullámot, hanem véges hullámvonulatot – **hullámcsoportot (hullámcsomagot)** rendelünk.

Hullámcsoport esetén a hullámfüggvény amplitúdója **egy kisebb-nagyobb tartományban** különbözik a zérustól.

A hullámcsomagot matematikailag több különböző hullámhosszúságú szinuszhullám szuperpozíciójaként írhatjuk le.

HULLÁMCSOMAG

A hullámcsoport Δx kiterjedése annál nagyobb, minél kevésbé tér el egymástól λ_1 és λ_2 értéke, illetve annál kisebb, minél tágabb az összetevő síkhullámok hullámhossztartománya.

Ellentmondás: relativitáselmélet – részecske sebessége.

HULLÁMCSOMAG

A térben lokalizált részecske sebessége ugyanis **nem** a hullám **fázissebességével**, **hanem** az egész csomag előrehaladási sebességével, az ún. v_{cs} **csomagsebességgel** azonos.

$$v_{cs} = \frac{d\omega}{dk} = \frac{dE}{dp}, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

HEISENBERG-FÉLE HATÁROZATLANSÁGI RELÁCIÓ

A részecskék **helye** és **impulzusa** nem **határozható meg egyszerre tetszőleges pontossággal:**

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Hasonló relációk:

szög és **impulzusmomentum** **koordináták** között:

$$\Delta \alpha \cdot \Delta N_{\alpha} \geq \frac{\hbar}{2}$$

HEISENBERG-FÉLE HATÁROZATLANSÁGI RELÁCIÓ

Energia és idő között:

$$\Delta E \cdot \tau \geq \frac{\hbar}{2}$$

Ha egy elektron gerjesztett energiája ΔE szélességű, akkor az alapállapotba történő visszatérés – azaz a megfelelő energiájú foton kisugárzása – τ időtartam erejéig bizonytalan.

Heisenberg-féle mikroszkóp kísérlet
(hipotetikus)

HULLÁMFÜGGVÉNY

A hullámfüggvény a részecske helyét (a hullámcsomag szélességén keresztül), a részecske impulzusát (a de Broigle-hullámhosszon keresztül), röviden a részecske állapotát jellemzi.

Az elektronok hullámtulajdonságát kristálysírok segítségével előállított interferenciakép bizonyította (O. Jönsson, 1961).

HULLÁMFÜGGVÉNY

Max Born adta elsőként a **de Broigle-hullámok** fizikai értelmezését.

Eszerint az **elektronok** $\psi(\mathbf{x},t)$ hullámfüggvénye meghatározza **megtalálási valószínűségüket**.

$$P(r) = |\psi(r)|^2 \Delta V$$

SCHRÖDINGER-EGYENLET

Szabad részecske – hullámcsomag.

Kötött részecske – Schrödinger-egyenlet.

$$i\hbar \frac{\partial \psi(x,t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\partial^2 \psi(x,t)}{\partial x^2} + V\psi(x,t) \right)$$

**A kötött részecskék állapotát leíró
hullámfüggvények – állóhullámok.**

**Az olyan állapotokat, amelyekben lényegesen
különböző hullámfüggvényekhez azonos
energia tartozik, elfajuló (degenerált)
állapotoknak nevezzük.**

KVANTUMSZÁMOK

A **Schrödinger-féle** hullámmechanikai leírás szerint a hidrogénatom elektronja **négy kvantumszám** segítségével jellemezhető.

Az **n** kvantumszám döntően meghatározza az elektron energiáját.

Az **l** mellék kvantumszám az elektron-állóhullámok csomósíkjainak számát adja meg, és ezzel a hullámfüggvény alakját, az elektron megtalálási valószínűségének anizotrópiáját jellemzi.

KVANTUMSZÁMOK

Az **m** mágneses kvantumszám az elektron-állóhullámok térbeli orientációját szabja meg az iránykvantált impulzusmomentum meghatározásán keresztül (**Zeeman-effektus**).

Az **s** spinquantumszám az elektron sajátperdületének állását határozza meg (**Stern, Gerlach**).

Adott kvantumszámsorozat esetén az elektron állapota meghatározható.

PAULI-ELV

A több elektront tartalmazó kvantummechanikai rendszerekben (atom, molekula, kristály, stb.) minden egyes elektron más-más kvantumállapotban van.

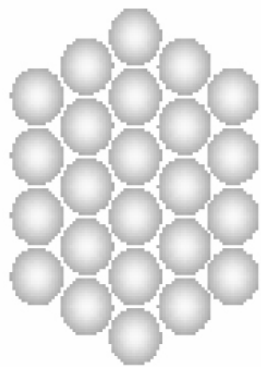
Ennek megfelelően az atomokban az elektron állapotát jellemző négy kvantumszám közül legalább egynek különbözőnek kell lennie, ha az atom bármely két elektronját összehasonlítjuk.

HALMAZÁLLAPOTOK

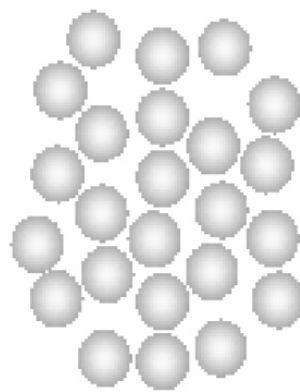
- **Szilárd** állapot;
- **Folyadék** állapot;
- **Gáz** állapot;
- **Plazma** állapot.

**A gázok, folyadékok, szilárd testek
atomokból, ionokból vagy molekulákból
épülnek fel.**

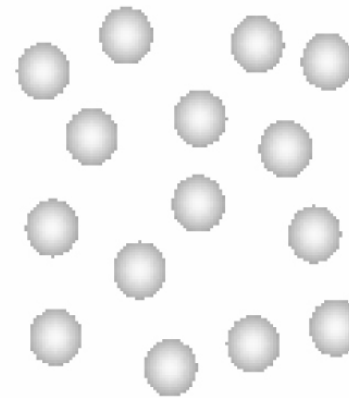
HALMAZÁLLAPOTOK



kristály

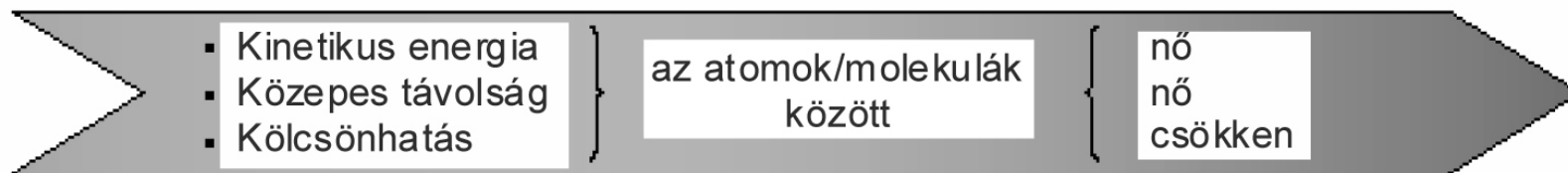


olvadék



gáz

Hőmérséklet:	T_1	<	T_2	<	T_3
Halmazállapot:	szilárd		folyékony		gáznemű
Rendezettség:	hosszútávú		rövidtávú		hiányzik



Az anyagok halmazállapotának változása a hőmérséklet emelésével

ATOMOK KÖZÖTTI KÖLCSÖNHATÁS

Ha az atomok néhány tized nanométernyire közel kerülnek egymáshoz, akkor közöttük bizonyos erővel jellemezhető kölcsönhatás lép fel.

Két ellentétes vagy azonos előjelű q és Q elektromos töltés között Coulomb-erő hat:

$$F = k \frac{qQ}{r^2}$$

ATOMOK KÖZÖTTI KÖLCSÖNHATÁS

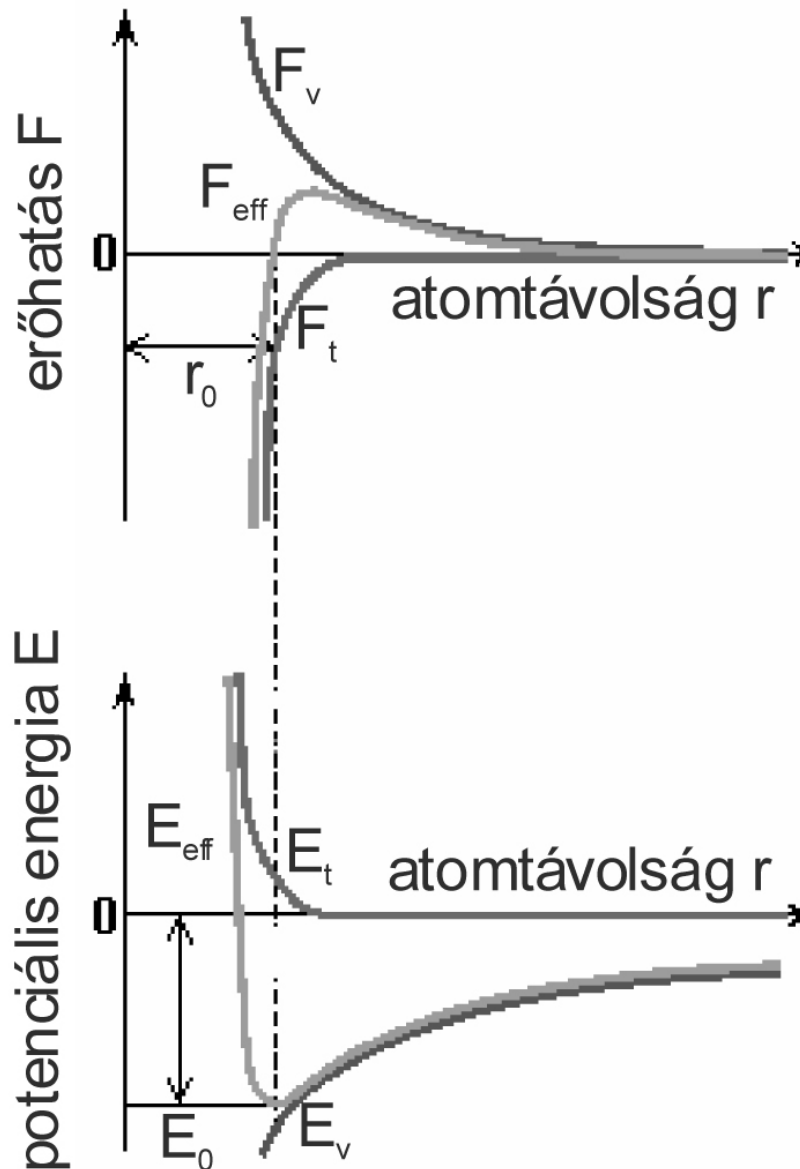
Így pl. az egyik atom magja és a szomszédos atom elektronjai között kialakuló **vonzó** (F_v) **erőhatásra** fennáll az arányosság:

$$F_v \sim \frac{1}{r^2}$$

A kölcsönhatásba lépő atomok azonos töltésű részecskéi, pl. elektronhéjai közötti **taszító** (F_t) **erő**:

$$F_t \sim \frac{1}{r^{9...12}}$$

ATOMOK KÖZÖTTI KÖLCSÖNHATÁS



Coulomb erőhatás
az atomok között

ATOMOK KÖZÖTTI KÖLCSÖNHATÁS

Az egymás melletti atomok **legkülső elektronpályáik** közötti **kölcsönhatás** (ionizáció, elektronfelvétel, az elektronfelhők átfedése, stb.) következtében lépnek kapcsolatba egymással.

