

Vizsgakérdések

Fizika II.

I. **Mi jellemzi az elektromágneses mezőben mozgó töltött részecskék energia- és pályaviszonyait?**

1. *Írja fel a töltött részecskékre ható Lorentz-erőt kifejező összefüggést!*

$$\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad q: \text{töltési részecske}; B: \text{mágneses indukció}; v: \text{sebesség}; E: \text{villamos térerő}; F: \text{erő}$$

2. *Hogyan változik a töltött részecske mozgási energiája elektrosztatikus térben, ill. mágneses térben?*

villamos térben: $\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = -q(U_2 - U_1)$

mágneses térben: $\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = 0$

mozgási energiája nem változik mágneses térben

3. *Milyen pályán mozog a töltött részecske elektrosztatikus térben?*

parabola pályán mozog $r = \vec{v}_0 t + \frac{qE}{2m} t^2$

4. *Milyen pályán mozog a töltött részecske mágneses térben, ha a sebesség merőleges, ill. ha párhuzamos az indukcióval?*

$\vec{v} \perp \vec{B} \quad F = qvB$ körmozgás

$\vec{v} \parallel \vec{B} \quad F = 0 \quad F = q(v \times B) = 0 \quad v = \text{állandó}$

5. *Milyen a pálya, ha tetszőleges a sebesség iránya?*

egyenletes menetemelkedésű csavarvonal

6. *Milyen pályán mozog a töltött részecske elektromágneses térben, ha a villamos térerősség és az indukció párhuzamos?*

nem egyenletes emelkedésű csavarvonal

II. **Értelmezze az elektromágneses sugárzás hullám- ill. részecske-természetét!**

1. *Sorolja fel, hogy milyen kísérletek v. jelenségek igazolták az elektromágneses sugárzás hullám- ill. részecske-természetét!*

hullám: interferencia, elhajlási jelenség igazolják,

részecske: fényelektromos jelenség, Compton-effektus igazolja

2. *Miben rejlik a jelentősége a Planck-féle sugárzási törvénynek?*

testek az elektromágneses sugárzást nem folytonos, hanem adagokban úgynevezett kvantumokban bocsájtják ki

$$W = h\nu$$

3. *Melyek a fotoeffektusnál észlelt törvényszerűségek?*

kilépő elektronok energiája függ a megvilágító fény frekvenciájától, kilépő elektronok száma a fény intenzitásától függ, a jelenség pillanatszerűen következik be, adott fém esetében meghatározott frekvencia fényre történik

4. *Ezek alapján milyen következtetésre jutott Einstein?*

fényben fotonok közvetítik az energiát, elektromágneses hullám adagokban továbbítja az energiát

5. Írja fel az Einstein-féle fényelektromos egyenletet és értelmezze!

$$h\nu = \frac{1}{2}m_0v_{\max}^2 + W_{ki} \quad W_{ki} : \text{kilépési munka}$$

$$W_{kin} = \frac{1}{2}m_0v_{\max}^2 \quad W_f = h\nu$$

W_{kin} – elektron mozgási energiája W_f – foton energiája

h : Planck állandó $6,626 \cdot 10^{-34}$ Js, ν – frekvencia [Hz]

6. Mit bizonyított a Compton-effektus és hogyan?

bizonyította: röntgesugárzásban meghatározott energiájú és impulzusú fotonok mozognak. Csak úgy értelmezhető a hullámhossz növekedés ha az elektromágneses sugárzás fotonokból (részecskékből) áll ezekben a jelenségekben

7. Írja fel a Compton-effektus során tapasztalt hullámhossz-növekedésre vonatkozó összefüggést, és értelmezze azt!

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\alpha) \quad h: \text{Planck állandó}; m_0: \text{elektron nyugalmi tömege}; c: \text{fénysebesség}; \alpha:$$

szórási szög

8. Írja fel a Compton-effektus hullámhossz-növekedéséhez vezető foton-elektron ütközésre vonatkozó megmaradási tételeket kifejező összefüggéseket!

koszinusz tétel (impulzus megmaradás), energia megmaradás

$$p_e = p_0^2 + p^2 - 2p_0p\cos\alpha \quad h\nu_0 + m_0c^2 = h\nu + W_e$$

$$h\nu = mc^2 = pc \quad p = m \cdot c$$

p_0 : ütközés előtt a foton impulzusa ; p : az ütközés után ; p_e : elektron impulzusa az ütközés után

ν_0 : az eredeti frekvencia ; ν : a szórt sugárzás frekvenciája ; m_0c^2 : az elektron nyugalmi energiája ; W_e : elektron energiája az ütközés után ; m : foton tömege ; c : fénysebesség ; α : eltérítés szöge

