



Országos Szilárd Leó Fizikaverseny – Döntő 2018. I. kategória

A megoldásokat feladatonként külön lapra írjuk! Minden feladat helyes megoldása 5 pontot ér. A feladatokat tetszőleges sorrendben lehet megoldani. A feladatok nem nehézségi sorrendben vannak. A megoldáshoz bármilyen „offline” segédeszköz használható, kivéve telekommunikációs eszközök.

Rendelkezésre álló idő: 180 perc.

1. Feladat: (kitűzte: Szűcs József || Mindenkinek)

A Paksi Atomerőmű egyik blokkjának átlagos hőteljesítménye 1470 MW. Tegyük fel, hogy a generátorok állandó 500 MW villamos teljesítményt adnak rá az országos hálózatra egész évben.

- Mekkora a blokk éves átlagos hatásfoka? Becsüljük meg a blokk villamosenergia termelésének fajlagos ^{235}U üzemanyag fogyasztását gramm/GWh (villamos) egységben!
- Az atomerőmű üzemeltetőitől tudjuk, hogy a blokkok hatásfoka nem mindig ugyanakkora: télen valamivel nagyobb, mint nyáron. Mi lehet ennek a különbségnek az oka?

Adatok: egy ^{235}U mag hasadásakor felszabadult energia 32 pJ/ hasadás.

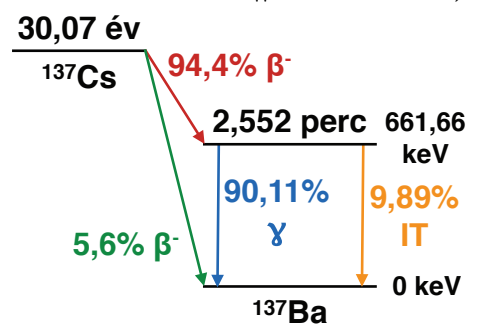
2. Feladat: (kitűzte: Sükösd Csaba || Mindenkinek)

Egy üzemlátogatás során Áginak megtetszett egy fémdarab a fémhulladékok között. Amikor megkérdezte, hogy elviheti-e, azt a választ kapta, hogy egy napra hazaviheti, ám csak akkor tarthatja meg, ha másnapra megmondja, hogy *hány mól atomot tartalmaz*. Ági otthon a következő kísérletet végezte el: cérnaszálra kötötte, és belógatta a fémdarabot egy fazéknyi, forrásban lévő vízbe. Egy vékony falú termosznak megmérte a hőkapacitását, (azt 10,0 g vízzel azonosnak találta), majd 390,0 g tömegű vizet töltött a termoszba, és lemérte a hőmérsékletét: 20,0 °C. Öt perc eltelté után kivette a fémdarabot a forrásban lévő vízből, és belógatta a termoszba. Megvárta, amíg beáll a hőmérsékleti egyensúly, ekkor a hőmérő 22,0 °C hőmérsékletet mutatott. Rövid számolás után felhívta az üzemet. A fémdarabot megtarthatta, mivel a mérése alapján meg tudta mondani, hogy hány mól atomot tartalmaz. Határozzuk meg mi is!

3. Feladat:

(kitűzte: Kis Dániel || Mindenkinek)

A ^{137}Cs izotóp egy instabil, tisztán β -bomló atommag (30,07 év felezési idővel), amely a negatív β -bomlás következtében 94,4%-ban a ^{137}Ba egy 661,660 keV energiájú gerjesztett állapotába (ennek felezési ideje 2,552 perc), míg 5,6%-ban ugyanezen izotóp alapállapotába jut. A gerjesztett állapot 90,11% eséllyel γ -bomlással, és 9,89%-os valószínűséggel belső konverzióval az alapállapotra kerül (belső konverzió egy gerjesztett állapotban lévő atommag olyan bomlása, amikor az elektronhéjból elektront lök ki). Ha egy ^{137}Cs mintát γ -detektorral mérünk, akkor 600 s alatt nettó 24500 beütést tapasztalunk a 661,66 keV-os csatornában. A detektor hatásfoka ezen az energián 0,0042.