A **kémiai kötések** kialakulásának és stabil kémiai vegyületek létrejöttének az **oka** az **elektrosztatikus kölcsönhatás**.

Ahhoz, hogy a **vegyületet** **molekulákra**, ill. **atomokra** **bontsuk**, minimálisan az **E_0** energiát kell majd biztosítanunk.

ATOMOK KÖZÖTTI KÖLCSÖNHATÁS

A belső teljesen betöltött elektronhéjak a kémiai kötések kialakulásában nem vesznek részt, a külső, nem teljesen betöltött elektronhéjak elektronjainak szerepe viszont meghatározó.

A betöltetlen külső héjak (valenciák) elektronjait vegyérték vagy valenciaelektronoknak nevezik.

A kémiai kötések típusai:

kovalens, ionos, fémes, molekuláris (van der Waals).

ELEKTRONÁLLAPOTOK, ENERGIASZINTEK

A különálló atomokban az elektronok diszkrét energiaspektrumot alkotnak, azaz az elektronok csak meghatározott energiaszinteken tartózkodhatnak.

A nem-gerjesztett, azaz alapállapotban ezek az energiaszintek részben betöltöttek.

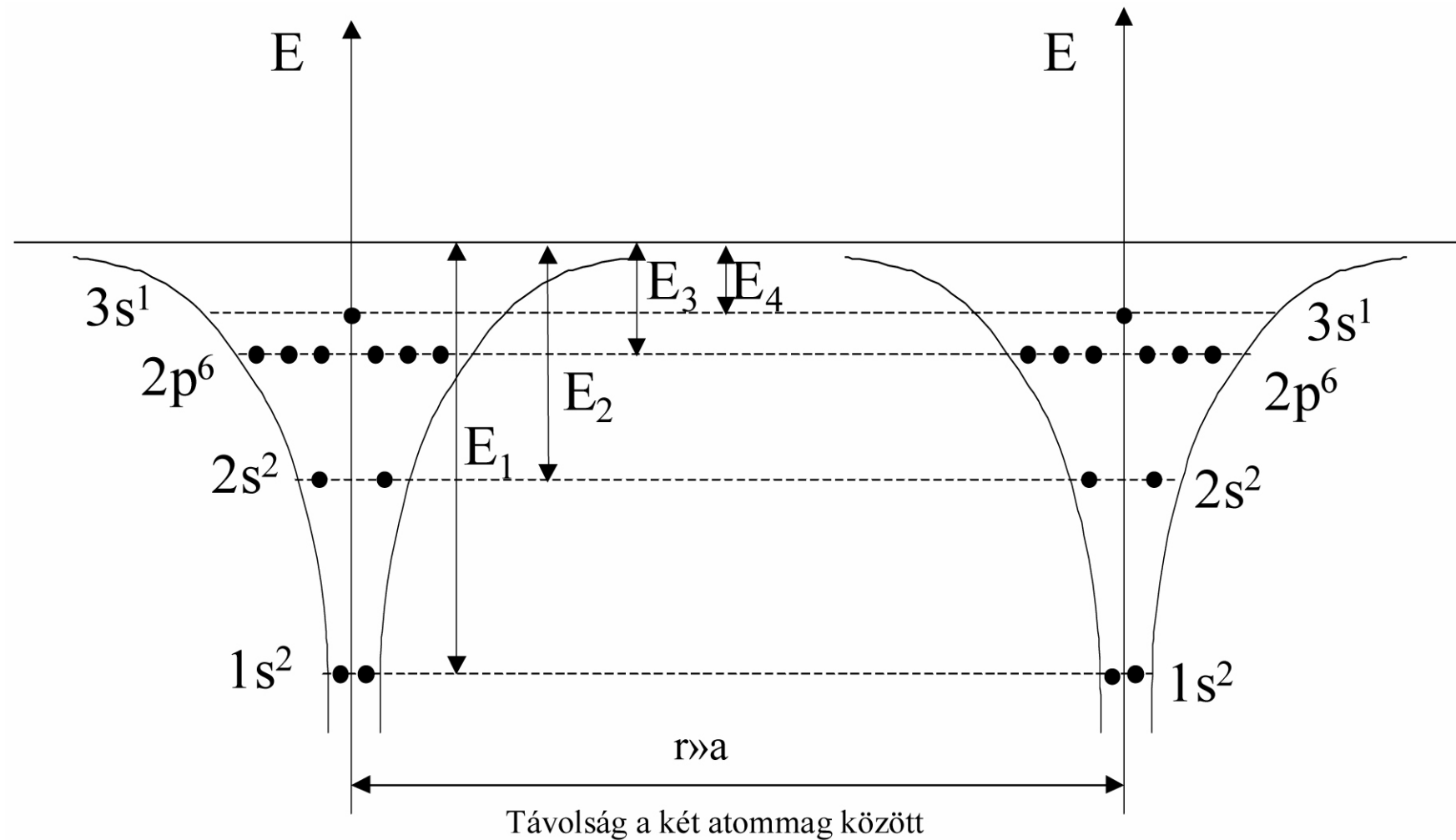
Magasabb szinteken az elektronok általában csak akkor tartózkodnak, ha az atomot külső energia adalékolásával gerjesztik, pl. fűtik (termikus gerjesztés) vagy megvilágítják (optikai gerjesztés).

ELEKTRONÁLLAPOTOK, ENERGIASZINTEK

Ha az **N** atomból álló csoport atomjai eléggé távol esnek egymástól, pl. **gáz halmazállapotban**, úgy hogy két-két atom távolságára érvényes **$r \gg a \approx 0,2 \text{ nm}$** (**$a$** a kristálysírköztávolság), akkor az **atomok közötti kölcsönhatás elhanyagolható**.

Elektronállapotaik megfelelnek az **egyedi, különálló atomokban** létező megengedett szinteknek.

ELEKTRONÁLLAPOTOK, ENERGIASZINTEK



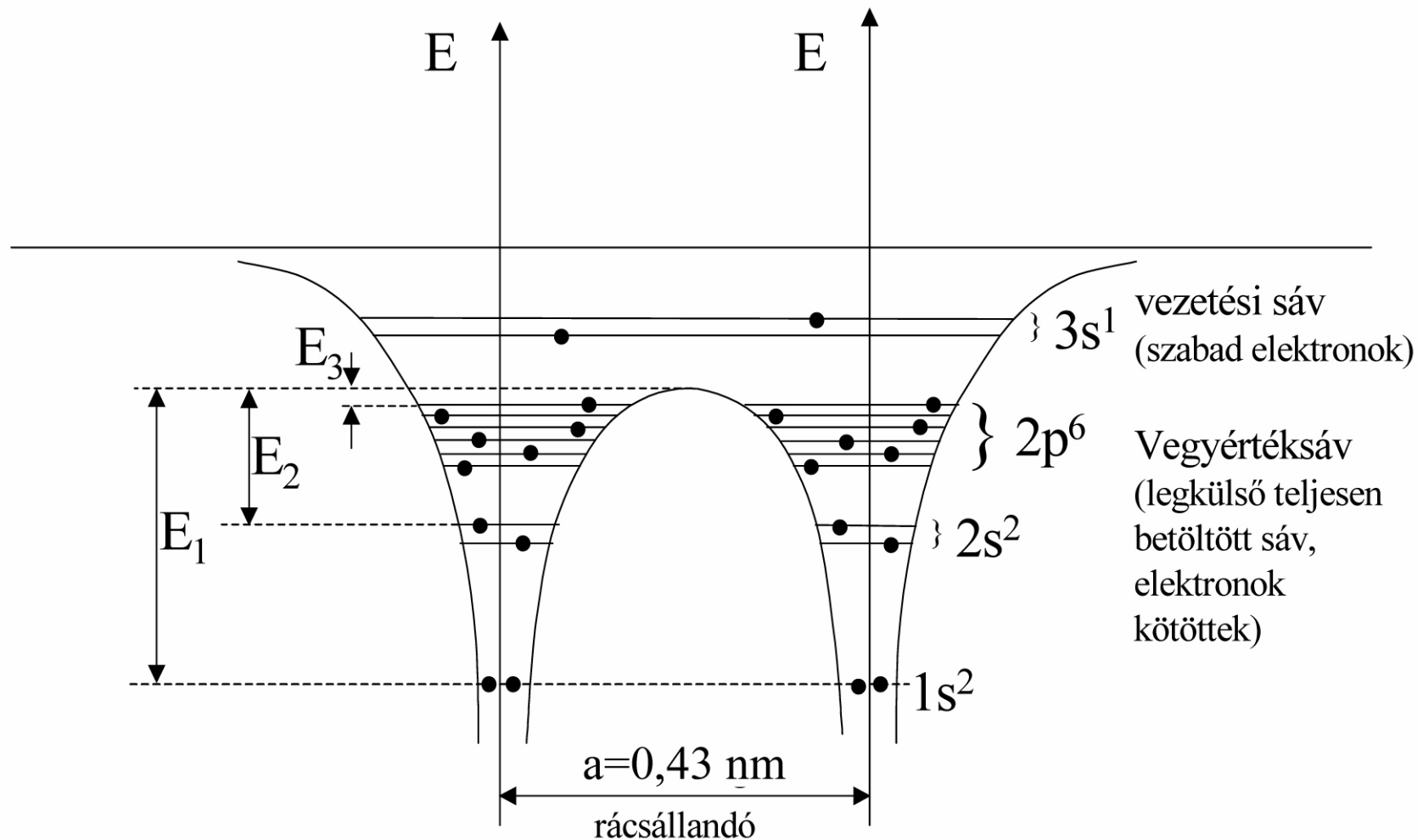
A Na atom megengedett energiaszintjei

SÁVSZERKEZET KIALAKULÁSA

Ha a **gáz** **folyadékká** kondenzál, majd kristályos anyaggá alakul, a **szomszédos atomok kölcsönhatnak**, aminek következtében az **elektronszintjeik kissé elmozdulnak**, megfigyelhető az elektronszintek „felhasadása”.

Az egyik atom **pozitív atommagja** és a szomszédos atom **elektronjai** között fellépő **Coulomb-vonzás** révén **csökken** az elektronokat saját atommagjukhoz kötő potenciálgát magassága, **lejjebb száll** a **potenciálgödör pereme**.