III. Mi jellemzi a klasszikusnak nevezhető atommodelleket?

1. Mi a Rutherford-féle atommodell lényege, és mi a hibája?

lényege: középen a pozitív töltésű mag, körülötte a negatív töltések

hibája: gyorsuló töltött részecske elektromágneses sugárzást bocsájt ki, így az elektronok a csökkenő energia miatt bele kéne zuhannia a magba

2. Írja fel a Bohr-féle posztulátumokat!

a, az atomokban az elektronok csak meghatározott sugarú pályákon keringhetnek, ezeken a pályákon nem sugároznak

b, csak olyan pályán keringenek, ahol az elektron perdülete $h/2\pi$ egész számú többszöröse $mvr = n \frac{h}{2\pi}$

megengedett elektronpályákra érvényes: $mvr = n \frac{h}{2\pi}$ ahol $n=1,2,3,\dots$; az elektron perdülete $h/2\pi$

c, két elektronpálya közti átmenet során az elektron $h\nu$ adagokban bocsájt ki vagy vesz fel energiát:

$$W_1 - W_2 = h\nu$$

3. Milyen kvantumszámokat ismer?

főkvantumszám: n

mellékvantumszám: l

mágneses kvantumszám: m

spinkvantumszám: s

4. Mi a köztük levő kapcsolat?

$n=1,2,3,\dots$; $l=0,1,2,\dots,n-1$; $m=-1,\dots,0,\dots,+1$; $s=+/-1/2$

5. Melyik mit jellemez?

a főkvantumszám az elektron energiáját pályasugar kerületi sebesség, a mellékvantumszám az ellipszispálya kis-nagy tengelye közti kapcsolatot, a mágneses kvantumszám mozgó elektron által keltett mágneses tér és a külső tér kapcsolata, a spinkvantumszám az elektron tengely körüli forgása

6. Fogalmazza meg a Pauli-féle tilalmi elvet!

egy atomban nem lehet 2 olyan elektron aminek mind a 4 kvantumszáma azonos (legalább a spinben el kell térniük)

IV. Milyen kvantummechanikai alapfogalmakat és törvényeket ismer?

1. Írja fel és fogalmazza meg a de Broglie-féle anyag-hullám egyenletet!

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \quad \lambda: \text{hullámhossz}[m], m: \text{tömeg}, p: \text{impulzus}[\frac{kgm}{s}], v: \text{sebesség}$$

2. Mit fejez ki a Heisenberg-féle határozatlansági elv?

mikroobjektumok esetén bizonyos mennyiség párok nem határozhatók meg egyidejűleg, tetszőleges pontossággal

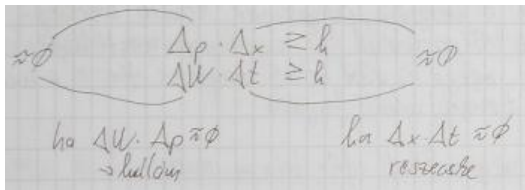
3. Milyen tulajdonságú mennyiségpárookra vonatkozik?

hullám tulajdonság \leftrightarrow részecske természet

4. Írja fel és fogalmazza meg a Heisenberg-féle határozatlansági relációkat!

$\Delta W \Delta t \geq h$ az energia mérés és időtartam-mérés szorzata nem lehet kisebb mint a Planck-állandó

$\Delta p \Delta x \geq h$ az impulzus és helymérés szorzata nem lehet kisebb mint a Planck-állandó



5. Mit tartalmaz a komplementaritás elve?

A hullám és részecske tulajdonság az anyagnak egymást kiegészítő 2 jellemzője

Bohr-féle, hullám és részecske tulajdonság az anyagnak egymásnak kiegészítő 2 jellemzője

6. A stacionárius Schrödinger-egyenlethez vezető út: hogy lesz állóhullám a Bohr-modellből; milyen alapösszefüggések vezetnek az egyenlethez?

$$2r\pi = n \frac{h}{mv} = n\lambda - \text{deBroglie}$$

$$\text{állóhullám } \psi(x,t) = A \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \sin 2\pi \nu t$$

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = -\frac{4\pi^2}{\lambda^2} \psi \quad \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{4\pi^2}{\lambda^2} \psi = 0$$

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{4\pi^2 2m}{h^2} W_{kin} \psi = 0$$

7. Írja fel a stacionárius Schrödinger-egyenletet és értelmezze a benne szereplő mennyiségeket!

