

XXI. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ NUKLEÁRIS TANULMÁNYI VERSENY – 2. rész

Sükösd Csaba
BME Nukleáris Technikai Intézet

A döntő versenyfeladatai

Ezen a versenyen is, mint az első Szilárd Leó Versenyen (valamint 2004 óta ismét), a Junior kategória versenyfeladatai részben eltértek az I. kategória (11–12. osztályosok) feladataitól. A döntő összesen tizenhárom – 7 közös, 3-3 I. kategóriás, illetve junior – versenyfeladatát két részletben közöljük.

1. feladat

kitűzte: *Szűcs József*

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

a) Mekkora a blokk éves átlagos hatásfoka? Becsüljük meg a blokk villamosenergia-termelésének fajlagos ^{235}U üzemanyag-fogyasztását gramm/GWh (villamos) egységben!

b) Az atomerőmű üzemeltetőitől tudjuk, hogy a blokkok hatásfoka nem mindig ugyanakkora: télen valamivel nagyobb, mint nyáron. Mi lehet e különbség oka?

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

Megoldás

a) A villamosenergia-termelés átlagos hatásfoka:

$$\langle \eta \rangle = \frac{500 \text{ MW}}{1470 \text{ MW}} = 0,34 = 34\%.$$

1 GWh = $10^9 \text{ J/s} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^{12} \text{ J}$. 1 GWh villamos energia felszabadulásához szükséges maghasadások száma tehát:

$$N_H = \frac{W_{\text{termikus}}}{E_{\text{hasadás}}} = \frac{W_{\text{villamos}}}{\langle \eta \rangle E_{\text{hasadás}}} = \frac{3,6 \cdot 10^{12} \text{ (J)}}{0,34 \cdot 32 \cdot 10^{-12} \text{ (J)}} = 3,3 \cdot 10^{23} = 0,55 \text{ mól}.$$



Sükösd Csaba (1947) a BME címzetes egyetemi tanára, az ELFT elnökségi tagja. Kísérleti magfizikus, aki kísérleti munkáját nagyrészt külföldi kutatóintézetekben végezte. Kutatási területe a magreakciók, óriásrezonanciák és némely asztrofizikailag releváns magreakció vizsgálata radioaktív ionnyalábokkal. Marx György tanítványaként részt vett a 70-es évek MTA oktatási kísérletében. Azóta is szoros kapcsolata van a fizikatanárok közösségével, több tanár- és oktatóval kapcsolatos program vezetője.

Így a fajlagosan felhasznált ^{235}U tömege:

$$m(^{235}\text{U}) = 0,55 \text{ (mól)} \cdot 235 \left(\frac{\text{g}}{\text{mól}} \right) = 129,5 \text{ g}.$$

b) Az atomerőművi blokk teljes hatásfokát sok tényező, sok berendezés együttesen alakítja ki. Mivel a blokknak a környezettel a gőzturbinákon keresztül van közvetlen kapcsolata, ezért az együttes hatásfok változását a gőzturbinák hatásfokának változása okozza.

A gőzturбина, mint hő (belső energiát) kinetikus energiává alakító berendezés, hőerőgépek tekinthető. A legegyszerűbb hőerőgépek két „hőtartály” között működnek, és hatásfokuk a két hőtartály hőmérsékletétől függ. A turbinákra jutó munkaközeg (gőz) hőmérséklete a külső környezettől függetlenül állandó, viszont az alsó hőtartály hőmérséklete a Duna vizének hőmérsékletétől függ, hiszen azzal kondenzáltatjuk le a fáradt gőzt. Emiatt télen jobb lesz a hűtés, alacsonyabb lesz az alsó hőtartály hőmérséklete, nő a két hőmérséklet különbsége, így a turbina – és a blokk – teljes hatásfoka télen valamennyivel nagyobb lesz, mint nyáron.

Megjegyzés

A hőerőgépek hatásfokának vizsgálatát a munkaközeg (gáz, gőz) körfolyamatával modellezhetjük. A modellek alapján különböző termikus hatásfokértékeket számszerűsíthetünk. Így például a Carnot-gép hatásfokát vizsgálva az

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

képletbe juthatunk, ahol T_1 a melegebb hőtartály, T_2 a hűtő hőtartály hőmérséklete. A képletből látszik, hogy állandó T_1 mellett a körfolyamat termikus hatásfoka annál nagyobb, minél kisebb a hűtő T_2 hőmérséklete. A turbinákban ugyan nem Carnot-ciklus zajlik, azt csak ismert példaként említettük meg.