SÁVSZERKEZET KIALAKULÁSA



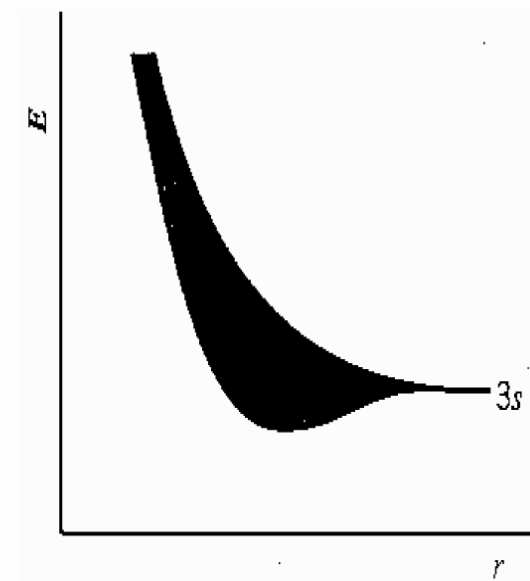
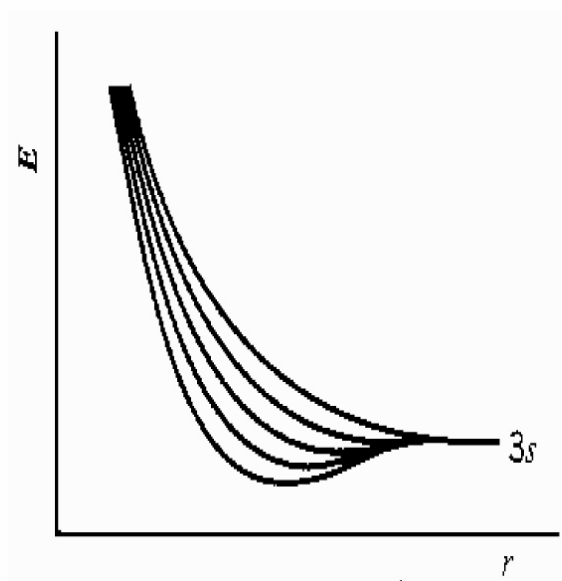
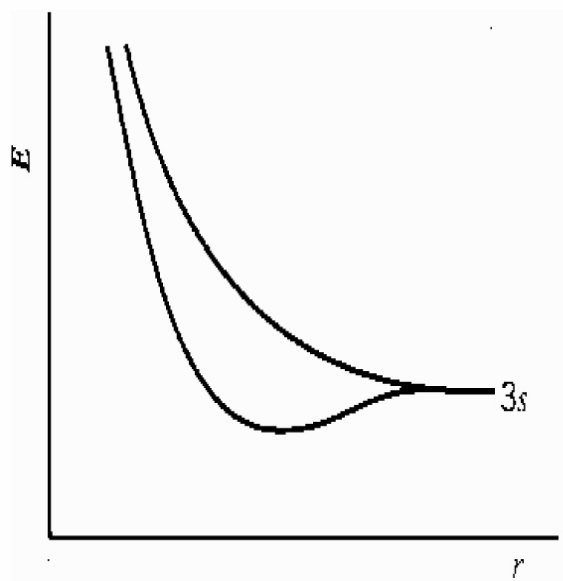
Két szomszédos **Na** atom kristályrács-állandónyi távolságban

SÁVSZERKEZET KIALAKULÁSA

Két kölcsönható **Na** $3s^1$ elektronjai **két szintet alkotnak** attól függően, hogy a két **hullámfüggvény összeadódik** vagy **kivonódik egymásból**.

Ha több atomot közelítünk egymáshoz, az energiaszintek „felhasadnak”, míg végül a **szilárdtest kristálysírácsában**, ahol kb. 10^{22} - 10^{23} atom található 1 cm^3 -ben, az elektronok **kvázi folytonos energiaspektruma (kontinuum)**, azaz **energiasáv** alakul ki.

SÁVSZERKEZET KIALAKULÁSA



Na 3s elektronjai **energiaspektrumának**
átalakulása energiasávvá

SÁVSZERKEZET KIALAKULÁSA

A szilárd testben a Na atomokat elválasztó energiagát (potenciálgát) csökken.

A legfelső, $3s^1$ vegyérték elektronok közössé válnak, azaz együttesen mindkét atomhoz tartoznak.

Ezzel kialakítják a fém Na vezetési sávját.

A legfelső, alapállapotban teljesen betöltött energiasáv a vegyértéksáv.

Az elektromos vezetést a két külső sáv (vezetési, ill. vegyértéksáv) között kialakuló energia-sávszerkezet határozza meg.

ENERGIASÁVOK TULAJDONSÁGAI

A megengedett energiaállapotokat tartalmazó **energiasávok szélessége** nem függ a **kristály méretétől**, csak az **atomok típusától**, valamint a **kristályrács szimmetriájától**.

A kristály típusától függően **nő** vagy **csökken**, amennyiben a **rácsállandó nyomás**- vagy **hőmérséklet** hatására változik.

Sávszélesség $\Rightarrow$ energia (**eV**, **elektronvolt**).

ENERGIASÁVOK TULAJDONSÁGAI

Minden **energiasáv** **energiaszintek sokaságát** tartalmazza, melyek között kicsiny a különbség (**10^{-22} eV**), hogy az elektronok a legkisebb hatásra (pl. a **környezet termikus hatására**) is **szintet változtathatnak** és a **sávon belül tetszőlegesen mozoghatnak**.

A **vegyértéksávot** teljesen betöltöttnek tekintjük, de azon belül is **állandó elektronmozgás zajlik helycserés módon** (**dinamikus egyensúly**).

FÉMEK ENERGIASÁVJA

Ha az energiasávban léteznek **szabad**, **betöltetlen megengedett elektronállapotok**, ezeken keresztül az elektronok a kristályon belül elmozdulhatnak.

Azokat az anyagokat, amelyek **vegyértéksávja** és **vezetési sávja átlapolt**, így a vezetési sávjában az állapotok nagy része mindig elektronokkal betöltött; ill. azokat, amelyekre jellemző a **nem teljesen telített energiasáv (vezetési sáv)**, fémeknek nevezzük.

A fémek **vezetési sávjában mindig nagy a szabadon mozgó elektronok koncentrációja**, ezért a fémek **jó elektromos vezetők**.

FÉLVEZETŐK ENERGIASÁVJA

A félvezetőkben és a dielektrikumokban a vezetési és a vegyértéksávot egy olyan energiasáv választja el, amelyben nincsenek megengedett elektronállapotok, tehát ezen belül elektronok nem tartózkodhatnak.

Ezt az E_g szélességű sávot (gap) nevezzük tiltott vagy tilos sávnak.

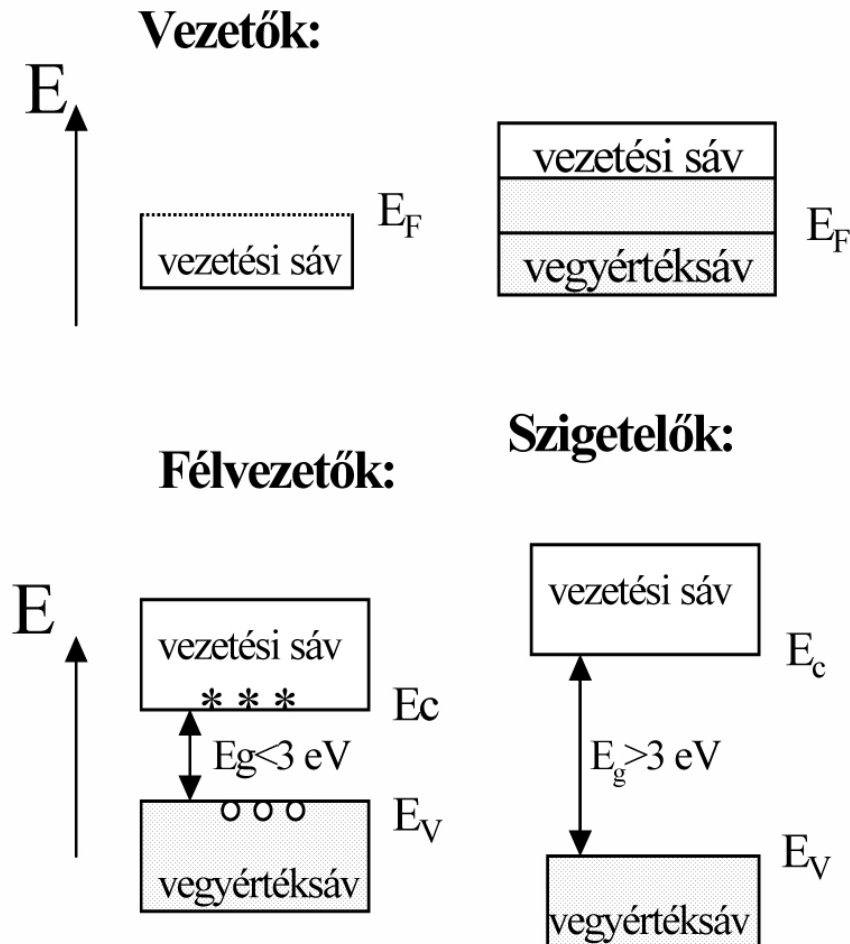
A félvezetők csoportjába tartoznak azok az anyagok, melyekben a tilos sáv E_g szélessége szobahőmérsékleten $0,1 \leq E_g \leq 3,0$ eV.

DIELEKTRIKUMOK ENERGIASÁVJA

Ennél nagyobb E_g -vel már inkább a dielektrikumok, szigetelők jellemezhetők.

Kisebb E_g esetében pedig a tulajdonságok hasonlítanak a fémekéhez.

A SZILÁRDTESTEK SÁVSZERKEZETI SÉMÁJA



- Vegyértéksáv

a legfelső, (vegyérték)elektronokkal teljesen telített energiasáv ($T_0 = 0 \text{ K}$)

E_v : a vegyértéksáv felső szélének energiaszintje

- Vezetési sáv

a legalsó üres, vagy (vezetési)elektronokkal csak részben telített energiasáv ($T_0 = 0 \text{ K}$)

E_c : a vezetési sáv alsó szélének energiaszintje

- Tiltott sáv E_g

E_v és E_c közötti távolság, azon energiaértékek, amelyeket elektronok nem foglalhatnak el

- Fermi-energiaszint E_F

A Fermi-energiaértéktől kisebb energiájú pályák nagy valószínűséggel fel vannak töltve elektronokkal. ($T_0 = 0 \text{ K}$)