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{h^2} (W - W_{pot}) \psi = 0 \quad \text{kinetikusenergia: } W_{kin} = W - W_{pot}$$

$$\psi: \text{hullámfüggvény}, m: \text{tömeg}, \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

8. Milyen fizikai tartalom rendelhető a Schrödinger-egyenletben szereplő hullámfüggvényhez?

9. Sorolja fel a stacionárius Schrödinger-egyenlet 3 alkalmazását!

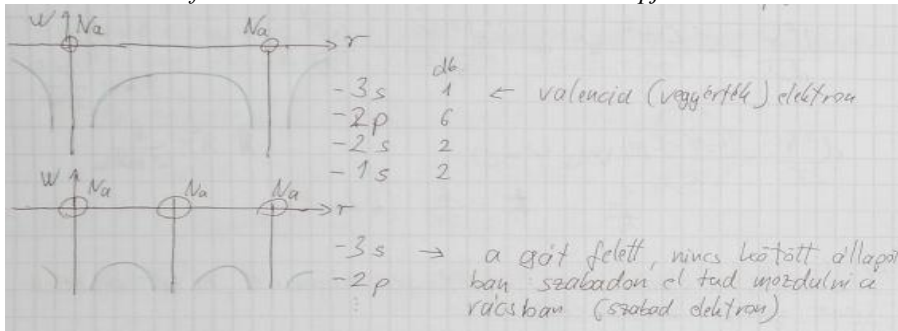
a, egydimenziós dobozba zárt elektron

b, alagút-effektus

c, atomba kötött elektron

V. **Értelmezze a fémek vezetését!**

1. **Értelmezze a fémek kötést a szabad elektron-modell alapján!**



2. **Értelmezze a vezetőképesség fogalmát a szabad elektron-modell alapján!**

$$\frac{1}{2} m \bar{v}_i^2 = \frac{3}{2} kT \quad \bar{v}_i : \text{termikus sebesség}, k : \text{Boltzmann állandó}, v_i \approx \sqrt{T} \text{ (arányos)}$$

villamos teret kapcsolunk: $ma = eE \rightarrow$ mozgási egyenlet, e : elektron töltése
 $a = eE/m$ 2 ütközés az elektron $v = at$

$$F = \gamma E \quad F = env_{\text{átl}} \quad v = \frac{eE}{m} = \frac{ln}{v_i} \quad \gamma = \frac{e^2 n ln}{2m v_i} \quad v_{\text{átl}} = \frac{v}{2}$$

ln : közepes szabad úthossz amit egy elektron 2 ütközés között megtesz

γ : fajlagos vezetőképesség

3. **Hogyan függ a fémek ellenállása a hőmérséklettől a szabad elektronmodell alapján, ill. a hullámmodell alapján?**

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{T}} \quad \rho = \sqrt{T} \quad \text{arányos}$$

4. **Hogyan értelmezhető a fémek fajlagos vezetőképessége a hullámmodell alapján?**

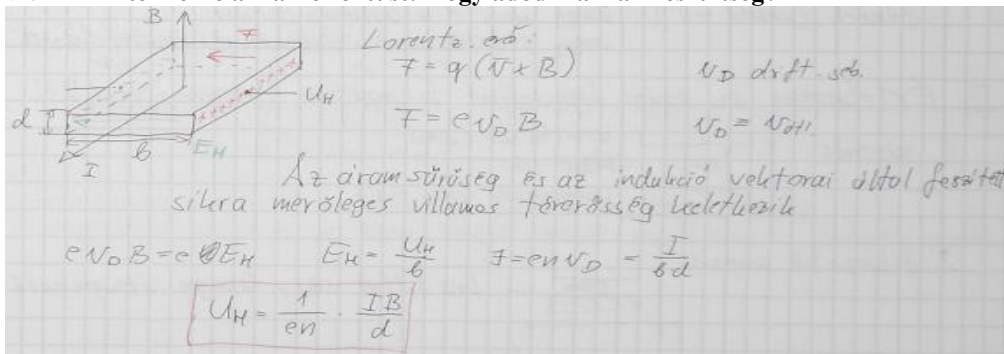
haladó hullámként kezeljük az elektronokat

α : szórási tényező, I : intenzitás $I = I_0 e^{-\alpha x}$

$\alpha = \alpha_\tau + \alpha_s$ W_F : fermienergia

$$\gamma = \frac{e^2 n l_k(W_F, T)}{2m v_i(W_F)} \quad \gamma \approx \frac{1}{T} \quad \rho \approx T$$

VI. **Értelmezze a Hall-effektust! Hogy adódik a Hall-feszültség?**



VII. Szilárd testek sávmélete a szabadelektron-modell és a hullámmodell alapján.

1. Mit nevezünk tiltott hullámhossznak, ill. tiltott energiának?

tiltott hullámhossz az a hullámhossz amivel a vezetésben résztvevő elektron nem rendelkezhetnek

$$\lambda_n = \frac{2d}{n}; \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

