

# Fizika II. gyakorlat segédlete

Horváth Árpád

2017. május 5.

A korábbi években elméletet és gyakorlatot is tartottam. Később találhatóak a korábbi évek anyagai. Ezt nem rendeztem át, de sorrendileg sok mindenben eltér a 2017 tavaszi tananyag beosztásától.

A 284/6. alakú feladatsorszámok a Lökös–Mayer–Sebestyén–Tóthné féle Kandós *Fizika példatár*ra, a 38C-28 típusúak a Hudson–Nelson: *Útban a modern fizikához* példáira utalnak.

## 1. A 2017-es tavaszi gyakorlatokhoz

A gyakorlaton elméleti és gyakorlati kérdések is vannak. Az alábbiakban kiemelem azokat az elméleti kérdéseket, amiket fontosabbnak tartok. Nem kizárólag ezek lehetnek számonkérésben, de az elméleti rész fele ezekből biztosan megszerezhető. A gyakorlatokból is kiemelek párat amiket fontosabbnak gondolok.

### 1.1. GyakorloFeladatok-01.pdf

### 1.2. GyakorloFeladatok-02.pdf

### 1.3. GyakorloFeladatok-03.pdf

**Ellenőrző kérdések** A legfontosabbak

6. Milyen kísérleti tapasztalatok utalnak az energia kvantáltságára?
7. Hogy szól a Planck-féle sugárzási formula? Ábrán is ábrázolni kell három hőmérsékleten! Az ábra számomra fontosabb mint a pontos képlet.
8. Ismertesse a felületi fényelektromos jelenséget!
10. Ismertesse a Compton-effektust!
11. Ismertesse de Broglie gondolatmenetét!
12. Osztályozza a színeképeket!
13. Ismertesse a hidrogén atom színeképét!
14. Ismertesse a Balmer-formulát!
16. Hogy szól a Rutherford-féle atommodell, és mi a fő problémája?
17. Ismertesse a Bohr-féle atommodellt!
23. Ismertesse a kvantumszámok rendszerét!
24. Ismertesse, hogyan épül fel a periódusos rendszer elemeinek elektronszerkezete!

42A-7.\* Az emberi szem kb. 555 nm hullámhossznál a legnagyobb érzékenységgű. Adjuk meg annak a fekete testnek a hőmérsékletét, amely sugárzásának a spektrális teljessítménye ezen a hullámhosszon a maximális.

284/6. Hány méter az 1 MeV-es foton hullámhossza?

284/9. A röntgensőben felgyorsított elektron fékeződésekor a mozgási energiájával közel egyező energiájú foton keletkezik, mely a röntgentartományba esik. Egy röntgenkészülék  $10^{-11}$  m hullámhosszú röntgensugárzást bocsájt ki. Mekkora gyorsítófeszültségre van szükség a létrehozásához?

284/12.\* Az emberi szem már észreveszi azt a  $6 \cdot 10^{-7}$  m hullámhosszú sárga fényt, amely  $1,7 \cdot 10^{-18}$  W teljessítményt szállít a retinához. 1 s alatt hány foton érkezik ekkor a szembe? (átlagosan 5,131 darab)

42A-16\* A bizmutban a fényelektromos hatás csak 294 nm-nél rövidebb ultraibolya hullámhosszak esetén jelenik meg. Adjuk meg a kilépési munkát elektrovoltokban bizmutra! ( $6,761 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 4,22 \text{ eV}$ )