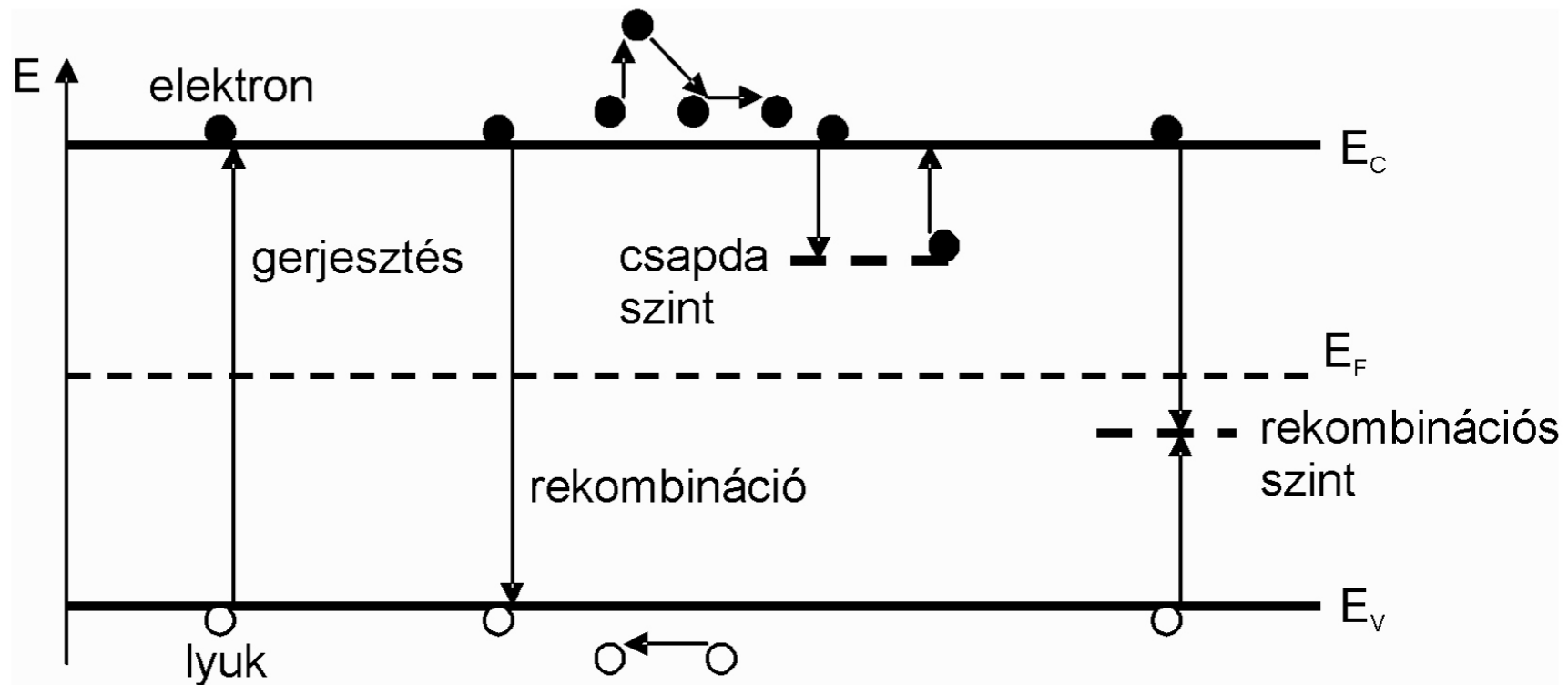
ELEKTRONOK MOZGÁSA SZILÁRDTESTEKBEN

A sávmélet szerint a **vegyérték elektronjai** gyakorlatilag **egyformán mozoghatnak** minden típusú szilárdtestben:

vagy **alagút-effektus** útján ugranak át az egyik atomról a másikra,

vagy a **vezetési sávba emelkednek** (ill. még befogódhatnak a tiltott sávban a valóságban előforduló **lokalizált** (helyhez kötött), diszkrét (egyedi) megengedett energiaállapotokban, az ú.n. **csapdákbán**, adalékatomok, **hibák** energiaszintjein, rekombinációs centrumokon).

ELEKTRONOK MOZGÁSA SZILÁRDTESTEKBEN



Elektronok és lyukak átmenetei egy félvezető kristályban

ANYAGOK ELEKTROMOS TULAJDONSÁGAI

Az anyagok elektromos tulajdonságait elsősorban a **vezetési sávban tartózkodó elektronok** (a félvezetőkben elektronok és lyukak) **száma és mozgékonyága** határozza meg.

A fémekben a **vezetési sáv** csak részben telített, így az elektronok a legkisebb elektromos tér hatására képesek szintet és térbeli helyet változtatni, **azaz jól vezetik az elektromos áramot.**

ANYAGOK ELEKTROMOS TULAJDONSÁGAI

A félvezetőkben és dielektrikumokban **0 K** hőmérsékletnél az **összes elektron** a **vegyértéksávban** tartózkodik, a **vezetési sáv** pedig teljesen **üres**.

A telített vegyértéksávban az elektronok irányítottan nem tudnak elmozdulni, az **anyag** ellenállása **a végtelenhez tart**.

ANYAGOK ELEKTROMOS TULAJDONSÁGAI

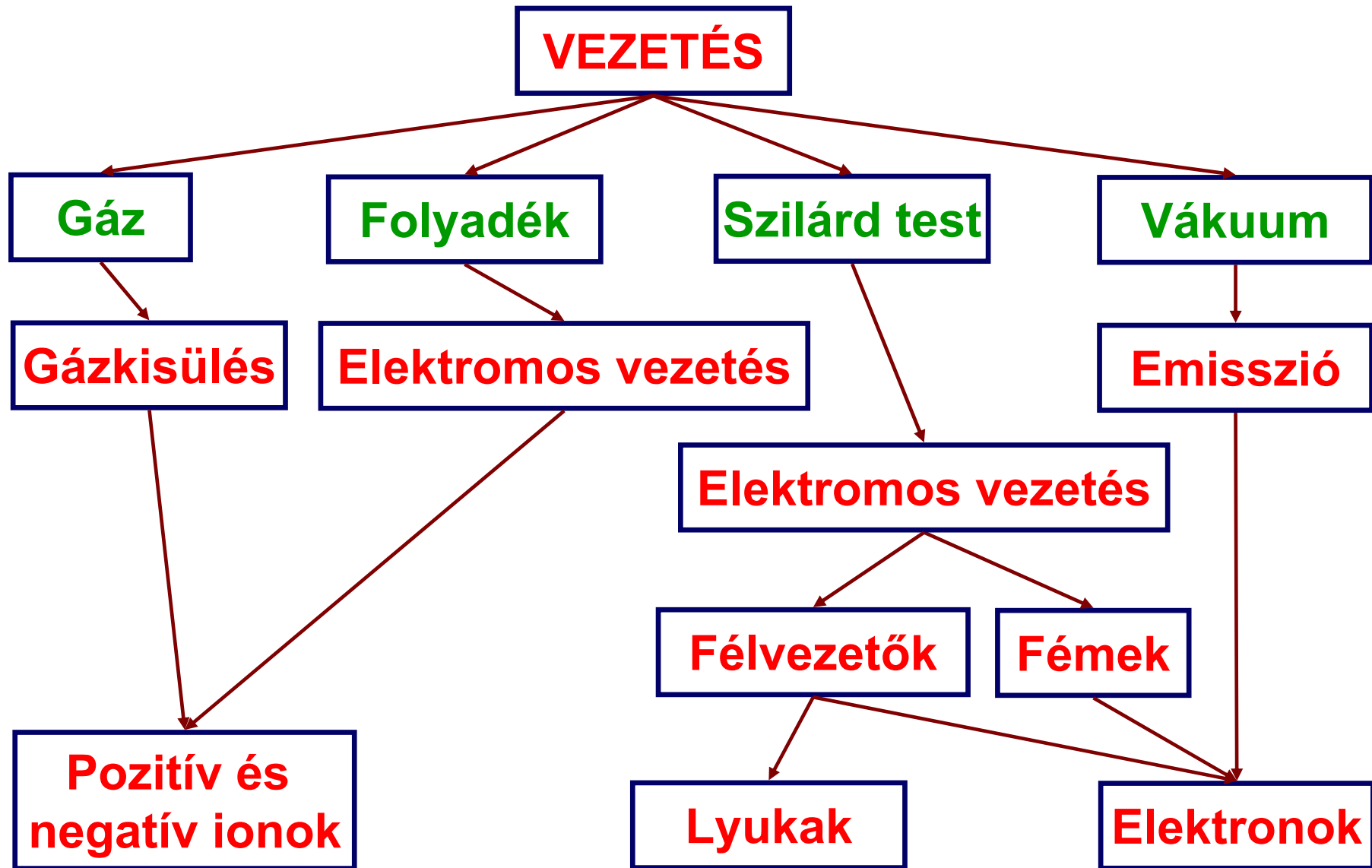
Különös tekintettel a rezgő atomok, elektronok **energia-eloszlására**, nagy a valószínűsége annak, hogy egy adott hőmérsékleten bizonyos számú elektron **gerjesztés** útján a **vezetési sávba** kerül.

Melegítés hatására nő az elektronok **kinetikus energiája**:

szobahőmérsékleten ($T=300\text{ K}$) az atomok **mozgási energiája** kb. $(3/2)kT=0,04\text{ eV}$, ami általában elég az elektronok gerjesztéséhez.

VEZETÉSI MECHANIZMUSOK

VEZETÉSI MECHANIZMUSOK



VEZETŐK TÍPUSAI (FAJAI)

Elsőrendű vezetők azok, amelyekben az áramvezetés **nem jár** anyagátvitellel.

Pl.: a fémek, a félvezetők, a szén **grafit** módosulata (bennük a töltéshordozók az elektronok).

Másodrendű vezetők azok, amelyekben az áramvezetés **anyagátvitellel jár**.

Pl.: sók, savak, lúgok **vizes oldata** vagy **olvadéka** – **elektrolitok** (bennük a töltéshordozók az **ionok**, melyeknek mozgása a közegben anyagátvitellel jár).

VEZETŐK TÍPUSAI (FAJAI)

Harmadrendű vezetők: a gázok csak külső ionizáló hatásra válnak vezetővé (bennük töltéshordozók az ionok és az elektronok).

VEZETÉS FOLYADÉKOKBAN

VILLAMOS VEZETÉS FOLYADÉKOKBAN

Elektrolit: sók, savak, bázisok (lúgok, alkáli, alkáliföld fémek oxidjai) vizes oldata vagy olvadéka.

Elektrolitikus disszociáció: a molekulák szétválása az elektrolitban pozitív és negatív ionokra.

Ha az elektrolitba két szilárd vezetőt helyezünk be és rájuk feszültséget kapcsolunk az áramkörben villamos áram folyik. Az elektrolitban az ionok változtathatják helyüket: az elektrolitok vezetik a villamos áramot.