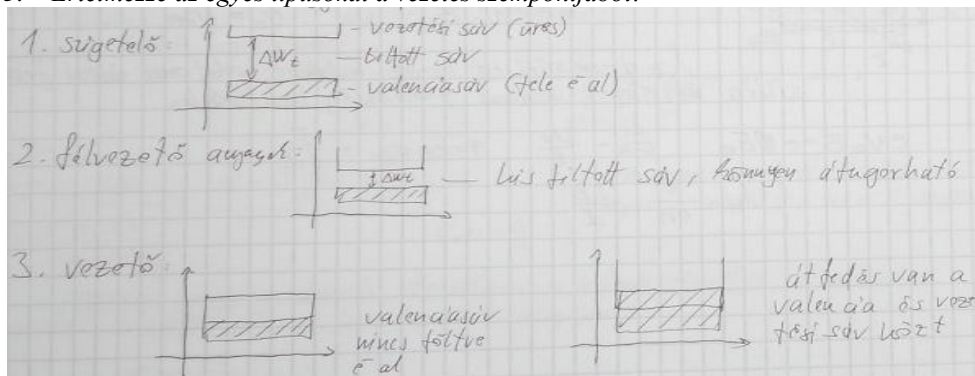
tiltott energia: tiltott impulzushoz tartozó energia (tiltott impulzus: a tiltott hullámhosszhoz tartozó impulzus)

$$W_t = \frac{P_t^2}{2m} \quad \text{Pt: tiltott impulzus ; Wt: tiltott energia}$$

2. Hogyan csoportosítjuk a szilárd testeket a sávmélet alapján?

szigetelő anyagok (nagytiltott sáv), félvezető anyagok (kis tiltott sáv, könnyen átugorható), fémek (vezető anyagok): vagy nincs elektron a vákuumsávban vagy átfedés van a valencia és a vezetési sáv között

3. Értelmezze az egyes típusokat a vezetés szempontjából!



VIII. A Fermi-Dirac statisztika elemei.

1. Definiálja a Fermi-energiát!

0 K hőmérsékleten a legnagyobb betöltött energia szint a vezetésben résztvevő elektron számára, nagyobb hőmérsékleten a félig betöltött energia szint

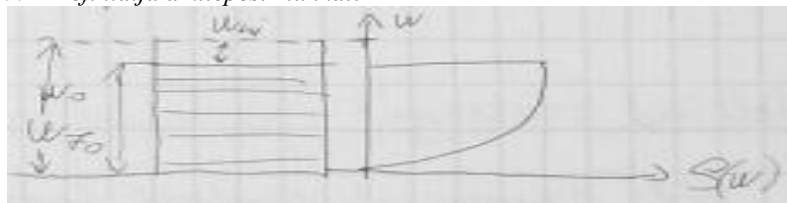
2. Mi a fizikai tartalma a Fermi-energiának, mint a fémekre jellemző kémiai potenciálnak?

a Fermi-energia a fémeknél megegyezik a kémiai potenciállal (μ) $W_f = \mu$

kémiai potenciál: az az energia mely a rendszer részecskeszámát egyel való növeléséhez szükséges:

$$\mu = \frac{G}{N} = \frac{U + pV - TS}{N}$$

3. Definiálja a kilépési munkát!



$$W_{ki} = W_0 - W_{F0}$$

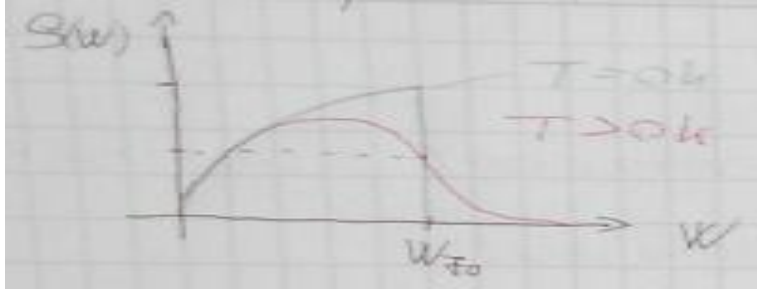
az elektronok megtöltik a potenciál gödröt a Fermi szintig

a „gödör” széle és a Fermi szint közti különbség a kilépési munka

4. Milyen kapcsolatban van a Fermi-energiával?

$$W_{ki} = W_0 - W_{F0}$$

5. *Ábrázolja a Fermi-Dirac statisztika energiaeloszlási függvényét!*



IX. Az érintkezési feszültségek és a termoelektromos jelenségek.

1. *Értelmezze a Volta-feszültséget és a Galvanifeszültséget!*

Volta-feszültség: U_v A-B felületek közötti feszültség

Galvani-feszültség: U_g A'-B' érintkezési pontok 2 oldalán az érintkezési pontok külső részén lép fel

2. *Mi a Seebeck-effektus lényege?*

ha két egymással érintkező fém vagy félvezető egyik érintkezési pontját melegítjük akkor a 2 pont közt feszültség jön létre, zárt kör esetén áram folyik

3. *Mi a Peltier-effektus lényege?*

ha két egymással érintkező fém vagy félvezetőn áramot vezetünk át, az egyik pont felmelegszik, a másik pont lehül