- Hány darab ^{137}Cs bomlott el a mérés alatt, mekkora a ^{137}Cs aktivitása?

- Hány elektron kilépése várható a mérés során (elektron-elektron ütközésektől tekintünk el)?

4. Feladat:

(kitűzte: Papp Gergely || Mindenkinek)

γ -foton Compton szórás szenved egy elektronon. Melyik esetben lesz nagyobb az ütközés után a szórt γ -foton energiája: (a) egy 180°-os szórás, (b) két egymást követő 90°-os szórás?

5. Feladat:

(kitűzte: Tarján Péter || Mindenkinek)

Két egyforma üregsugárzó dobozt helyezünk el egymástól $R = 10$ cm távolságra vákuumban, más testektől távol. A két üreg nyílása $d = 0,9$ cm átmérőjű és egymással szemben helyezkedik el. A dobozok külső felülete tökéletes tükröként viselkedik. Ha az egyik üreg belsejében 1800 K hőmérsékletet tartunk fenn, mekkora állandósult hőmérséklet alakul a másik üreg belsejében, egyensúlyban?

(Az üregsugárzó egy zárt doboz, amelynek kicsi nyílása közel abszolút fekete testként viselkedik.)

6. Feladat:**(kitűzte: Halász Máté || Mindenkinek)**

A ^{63}Cu izotóp (p,n) magreakció során ^{63}Zn izotóppá alakul, melyet követően a ^{63}Zn pozitív β^+ -bomlással ismét ^{63}Cu izotóppá bomlik. A bomlás során felszabaduló energia 2,344 MeV.

- A megadott bomlási energia alapján határozzuk meg a $^{63}\text{Cu}(p,n)^{63}\text{Zn}$ magreakció létrehozásához szükséges energiát!
- A $^{63}\text{Cu}(d,2n)^{63}\text{Zn}$, azaz a deuteron elnyelésével és két neutron kibocsátásával járó reakció végbemeneteléhez a tömegközépponti rendszerben 6,373 MeV kezdeti mozgási energiára van szükség. A megadott energia és az (a) részfeladat eredményei alapján határozzuk meg a deuteron kötési energiáját!

(Javaslat: Az energiamérlegeket leíró egyenleteket *atomtömegek* segítségével írjuk fel, és számoljunk mindenhol tömegközépponti rendszerben!)

7. Feladat:**(kitűzte: Tarján Péter || Mindenkinek)**

Egy hidrogénszerű (egy vegyérték-elektronos) atom által kibocsátott fotonok energiáját a módosított Balmer-formulával lehet felírni:

$$hf_{1,2} = E_H(Z - z)^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

ahol E_H (= 13,6 eV) a hidrogénatom ionizációs energiája, Z az atom rendszáma, z pedig az úgynevezett „árnyékolási” korrekció. Ez azt írja le, hogy a legutolsó vegyérték elektron „pályáján” belül lévő elektronok milyen mértékben „árnyékolják le” az atommag elektromos mezőjét.

- Ezt a formulát felhasználva számoljuk ki a vegyérték-elektronra vonatkozó árnyékolási tényezőt az alapállapotú Li atomban és Be^+ ionban, ha ezek ionizációs energiája 5,39 eV illetve 17,0 eV! Az árnyékolási tényezőket tekintsük azonosnak.
- Indokoljuk meg, hogy az árnyékolási tényező miért tekinthető azonosnak a két esetben!
- Értelmezzük az (a) pontban kapott eredményt!

8. Feladat:**(kitűzte: Sükösd Csaba || 1. kategória)**

Sokáig rejtély volt az, hogy hogyan jöttek létre az Univerzumban az élethez annyira szükséges ^{12}C atomok. Fred Hoyle (Cambridge) azt feltételezte 1952-ben, hogy léteznie kell egy gerjesztett állapotnak a ^{12}C atommagban 7,656 MeV gerjesztési energiánál, amelyen keresztül a következő két fúziós reakció valamelyike a ^{12}C atommag létrejöttéhez vezethet:

- $^4_2\text{He} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^8_4\text{Be}$, és $^8_4\text{Be} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{12}_6\text{C}$; illetve
- $^4_2\text{He} + ^4_2\text{He} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{12}_6\text{C}$.