AZ ELEKTROLÍZIS

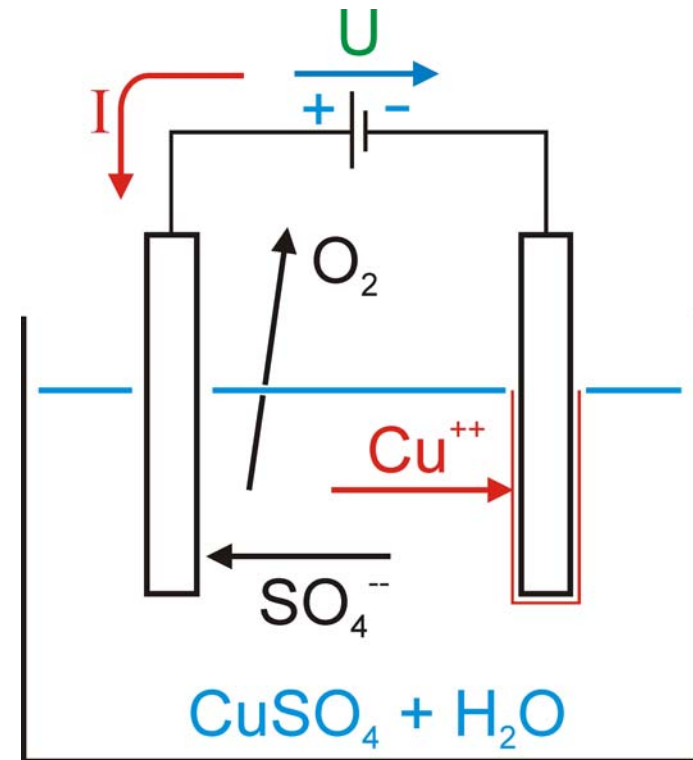
Az elektrolitokban feszültség hatására a pozitív ionok (**kationok**) a negatív elektródhoz (**katódhoz**) vándorolnak és ott elektronokat vesznek fel, míg a negatív ionok (**anionok**) a pozitív elektródhoz (**anódhoz**) vándorolnak és ott elektronokat adnak le.

Az ionok az elektródáknál **semleges atomcsoportokká** alakulnak és kiválnak az oldatból.

Elektrolízis: a villamos áram elektroliton való áthaladása során lejátszódó, **anyagkiválással** járó vegyi folyamat. A kiváló anyagok minősége az elektrolit minőségétől függ.

AZ ELEKTROLÍZIS

Példa elektrolízisre:



Műszaki alkalmazása:

- galvanizálás (galvanosztégia, galvanoplasztika);
- eloxálás;
- nagy tisztaságú fémek előállítása;
- alumíniumgyártás.

FARADAY 1. TÖRVÉNYE

A semleges folyadékmolekulák szétválási folyamatát pozitív és negatív ionokra oldás hatására **elektrolitos disszociációnak** nevezzük.

Faraday 1. törvénye: az elektrolízis során az elektródokon kiváló anyagok mennyisége az elektroliton áthaladt töltés mennyiségével arányos.

$$m = kIt = kQ,$$

ahol ***m*** a kiváló anyag tömege, ***Q*** az elektroliton áthaladt töltésmennyiség, ***k*** az ún. elektrokémiai egyenérték.

FARADAY 2. TÖRVÉNYE

A k számértékileg azt adj meg, hogy **1 C** töltés hány **mg** anyagot választ ki.

Egy anyag **kémiai egyenértéksúlyán** A atomsúlyának és z vegyértékének hányadosát értik.

Faraday 2. törvénye: a különböző anyagok elektrokémiai egyenértékei úgy aránylanak egymáshoz, mint kémiai egyenértékei (A/z).

$$k = (1/F)(A/z),$$

ahol A és z az anyag atomsúlya és vegyértéke, F a Faraday-állandó ($F=96494$ C/mól).

GALVÁNELEMEK (PRIMER ELEMEK)

Ha két különböző fémet (vagy fémet és szenet) olyan elektrolitba mártunk, amelyben legalább az egyik fém oldódik, **energiaforrást** kapunk, amelyet **galvánelemnek** nevezünk.

Az elektrolitba merülő két fémet (illetve fémet és szenet) **elektródoknak** nevezzük, köztük feszültség mérhető.

A pozitív elektród neve: **anód**.

A negatív elektród neve: **katód**.

A galvánelemek kémiai energiát alakítanak át villamos energiává.

GALVÁNELEMEK (PRIMER ELEMEEK)

Működésük során az U_f forrásfeszültséggel ellentétes polarizációs feszültség keletkezik: nő az R_t belső ellenállás, csökken az U_k kapocsfeszültség.

A polarizációs feszültség csökkentésére depolarizátort alkalmaznak.

GALVÁNELEMEK (PRIMER ELEMEEK)

a) Volta elem

$$U_f = 1,1 \text{ V}$$

Anód: réz

Katód: cink

Elektrolit: hígított
kénsav

Depolarizátor: nincs

b) Leclanché elem
(a mai száraz elem őse)

$$U_f = 1,5 \text{ V}$$

Anód: szén

Katód: cink

Elektrolit: szalmiáksóoldat

Depolarizátor: barnakőpor

AKKUMULÁTOROK (SZEKUNDER ELEMEEK)

Működésük az elektrokémiai folyamatok megfordíthatóságán alapszik.

Töltéskor az akkumulátorba bevezetett villamos energia kémiai energiává alakul és így tárolódik.

Kisütéskor (az akkumulátorra fogyasztót kapcsolva) a tárolt kémiai energia visszaalakul villamos energiává.

Fajtái: savas- és lúgos akkumulátorok.

AKKUMULÁTOROK (SZEKUNDER ELEMEEK)

a) Savas akkumulátor (ólomakkumulátor)

$$U_f \approx 2 \text{ V / cella}$$

Anód: ólomdioxid

Katód: ólom

Elektrolit: hígított kénsav

A savas akkumulátorok belső ellenállása:

$$R_b = 0,01 \div 0,001 \ \Omega$$

A rövidzárásra érzékeny.

AKKUMULÁTOROK (SZEKUNDER ELEMÉK)

b) Lúgos akkumulátor

vas-nikkel (FeNi) akkumulátor

$U_f \approx 1,2 \text{ V}$ / cella

Anód: nikkelhidroxid

Katód: vas

Elektrolit: kálilúg

AZ AKKUMULÁTOROK FONTOSABB TECHNIKAI ADATAI

Amperóra (Ah) kapacitás: az az Ah-ban mért töltésmennyiség, amely a teljesen feltöltött akkumulátorból a megengedett legkisebb feszültségig kisütve kivehető.

Wattóra (Wh) kapacitás: az a Wh-ban mért villamos energia, amely a teljesen feltöltődött akkumulátorból a megengedett legkisebb feszültségig kisütve kivehető.

Névleges töltőáram: a 10 órás kisütéshez tartozó áram.

AZ AKKUMULÁTOROK JELLEMZŐI

Amperóra – hatásfok:

$$\eta_{Ah} = \frac{Q_{visszanyert}}{Q_{bevezett}} \cdot 100 \quad (\%)$$

Wattóra – hatásfok:

$$\eta_{Wh} = \frac{W_{visszanyert}}{W_{bevezett}} \cdot 100 \quad (\%)$$

AZ AKKUMULÁTOROK JELLEMZŐI

Jellemzők	Savas	Lúgos
Mechanikai igénybevételre	érzékeny	érzékeny
Nagy töltő- és kisütő áramra		
Rövidzárlatra		
Kisüthető	1,83 V-ig	1,0 V-ig
Kisütés után	mielőbb tölteni	sokáig tárolható
Elektrolit cseréje	ritkán	1-1,5 évenként
Cellafeszültsége	2 V	1,2 V
Ah – hatásfok	85-95 %	70-80 %
Wh – hatásfok	70-80 %	50-60 %
Ára	olcsóbb	drágább

AZ AKKUMULÁTOROK JELLEMZŐI

Figyelmeztetés!

A kénsav és kálilúg veszélyes, maró anyag!

Savas akkumulátorok töltésekor hidrogén fejlődik, amely robbanásveszélyes!

Akkumulátorok alkalmazása:

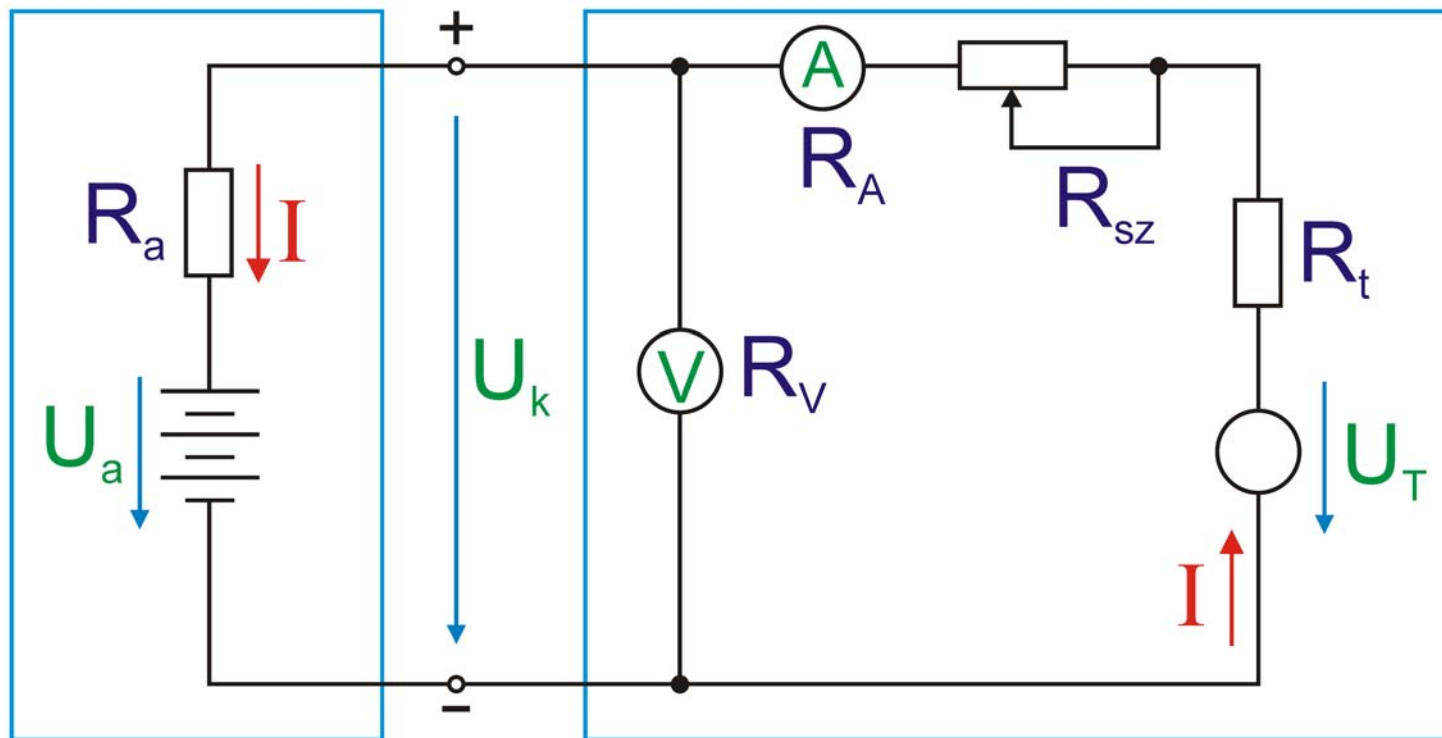
- **szükség- és vészvilágításhoz;**
- **híradástechnikai berendezésekhez;**
- **gépjárművekhez;**
- **védelmi berendezésekhez.**