$Q = \Pi F$ Π : peltieregyüttható $\Pi = \alpha T$

X. Az anyagok mágneses tulajdonságai. Ferroelektromosság.

1. *Hogyan határozható meg szilárd test belsejében a mágneses indukció vektora?*

$\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H} = \mu_0 \vec{H} + \vec{M}$

2. *Mit nevezünk mágnesezettség vektorának?*

a mágnesezettség vektora megegyezik az anyag egységnyi térfogatában található mágnes dipól momentummal. Tehát a \vec{M} a mágneses dipól momentum sűrűsége

$\vec{M} = \frac{\vec{m}}{v}$ m: mágneses dipól momentum

3. *Mi a kapcsolat az indukció vektora és a mágnesezettség vektora között?*

$\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H} = \mu_0 \vec{H} + \vec{M}$ $\vec{M} = \mu_0 H(\mu - 1) = \mu_0 H \kappa$

M: mágnesezettség vektora ; kappa: mágneses szuszceptibilitás

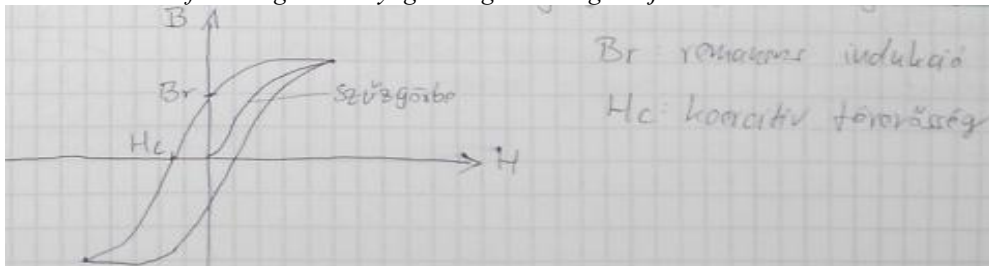
4. *Magyarázza meg a dia-, para-, és ferromágneses tulajdonságot!*

diamágneses anyag: térrel szembe keresztbe fordul $\kappa < 0$ $|\kappa| \ll 1$ $\mu_r \approx 1$

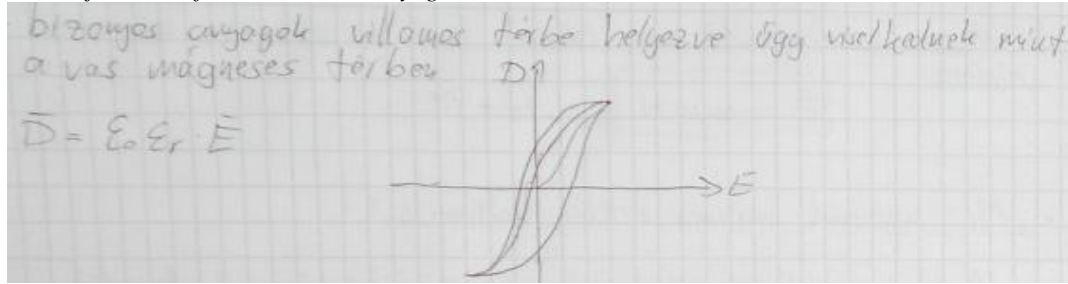
paramágneses anyag: beáll a mágneses tér irányába (párhuzamosan) $\kappa > 0$ $|\kappa| \ll 1$ $\mu_r \approx 1$

ferromágneses anyag: B nem lineárisan változik $\kappa > 0$ $\mu_r \approx 900$

5. *Ismertesse a ferromágneses anyagok mágnesezési görbéjét!*



6. Mi jellemzi a ferroelektromos anyagokat?



D: villamos eltolás ; E: villamos térerősség

XI. Kondenzált anyagok fizikájának alkalmazásai I.

1. Mi a piezoelektromosság?

bizonyos kristályok anyagok külső nyomás hatására felületén töltés jelenik meg (pl. kvarc SiO_2)

2. Mi az elektrosztrikció?

villamos térbe helyezett dielektrikum alakváltozást szenved, ha permittivitása különbözik a környezettől

3. Mit nevezünk folyadékkristálynak?

olyan anyagok melyekben a molekulatengelyek irányrendezettsége megvalósul, a tömegközéppontok rendezettsége azonban tetszőleges lehet

4. Milyen folyadékkristály-szerkezeteket ismer?

nematikus, szmektikus, koleszterikus

5. Melyikre mi jellemző?

nematikus: hossz tengelyek párhuzamosak, tömegközéppontok nem

szmektikus: réteges – 1 rétegen belül a hossz tengelyek és a tömegközéppontok azonos síkban (párhuzamosak a hossz tengelyek)

koleszterikus: réteges – 1 rétegen belül a tengelyek és a tömegközéppontok azonos síkban, egymást követő rétegeket összekötve térbeli csavarvonalat kapunk

