



## Országos Szilárd Leó Fizikaverseny Döntő 2017.

### I. kategória

Minden feladat helyes megoldása 5 pontot ér. A feladatokat tetszőleges sorrendben, feladatonként külön lapon kell megoldani. A megoldáshoz bármilyen offline segédeszköz használható. Rendelkezésre álló idő: 180 perc.

A feladatok nem nehézségi sorrendben vannak!

#### 1. feladat

(Kítűzte: Szűcs József)

Hidrogén gázt fokozatosan melegítünk, miközben a molekulák jelentős része atomokra bomlik. Érzékeny spektroszkóppal vizsgálhatjuk, hogyan jelennek meg a gáz által kisugárzott elektromágneses spektrumban a H-atom színképvonalai. A hőmérséklet fokozatos növelésekor vajon milyen sorrendben válnak láthatóvá a spektroszkópban az infravörös, látható, illetve az ultraibolya tartományban lévő vonalak? A választ részletesen indokoljuk meg!

#### 2. feladat

(Kítűzte: Halász Máté)

Hideki Yukawa (1907-1981, Nobel-díj: 1949) a nukleonok között ható magerő leírásakor azt feltételezte, hogy a kölcsönhatást az elektromágneses kölcsönhatáshoz hasonlóan egész spinű részecskék, azaz bozonok közvetítik. A magerő rövid hatótávolsága annak köszönhető, hogy a nulla nyugalmi tömegű fotonokkal ellentétben a nukleon-nukleon kölcsönhatást a nyugalmi tömeggel rendelkező mezonok hordozzák, melyek keltése az energia-idő határozatlanság eredményeképpen lehetséges. Yukawa a magerő hatótávolsága alapján becslést tudott adni a mezonok tömegére, amely 2-300 elektrontömegnek adódott. A negatív béta-bomlás során az atommagban egy neutron protonná alakul, melynek során a neutronban lévő egyik „down” kvark gyenge kölcsönhatással, egy ún. W-bozont kibocsátva „up” kvark lesz, majd a W-bozon egy elektrónra és egy antineutrínóra bomlik.

a) Becsüljük meg az energia-idő határozatlansági reláció segítségével a gyenge kölcsönhatás hatótávolságát, ha a W-bozon nyugalmi tömege  $80 \text{ GeV}/c^2$ .

b) Hogyan aránylik ez a nukleonok méretéhez?

#### 3. feladat

(Kítűzte: Szűcs József)

2016 augusztusában jelent meg a „Nature” c. folyóiratban a hír, hogy a csillagászok felfedeztek egy exobolygót, amely a legközelebbi csillag – a vörös törpe Proxima Centauri – körül lakható övezetben kering 11,2 nap keringési idővel 7,5 millió km (1/20 csillagászati egység, CsE) sugarú körpályán. Tételezzük fel, hogy a vörös törpe csillagról a bolygófelszín  $1 \text{ m}^2$ -ére jutó sugárzási teljesítmény megegyezik a földi napállandóval, tovább azt, hogy a vörös törpe hőmérsékleti sugárzásának maximumhelye a Nap sugárzási maximumhelyének (550 nm) éppen kétszerese.

a) Hányad része lenne ekkor a vörös törpe csillag átmérője a Nap átmérőjének?

b) Hányad része a vörös törpe tömege a Nap tömegének?

**Adatok:** A földi évet 365 napnak vehetjük.

#### 4. feladat

(Kítűzte: Radnóti Katalin)

Pierre Curie a következő módon becsülte meg a rádium által kibocsátott alfa-részecskék energiáját:

- Tapasztalta, hogy a rádiumvegyületek mindig kissé melegebbek, mint a környezetük. Ha egy ilyen vegyületet hosszabb időre kaloriméterbe helyeztek, megállapítható volt, hogy minden gramm rádium kb. 588 J hőt fejleszt óránként. Ezt az értéket elosztva a keletkező  $\alpha$ -részecskék számával, meg lehet határozni egy részecske energiáját.
- A bomlások számának a meghatározása egy úgynevezett *spintariszkóp* segítségével történt. Ez egy kis méretű doboz, melynek az alját belülről cink-szulfiddal vonták be, míg a másik oldalára egy lencsét helyeztek. A lencse és a cink-szulfid felület közé egy tűt helyeztek, melyre kis mennyiségű radioaktív anyagot vittek fel. A tőről a cink-szulfid felületre került  $\alpha$ -részecskék a nagyítón keresztül megfigyelhető *szcintillációt*, fényfelvillanást hoznak létre.
- Lemértek 5 mg rádiumot tartalmazó sót, melyet 5 liter vízben feloldottak. A jól összekevert oldatból ez után 1mm<sup>3</sup> oldatot juttattak a spintariszkóp tűjére, ahonnan a víz gyorsan elpárolgott, ellenben ottmaradt a tisztán rádiumtartalmú anyag. A cink-szulfid felületen minden 100-adik szcintilláció volt észlelhető, így 100 s alatt 37 felvillanást lehetett látni.

Becsüljük meg az alfa részecskék energiáját Pierre Curie mérései alapján!

#### 5. feladat

(Kítűzte: Újvári Sándor)

Egy  $^{60}\text{Co}$  radioaktív minta felét egy űrhajóval űrutazásra viszünk 0,7c sebességgel, a másik felét a Földön hagyjuk. Az űrhajó földi idő szerint éppen 10 év múlva tér vissza. Mennyi lesz az aktivitások aránya, amikor a visszaérkezés után ismét megmérjük mindkét mintát?

**Adatok:** a  $^{60}\text{Co}$  felezési ideje 5,27 év.

#### 6. feladat

(Kítűzte: Sükösd Csaba)

R. Davis és J. Bahcall éppen 60 éve kezdték el a Nap-neutrínók kimutatására tervezett, „Homestake” nevű kísérletüket, amelyet több mint 24 éven át folytattak. Ebben a kísérletben 1478 m mélyen a Föld alatt, egy elhagyott aranybányában 390000 liter  $\text{C}_2\text{Cl}_4$  (tetraklóretilén) folyadékot használtak a neutrínók detektálására. A neutrínók és a  $^{37}\text{Cl}$  atomok kölcsönhatása a következő reakcióegyenlettel írható le:  $\nu + ^{37}\text{Cl} \rightarrow ^{37}\text{Ar} + e^-$ . A Nap-modell szerint  $9 \cdot 10^{36}$  esemény kellett volna létrejöjjön klór-atomonként és másodpercenként. A mérések azonban ennek csak legfeljebb a harmadrészét igazolták. Ez jelentette hosszú időn át a „Nap-neutrínó rejtélyt”.

**A feladatok a túloldalon folytatódnak!**



- a) Mi lehet az oka, hogy éppen folyadék formában lévő klóratomokkal való reakciót választottak a kísérlet végrehajtásához?
- b) Miért kellett a Föld mélyében lévő helyre telepíteni a kísérletet?
- c) Davis 35 naponként választotta el a reakciótermékeket. Hány  $^{37}\text{Ar}$  atom keletkezhetett ennyi idő alatt a neutrínókkal történő reakciókból?
- d) A keletkezett  $^{37}\text{Ar}$  atomok radioaktívak, és 35 napos felezési idővel bomlanak. Hány bomlást várhatott Davis a 35 nap után összegyűjtött reakciótermékekből, ha a bomlásokat 100% hatásfokkal tudta észlelni?
- e) Davis sok éven keresztül folytatta a mérést a fenti módon. Vajon nem lett volna jobb, ha sok évig gyűjti a reakciótermék atomokat, és csak a végén választja szét a várhatóan sokkal több atomot, nem pedig 35 naponként újra és újra?

**Adatok:** A tetraklóretilén sűrűsége:  $1,62 \text{ g/cm}^3$ , a klór móltömege  $35,453 \text{ g/mol}$ , a  $^{37}\text{Cl}$  részaránya 24,23 atomszázalék.