- Vajon a két reakció közül melyik tud alacsonyabb hőmérsékleten és kevésbé sűrű csillaganyagban megvalósulni? Indokoljuk meg a választ!
- Vajon mekkora hőmérséklet kell az egyes reakciólépések létrejöttéhez?
- A ^8Be atommag felezési ideje mindössze $6,7 \cdot 10^{-17}$ s. Milyen jelentősége van ennek?

Adatok: a ^8Be tömege: 8,00530520 u, a ^4He tömege: 4,00260325415 u, a ^{12}C tömege: 12,000 u.

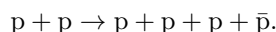
$$1 \text{ u} \cdot c^2 = 931,4940954 \text{ MeV} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot c^2.$$

9. Feladat:**(kitűzte: Papp Gergely és Sükösd Csaba || 1. kategória)**

A nyugvó müonok (μ -mezonok) átlagos élettartama (a λ bomlási állandó reciproka) $\tau_0 = 1/\lambda = 2,196 \mu\text{s}$. A nyugalmi tömeg $m_\mu = 207m_e$. Milyen kinetikus energiával kell megszülesse egy $N \gg 1$ darabból álló müon csoport a Föld felszínétől mért $h = 30$ km magasságban, hogy merőleges beérkezésnél éppen $N/2$ darab érje el a felszínt? (A légköri hatásokat hanyagoljuk el. A *távolság számításában* feltehetjük hogy $v_\mu \simeq c$.)

10. Feladat:**(kitűzte: Papp Gergely || 1. kategória)**

Az 50-es években a Lawrence Berkeley kutatóintézetben antiprotonok előállítására alkalmas gyorsítót készültek építeni (ez lett a Bevatron, és itt fedezték fel 1955-ben az antiprotonot, amiért az 1959-es évi Nobel-díjat adták). Az antiprotonokat proton-proton ütközésekkel hozták létre:



A gyorsító tervezésekor kritikus volt tudni, hogy mekkora kell legyen a bejövő protonok minimális *kinetikus* energiája, hogy a proton-antiproton párkeltés létrejöhesse. (A felgyorsított protonok nyugvó hidrogén céltárggyal ütköztek.) Számoljuk ki ezt a küszöbenergiát, az egyszerűség kedvéért a proton nyugalmi energiájának egységeiben! Nagyságrendileg hány eV ez az energia? (Javaslat: használjuk ki, hogy a nyugalmi energia $(m_0c^2)^2 = E^2 - (pc)^2$ minden inerciarendszerben azonos, több részecske rendszerekre is!)



Országos Szilárd Leó Fizikaverseny – Döntő 2018. II. (Junior) kategória

A megoldásokat feladatonként külön lapra írjuk! Minden feladat helyes megoldása 5 pontot ér. A feladatokat tetszőleges sorrendben lehet megoldani. A feladatok nem nehézségi sorrendben vannak. A megoldáshoz bármilyen „offline” segédeszköz használható, kivéve telekommunikációs eszközök.
Rendelkezésre álló idő: 180 perc.

1. Feladat: (kitűzte: Szűcs József || Mindenkinek)

A Paksi Atomerőmű egyik blokkjának átlagos hőteljesítménye 1470 MW. Tegyük fel, hogy a generátorok állandó 500 MW villamos teljesítményt adnak rá az országos hálózatra egész évben.

- Mekkora a blokk éves átlagos hatásfoka? Becsüljük meg a blokk villamosenergia termelésének fajlagos ^{235}U üzemanyag fogyasztását gramm/GWh (villamos) egységben!
- Az atomerőmű üzemeltetőitől tudjuk, hogy a blokkok hatásfoka nem mindig ugyanakkora: télen valamivel nagyobb, mint nyáron. Mi lehet ennek a különbségnek az oka?