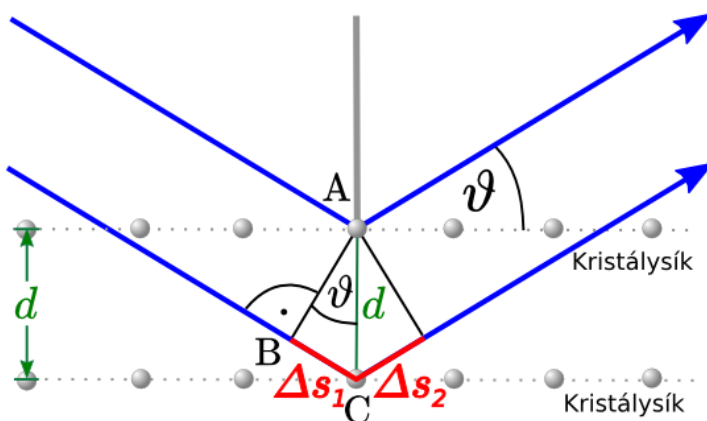
42B-18\* Fényelektromos jelenségél 300 nm hullámhosszúságú fény esik egy fém felületére, ekkor a fotoelektronok árama 0,83 V-os ellentér esetén szűnik meg. (a) Mekkora a kilépő fotoelektronok maximális mozgási energiája? (b) Mekkora a fém kilépési munkája? (c) Mekkora a küszöbhullámhossz? (a)  $E_{max} = 1,330 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ , b)  $W_{ki} = 5,296 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ , c)  $\lambda_{max} = 375 \text{ nm}$ )

42A-6.\* Egy mozgó elektron de Broglie-hullámhossza 0,2 nm. Adjuk meg (a) a sebességét, és (b) a mozgási energiáját eV egységekben! ( $3,637 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ ,  $37,6 \text{ eV}$ )

A PDF-ből a Gyakorló feladatokból: 284/2. 3. 6. 8. 9., 285/16. 21. 22.

## 1.4. Bragg-reflexió

Ezzel kimutatható az elektron hullám tulajdonsága. Ugyanolyan interferenciakép alakul ki elektron esetén, mint UV-fény esetén.



Csak olyan irányokba megy elektron/UV-foton, amerre az úthosszkülönbség a hullámhossz többszöröse, különben a sok rétegen visszavert hullámok kioltják egymást.

**1.1. feladat:** Mekkora legkisebb beesési szög alatt lesz Bragg-reflexió, ha az atomsíkok távolsága 0,2 nm, a röntgenfény hullámhossza 0,3 nm? Mivel lehet még Bragg-reflexiót kiváltani elektromágneses hullámon kívül?

## 1.5. Cserenkov-detektor

A részecskének a sebességét, részben a *Cserenkov-effektussal* lehet mérni. Ez azt jelenti, hogy a töltött részecskék kúp alakban sugárzást bocsájtanak ki, ha sebességük nagyobb a közegbeli fénysebességnél, de természetesen kisebb a vákuumbeli fénysebességnél. A kúp nyílásszögéből az 1. ábra szerint kiszámolható a  $\beta$  relatív sebesség az alábbi képlet szerint:

$$\cos \varphi = \frac{1}{\beta n},$$

ahol  $\beta = \frac{v}{c}$ ,  $v$  a részecske sebessége,  $n$  a közeg törésmutatója.

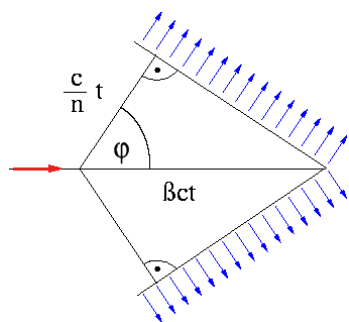
Víz esetén például a törésmutató  $n = 1,33$ . Ha a nyílásszög  $15^\circ$ , akkor a sebesség  $\beta = \frac{1}{1,33 \cdot \cos 15^\circ} = 0,78$ -szorosa a fénysebességnek.

Az ezen az elven alapuló detektorokat hívjuk *Cserenkov-detektoroknak*.

**1.2. feladat:** Mekkora lehet a maximális kúpszög vízben? Nagy vagy kis sebességek esetén ekkora?

**Segítség:** Tudjuk, hogy a részecske maximum (vákuumbeli) fénysebességgel mehet.

**Megoldás:**  $41,3^\circ$



1. ábra. Ábra a Cserenkov-sugárzás kúpszögének kiszámításához

**1.3. feladat:** Legalább mekkorának kell lennie a töltött részecske sebességének, hogy vízben Cserenkov-sugárzást bocsájtson ki? Ez mekkora mozgási energiát jelent elektron illetve müon esetén?

**Segítség:** A mozgási energiát nem lehet a klasszikus képlet szerint számítani, hiszen a sebesség jóval nagyobb a fénysebesség hatodánál.

