

Országos Szilárd Leó Fizikaverseny Döntő 2012. I. kategória

Minden feladat helyes megoldása 5 pontot ér. A feladatokat tetszőleges sorrendben, feladatonként külön lapon kell megoldani. A megoldáshoz bármilyen segédeszköz használható.

Rendelkezésre álló idő: 180 perc

1. Feladat

(Kitűzte: Radnóti Katalin)

A nagyenergiájú elektronok leírásához már relativisztikus összefüggést kell alkalmazni.

Vizsgáljuk meg lehetséges-e, hogy egy nyugvó szabad elektron elnyelje a vele ütköző fotont!

2. Feladat

(Kitűzte: Sükösd Csaba)

Az érintett erőművek Internetes honlapján, valamint a sajtóban megjelent adatok szerint az újszülési naperőmű maximális teljesítménye 400 kW, és évente 630 MWh energiát állít elő. A naperőmű létesítési költsége 618 millió Ft volt. A Paksi Atomerőmű blokkjai 2011-ben 15685 GWh villamos energiát állítottak elő, a négy blokk összteljesítménye 2000 MW.

a) *Az idő hányad részében működik a naperőmű (tegyük fel, hogy amikor működik, akkor maximális teljesítménnyel működik)?*

b) *Az idő hányad részében működött a Paksi Atomerőmű 2011-ben (tegyük fel, hogy amikor működött, akkor teljes teljesítménnyel működött)?*

c) *Hány-újszülésihoz hasonló – naperőművet kellene építeni ahhoz, hogy a Paksi Atomerőmű által megtermelt éves villamosenergia mennyiséget kiváltsuk, és mennyi lenne ezek létesítési költsége?*

d) *Ha ezek a naperőművek megépülnének, teljes egészében tudnák-e helyettesíteni az atomerőművet? Indokoljuk meg a választ!*

3. Feladat

(Kitűzte: Sükösd Csaba)

Egy tömegspektrométerben egyszerűen ionizált C_9H_{20} (nonán) és $C_{10}H_8$ (naftalin) molekula-ionok keverékéből álló nyalábot vizsgálunk. Kezdetben úgy tűnik, hogy minden molekula-ion a detektorok ugyanarra a pontjára csapódik be. Amikor azonban a spektrométer felbontását jelentősen megjavítják, a molekula-ionok szétválnak, és a detektor különböző helyeire csapódnak be. Ez lehetővé teszi azt, hogy meghatározzák a molekula-ionok tömege közötti igen kis különbséget. A mért tömegkülönbség: $\Delta m = 1,09390032 \pm 0,00000012 m_u$. Itt m_u az atomi tömegegység.

a) *Melyik molekula nagyobb tömegű, és miért?*

b) *Határozzuk meg a mért tömegkülönbség felhasználásával, hogy mekkora a hidrogénatom tömege, és annak a mérési bizonytalansága, atomi tömegegységekben kifejezve!*

4. Feladat

(Kitűzte: Sükösd Csaba)

Bizonyítsuk be, hogy a tükörmagok kötési energiájának különbségére igaz, hogy

$|\Delta \epsilon_k| = \text{const} \cdot A^{2/3} \cdot |Z - N|$, *bármelyik magnak a tömegszámát, rendszámát, ill. neutronsámát írjuk is be ebbe a kifejezésbe!*

Megjegyzés: Tükörmagnak nevezünk két atommagot (pl. a és b), ha egymásból a neutron- ill. protonszám felcserélésével kaphatók, azaz ha $N_b = Z_a$, és $Z_b = N_a$.

5. Feladat

(Kitűzte: Szűcs József)

(Marx György feladata alapján)

A természetes uránban a ^{235}U és ^{238}U izotóp atomok számának aránya kereken 1:140. Tegyük fel, hogy gyors neutronok hatására csak az ^{235}U magok hasadnak el, miközben átlagosan hasadásonként 2,4 szabad neutron keletkezik, az ^{238}U magok pedig hasadás nélkül elnyelik a gyors neutronokat miután gamma-fotonok kibocsátása mellett ^{239}U maggá alakulnak.