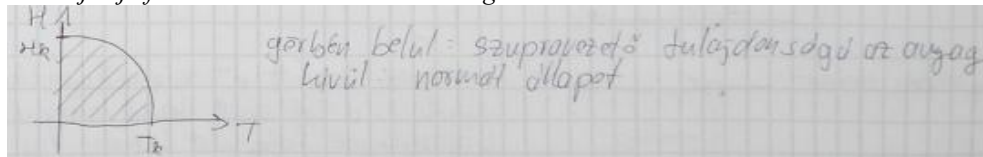
6. Hogy működik a folyadékkristályos kijelző (térvezérelt csavart nematikus cella)?

polarizálja a fényt a polarizátor, poláros fény rezgési síkját a folyadékkristály molekulák 90° -kal elforgatják, át tud jutni a 2. polár szűrőn, a tükörről visszaverődik \rightarrow fény. Ha az elektródokra feszültséget kapcsolunk a folyadékkristályok beállnak a tér irányába, így a poláros fényt nem forgatják, az nem jut át a 2. szűrőn \rightarrow nincs fény

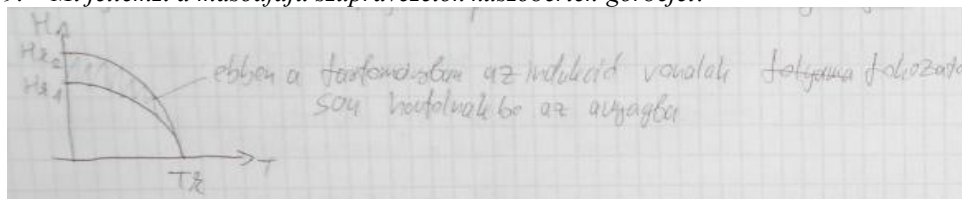
7. Mi jellemzi a szupravezetőket?

azok az anyagok melyek ellenállása egy kritikus hőmérséklet alatt gyakorlatilag nullára csökken, szupravezető anyag kitesztítja magából az indukció vonalakat

8. Rajzolja fel és értelmezze a küszöbérték-görbét!



9. Mi jellemzi a másodfajú szupravezetők küszöbérték-görbéjét?



10. Mi a Meissner-Ochsenfeld effektus lényege?

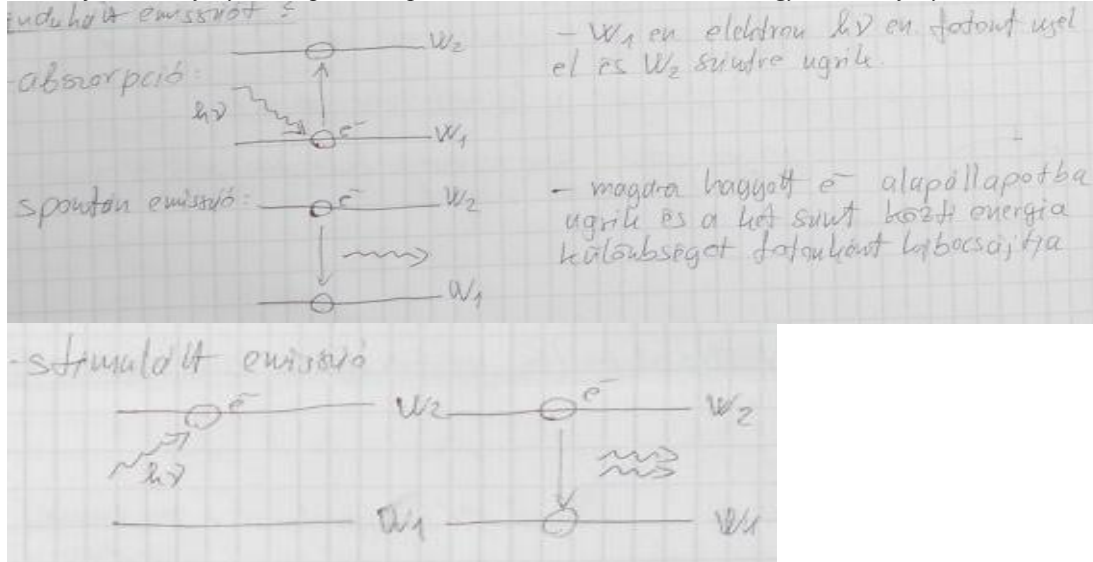
mágneses térbe helyezett szupravezető kivetí magából a mágneses fluxust mikor átlépi a kritikus hőmérsékletet