2. feladat

kitűzte: *Sükösd Csaba*

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 *bány mól atomot tartalmaz*. Ági otthon a következő kísérletet végezte el: cérnaszálra kötötte, és belógatta a fémdarabot egy fazéknyi, forrásban lévő vízbe. Megmérte egy vékony falú termosz

hőkapacitását (azt 10 g vízzel azonosnak találta), majd 390 g tömegű vizet töltött a termoszba, és lemérte a hőmérsékletét: 20,0 °C. Öt perc eltelte 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 mérése alapján meg tudta mondani, hogy hány mól atomot tartalmaz. Határozzuk meg mi is!

Adatok: a víz fajhője 4183 J/(kg·K).

Megoldás

A termosz és a 390 g víz összesen olyan, mintha 400 g = 0,4 kg, 20 °C-os vízbe tennénk a 100 °C-os fémdarabot. Az egyensúly beállta után a közös hőmérséklet 22,0 °C. A víz és a termosz együttesen

$$0,4 \text{ (kg)} \cdot 4183 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \cdot (22,0 - 20,0) \text{ (}^\circ\text{C)} = 3346,4 \text{ J}$$

energiát kapott a fémdarabtól, miközben a fémdarab $\Delta T = 100,0 - 22,0 = 78,0$ °C-ot hűlt. Mivel különbségről van szó, ez kelvinben is ugyanennyi.

Az ekvipartíció tétele alapján a fémdarab atomjainak minden egyes szabadsági foka eközben

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} k_B \Delta T &= \frac{1}{2} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \left(\frac{\text{J}}{\text{K}} \right) \cdot 78 \text{ (K)} = \\ &= 53,82 \cdot 10^{-23} \text{ J} \end{aligned}$$

energiát veszített. Ezért a fémekben lévő összes szabadsági fokok száma:

$$\frac{3346,4 \text{ (J)}}{53,82 \cdot 10^{-23} \text{ (J)}} = 62,178 \cdot 10^{23}.$$

Tudjuk viszont, hogy a fémekben az atomok a hőmozgás során rezgő mozgást végeznek a tér mindhárom irányába. Minden rezgőmozgáshoz 2 energiatárolási lehetőség tartozik (mozgási és potenciális energia). Ezért minden atomnak $3 \cdot 2 = 6$ szabadsági foka van. Ebből az atomok száma:

$$\frac{62,178 \cdot 10^{23}}{6} = 10,363 \cdot 10^{23},$$

a mólok száma pedig:

$$\frac{10,363 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 1,721 \text{ mól.}$$

2. megoldás

Második megoldásként közvetlenül lehet a Dulong–Petit-szabályt is használni, amely szerint egy fém hőkapacitása (nem túl alacsony hőmérsékleten) $C = 3Nk_B$, ahol N az atomok száma, és k_B a Boltzmann-állandó.

Itt is a kalorimetrikus egyenletből indulunk ki, azaz a víz és a termosz együttesen

$$0,4 \text{ (kg)} \cdot 4183 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \cdot (22,0 - 20,0) \text{ (}^\circ\text{C)} = 3346,4 \text{ J}$$

energiát kapott a fémdarabtól, miközben a fémdarab $\Delta T = 100,0 - 22,0 = 78,0$ °C-ot hűlt. A fémdarab hőkapacitásával kifejezve:

$$C\Delta T = 3346,4 \text{ J,}$$

azaz

$$3N \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \left(\frac{\text{J}}{^\circ\text{C}} \right) \cdot 78 \text{ (}^\circ\text{C)} = 3346,4 \text{ J.}$$

Ebből kapjuk az atomok számára:

$$N = \frac{3346,4 \text{ (J)}}{3 \cdot 78 \text{ (}^\circ\text{C)} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \left(\frac{\text{J}}{^\circ\text{C}} \right)} = 10,363 \cdot 10^{23},$$

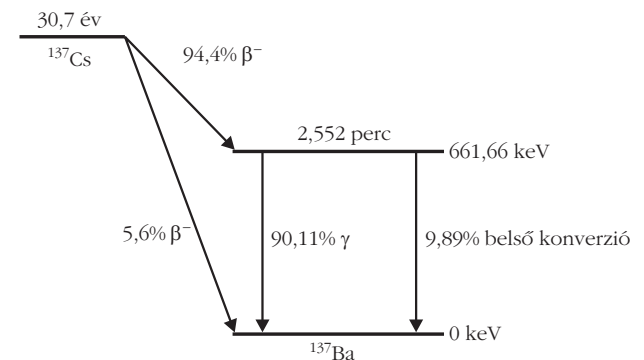
a mólok száma pedig:

$$\frac{10,363 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 1,721 \text{ mól.}$$

3. feladat

kitűzte: *Kis Dániel*

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 661,66 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 elektronehéjből elektront lök ki). Ha egy ^{137}Cs mintát γ -detektorral mérünk, akkor 600 s alatt nettó 24 500 beütést tapasztalunk a 661,66 keV-os csatornában. A detektor hatásfoka ezen az energián 0,0042.