A hasadási láncreakció során a neutronsokszorozó rendszerben lévő, N db. szabad neutronból (miután azok az uránmagokban elnyelődtek) $k \cdot N$ neutron válik szabaddá. Az önfenntartó láncreakció megvalósításának feltétele, hogy a sokszorozási tényezőre $k \geq 1$ teljesüljön.

a) *Legalább hány százalékra kell feldúsítani a természetes uránt, hogy a láncreakció gyors neutronokkal megvalósuljon?* Tegyük fel, hogy a gyors neutronokat mindkét uránizotóp azonos valószínűséggel nyeli el!

b) A termikus (lassú) neutronok 200-szor akkora valószínűséggel fogódnak be a ^{235}U magokba, mint az ^{238}U magokba. *Vizsgáljuk meg, hogy ha termikus (lassú) neutronokkal akarjuk megvalósítani a láncreakciót, akkor megvalósulhat-e a természetes uránban a láncreakció folyamata!*

c) *A kapott eredmény alapján adjunk választ arra, hogy a Paksi Atomerőmű reaktoraiban miért kell kis mértékben (3 - 5 %-ra) dúsított uránt használni!*

d) *Működhetnek-e dúsítás nélküli, természetes urán üzemanyaggal reaktorok? Ha nem, miért nem, ha igen, hogyan lehet ezt megvalósítani?*

A feladatok a túloldalon folytatódnak!

6. Feladat

(Kitűzte: Papp Gergely)

Egyes repülőtereken nemrégiben vezették be az egészségt szkennereket. A működésük egyik alapja a röntgen-visszaszórásos leképezés, ahol a bőr felületéről visszaszóródó röntgensugarakkal térképezik fel a testet. A megfelelő képalakításhoz 800 foton / pixel detektálási intenzitás kell 41,328 pm hullámhossz mellett. Egy pixel 40 mm², a visszaszórás hatásfoka 7%. Tegyük fel, hogy a vissza nem vert sugárzás a bőr felső 20%-ában elnyelődik. Egy átlagos 80 kg-os ember 1,8 m² felületű, tömegének 5%-át adja a bőre.

Számítsuk ki, hogy a készülékkel történő szkennelés során az elnyelt fizikai dózis alatta marad-e a hatóságok által előírt 25 µGy, illetve a gyártási korlátként meghatározott 5 µGy értékeknek!

7. Feladat

(Kitűzte: Papp Gergely)

A fémekben szabadon elmozdulni képes elektronokat felfoghatjuk úgy, mint egy plazmában lévő elektrongázt: a szabadon mozgó elektronok a pozitív töltésű atomtörzsekkel töltött részecskék kvázineutrális elegyét alkotják. Plazmákban csak olyan elektromágneses hullámok tudnak terjedni, amelyek frekvenciája nagyobb mint a plazmafrequencia:

$$f_p = 1 / 2 \pi * \sqrt{e^2 n_e / \epsilon_0 m_e}$$
Itt az n_e elektronsűrűséget 1/m³-ben mérjük, e az elemi töltés, m_e az elektron nyugalmi tömege és ϵ_0 a vákuum dielektromos állandója.

(a) Dimenzióanalízissel ellenőrizzük, hogy lehet-e helyes a képlet!

(b) Ennek a modellnek az alapján milyen sugárzásra kezd átlátszóvá válni a réz, amely atomonként egy darab, szabad elmozdulásra képes elektronnal rendelkezik?

(c) A mindennapi tapasztalatnak megfelelő, ésszerű eredményt kapunk?

Adatok: A réz moláris tömege 63,5 g/mol, sűrűsége 8,94 g/cm³.

8. Feladat

(Kitűzte: Papp Gergely)

A levegő szén-dioxid tartalma 0,031 térfogat-százalék. A természetes ¹⁴C/¹²C izotóparány 1,14·10⁻¹², a ¹⁴C felezési ideje 5730 év.

(a) Hány kilogramm a Föld légkörének ¹⁴C tartalma?

(b) Hány kilogramm ¹⁴C keletkezik a Föld légkörében a kozmikus sugárzás hatására évente, egyensúly esetén?

(c) A kozmikus sugárzást éppen 100 éve fedezték fel. Milyen folyamat eredményeként jöhet létre a ¹⁴C a légkörben?