### 7. feladat

(Kítűzte: Halász Máté és Szűcs József)

Egy  $1,5 \text{ kg}$  tömegű űrszonda a Nap-Föld távolságában körpályán kering a Nap körül  $v = 29,75 \text{ km/s}$  sebességgel, de távol a Földtől. Egy adott pillanatban kinyitja a „napvitorlát”. Mekkora felületű kell legyen a napvitorla, hogy az űrszonda elhagyhassa a Naprendszer? Tegyük fel, hogy mozgása során végig kellően távol marad a Földtől és a többi bolygótól, ezért azok tömegvonzása elhanyagolható! A napvitorlák a Nap fénysugárzását tökéletesen visszaverő felületről készültek, mindig a napsugárzásra merőlegesen állnak, és elegendően vékonyak ahhoz, hogy a fotonokon kívül a Naptól érkező egyéb részecskék akadálymentesen áthaladjanak rajtuk.

**Útmutatás:** Vegyük észre, hogy a sugáryomásból származó tolóerő a gravitációs erőhöz hasonló erőtvény szerint változik, így az általa végzett munka is hasonlóan számítható.

**Adatok:** Napállandó:  $1370 \text{ W/m}^2$ , Nap-Föld távolság (CsE):  $150 \text{ millió km}$ , Naptömeg:  $1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ .

### 8. feladat

(Kítűzte: Sükösd Csaba)

Marx György 90 éve született, és az ő ötlete volt a Földről lézersugárral hajtott űrhajó.

- a) Vajon melyik a gazdaságosabb megoldás? Az űrhajó végét tükröző lappal ellátni, amely a lézersugarat visszaveri a Földre, vagy pedig az űrhajót mindent elnyelő fekete lappal ellátni, amely a lézersugár teljes energiáját elnyeli?
- b) Mekkora lendületátadást lát egy földi megfigyelő, valamint az űrhajón lévő megfigyelő, ha az űrhajó már nagy  $v$  sebességgel távolodik a Földtől?

**Adatok:** tegyük fel, hogy a lézer nagyon rövid ideig tartó,  $E$  energiát képviselő impulzusokat (lövéseket) küld az űrhajó után. Az űrhajó sebességének jellemzésére használjuk a szokásos  $\beta = v/c$  jelölést.

### 9. feladat

(Kítűzte: Papp Gergely)

Az ionoszférában a légkör molekuláit fotonok ionizálják. A magassággal csökkenő sűrűség és a különböző abszorpciós folyamatok miatt különböző rétegek alakulnak ki különböző magasságokban (pl. D, E, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> rétegek). Az ionizáció foka a Nap tevékenységének függvényében, illetve a napszaktól függően akár 2 nagyságrendet is ingadozhat. Az ábrán látható az elektronsűrűség egy köztes állapotban. Plazmákban csak olyan elektromágneses hullámok tudnak terjedni, amelyek frekvenciája nagyobb, mint a plazmafrequencia:  $f_p = (1/2\pi)\sqrt{n_e e^2 / m_e \epsilon_0}$ .

Itt az  $n_e$  elektronsűrűséget  $1/\text{m}^3$ -ben mérjük,  $e$  az elemi töltés,  $m_e$  az elektron nyugalmi tömege és  $\epsilon_0$  a vákuum dielektromos állandója.

- a) Számítsuk ki a kritikus frekvenciát, ami elválasztja a visszavert és áthaladó elektromágneses hullámokat!
- b) Milyen következményei vannak a jelenségnek kommunikációs szempontból?

**Adatok:** A vákuum dielektromos állandója:  $\epsilon_0 = 8,854 \text{ (As/Vm)}$ .

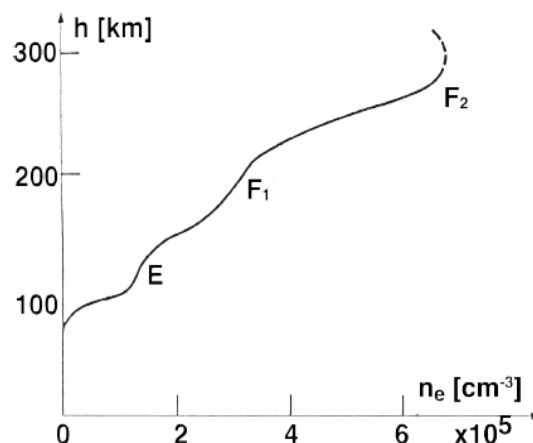
### 10. feladat

(Kítűzte: Sükösd Csaba)

Egy  $500 \text{ keV}$ -es gamma foton fotoeffektust hoz létre egy germánium félvezető detektor egyik  $^{72}\text{Ge}$  atomjának 1s elektronján. A kiűtött elektron a beeső foton haladási irányában repül tovább. A meglökődött atommag által átvett energiát hanyagoljuk el.