**Megoldás:** A vízbeli fénysebességnél  $c = c_0/n = 3 \cdot 10^8/1,33 = 2,26 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ -nél gyorsabbnak kell lennie. A mozgási energia a teljes és a nyugalmi energia különbsége:

$$E_m = E - E_0 = (\gamma - 1)m_0c^2 = 0,517m_0c^2,$$

elektronra  $m_0c^2 = 0,511 \text{ MeV} \Rightarrow E_m \approx 0,264 \text{ MeV}$ , müonra nagyjából kétszázszor ekkora  $54,8 \text{ MeV}$ .

## 1.6. GyakorlóFeladatok-04.pdf

**Ellenőrző kérdések** 2–6. 8. 10. 13. szabad részecske és négyzögletes végtelen magas potenciálgödör, 15.

**Kidolgozott és gyakorló feladatok** Mind ugyanarra a határozatlansági-elvre vonatkozik. (Az utolsó megfogalmazásával gondom van. A részecske hullámfüggvényétől függnek a bizonytalanságok, és a hullámfüggvény mérés során változik. Tehát nem a mérés során tudom megmérni a bizonytalanságát, hanem a környezet beállításával lehet meghatározni, hogy milyen lesz a részecskék hullámfüggvénye, és attól függ a bizonytalanság.)

Mi számoltunk olyat is, ahol az idő és az energia (tömeg) közötti határozatlansági-elvet használtuk:

**1.4. feladat:** 43B-28\* Egy atomot az  $1,8 \text{ eV}$  energiával az alapállapot fölé gerjesztve az atom átlagosan  $2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$  időt tölt el, mielőtt alapállapotba kerülne vissza. (a) Adjuk meg a foton hullámhosszát és frekvenciáját! (b) Adjuk meg a foton energiájának bizonytalanságát! (A spektroszkópon a rövid élettartamú részecskék vonala valóban szélesebb lesz emiatt a határozatlanság miatt.) ( $4,352 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ ,  $689 \text{ nm}$ ,  $5,28 \cdot 10^{-29} \text{ J}$ )

**Segítség:** A (b) pontban a Heisenberg-féle határozatlansági relációval számolhatunk.  $\Delta E \cdot \Delta t \approx \hbar = h/2\pi$ .

## 1.7. GyakorlóFeladatok-05.pdf

A PDF-ből a Gyakorló feladatokból: 295/6.,

## 1.8. GyakorlóFeladatok-06.pdf

1. Milyen komponensei vannak a radioaktív sugárzásnak?
2. Mi a mértékegysége a radioaktivitásnak?
3. Mit nevezünk felezési időnek, és hogy függ össze bomlási állandóval?

4. Vezesse le a bomlási törvényt!
5. Ismertesse a radioaktív kormeghatározás módszerét! Mi az alkalmazhatóság feltétele?
6. Ismertesse az Aston-féle tömegspektrográf működését!
7. Ismertesse az atommag összetételét!
8. Mit jelentenek az alábbi kifejezések: nukleon, tömegszám, töltésszám, izotóp, izobár, tükörmag?
9. Ismertesse az egy nukleonra jutó kötési energia diagramot!
10. Hol és meddig épülnek fel a hidrogénnél nehezebb elemek magjai?
11. Hogyan keletkeznek a vasnál nehezebb elemek?
12. Mi a Gray és mi a Sievert?
13. A sugárzások biológiai hatásának melyek a tipikus értékei?
14. Hol és hogyan keletkezik, valamint hogyan pusztul az ózon a Föld légkörében?
15. Mit mér a Dobson egység?
16. Milyen az ózonzó réteg térbeli eloszlása és időbeli változása?
17. Milyen vastag réteget képezne a Föld légkörében található ózonneménység 20°C-on, 1 atm nyomáson?
18. Mit jelent az ózonlyuk kifejezés?