Adatok: A légkör átlagos moláris tömegét vegyük 29 g/mol-nak. A Föld sugara 6378 km.

9. Feladat

(Kitűzte: Szűcs József)

a) Mutassuk meg, hogy a CERN nagyenergiájú (4 - 7 TeV) protonjai sebességének a fénysebességtől való eltérését jól közelíti az alábbi összefüggés:

$$\Delta v = c - v = \frac{c}{2} \left(\frac{E_0}{E_{kin}} \right)^2,$$

ahol c a fény vákuumbeli sebessége, E_0 a protonok nyugalmi energiája, E_{kin} pedig a mozgási energiájuk!

b) Az összefüggés segítségével határozzuk meg, hogy mekkora $\Delta v = c - v$ értékkel marad el az LHC-ben tervezett 7 TeV-es protonok sebessége a vákuumbeli fénysebességtől!

c) Az LHC kísérletek során az elkövetkezendő időben – nem kevés erőfeszítések árán – a protonok energiáját 4 TeV-ről 7 TeV-ra tervezik emelni. Ezzel hány m/s-mal sikerül a részecskék sebességét megnövelni?

Útmutatás: A b) és c) feladatrészeknél a protonok nyugalmi energiáját vegyük kerekén 1 GeV-nek a c fénysebességet pedig kerekén $c = 3 \cdot 10^8$ m/s -nak

10. Feladat

(Kitűzte: Radnóti Katalin)

A tapasztalat szerint a Cl₂ klórmolekulát 8,65·10¹³ Hz frekvenciájú fénnyel lehet rezgésbe hozni.

a) Ennek ismeretében következtessünk az I₂ jódmolekula rezgési frekvenciájára. Tegyük fel, hogy a két molekulában az atomokat összetartó, rugalmasnak tekinthető erő „rugóállandója” közel egyenlő.

b) Mekkora a jódmolekula gerjesztéséhez szükséges foton energiája és hullámhossza, és ez az elektromágneses sugárzás mely tartományába esik?

c) Hogyan viszonyul a rezgés gerjesztéséhez szükséges foton energiája a I₂ jódmolekulák hőmozgásának átlagos energiájához szobahőmérsékleten?

d) Figyelembe kell-e venni ezt a rezgési gerjesztést a fajhő számításakor? Ha nem, miért nem, ha igen, akkor ez a fajhő növekedését vagy csökkenését okozza?

Adatok: A Cl₂ moláris tömege 71 g/mol, a I₂ moláris tömege 254 g/mol.

Országos Szilárd Leó fizikaverseny Döntő 2012. II. kategória

Minden feladat helyes megoldása 5 pontot ér. A feladatokat tetszőleges sorrendben, feladatonként külön lapon kell megoldani. A megoldáshoz bármilyen segédeszköz használható.

Rendelkezésre álló idő: 180 perc

1. Feladat

(Kitűzte: Radnóti Katalin)

A nagyenergiájú elektronok leírásához már relativisztikus összefüggést kell alkalmazni.

Vizsgáljuk meg lehetséges-e, hogy egy nyugvó szabad elektron elnyelje a vele ütköző fotont!

2. Feladat

(Kitűzte: Sükösd Csaba)

Az érintett erőművek Internetes honlapján, valamint a sajtóban megjelent adatok szerint az újszilvási naperőmű maximális teljesítménye 400 kW, és évente 630 MWh energiát állít elő. A naperőmű létesítési költsége 618 millió Ft volt. A Paksi Atomerőmű blokkjai 2011-ben 15685 GWh villamos energiát állítottak elő, a négy blokk összteljesítménye 2000 MW.

a) *Az idő hányad részében működik a naperőmű (tegyük fel, hogy amikor működik, akkor maximális teljesítménnyel működik)?*

b) *Az idő hányad részében működött a Paksi Atomerőmű 2011-ben (tegyük fel, hogy amikor működött, akkor teljes teljesítménnyel működött)?*

c) *Hány-újszilvásihoz hasonló – naperőművet kellene építeni ahhoz, hogy a Paksi Atomerőmű által megtermelt éves villamosenergia mennyiséget kiválassuk, és mennyi lenne ezek létesítési költsége?*

d) *Ha ezek a naperőművek megépülnének, teljes egészében tudnák-e helyettesíteni az atomerőművet? Indokoljuk meg a választ!*