AKKUMULÁTOR TÖLTÉSE

A töltés feltétele: $U_k > U_a$

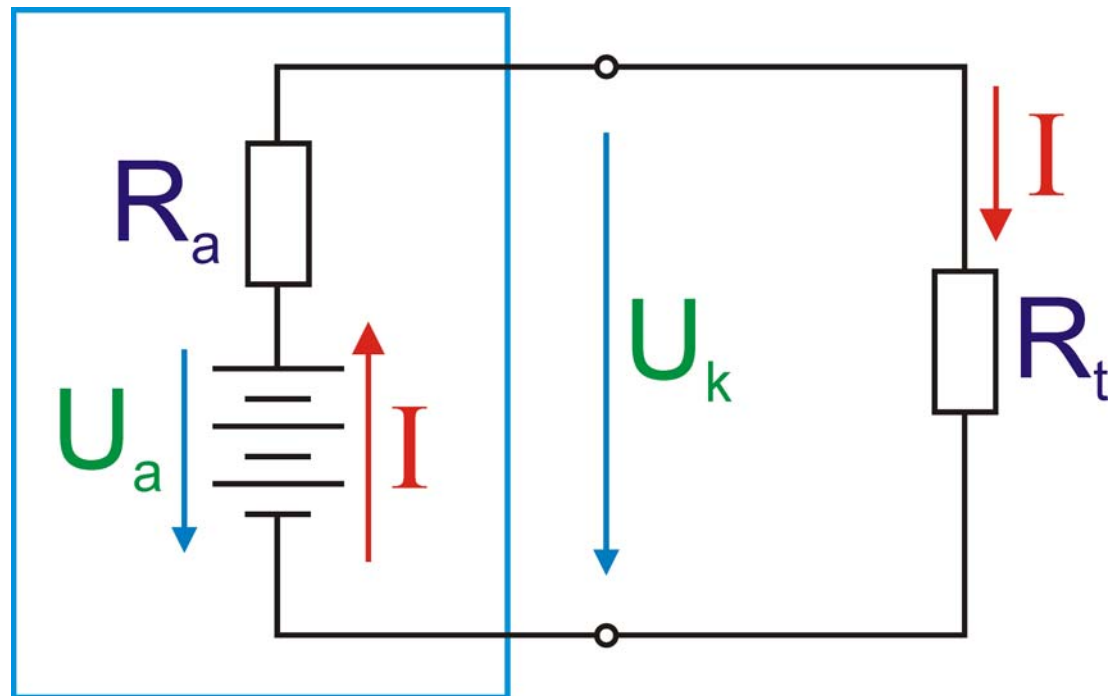
akkumulátor

töltőberendezés



ellen- vagy szembekapcsolás

AKKUMULÁTOR KISÜTÉSE



VEZETÉS GÁZOKBAN

VILLAMOS VEZETÉS GÁZOKBAN

A gázok elektromosan **semleges** atomokból és **molekulákból** állnak. Normál körülményekben a gázok dielektrikumok.

A gázok elektromos vezetése **ionizálásuk** következtében jön létre.

Ionizálásnak nevezzük az elektronok a gázok atomjairól, molekuláiról való leszakadásának folyamatát.

Az ionizálás eredménye: elektron és pozitív ion keletkezése.

Másik folyamat: **semleges atom, molekula + elektron = negatív ion.**

VILLAMOS VEZETÉS GÁZOKBAN

Egy atom (molekula) ionizálása közben A_i **ionizálási munka** végződik az elszakadó elektron és az atom (molekula) más részecskéi között fennálló kölcsönhatás ellen.

Ez a munka a gáz kémiai természete és az atom (molekula) elektronjának energiaállapotától függ.

φ_i **ionizálási potenciálnak** nevezzük azt a potenciálkülönbséget, amelyet meg kell tenni a gyorsító elektromos mezőben az elektronnak ahhoz, hogy az energianövekedése az A_i **ionizálási munkával** azonos értékűvé váljon.

VILLAMOS VEZETÉS GÁZOKBAN

A gáz ionizálása külső hatások által történik:

- erős melegítés;
- röntgen sugárzás;
- radioaktív sugárzás;
- kozmikus sugárzás;
- a gáz atomjainak (molekuláinak) bombázása gyorsan mozgó elektronokkal vagy ionokkal.

Az ütközési ionizáláshoz szükséges

részecske energia: $mv^2/2 = A_i(1+m/M)$,

ahol m az ütköző elektron vagy ion tömege, M az atom tömege, A_i az ionizálási munka.

VILLAMOS VEZETÉS GÁZOKBAN

Ha a gázok elektromos vezetése külső ionizálók okozzák, akkor a gázon átfolyó elektromos áramot **nem-önfenntartó (önállótlan) gázkisülésnek** nevezzük.

Ionok elektromos töltésének elvesztési folyamatát **rekombinációnak** nevezzük.

VILLAMOS VEZETÉS GÁZOKBAN

Nagy feszültség (**gyújtási feszültség**) mellett a gázban levő töltéshordozók száma nem a külső ionizáló hatás szabja meg (a gázkisülés a külső ionizáló hatás beszüntetése után is folytatódik), hanem azok a vezetés mechanizmusa (**ütközési ionizálás**) során keletkeznek.

Ezt a gázban végbemenő áramvezetési folyamatípust **önfenntartó (önálló) gázkisülésnek** nevezik.

VILLAMOS VEZETÉS GÁZOKBAN

A nem-önfenntartó gázkisülés átmenete önfenntartó gázkisülésbe **elektromos átütésnek** nevezzük.

Az átmenet U_g gyújtásfeszültségnél (átütési feszültségnél) történik. U_g értéke függ az ionizálási potenciáltól, illetve az elektronok kilépési energiájától.

U_g értéke ezenkívül a gáz nyomásától és a sík elektróda közötti távolság függvényében.

Az önfenntartó gázkisülések látványos kísérője a **fénykibocsátás**.

VILLAMOS VEZETÉS GÁZOKBAN

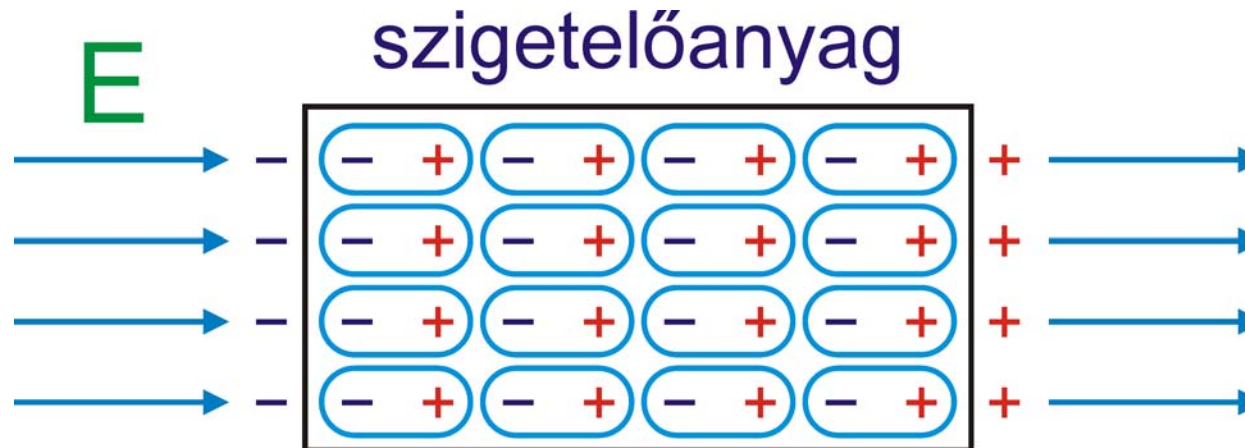
Nagy feszültség esetén, ritkított gáztérben – **a nyomástól függő** – fényjelenség mellett jön létre a vezetés.

Kb. **1 Pa**-nál kisebb nyomáson, a csőben fényjelenség nincs. A katód felületéről **katódsugarak (elektronok)** indulnak ki.

VEZETÉS DIELEKTRIKUMOKBAN

A DIELEKTROMOS POLARIZÁCIÓ (SARKÍTÁS)

A villamos tér hatására a szigetelőanyagok molekuláiban a pozitív és negatív töltések súlypontja szétválik és az így kialakult dipólusmolekulák beállnak a villamos tér irányába. Ezt a jelenséget dielektromos polarizációnak nevezzük.



dielektrikum = szigetelőanyag

A DIELEKTROMOS VESZTESÉG

Váltakozó irányú villamos térben a szigetelőanyag molekulái átpolarizálódnak: a villamos tér irányának változásakor átfordulnak.

Az átpolarizálódás hőfejlődéssel, energiavesztéssel jár, melyet dielektromos veszteségnek nevezünk.

Ez a jelenség felhasználható szigetelőanyagok hevítésére.

A SZIGETELŐANYAGOK ÁTÜTÉSE

Az átütési szilárdság: E_{kr} [kV/cm]

Ha a szigetelő anyagokban növeljük a térerősséget, a molekuláik polarizációja egyre nagyobb mértékű. Egy, a szigetelőanyagra jellemző térerősségnél a molekulákról elektronok szakadnak le, így a szigetelőanyagban **szabad töltéshordozók** keletkeznek.

Ezt a lavinaszerűen bekövetkező jelenség az **átütés**, aminek következtében a legtöbb szigetelő anyag tönkremegy.

Azt a kritikus térerősséget, amelynél a szigetelőanyag átütése bekövetkezik, **átütési szilárdságnak** nevezzük. (Levegő esetén: $E_{kr} = 21$ kV/cm)

VEZETÉS FÉMEKBEN

VEZETÉS FÉMEKBEN

A fématomok vegyértékelektronjai **közösek**, azaz nem tartoznak egy bizonyos atomhoz. Ez az oka annak, hogy a fémekben a **vezetési elektronok** az áramvezetők.

Klasszikus megközelítésben a vezetési elektronokat **elektrongáznak** tekintjük, mely részecskéi **3 szabadságfokkal** bírnak.

VEZETÉS FÉMEKBEN

Pontosabb megközelítésben az elektrongázt elfajult (degenerált) kvantumgázként kezeljük, melyet a Fermi-Dirac statisztika ír le:

$$f(E) = 1 / (1 + \exp((E - E_F) / kT)),$$

ahol E_F a Fermi-energia (-szint) az elfoglalt (telített) állapotok határenergiája abszolút 0 K hőmérsékletnél, T az abszolút hőmérséklet, k a Boltzmann-állandó.

VEZETÉS FÉMEKBEN

A gázok elfajultságának kritériuma:

$$T \leq T_o,$$

ahol $T_o = (h^2(n_o)^{3/2}) / (2\pi mk)$.

A fémekben $n_o \approx 10^{22} - 10^{23} \text{ cm}^{-3}$, azaz $T_o \approx (16 - 20) \cdot 10^3 \text{ K}$.

Tehát a fémek elektron gáza mindig elfajult az elektron alacsony tömege ($m \approx 10^{-30} \text{ kg}$) és a magas részecskesűrűség miatt.

VEZETÉS FÉMEKBEN

Klasszikus megközelítésben n_o a vezetési elektronok száma 1 cm^3 egy vegyértékű fémekben:

$$n_o = N_A / (A \rho),$$

ahol N_A az Avogadro-szám, A és ρ a fém atomi súlya, illetve sűrűsége.