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

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

Megoldás

Mivel a ^{137}Cs felezési ideje jóval hosszabb, mint a ^{137}Ba gerjesztett állapoté, ezért feltehető, hogy a mérés idejére már kialakult a radioaktív egyensúly, azaz a rövid felezési idejű gerjesztett állapotból időegység alatt ugyanannyi bomlik el, mint amennyi keletkezik.

A nettó beütésszámból és a detektor határfokából meghatározható a γ -bomlások száma a mérési idő alatt:

$$N = \frac{24500}{0,0042} = 5,833 \cdot 10^6.$$

Gamma-foton csak a gerjesztett ^{137}Ba állapot bomlása révén keletkezhet. Annak az esélye, hogy a β -bomlás γ -fotont eredményezzen:

$$p = 0,9011 \cdot 0,944 = 0,8506 = 85,06\%,$$

ennek megfelelően a tényleges ^{137}Cs bomlások száma:

$$N_{\text{bomlás}} = \frac{N_{\gamma}}{p} = 6,858 \cdot 10^6.$$

Ebből a ^{137}Cs aktivitása:

$$A = \frac{6,858 \cdot 10^6}{600 \text{ (s)}} = 1,143 \cdot 10^4 \text{ Bq} = 11,45 \text{ kBq}.$$

A konverziós elektron keletkezésének valószínűsége:

$$p_e = 0,0989 \cdot 0,944 = 0,09336 = 9,366\%.$$

Így a vizsgált időtartam alatt keletkező konverziós elektronok száma:

$$N_{\text{konv}} = N_{\text{bomlás}} \cdot p_e = 6,403 \cdot 10^5.$$

Ehhez természetesen hozzá kell adni a béta-bomlás miatt keletkező elektronok számát, tehát a kilépő elektronok teljes száma:

$$N_{\text{elektron}} = N_{\text{konv}} + N_{\text{bomlás}} = 7,498 \cdot 10^6.$$

4. feladat

kitűzte: *Papp Gergely*

γ -foton Compton-szórás szenved egy elektronon. Az ütközés után melyik esetben lesz nagyobb a szórt γ -foton energiája:

- egy 180° -os szórás,
- két egymást követő 90° -os szórás?

Megoldás

A Compton-szórás szenvedett γ -foton hullámhosszának változására legelterjedtebb formula a következő:

$$\lambda_f - \lambda_i = \Delta\lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\vartheta),$$

ahol λ_i és λ_f a bejövő és kimenő foton hullámhossza, h a Planck-állandó, m_e a nyugalmi elektrontömeg, c a

fénysebesség. Bár a kérdés megválaszolható hullámhossz-formalizmusban is, a kifejezést alakítsuk át energiára:

$$E_f = \frac{E_i}{1 + \frac{E_i}{m_e c^2} (1 - \cos\vartheta)},$$

ahol

$$E_i = h\nu_i = \frac{hc}{\lambda_i}$$

és hasonlóan

$$E_f = \frac{hc}{\lambda_f}.$$

Vezessük be a „normált” energiákat, azaz legyen

$$\varepsilon_i = \frac{E_i}{m_e c^2} \text{ és } \varepsilon_f = \frac{E_f}{m_e c^2}.$$

Ezzel a képlet alakja egyszerűbb lesz:

$$\varepsilon_f = \frac{\varepsilon_i}{1 + \varepsilon_i(1 - \cos\vartheta)}.$$

a) $\cos 180^\circ = -1$, ezt a fenti kifejezésbe helyettesítve kapjuk hogy

$$\varepsilon_a = \frac{\varepsilon_i}{1 + 2\varepsilon_i}.$$

b) $\cos 90^\circ = 0$, tehát az első 90° -os szórás után

$$\varepsilon_{b1} = \frac{\varepsilon_i}{1 + \varepsilon_i}.$$

Az első szórás követően az ε_{b1} energiájú foton szóródik újra 90° -ot, azaz

$$\varepsilon_b = \frac{\varepsilon_{b1}}{1 + \varepsilon_{b1}},$$

ami kifejtve:

$$\varepsilon_b = \frac{\varepsilon_{b1}}{1 + \varepsilon_{b1}} = \frac{\frac{\varepsilon_i}{1 + \varepsilon_i}}{1 + \frac{\varepsilon_i}{1 + \varepsilon_i}} = \frac{\varepsilon_i}{1 + 2\varepsilon_i} = \varepsilon_a.$$