A PDF-ből a Gyakorló feladatokból: 302/5., 6.,  
304/7.\*, 8., 9.\*, 10.\*, 12.,

**1.5. feladat:** Becsüljük meg, mekkora az urán-238 átmérője, ha a proton sugara 0,88 fm? Adjuk meg méterben mérve (előtétiszó nélkül) normálalakban is!

b) Mekkora lendületének illetve energiájának kell lennie az elektronnak, hogy ekkora legyen a hullámhossza? (Egy hullám ugyanis „nem vesz észre” a hullámhosszánál jelentősen kisebb akadályokat. Csak akkor tudjuk megmérni vele az urán sugarát, ha legalább ekkora az energiája.)

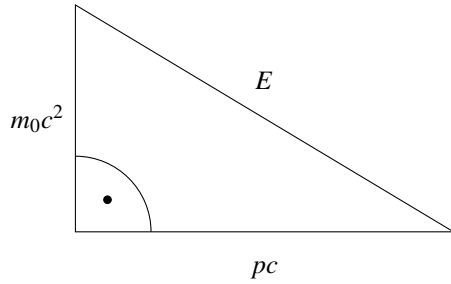
c) Határozzuk meg az energiát elektronvoltokban is.

$$(5,45 \text{ fm} = 5,45 \cdot 10^{-15} \text{ m},$$

$$p = 1,21 \cdot 10^{-15} \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad E \approx pc = 3,6 \cdot 10^{-11} \text{ J} = 228 \text{ MeV}, \text{ mivel } m_e c^2 \ll pc)$$

Pythonban így számolhatjuk:

```
rU = (238*0.88**3)**(1/3)*1e-15
h = 6.63e-34
p = h/rU
me = 9.1e-31
c = 3e8
me*c**2
p*c
E0=me*c**2
p*c/E0 # > 400
p*c/1.6e-19 # 228 GeV
```



2. ábra. Összefüggés az energia, a lendület és a (nyugalmi) tömeg között.

## 2. Relativitáselmélet összefoglaló

Először a speciális relativitáselmélet legfontosabb következményeit foglaljuk össze. A továbbiakban mindig két egymáshoz képest egyenletesen mozgó inerciarendszerről beszélünk. Fontos tudni, hogy ami az egyik rendszerben egyidejű, az a másikban nem feltétlenül az.

Az *idődilatáció* (időhosszabbodás) szerint egy hozzánk képest mozgó rendszerben zajló folyamatokat mi lassabban látjuk telni. Pontosabban fogalmazva ha két esemény egy hozzánk képest mozgó rendszerben egyhelyű, akkor az ott mért időtartam ( $\Delta t_0$ ) és az itt mért időtartam ( $\Delta t$ ) között az alábbi kapcsolat van:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} = \Delta t_0 \cdot \gamma,$$

ahol  $\gamma$  jelöli az sebességtől függő egy per gyökös kifejezést. Felhívjuk a figyelmet, hogy a másik rendszerből a mi folyamataink látszanak lassulni.

A *távolságkontrakció* (távolságrövidülés) szerint a másik rendszerben lévő tárgyakat rövidebbnek mérjük:

$$l = l_0 \sqrt{1 - (v/c)^2} = \frac{l_0}{\gamma}.$$

Látható, hogy a  $\gamma$  értéke  $v$  kis értékeinél 1-hez tart, tehát a klasszikus esetet kapjuk vissza, minél közelebb vagyok a fénysebességhez, annál jobban eltér a klasszikus és a relativisztikus eredmény. Számolásainkban a  $c/6$ -ot fogjuk határnak tekinteni, amitől felfelé a relativisztikus képlettel kell számolni. (Ennél a sebességnél a  $\gamma$  értéke 1,0142, nagyjából 1 %-kal tér el az 1-től.)

Ahol relativisztikus hatások fellépnek, ott az  $m_0$  jelölést használjuk a részecskére jellemző *invariáns tömegre*, más néven *nyugalmi tömegre*. Ezt az indokolja, hogy több helyen a  $\gamma m_0$  szorzatra – az úgynevezett *relativisztikus tömegre* – használják az  $m$  jelölést. Ahol a részecske tömegét táblázatban adjuk meg, ott mindig az invariáns tömeget jelenti a tömeg kifejezés.