Nagyságrendben $n_o = 10^{22} - 10^{23} \text{ cm}^{-3}$.

VEZETÉS FÉMEKBEN

Klasszikus elmélet szerint az elektronok kaotikus hőmozgása szobahőmérsékleteknél $\langle v \rangle = 10^5$ cm/s átlagsebességgel történik.

Drude-Lorentz elmélete alapján az elektronok $\langle \lambda \rangle$ átlagos szabad úthossza nagyságrendben megegyezik a fém kristályrács periódusával (10^{-8} cm).

VEZETÉS FÉMEKBEN

Kvantum elméletben a fémbeli elektronok a hullám- (kvantum)-mechanika törvényeivel és a Fermi-Dirac kvantumstatisztika alapján írhatjuk le („potenciális doboz” modell, sávszerkezet).

Az elektronok által elfoglalt energiaszinteknek a száma nagyságrendben megegyezik a fémben levő szabad elektronok számával.

A fémben a közel elhelyezkedő (kvázifolytonos) energiaszintek energiasávokat alkotnak.

VEZETÉS FÉMEKBEN

A legalsó elektronokkal csak részben telített energiasávot a fémek **vezetési sávjának** nevezik. Olyan esetek is lehetségesek, mikor a két egymás utáni sáv (vezetési és vegyérték sáv) átlapolt (pl. alkáliföld és átmeneti fémek).

A **fémvezetés jellemző sajátossága** egy elektronok általi nem teljesen telített sávnak a megléte.

VEZETÉS FÉMEKBEN

A fémek kvantummechanikája az elektronok és a kristálysícs pozitív ionjainak kölcsönhatását az elektronhullámok a rács ionjainak hőrezgésein való szórásaként vizsgálja.

Egy fémvezetőben az elektronok rendezett mozgása külső elektromos mező által jön létre.

Az áramsűrűség

$$j = en_o \langle v \rangle,$$

ahol n_o a vezetési elektronok száma egységnyi térfogatban, e az elektron töltésének abszolút értéke, $\langle v \rangle$ az elektronok irányított mozgásának átlagsebessége.

VEZETÉS FÉMEKBEN

Legnagyobb megengedett áramsűrűségeknél a $\langle v \rangle = 10^{-2} \text{ cm/s}$.

Egy áramkörben az áram beállási ideje $t = L/c$, ahol L az áramkör hossza, c a fény sebessége a vákuumban. Ez az az idő, melynek folyamán beáll az állandó elektromos mező és elkezdődik az elektronok rendezett mozgása.

Az Ohm-törvény áramsűrűségre

$$j = \sigma E.$$

Egy vezető áramsűrűsége a fém σ fajlagos vezetőképességének és az elektromos mező E térerősségének szorzata.

VEZETÉS FÉMEKBEN

Klasszikus elektromos elméletben a σ értéke

$$\sigma = (n_o e^2 \langle \lambda \rangle) / (2m \langle v_t \rangle),$$

ahol n_o az elektronok száma 1 cm^3 fémtérfogatban, az elektronok hőmozgásának $\langle v_t \rangle$ átlagsebessége adott hőmérsékletnél.

A fémek kvantummechanikája szerint

$$\sigma = (n_o e^2 \langle \lambda \rangle) / p_F,$$

ahol p_F az E_F Fermi-szinten elhelyezkedő elektron impulzusa, a p_F nem függ a hőmérséklettől; $\langle \lambda \rangle$ a fémekben terjedő elektronhullámok szabad átlag-úthossza.

VEZETÉS FÉMEKBEN

Szobahőmérsékleteknél $\langle \lambda \rangle = \lambda(E_F)$ és gyorsan növekszik a hőmérséklet csökkenésével.

Az Ohm-törvény magas áramsűrűségeknél megszakad.

A w áram hőteljesítménysűrűségnek nevezik azt az energiamennyiséget, mely átadódik a kristálysícs ionjainak egységnyi vezetőtérfogatban, egységnyi idő alatt az ionok és elektronok közötti kölcsönhatás következtében.

Joule-Lenz törvénye az áram hőteljesítménysűrűségre:

$$w = \sigma E^2.$$

VEZETÉS FÉMEKBEN

A K hővezetési tényező jelentése: az 1 m^2 -es keresztmetszeten 1 s alatt átáramló hő számértéke 1 K -es hőmérsékletkülönbség esetén ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$).

Wiedemann-Franz-törvény:

Az összes fémnél a K hővezetési tényező és a σ fajlagos vezetőképesség aránya egyenesen arányos a T abszolút hőmérséklettel

$$K/\sigma = CT = 3(k/e)^2 T,$$

ahol k a Boltzmann-állandó, e az elektron töltése, C állandó.

VEZETÉS FÉMEKBEN

Wiedemann-Franz törvénye annak a következménye, hogy a fémek hő- és elektromos vezetése szabad elektronok által valósul meg.

A fémek kvantummechanikája szerint

$$C = (\pi^2/3)(k/e)^2.$$

A C ezen értéke szobahőmérsékleteknél jól egyezik a gyakorlati értékekkel.

VEZETÉS FÉMEKBEN

Egy vezető ρ fajlagos ellenállásának hőmérsékletfüggése:

$$\rho_t = \rho_{20}[1 + \alpha(t-20)],$$

ahol ρ_{20} a vezető fajlagos ellenállása 20 °C-nál, t a vezető hőmérséklete °C-ban, α a vezető (ellenállás) hőmérsékleti tényezője.

0-100 °C hőmérséklettartományban a fémek többségének α értéke $(3,3-6,2) \cdot 10^{-3} \text{ °C}^{-1}$ intervallumba esik.

A ρ és σ hőmérsékletfüggése tiszta fémek (és bizonyos fémes ötvözetek) esetén a $\langle \lambda \rangle$ hőmérsékletfüggésével magyarázható.

VEZETÉS FÉMEKBEN

Minden hőmérsékletnél, kivéve a $T=0$ K, az elektronhullámok az ion hőrezgésein (fononok) szóródnak.

A szóródás mértéke annál nagyobb, minél magasabb a hőmérséklet.

Eközben a $\langle \lambda \rangle$ és a σ fordítottan arányosak az abszolút hőmérséklettel (nem túl alacsony hőmérséklettartományban).

VEZETÉS FÉMEKBEN

Bizonyos fémekben és ötvözetekben megfigyelhető a szupravezetés-jelenség, melynek lényege, hogy egy bizonyos kritikus hőmérsékletnél alább ezen anyagok ellenállása elhanyagolhatóan kicsivé válik.

A valós fémek ellenállása az abszolút nulla hőmérséklethez közelítve állandó értéket vesz, amelyet maradék-ellenállásnak neveznek.

A maradék-ellenállás többnyire a szennyezőkön (idegen atomok) történő elektronszórás következménye, kisebb mértékben egyéb rácshibák (diszlokációk, szemcsehatárok, szekunder halmazállapotok) befolyásolják annak értékét.

VEZETÉS FÉMEKBEN

A fémek ρ fajlagos ellenállása Matthiesen-szabállyal írható le, azaz a fém teljes ellenállása a $\rho_T = BT$ (B állandó) hőmérsékletfüggő (rácsionok mozgásának következménye) és a ρ_R maradék-ellenállás összetevők összege:

$$\rho = \rho_T + \rho_R.$$

VEZETÉS VÁKUUMBAN

KILÉPÉSI MUNKA

Kilépési munkának nevezzük azt az A munkát, mely egy elektron a fémből a vákuumba történő eltávolításához szükséges.

A kilépési munkát az elektronok a fémből való kirepülésük során végzik a pozitív többlettöltés és az elektronok között levő vonzási erők ellen.

KILÉPÉSI MUNKA

Ezenkívül az A munka az előzőleg kirepült elektronok és a kirepülő elektron között fennálló taszító erők ellen is végződik, melyek a fém felülete körül elektron „felhőt” hoznak létre.

A kilépési munka a fém kémiai természetétől és a felülete állapotától függ.

A kilépési munka a fém Fermi-szintje és a vákuum-szint közötti energiatávolság. Elektron-volt (eV) egységben adják meg.

EMISSZIÓTÍPUSOK

A fontosabb emissziótípusok:

- Termoelektromos emisszió
- Autoelektromos (hideg) emisszió
- Fotoelektromos emisszió.

TERMOELEKTROMOS EMISSZIÓ

Termoelektromos emisszió lényege a felhevített fémek elektron kibocsátása.

Az elektron akkor tudja elhagyni a fémet, ha E teljes energiája nagyobb mint az elektron a fémből való A kilépési munkája.

A termoemisszió-jelenség igazán intenzív néhány száz fok abszolút hőmérsékletű fém esetében.

A jelenség az elektroncsövek működésében játszik számottevő szerepet.

TERMOELEKTROMOS EMISSZIÓ

Stacionárius termoelektromos áram létrehozásához a fémből emittált elektronokat el kell távolítani a fém felületéről az emitter-katód és az anód közötti feszültség segítségével.

Különben a katód közelében keletkezett negatív térbeli töltésfelhő akadályozni fogja a további elektron kilépését a fémből.

TERMOELEKTROMOS EMISSZIÓ

A j_A termoelektromos áramsűrűség függ az U_A elektródok közötti feszültségtől.

Alacsony U_A értékeknél a $j_A = f(U_A)$ függvény kifejezhető Child-Langmuir nevét viselő „háromketed törvényével”:

$$j_A = BU_A^{3/2},$$

ahol B állandó.

TERMOELEKTROMOS EMISSZIÓ

Sík egymástól d távolságra levő elektródák esetén a

$$B = [2^{1/2}/(9\pi)](e/m)^{1/2}d^{-2},$$

ahol e/m az elektron fajlagos töltése.

Koaxiális henger-alakú, r_A anód sugarú elektródok esetén a

$$B = [2^{3/2}/9](e/m)^{1/2}r_A^{-1}.$$

Ebben az esetben a Langmuire képlettel az áramot határozzák meg a katód egységnyi hosszáról.

TERMOELEKTROMOS EMISSZIÓ

Adott katód-hőmérsékletnél a lehető legnagyobb termoelektromos áramot telítési áramnak nevezzük.

Eközben az összes egységnyi idő alatt kirepülő elektron eléri az anódot.

A telítési áram növekszik a katód hőmérsékletének növekedésével.

TERMOELEKTROMOS EMISSZIÓ

A j_t telítési áramsűrűség a Richardson-Dushman képlet alapján számítható ki

$$j_t = CT^2 e^{A/(kT)},$$

Ahol $C = (4\pi me^2 k^2)/h^3$ az emissziós állandó, e és m az elektron töltése és tömege, k a Boltzmann-állandó, h a Planck-állandó, A az elektron kilépési munkája a fémből, melyet a Fermi-szinttől számolják.

TERMOELEKTROMOS EMISSZIÓ

A C értékét kifejező összefüggésből látható, hogy az emissziós állandó az összes fémnél univerzális (azonos) értékkel bír:

$$C = 120 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{K}^{-2}.$$

A valóságban a kísérletek alapján a C -állandó különböző fémek esetén mégsem azonos.