3. Feladat

(Kitűzte: Sükösd Csaba)

Egy tömegspektrométerben egyszerűen ionizált C_9H_{20} (nonán) és $C_{10}H_8$ (naftalin) molekula-ionok keverékéből álló nyalábot vizsgálunk. Kezdetben úgy tűnik, hogy minden molekula-ion a detektorok ugyanarra a pontjára csapódik be. Amikor azonban a spektrométer felbontását jelentősen megjavítják, a molekula-ionok szétválnak, és a detektor különböző helyeire csapódnak be. Ez lehetővé teszi azt, hogy meghatározzák a molekula-ionok tömege közötti igen kis különbséget. A mért tömegkülönbség: $\Delta m = 1,09390032 \pm 0,00000012 m_u$. Itt m_u az atomi tömegegység.

a) *Melyik molekula nagyobb tömegű, és miért?*

b) *Határozzuk meg a mért tömegkülönbség felhasználásával, hogy mekkora a hidrogénatom tömege, és annak a mérési bizonytalansága, atomi tömegegységekben kifejezve!*

4. Feladat

(Kitűzte: Sükösd Csaba)

Bizonyítsuk be, hogy a tükörmagok kötési energiájának különbségére igaz, hogy

$|\Delta \epsilon_k| = \text{const} \cdot A^{2/3} \cdot |Z - N|$, *bármelyik magnak a tömegszámát, rendszámát, ill. neutronszámát írjuk is be ebbe a kifejezésbe!*

Megjegyzés: Tükörmagnak nevezünk két atommagot (pl. a és b), ha egymásból a neutron- ill. protonszám felcserélésével kaphatók, azaz ha $N_b = Z_a$, és $Z_b = N_a$.

5. Feladat

(Kitűzte: Szűcs József)

(Marx György feladata alapján)

A természetes uránban a ^{235}U és ^{238}U izotóp atomok számának aránya kereken 1:140. Tegyük fel, hogy gyors neutronok hatására csak az ^{235}U magok hasadnak el, miközben átlagosan hasadásonként 2,4 szabad neutron keletkezik, az ^{238}U magok pedig hasadás nélkül elnyelik a gyors neutronokat miután gamma-fotonok kibocsátása mellett ^{239}U maggá alakulnak.

A hasadási láncreakció során a neutronsokszorozó rendszerben lévő, N db. szabad neutronból (miután azok az uránmagokban elnyelődtek) $k \cdot N$ neutron válik szabaddá. Az önfenntartó láncreakció megvalósításának feltétele, hogy a sokszorozási tényezőre $k \geq 1$ teljesüljön.

a) *Legalább hány százalékra kell feldúsítani a természetes uránt, hogy a láncreakció gyors neutronokkal megvalósuljon?* Tegyük fel, hogy a gyors neutronokat mindkét uránizotóp azonos valószínűséggel nyeli el!

b) A termikus (lassú) neutronok 200-szor akkora valószínűséggel fogódnak be a ^{235}U magokba, mint az ^{238}U magokba. *Vizsgáljuk meg, hogy ha termikus (lassú) neutronokkal akarjuk megvalósítani a láncreakciót, akkor megvalósíthat-e a természetes uránban a láncreakció folyamata!*

c) *A kapott eredmény alapján adjunk választ arra, hogy a Paksi Atomerőmű reaktoraiban miért kell kis mértékben (3 - 5 %-ra) dúsított uránt használni!*

d) *Működhetnek-e dúsítás nélküli, természetes urán üzemanyaggal reaktorok? Ha nem, miért nem, ha igen, hogyan lehet ezt megvalósítani?*

A feladatok a túloldalon folytatódnak!

6. Feladat**(Kitűzte: Papp Gergely)**

Egyes repülőtereken nemrégiben vezették be az egészségt szkennereket. A működésük egyik alapja a röntgen-visszaszórásos leképezés, ahol a bőr felületéről visszaszóródó röntgensugarakkal térképezik fel a testet. A megfelelő képalakításhoz 800 foton / pixel detektálási intenzitás kell 41,328 pm hullámhossz mellett. Egy pixel 40 mm², a visszaszórás hatásfoka 7%. Tegyük fel, hogy a vissza nem vert sugárzás a bőr felső 20%-ában elhelyődik. Egy átlagos 80 kg-os ember 1,8 m² felületű, tömegének 5%-át adja a bőre.