Az  $m_0$  (nyugalmi) tömegű  $v$  sebességgel mozgó test lendülete és energiája

$$p = \gamma m_0 v \quad E = \gamma m_0 c^2.$$

A relativitáselméletben a testek teljes *energiája* ( $E$ ) nem csupán mozgási energia, a nyugvó testeknek is van energiája ( $E_0$ ). A mozgási energia az e feletti rész:  $E_m = E - E_0$ .

A relativitáselmélet szerint  $E_0 = m_0 c^2$ , a mozgási energia – a test mozgás miatti energianövekedése – ennek ismeretében a következő képletek egyikéből kapható meg:

$$E_m = E - E_0 = (\gamma - 1)m_0 c^2 = (\gamma - 1)E_0$$

Az  $E$  energia és a  $p$  lendület között az alábbi fontos összefüggés van, amelynek megjegyzéséhez segít a 2. ábra:

$$E^2 = (pc)^2 + (m_0 c^2)^2.$$

Igazolás ( $\beta = v/c$ ,  $\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}$ ):

$$E^2 = (\gamma m_0 c^2)^2 = \gamma^2 (m_0 c^2)^2 = \frac{1}{1 - \beta^2} ((1 - \beta^2) + \beta^2) (m_0 c^2)^2 =$$

$$= \left(1 + \frac{\beta^2}{1 - \beta^2}\right) (m_0 c^2)^2 = (m_0 c^2)^2 + \gamma^2 \beta^2 (m_0 c^2)^2.$$

A második tagot tovább alakítva

$$(\gamma \beta m_0 c^2)^2 = (\gamma m_0 v \cdot c)^2 = (pc)^2 \quad \blacksquare.$$

### 3. Fontosabb állandók, néhány részecske adatai

#### 3.1. Állandók, egységek

|                   |         |                                                            |
|-------------------|---------|------------------------------------------------------------|
| fénysebesség      | $c$     | $\approx 3 \cdot 10^8$ m/s (pontosan 299792458 m/s)        |
| Planck-állandó    | $h$     | $6,6262 \cdot 10^{-34}$ Js                                 |
| redukált P.-á.    | $\hbar$ | $1,054 \cdot 10^{-34}$ Js = $6,582 \cdot 10^{-22}$ MeV · s |
| elemi töltés      | $e$     | $1,60219 \cdot 10^{-19}$ C                                 |
| atomi tömegegység | $u$     | $1,66056 \cdot 10^{-27}$ kg                                |

$$1\text{eV} = 1,60219 \cdot 10^{-19}\text{J}$$

$$1\text{eV}/c^2 = 1,789 \cdot 10^{-36}\text{kg}$$

$$1\text{barn} = 10^{-28}\text{m}^2$$

#### 3.2. Részecskék

| név            | tömeg (kg)              | tömeg (MeV/c <sup>2</sup> ) | töltés (e) | élettartam (s)        |
|----------------|-------------------------|-----------------------------|------------|-----------------------|
| elektron       | $9,1095 \cdot 10^{-31}$ | 0,511                       | -1         | $\infty$              |
| müion          | $1,884 \cdot 10^{-28}$  | 105,66                      | -1         | $2,197 \cdot 10^{-6}$ |
| tau            |                         | 1777                        | -1         | $291 \cdot 10^{-15}$  |
| proton         | $1,673 \cdot 10^{-27}$  | 938,27                      | 1          | $\infty$              |
| neutron        | $1,675 \cdot 10^{-27}$  | 939,57                      | 0          | 887                   |
| pion $\pi^\pm$ |                         | 193,57                      | $\pm 1$    | $2,603 \cdot 10^{-8}$ |
| pion $\pi^0$   |                         | 134,98                      | 0          | $8,4 \cdot 10^{-17}$  |
| $Z^0$          |                         | $91188 \pm 22$              | 0          |                       |
| $W^\pm$        |                         | $80419 \pm 56$              | $\pm 1$    |                       |

#### 3.3. Törésmutatók

|                                    |      |      |      |                  |      |
|------------------------------------|------|------|------|------------------|------|
| víz                                | 1,33 | üveg | 1,5  | gyémánt          | 2,4  |
| ZnSiO <sub>4</sub> (cirkónium)     | 1,9  | GaAs | 3,5  | NaI(Tl)          | 1,85 |
| PbWO <sub>4</sub> (ólom volframát) | 2,3  | BGO  | 2,20 | BaF <sub>2</sub> | 1,56 |