11. Ismertesse a szupravezetők működésének alapelvét (BCS elmélet!)

szupravezető állapotban a rács ionjához közeledő elektron megzavarja az ion rezgésállapotát, ennek következtében az ion kvantált mechanikai energiát emittál. Mechanikai energia kvantonja a fonon. Az ion létrehozza a fonon teret → 2 ellentétes spinű elektron elektropárra alakul (Cooper pár): a pár spinje $0 \rightarrow 0$ spinű részecskékre nem érvényes a Pauli elv és a Fermi-Dirac statisztika

XII. Kondenzált anyagok fizikájának alkalmazásai II.

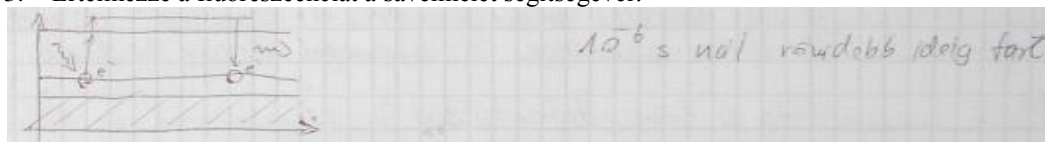
1. Mi jellemzi a fényabszorpciót, a spontán emissziót és a stimulált, vagy indukált fényemissziót?



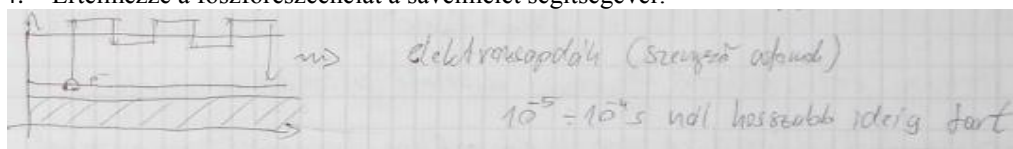
2. Mi a lumineszcencia lényege?

bizonyos anyagokat ha gerjesztünk, a gerjesztő hatás elmúltá után is rövidebb-hosszabb ideig fényt bocsájt ki bizonyos anyag gerjesztése megszűnté után rövidebb-hosszabb ideig fényt bocsájtanak ki

3. Értelmezze a fluoreszcenciát a sávmélet segítségével!



4. Értelmezze a foszforeszcenciát a sávmélet segítségével!



5. Mit jelent a lézerekre jellemző populáció inverzió?

$N_2 > N_1$ gerjesztett állapotú elektronból van több

XIII. Az atommag jellemzői, radiaktivitás, mesterséges magfolyamatok.

1. Mi a tömegszám?

egész számra kerekített atomtömeg, a protonok és neutronok száma együttesen (nukleonok) $A = Z + N$

2. Mit nevezünk tömegdefektusnak?

az atommag tömege nem akkora mint a nukleonjai együttes tömege

$$\Delta m = Z m_p + (A - Z) m_n - M \text{ (a különbség a kötési energia)}$$

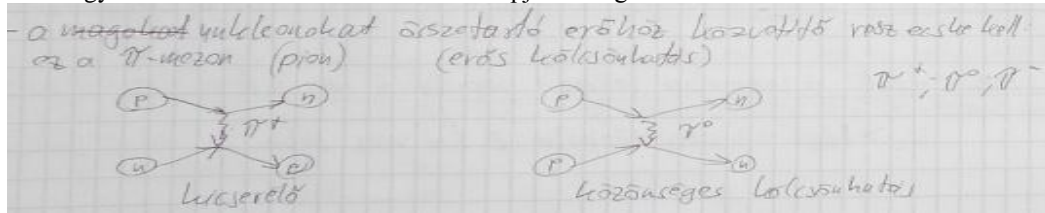
3. Mit értünk az atommag kötési energiáján?

azaz energia amely felszabadul akkor mikor az atommagot részeiből rakjuk össze illetve ahhoz szükséges hogy az atommagot részreire bontsuk

4. Mi a kapcsolata a tömegdefektussal?

a nukleonok tömege és az összerakott atommag tömege közti különbség a kötési energia $W_k = \Delta mc^2$

5. Hogyan értelmezhető Yukawa elmélete alapján a magerő?



6. Sorolja fel és jellemezze az atommag-modelleket!

csepp-modell: vízcsepp analógia, héj-modell: protonok és neutronok héjakba rendeződnek, egyesített model: kettő együtt, nukleonok kollektív mozgást végeznek, rezegnek

7. Sorolja fel a Weizsacker-féle kötési energia-képlet tagjait!

$$|W_k| = W_V - W_F - W_C - W_A \pm W_P$$

W_k : kötési energia abszolút értéke, W_V : térfogattal arányos energia, W_F : fermi energia, W_C : coulomb energia (sok proton taszítja egymást), W_A : aszimmetria miatt (n vagy p száma több), W_P : pár energia (ha páros +, ha páratlan -)

8. Definiálja a radioaktivitás jelenségére jellemző aktivitás fogalmát!

$$a = -\frac{dN}{dt} \text{ időegység alatt elbomló atommagok száma}$$

9. Mi a mértékegysége?

$$[a] = 1/s = 1 \text{ becquerel} = 1 \text{ Bq}$$

10. Írja fel a radioaktivitásra jellemző bomlási törvényt, és értelmezze!