Tehát az ütközés utáni energia azonos az a) és b) esetben. Megjegyezzük, hogy ez egy szándékosan választott speciális eset, és nem általánosan igaz, hogy két (vagy több) egymást követő Compton-szórás utáni energia egyenlő a szórási szögek összegével történő szórás utáni energiával.

Folytatása következik.

FROM TEACHERS
FOR TEACHERS

MAGYAR SCIENCE ON STAGE FESZTIVÁL



SZEGED, 2018.
OKTÓBER 5-7.

ÚJ UTAKON A DIGITÁLIS GENERÁCIÓHOZ



Természettudományos fesztivált és kiállítást rendez az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, az Informatika-Számítástechnika Tanárok Egyesülete, a Bolyai János Matematikai Társulat, a Magyar Kémikusok Egyesülete és a Magyar Biológiai Tanárok Országos Egyesülete 2018. október 5-7-ig Szegeden, a Szent-Györgyi Albert Agórában.

SCIENCE ON STAGE 2018
SZEGED

THE EUROPEAN NETWORK OF SCIENCE TEACHERS

Szervezők:



„Tanároktól diákoknak, hallgatóknak és résztvevőknek, kicsiknek és nagyoknak”

Az Ericsson Magyarország Kft. **szeptember 28-án pénteken**, a Kutatók Éjszakáján, **15:45–23:45-ig** újra megnyitja kapuit, és szeretettel várja a kicsiket és nagyokat, diákokat és tanárokat és persze az egyéb résztvevőket. A helyszín a Rákóczi híd közelében nemrégiben birtokba vett új épület, **Ericsson Hungary Research and Development Center, 1117 Budapest, Magyar tudósok körútja 11.**

Az érdeklődők, diákok, tanárok megtekinthetik a laboratóriumokat, és megismerhetik a lelkes – Ericsson-díjas, vagy más rangos elismeréssel rendelkező – fizikatanárok legkedvesebb kísérleteit.

A laboratórium meglátogatása és az előadások ingyenesek. **A diákok saját maguk is kísérletezhetnek, részesei lehetnek az interaktív foglalkozásoknak.**

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat megbízásából, az Ericsson Magyarország Kft.-nek köszönhetően már hetedszer válhatunk Öveges József tanár úr utódaivá.

Program

15:45–16:00	Megnyitó – program felvezetése kísérletekkel	Jarosievitz Beáta & Sükösd Csaba, Budapest
16:00–16:30	Golyóálló mellény keményítőből?	Seres István, Gödöllő
16:40–17:10	Mikor kilocsant a víz Szirakuzában	Kirsch Éva gyerekekkel, Debrecen
17:20–17:50	Áramok, mágnesek kicsit másképpen; kölcsönösen és kézen fogva	Jalovecki József, Baja
18:00–18:30	Ne parázz, fizikázz!	Bojtör Judit, Szentlőrinc
18:40–19:10	Kerek a világ...	Kirsch Éva, Debrecen
19:20–19:50	Tanulás/kutatás mobillal	Körösi Gábor, Zenta
20:00–20:30	Nano, micro, mini, mega, uno – építsünk mikrokontrollerekkel!	Barsy Anna, Budapest
20:40–21:10	Húsító kísérletek	Nagy Tibor & Nagyné Bíró Kornélia, Szolnok
21:20–21:50	A gőz erejével	Horváth Norbert Tamás, Budapest
22:00–22:30	Hullámok ölén	Fekete Attila, Sopron
22:40–23:00	Nyíregyházi diákok a világhír küszöbén	Zsigó Zsolt, Nyíregyháza
23:10–23:40	LogB – Mérj bármit, bárhol és bármikor	Sikó Dezső, Kecskemét

Műsorvezetők, programgazdák: Jarosievitz Beáta és Sükösd Csaba

Élő közvetítés: www.galileowebcast.hu

A korábbiak – és később ezen éjszaka – megtekintése: <http://sukjaro.eu/node/72>