## 4. Innentől a 2013 előtt tartott távos és levelező gyakorlatok anyagai vannak

A 284/6. alakú feladatsorszámok a Lökös–Mayer–Sebestyén–Tóthné féle Kandós *Fizika példatár*ra, a 38C-28 típusúak a Hudson–Nelson: *Útban a modern fizikához* példáira utalnak. Ahol nem mind beadandó, a beadandó feladatokat a sorszám utáni csillag (\*) jelöli.

Az eredmény kialakítása a tematikában található meg az alább említett Moodle-oldalon. A beadás pontos módja és időpontja megtalálható az alábbi oldalon.

Az egyetem Moodle-oldala: <https://elearning.uni-obuda.hu>

## 5. Első témakör – Kvantummechanika

Jegyzet: Lakner József Kvantummechanika jegyzete (lakner-fiz/2.Kvantummechanika.pdf) és a hozzá tartozó kiegészítések (reszecske-jegyzet/Kvantummechanika.pdf)

### 5.1. Példakérdések

- Milyen kísérletek mutatják a fény részecsketermészetét?
- Milyen alapfeltevéseken alapul a Bohr-modell?
- Milyen alkalmazásai vannak az alagúteffektusnak?
- Hogyan magyarázható a periódusos rendszer felépülése?

### 5.2. Minta és beadandó feladatok

## 6. Második témakör – Atommag-fizika

Jegyzet: Horváth Árpád: Fizika II. (reszecske-jegyzet/reszecskefiz.pdf) Beadandó feladatok a fenti jegyzetben.

## 7. Harmadik témakör – Részecskefizika

Jegyzet: Horváth Árpád: Fizika II.

### 7.1. Beadandó feladatok

**7.6. feladat:** Hány eV mozgási energiánál lesz az elektron sebessége  $v = c/6$ ? Mekkora feszültség kell felgyorsítani erre az energiára?

**7.7. feladat:** Mekkora a 625 kV-al gyorsított elektron sebessége klasszikus és relativisztikus képlettel?

**7.8. feladat:** Mekkora a  $B=0,03$  T-ás mágneses térben 1 m sugarú pályán mozgó proton lendülete?

**7.9. feladat:** Vízben  $\vartheta = 20^0$ -os félkúpszög alatt sugárzódik ki Cserenkov-sugárzás, mekkora a részecske sebessége?

**7.10. feladat:** Mekkora lehet üvegben a Cserenkov-sugárzás maximális félkúpszöge?

**7.11. feladat:** Milyen hosszú ideig él a 212 GeV teljes energiájú müon? (idődilatáció!) Hányszor lenne képes körbemenni ezalatt a CERN 27 km kerületű alagútján? (Szorgalmiként: hogyan néz ki ugyanez a müon rendszeréből?)



**7.12. feladat:** Töltse ki a táblázatot! Az utolsó három oszlopban i/n-el válaszoljon (igen/nem), a töltést az elemi töltés ( $e$ ) többszöröseként adjuk meg!

| Részecske  | bariontöltés | leptonszám | töltés ( $e$ ) | fermion | barion | elemi |
|------------|--------------|------------|----------------|---------|--------|-------|
| u-kvark    |              |            |                |         |        |       |
| neutron    |              |            |                |         |        |       |
| antiproton |              |            |                |         |        |       |
| proton     |              |            |                |         |        |       |
| elektron   |              |            |                |         |        |       |
| pozitron   |              |            |                |         |        |       |
| foton      |              |            |                |         |        |       |

## 7.2. Példakérdések

- Miért nem lehet akármilyen nagy energiára gyorsítani szinkrotronnal elektront?
- Milyen rétegei vannak egy összetett detektornak?
- Mit gyorsít az LHC, mit keres?
- Mit nevezünk antirészecskének?
- Olyan részecskék esetén, amelyek saját antirészecskéjük, mit tudhatunk a részecske elektromos, barion- és leptontöltéséről? Lehet-e ilyen egy lepton, egy mezon illetve egy barion?