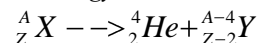
λ bomlási állandó, bomlatlan magok száma idővel exponenciálisan csökken

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad N = N_0 e^{-\lambda t} \quad N_0: \text{ az atommagok száma a kezdeti időpillanatban}$$

11. Mi az α -sugárzás?

He-atommag kilépése a magból, megváltozik az anyag+energia szabadul fel, kis áthatoló képességű nagy tömegszámú atommagoknál lép fel, az atommagból egy hélium atommag lép ki

12. Hogyan változik ennek során az atommag rendszáma és tömegszáma?

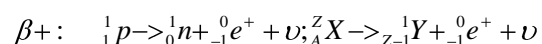
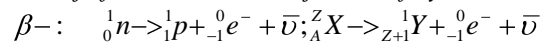


13. Milyen típusai vannak a β -bomlásnak?

β^- : neutron alakul protonná

β^+ : proton alakul neutronná

14. Írja fel az ezek során lejátszódó folyamatokat!



$\bar{\nu}$: antineutrínó, ν : neutrínó, e^+ : pozitron (antielektron)

15. Mi jellemzi a γ -sugárzást?

nagyenergiájú elektromágneses sugárzás, nagy az áthatoló képessége, α és β sugárzás kísérő jelensége

16. Milyen folyamaton alapul az atomreaktor működése?

maghasadás (fisszió): bombázó részecske (neutron) hatására az atommag két részre szakad

17. *Értelmezze a maghasadásra jellemző láncreakciót!*

leggyakoribb reakció: ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{56}^{141}\text{Ba} + {}_{36}^{92}\text{Kr} + 3 \cdot {}_0^1\text{n}$

U atomot neutronnal történő bombázására két magra: báriumra és kriptonra hasad, miközben nagy energia szabadul fel, + szabad neutronok, melyek újabb Urán magokat hasítanak fel

18. *Mi a magfúzió lényege?*

kis tömegszámú atomok nagyobb tömegszámúvá való egyesülése, végeredmény energetikailag kedvezőbb elem + sok energia

19. *Írjon fel példaként egy fúziós reakciót!*

${}_1^2\text{D} + {}_1^3\text{T} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n} + \text{energia}$ *D: deutérium, T: trícium (mind 2 hidrogénizotópja)*

XIV. Dirac lyukelmélete és az elemi részecskék.

1. *Írja fel a Dirac-féle lyukelmélet alapját képező egyenletet és értelmette!*

részecske energiája és impulzusa:

$$W = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$W = \pm \sqrt{(pc)^2 + (m_0 c^2)^2}$ tehát adott p impulzusú részecske energiája lehet + és - is

2. *Értelmezze ez alapján a lyukelméletet!*

negatív energia: negatív tömeget feltételez; vákuum lehet ilyen → ha egy elektronnal annyi energiát közlünk hogy pozitívba megy át, helyén lyuk marad + töltéssel

3. *Hogyan csoportosíthatók az elemi részecskék?*

tömegük alapján 3 csoport: 1. leptonok (legkönnyebb), 2. mezonok, 3. barionok (legnehezebb) + fotonok; nem sorolható be, nincs tömege, nincs antirészecskéje, spinje 1

4. *Mik a leptonok?*

legkönnyebb elemi részecskék, 6 db van belőlük + 6db antirészecske

5. *Sorolja fel az ide tartozó részecskéket!*

elektron, pozitron, elektron neutrínó, anti neutrínó, müon, anti müon, müon neutrínó, anti müon neutrínó, tau, anti tau, tau neutrínó, anti tau neutrínó

6. *Mik az anyag alapvető építőkövei?*

kvarkok és leptonok (u és d kvarkból → proton, neutron és elektron), proton és neutron 3db kvarkból áll

7. *Melyek az alapvető kölcsönhatások?*

1. erős kölcsönhatás: legerősebb → az atommag nukleonjait összetartó erő; közvetítő részecske: π-mezon; kvarkokat összetartó erő; közvetítő részecske: glüon

2. elektromágneses: villamos töltéssel rendelkező részecskék közt közvetítő részecske: foton

3. gyenge kölcsönhatás: β bomlásnál; közvetítő részecske: 1 spinű W és Z részecske (az elektromágneses és gyenge kölcsönhatások összetartoznak)

4. gravitációs kölcsönhatás: minden létező részecske között hat; közvetítő részecskéjét még nem fedezték fel (graviton)