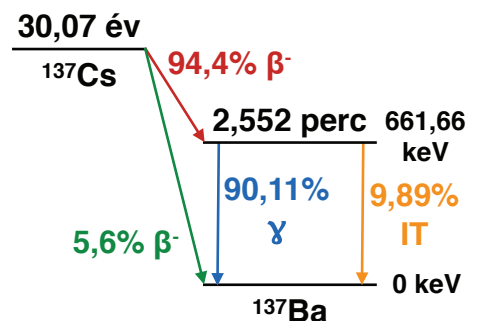
Adatok: egy ^{235}U maghasadásakor felszabadult energia 32 pJ/hasadás.

2. Feladat: (kitűzte: Sükösd Csaba || Mindenkinek)

Egy üzemlátogatás során Áginak megtetszett egy fémdarab a fémhulladékok között. Amikor megkérdezte, hogy elviheti-e, azt a választ kapta, hogy egy napra hazaviheti, ám csak akkor tarthatja meg, ha másnapra megmondja, hogy *hány mól atomot tartalmaz*. Ági otthon a következő kísérletet végezte el: cérnaszálra kötötte, és belógatta a fémdarabot egy fazéknyi, forrásban lévő vízbe. Egy vékony falú termosznak megmérte a hőkapacitását, (azt 10,0 g vízzel azonosnak találta), majd 390,0 g tömegű vizet töltött a termoszba, és lemérte a hőmérsékletét: 20,0 °C. Öt perc eltelté után kivette a fémdarabot a forrásban lévő vízből, és belógatta a termoszba. Megvárta, amíg beáll a hőmérsékleti egyensúly, ekkor a hőmérő 22,0 °C hőmérsékletet mutatott. Rövid számolás után felhívta az üzemet. A fémdarabot megtarthatta, mivel a mérése alapján meg tudta mondani, hogy hány mól atomot tartalmaz. Határozzuk meg mi is!

3. Feladat: (kitűzte: Kis Dániel || Mindenkinek)

A ^{137}Cs izotóp egy instabil, tisztán β -bomló atommag (30,07 év felezési idővel), amely a negatív β -bomlás következtében 94,4%-ban a ^{137}Ba egy 661,660 keV energiájú gerjesztett állapotába (ennek felezési ideje 2,552 perc), míg 5,6%-ban ugyanezen izotóp alapállapotába jut. A gerjesztett állapot 90,11% eséllyel γ -bomlással, és 9,89%-os valószínűséggel belső konverzióval az alapállapotra kerül (belső konverzió egy gerjesztett állapotban lévő atommag olyan bomlása, amikor az elektronhéjból elektront lök ki). Ha egy ^{137}Cs mintát γ -detektorral mérünk, akkor 600 s alatt nettó 24500 beütést tapasztalunk a 661,66 keV-os csatornában. A detektor hatásfoka ezen az energián 0,0042.



- Hány darab ^{137}Cs bomlott el a mérés alatt, mekkora a ^{137}Cs aktivitása?
- Hány elektron kilépése várható a mérés során (elektron-elektron ütközésektől tekintünk el)?

4. Feladat: (kitűzte: Papp Gergely || Mindenkinek)

γ -foton Compton szórás szenved egy elektronon. Melyik esetben lesz nagyobb az ütközés után a szórt γ -foton energiája: (a) egy 180°-os szórás, (b) két egymást követő 90°-os szórás?

5. Feladat: (kitűzte: Tarján Péter || Mindenkinek)

Két egyforma üregsugárzó dobozt helyezünk el egymástól $R = 10$ cm távolságra vákuumban, más testektől távol. A két üreg nyílása $d = 0,9$ cm átmérőjű és egymással szemben helyezkedik el. A dobozok külső felülete tökéletes tükröként viselkedik. Ha az egyik üreg belsejében 1800 K hőmérsékletet tartunk fenn, mekkora állandósult hőmérséklet alakul a másik üreg belsejében, egyensúlyban?
(Az üregsugárzó egy zárt doboz, amelynek kicsi nyílása közel abszolút fekete testként viselkedik.)

6. Feladat:**(kitűzte: Halász Máté || Mindenkinek)**

A ^{63}Cu izotóp (p,n) magreakció során ^{63}Zn izotóppá alakul, melyet követően a ^{63}Zn pozitív β^+ -bomlással ismét ^{63}Cu izotóppá bomlik. A bomlás során felszabaduló energia 2,344 MeV.