Számítsuk ki, hogy a készülékkel történő szkennelés során az elnyelt fizikai dózis alatt marad-e a hatóságok által előírt 25 µGy, illetve a gyártási korlátként meghatározott 5 µGy értékeknek!

7. Feladat**(Kitűzte: Papp Gergely)**

A fémekben szabadon elmozdulni képes elektronokat felfoghatjuk úgy, mint egy plazmában lévő elektrongázt: a szabadon mozgó elektronok a pozitív töltésű atomtörzsekkel töltött részecskék kvázineutrális elegyét alkotják. Plazmákban csak olyan elektromágneses hullámok tudnak terjedni, amelyek frekvenciája nagyobb mint a plazmafrequencia:

$$f_p = 1 / 2 \pi * \sqrt{e^2 n_e / \epsilon_0 m_e}$$
Itt az n_e elektronsűrűséget 1/m³-ben mérjük, e az elemi töltés, m_e az elektron nyugalmi tömege és ϵ_0 a vákuum dielektromos állandója.

(a) Dimenzióanalízissel ellenőrizzük, hogy lehet-e helyes a képlet!

(b) Ennek a modellnek az alapján milyen sugárzásra kezd átlátszóvá válni a réz, amely atomonként egy darab, szabad elmozdulásra képes elektronnal rendelkezik?

(c) A mindennapi tapasztalatnak megfelelő, ésszerű eredményt kapunk?

Adatok: A réz moláris tömege 63,5 g/mol, sűrűsége 8,94 g/cm³.

8. Feladat**(Kitűzte: Papp Gergely)**

A levegő szén-dioxid tartalma 0,031 térfogat-százalék. A természetes ¹⁴C/¹²C izotóparány 1,14·10⁻¹², a ¹⁴C felezési ideje 5730 év.

(a) Hány kilogramm a Föld légkörének ¹⁴C tartalma?

(b) Hány kilogramm ¹⁴C keletkezik a Föld légkörében a kozmikus sugárzás hatására évente, egyensúly esetén?

(c) A kozmikus sugárzást éppen 100 éve fedezték fel. Milyen folyamat eredményeként jöhet létre a ¹⁴C a légkörben?

Adatok: A légkör átlagos moláris tömegét vegyük 29 g/mol-nak. A Föld sugara 6378 km.

9. Feladat**(Kitűzte: Vastagh György)**

A ³⁵Cl magot gyors neutronokkal bombázva ³⁵S mag keletkezik, amely 88 nap felezési idővel negatív β bomlást szenved 167 keV energia felszabadulása közben.

a) Írjuk fel a két reakció egyenletét!

b) Határozzuk meg a reakció során felszabadult, vagy elnyelt energiát!

c) Határozzuk meg azon kezdeti ³⁵S magok számát, amelyek bomlása során az első másodpercben 20 J energia szabadul fel!

Adatok: $m_{Cl} = 34,98007$ $m_n, m_S = 34,98022$ $m_u, m_l = 1,6605402 \cdot 10^{-27}$ kg)

10. Feladat**(Kitűzte: Vastagh György)**

A ⁶⁰Co radioaktív izotóp 0,3 MeV átlagos mozgási energiájú β⁻ részecskéket bocsát ki 5,24 év felezési idővel. A keletkezett leánymag ezt követően két γ foton kibocsátásával kerül alapállapotba. A fotonok energiája 1,17 MeV, illetve 1,33 MeV.

a) Írjuk fel a két bomlási folyamatot!

b) Számítsuk ki, hogy mennyi energiát visznek el 1 óra alatt 2 mg ⁶⁰Co-ból a béta-bomlások során kilépő elektronok, valamint a leánymag által kibocsátott fotonok!

c) A kibocsátott fotonok egy ólomlemezéből fotoelektronokat váltanak ki. Mekkora ezek sebessége, ha a kilépési munka az ólomból 4,14 eV.

Adat: Az elektron nyugalmi energiája 0,511 MeV