## 8. Negyedik témakör – Szilárdtestfizika

Jegyzet: Lakner József Szilárdtestfizika jegyzete (lakner-fiz/5.Szilárdtestfizika.pdf)

**8.13. feladat:** Egy párhuzamos sugárnyaláb esik be  $\vartheta$  szög alatt egy olyan kristályrácsra, melyben az egyes rétegek  $2 \text{ \AA} = 0,2 \text{ nm}$  távolságra helyezkednek el. Mekkora lesz a legkisebb  $\vartheta$  szög amelynél reflexió lesz, ha  $\lambda = 0,1 \text{ nm}$ -es hullámhosszú röntgensugárzást használunk? ( $\vartheta = 14,78^\circ = 0,2527 \text{ radián}$ )

**8.14. feladat:** Mekkora valószínűséggel lesz  $T$  hőmérsékleten egy elektron egy olyan energiaszinten, amely a Fermi-energiszintnél  $2k_B T$  energiával magasabban fekszik? ( $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$  a Boltzmann-állandó) (15,7% valószínűséggel)

**8.15. feladat:** Mekkora valószínűséggel lesz  $20^\circ\text{C}$ -os hőmérsékleten egy elektron azokon az energiaszinten, amely a Fermi-energiszintnél (a) 0,3 eV illetve (b) 0,03 eV energiával magasabban fekszik, (c) a Fermi-energiszinten fekszik, (d) 0,3 eV-tal illetve (e) 0,03 eV-tal alatta fekszik? ( $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$  a Boltzmann-állandó) (15,7% valószínűséggel) (0,000685%, 23,35%, 50%, 76,65%, 99,999311%)

## 9. Vizsgatételek

### 9.1. Kvantummechanika

1. Optika
2. A fény részecsketermészete: hőmérsékleti sugárzás, fényelektromos jelenség
3. Az atomelmélet fejlődése: Balmer-formula, a Bohr-modell alapfeltevései, Pauli-elv
4. Hullámmechanika: részecske-hullám kettősség, hullámfüggvény, Schrödinger-egyenlet, határozatlansági reláció

### 9.2. Magfizika

5. Rutherford-kísérlet és Rutherford-modell, az atommag mérete, összetevői
6. Atommag-táblázat, atommagreakciók

### 9.3. Részecskefizika

9. Alapfogalmak: elemirészecske-családok, alapvető kölcsönhatások, kvantumszámok, antirészecskék, kötött kvarkállapotok = hadronok, megmaradási törvények
10. Gyorsítók: miért kell gyorsító, töltött részecske mozgása mágneses térben, fázisstabilitás, ciklotron-frekvencia, ciklotron, szinkrotron (végenergia), miért jó/rossz az ütközőnyaláb
11. Detektorok: három féle és az összetett (rétegei, mit mérnek)
12. CERN: mi az (évszámok és nevek nélkül), mi a LEP és az LHC (LEP események nem kellene) melyik detektor melyik évtizedben működött/működik
13. Neutrínófizika: napneutrínó-probléma, neutrínótömeg, Szuper-Kamiokande és SNO mit fedezett fel

#### 9.4. Szilárdtestfizika

14. Halmazállapotok
15. Kristályrács (Bravais-rács, Miller-index, Bragg-reflexió is)
16. Kristályhibák  $\Delta F$  képlet nem kell, csak a  $c$ -é.
17. Diffúzió
18. Rácsot összetartó erők (1 eV helyesen  $1,602 \cdot 10^{-19}$  J).
19. Hőtágulás
20. Fajhő (Levezetés nem kell, csak a hőmérsékletfüggés jellege a háromféle közelítésben).
21. Sávszerkezet (Fermi energiaszint, Fermi–Dirac-statisztika)
22. Villamos tulajdonságok, makroszkópikus leírás levezetése is. Kapcsolat a hővezető képességgel.
23. Félvezetők.
24. A mágnesesség makroszkópikus leírása. Vezetési elektronok mágneses szuszceptibilitása
25. Ferromágnesesség