- A megadott bomlási energia alapján határozzuk meg a $^{63}\text{Cu}(p,n)^{63}\text{Zn}$ magreakció létrehozásához szükséges energiát!
- A $^{63}\text{Cu}(d,2n)^{63}\text{Zn}$, azaz a deuteron elnyelésével és két neutron kibocsátásával járó reakció végbemeneteléhez a tömegközépponti rendszerben 6,373 MeV kezdeti mozgási energiára van szükség. A megadott energia és az (a) részfeladat eredményei alapján határozzuk meg a deuteron kötési energiáját!

(Javaslat: Az energiamérlegeket leíró egyenleteket *atommégek* segítségével írjuk fel, és számoljunk mindenhol tömegközépponti rendszerben!)

7. Feladat:**(kitűzte: Tarján Péter || Mindenkinek)**

Egy hidrogénszerű (egy vegyérték-elektronos) atom által kibocsátott fotonok energiáját a módosított Balmer-formulával lehet felírni:

$$hf_{1,2} = E_H(Z - z)^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

ahol E_H (= 13,6 eV) a hidrogénatom ionizációs energiája, Z az atom rendszáma, z pedig az úgynevezett „árnyékolási” korrekció. Ez azt írja le, hogy a legutolsó vegyérték elektron „pályáján” belül lévő elektronok milyen mértékben „árnyékolják le” az atommag elektromos mezőjét.

- Ezt a formulát felhasználva számoljuk ki a vegyérték-elektronra vonatkozó árnyékolási tényezőt az alapállapotú Li atomban és Be^+ ionban, ha ezek ionizációs energiája 5,39 eV illetve 17,0 eV! Az árnyékolási tényezőket tekintjük azonosnak.
- Indokoljuk meg, hogy az árnyékolási tényező miért tekinthető azonosnak a két esetben!
- Értelmezzük az (a) pontban kapott eredményt!

8. Feladat:**(kitűzte: Radnóti Katalin || 2. (Junior) kategória)**

Melyik esetben szabadulna fel több energia, ha egy nagy rendszámú (urán közeli vagy transzurán) atommag két, vagy három egyenlő részre hasadna? Melyiknek lenne nagyobb az aktiválási energiája? Indokoljuk meg a választ!

9. Feladat:**(kitűzte: Sükösd Csaba || 2. (Junior) kategória)**

Az LHC 26655 m kerületű gyűrűjében két irányban, egymással szemben „csomagokban” keringenek a fénysebesség közelébe felgyorsított protonok. Irányonként 2808 protoncsomag kering. Az egymással szemben futó protoncsomagok a gyűrű 4 pontján elhelyezett detektorok középpontjában ütköznek. Az ütközések leggyorsabban 25 ns-ként követik egymást. Ezeknek az adatoknak az alapján válaszoljunk a következő kérdésekre:

- Legalább milyen távolságra haladnak protoncsomagok egymás után?
- A protoncsomag-helyek egyenletes gyűrűmenti eloszlását feltételezve irányonként hány „hely” nincs feltöltve protonokkal?

10. Feladat:**(kitűzte: Kis Dániel || 2. (Junior) kategória)**

A SPECT vizsgálatokhoz használt γ -sugárzó $^{99\text{m}}\text{Tc}$ izotópot ^{99}Mo β^- bomlásából nyerik. Kezdetben 200 MBq Mo van jelen az izotópgenerátoron. 83 óra elteltével 80% kémiai kitermelési hatásfokkal (rövid idő alatt) leválasztják a keletkezett Tc-ot (A kitermelési hatásfok megmutatja, hogy az ott lévő anyag hányad részét tudjuk egyáltalán elválasztani).

Adjuk meg, hogy legfeljebb mennyi idő telhet el a vizsgálat kezdetéig, ha a detektálás hatásfoka 1%, és a mérés akkor sikeres, ha a teljes hossza alatt (mérési idő: 10 perc) a detektoron legalább $6 \cdot 10^5$ db beütést mérünk. Adatok: $T_{1/2}^{\text{Mo}} = 65,94$ óra, $T_{1/2}^{\text{Tc}} = 6,01$ óra.