Ezt az ellentmondást feloldotta a kvantummechanika, amely figyelembe vette az elektronhullámok D potenciálgát áttetszőségét a fém-vákuum határon. A C emissziós állandó helyett a C_1 állandót vezették be:

$$C_1 = D \cdot C.$$

HIDEG EMISSZIÓ

Hideg (autoelektromos) emisszióknak nevezzük az elektronok a fémből való, elektromos mező általi kiszakadásának jelenségét.

Ez a jelenség szoba hőmérsékleteknél is történhet. Hideg emisszió közben a fém hőmérséklete gyakorlatilag nem változik.

HIDEG EMISSZIÓ

A hideg emisszió alagúteffektussal magyarázható.

A jelenség lényege: bármilyen sebességű elektron áthatolása a fém határán levő potenciális gáton keresztül.

Kvantummechanika szerint az elektronhullámok véges valószínűséggel „átszivárognak” a potenciális gáton át és az elektronok a fémen kívülre kerülnek.

HIDEG EMISSZIÓ

Az elektronok „átszivárgási” valószínűsége a potenciális gáton át és következésképpen a hideg emisszió j áramerőssége a külső elektromos mező E térerősségétől függ:

$$j = BE^2 e^{-C/E},$$

ahol

$$B = [e/(2\pi\hbar)] \cdot [E_F^{1/2}/(E_a \cdot A^{1/2})],$$

$$C = [(8\pi)/(3\hbar)](2mA^3)^{1/2},$$

e és m az elektron töltése és tömege, $\hbar$ a Planck-állandó, E_F az elektronok fémbeli Fermi-energiája, E_a a fém határán levő potenciális gát magassága, A az elektron Fermi-szintjétől számított kilépési energiája.

HIDEG EMISSZIÓ

Gyakorlati számításoknál a képletbe helyesbítő tényezőket vezetnek be:

- az a -t, amely a tényleges térerősség és a számított térerősség hányadosa ideálisan sima felület esetén;
- a g -t, mely figyelembe veszi a katód emittáló és a teljes felületeinek hányadosát:

$$j = gB(aE)^2 e^{-C/(aE)}.$$

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

Fotoelektromos emissziónak (fotoemissziónak, fotoeffektusnak) nevezzük az elektronok fény általi a vákuumban vagy gázokban levő szilárd testek (többnyire fémek) felületéről történő kiszakadásának jelenségét.

A jelenség tulajdonképpen az elektromágneses sugárzás és az anyag kölcsönhatásának folyamata, melynek következtében a fotonok energiája az anyagnak közlődik.

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

Kondenzált rendszerek esetén (szilárd testek és folyadékok) a külső fotoeffektust és a belső fotoeffektust különböztetnek meg.

Külső fotoeffektus, mikor a fotonok elnyelését az elektronok az anyagból való kilépése kíséri.

Belső fotoeffektus, mikor az elektronok a testben maradnak és úgy változtatják meg benne saját energiaállapotukat, hogy egyik energiasávból egy másikba lépnek át.

A gázokban a fotoeffektus a gáz atomjainak vagy molekuláinak sugárzás (megvilágítás) általi ionizálásból áll.

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

A külső fotoeffektust a XIX. sz. második felében fedezték fel.

A jelenség részletesen tanulmányozható egy fotocella segítségével.

A fotocella két elektródból álló vákuum cső.

Az egyik elektród egy nagyfelületű fényérzékeny fém, amit fotokatódnak hívnak, és ezt világítják meg.

A másik vékony fémdrótból készült elektród az anód.

A fotokatódot megfelelő színű fénnel világítják meg. Ilyenkor a katódról elektronok lépnek ki, melyeket fotoelektronoknak neveznek.

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

Ha megvilágított katód és anód között egy φ potenciál különbségű a kilépő elektronokat gyorsító elektromos mezőt hozni létre, akkor beindul az elektronok irányított mozgása, melyet fotoelektromos áramnak (fotoáramnak) nevezünk.

Bizonyos $\varphi > 0$ potenciálnál az I fotoáram telítetté válik ($I = I_t$): az összes, a megvilágított katódról kilépő, elektron eléri az anódot.

Az anód és a katód közötti áram megszakításához létre kell hozni egy fékező (lassító) φ_1 potenciálkülönbségű mezőt:

$$\varphi_1 = -(E_{kmax}/e) < 0.$$

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

Az előző képletben e az elektron töltésének abszolút értéke, E_{kmax} a fotoelektronok maximális mozgási (kinetikus) energiája.

Látható és ultraibolya fény által okozott fotoeffektusnál a fotoelektronok maximális sebessége $v_{max} \ll c$ és $E_{kmax} = (mv_{max}^2)/2$, ahol m az elektron nyugalmi tömege, c a fény sebessége vákuumban.

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

Az energia megmaradás törvényéből
következik a külső fotoeffektus Einstein-
egyenlete:

$$h\nu = A + E_k,$$

Ahol $A = e\varphi_0$ a megvilágított anyagból
kilépési munkája, φ_0 a a kilépési potenciál, $h\nu$
a foton energiája.

Az A és φ_0 értéke a fotoelektron kezdő
állapotától függ.

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

Az impulzus (lendület) megmaradás törvénynek megfelelően a fotoeffektus csak a kristályrácsban kötött állapotban levő elektronok közreműködésével jöhet létre.

A külső fotoeffektus csak

$$h\nu \geq A / h,$$

sugárzás frekvenciákon lehetséges.

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

A $\nu_0 = A / h$ küszöbfrekvenciát, illetve az ennek megfelelő $\lambda_0 = (ch) / A$ (c a fénysebesség) hullámhosszt a fotoeffektus vörös határának (fotoeffektus küszöbének) nevezik.

A λ_0 értéke alkáli fémek esetében a spektrum láthatótartományába esik, a fémek többségénél viszont – a spektrum ultraibolya tartományába.

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

Ha a megvilágító fény frekvenciája meghaladja a ν_0 küszöbfrekvenciát, akkor az elektronok kilépése a megvilágítással egy időben, azonnal bekövetkezik, még akkor is, ha a megvilágítás fényerőssége igen kicsi.

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

A FOTOEFFEKTUS TÖRVÉNYEI:

Sztoletov-törvény:

Egy adott fotokatód fotoelektromos telítettségi árama egyenesen arányos a katód által elnyelt Φ sugárzás teljesítményével változatlan spektrumösszetétel mellett:

$$I_t = k\Phi,$$

ahol k a katód fényérzékenysége.

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

A Sztoletov-törvény a sugárzáselnyelés kvantum jellegének következménye:

A fotoelektronok száma arányos az anyag által elnyelt N foton számával; N értéke állandó sugárzási spektrumösszetétel mellett arányos Φ -vel.

Monokromatikus sugárzás esetén

$$N = \Phi / (h\nu).$$

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

Einstein-törvény:

A fotoelektronok maximális mozgási energiája lineárisan növekszik a beeső fény frekvenciájának növelésével és nem függ annak intenzitásától (Einstein-féle fotoelektromos egyenlet):

$$E_{k\max} = h\nu - A_{\min},$$

ahol $A_{\min}$ az anyag vezetési sávjában a legmagasabb szinten elhelyezkedő (Fermi-szint) elektronjainak kilépési munkája.

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

A fotoeffektus kísérleti tapasztalatait Einstein – Planck kvantum hipotézisét felhasználva – 1905-ben értelmezte.

Einstein feltételezte, hogy a fény $h\nu$ energiájú részecskékből áll. A megvilágító fényrészecske átadja energiáját az elektronnak és ennek hatására lép ki a fémből. Ha a fény frekvenciája kicsi, azaz $\nu < \nu_0$ -nál, akkor az átadott energia nem elegendő ahhoz, hogy az elektron elhadjja a fémet.

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

Ahhoz, hogy az elektron kilépjen a fémből, minimálisan $h\nu_0=A$ energiával kell rendelkeznie, ahol A az ún. kilépési munka, melynek értéke a fém anyagára jellemző.

Amennyiben a megvilágító fény frekvenciája ν_0 -nál nagyobb, úgy a kilépő elektron kinetikus energiáját az Einstein-féle fotoelektromos egyenlet adja.

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

Eszerint a fémből kilépő elektron mozgási energiája a kísérleti tapasztalatoknak megfelelően a megvilágító fény frekvenciájától lineárisan függ.

A klasszikus fizika számos kísérleteivel szemben, melyek a fény elektromágneses hullám jellegét bizonyítják, a fotoeffektus-jelenség a fény részecske tulajdonságáról tanúskodik.

Einstein nyomán az energiaadagokat szállító fényrészecskéket fotonoknak nevezzük.

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

A megvilágított felületről kilépő fotoelektron számának és az azonos idő alatt a felületre beeső foton számának arányát a fotoeffektus kvantumkimenetének nevezik.

A fotoelektronok és a fotonok összesített energiáinak megfelelő aránya a fotoeffektus energia kimenetének nevezik.

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

Fémek esetén a fotoeffektus kvantum kimenete $\nu > \nu_0$ frekvenciáknál nő a ν növekedésével egészen $\nu_1 = |E_1| / h$ frekvenciáig, ahol E_1 a vezetési sáv legalacsonyabb szintjén elhelyezkedő elektron energia értéke.

A ν további növelése csökkenti a kvantumkimenetet a fotonok elnyelési valószínűségének (a fotoeffektus effektív metszete) csökkenése következtében.

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

$h\nu > 2A_{\min}$ -nél lehetségessé válik a kaszkód-fotoeffektus jelenség, azaz kettő vagy ennél is több fotoelektron egyetlen foton általi kiütése, ami tovább növeli a fotoeffektus kvantumkimenetét.

A kvantumkimenet (és a telítettségi fotoáram) jelentős növekedésének jelenségét bizonyos frekvenciatartományú beeső fénynél szelektív (kiválasztó) fotoeffektusnak nevezik.

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

Ebben az esetben a kvantumkimenet erősen függ a fény beesési szögétől és polarizációjától.

A beesési síkban polarizált fény esetén a szelektív fotoeffektus nem figyelhető meg.

Ha a fény a beesési síkhoz merőlegesen polarizált, akkor a szelektív fotoeffektus maximális és a fény α beesési szögétől függ (növekszik az α szög 0-tól $\pi/2$ -ig való növelésével).

A megjelölt jellegzetességnek a fény, a külső fotoeffektusra való, hullámtulajdonságainak befolyásáról tanúskodik.

FOTOELEKTROMOS EMISSZIÓ

Összetett katód (alkáli fémek vegyülete antimonnal vagy bizmutteral; félvezető rétegű katódok) esetén a külső fotoeffektus olyan elektronok fényelnyelésével van előidézve, melyek vagy a teljesen telített sávban, vagy adaléknívókon helyezkednek el.

Alacsony kilépési munka következtében az összetett katódok kvantumérzékenysége a látható fénytartományban jelentősen felülmúlja a fémkatódok kvantumérzékenységét.