- a) Mekkora lesz a kilökött elektron lendülete?
- b) Mekkora és milyen irányú a maradék atom által átvett lendület?
- c) Mekkora lenne egy ekkora lendületű  $^{72}\text{Ge}$  atom mozgási energiája? Valóban elhanyagolható? Vajon a Ge atom ki tud-e szakadni a kristályrácsban elfoglalt helyéről?

**Adatok:** A  $^{72}\text{Ge}$  atom tömegét vegyük  $72 \text{ u}$ -nak, 1s elektronjának kötési energiáját pedig:  $11,0 \text{ keV}$ -nek. A Ge atom kötési energiája a kristályrácsban:  $3,85 \text{ eV}$ . Az elektron nyugalmi tömege:  $m_0 c^2 = 511 \text{ keV}$ . **Tanács:** a lendületeket kifejezhetjük  $[\text{keV}/c]$  egységekben is.



Vége



## Országos Szilárd Leó Fizikaverseny Döntő 2017. II. (Junior) kategória

Minden feladat helyes megoldása 5 pontot ér. A feladatokat tetszőleges sorrendben, feladatonként külön lapon kell megoldani. A megoldáshoz bármilyen offline segédeszköz használható. Rendelkezésre álló idő: 180 perc.

A feladatok nem nehézségi sorrendben vannak!

### 1. feladat

(Kitűzte: Szűcs József)

Hidrogéngázt fokozatosan melegítünk, miközben a molekulák jelentős része atomokra bomlik. Érzékeny spektroszkóppal vizsgálhatjuk, hogyan jelennek meg a gáz által kisugárzott elektromágneses spektrumban a H-atom színképvonalai. A hőmérséklet fokozatos növelésekor vajon milyen sorrendben válnak láthatóvá a spektroszkópban az infravörös, látható, illetve az ultraibolya tartományban lévő vonalak? A választ részletesen indokoljuk meg!

### 2. feladat

(Kitűzte: Halász Máté)

Hideki Yukawa (1907-1981, Nobel-díj: 1949) a nukleonok között ható magerő leírásakor azt feltételezte, hogy a kölcsönhatást az elektromágneses kölcsönhatáshoz hasonlóan egész spinű részecskék, azaz bozonok közvetítik. A magerő rövid hatótávolsága annak köszönhető, hogy a nulla nyugalmi tömegű fotonokkal ellentétben a nukleon-nukleon kölcsönhatást a nyugalmi tömeggel rendelkező mezonok hordozzák, melyek keltése az energia-idő határozatlanság eredményeképpen lehetséges. Yukawa a magerő hatótávolsága alapján becslést tudott adni a mezonok tömegére, amely 2-300 elektrontömegnek adódott. A negatív béta-bomlás során az atommagban egy neutron protonná alakul, melynek során a neutronban lévő egyik „down” kvark gyenge kölcsönhatással, egy ún. W<sup>-</sup>-bozont kibocsátva „up” kvark lesz, majd a W<sup>-</sup>-bozon egy elektronra és egy antineutrínóra bomlik.

a) Becsüljük meg az energia-idő határozatlansági reláció segítségével a gyenge kölcsönhatás hatótávolságát, ha a W<sup>-</sup>-bozon nyugalmi tömege 80 GeV/c<sup>2</sup>.

b) Hogyan aránylik ez a nukleonok méretéhez?

### 3. feladat

(Kitűzte: Szűcs József)

2016 augusztusában jelent meg a „Nature” c. folyóiratban a hír, hogy a csillagászok felfedeztek egy exobolygót, amely a legközelebbi csillag – a vörös törpe Proxima Centauri – körül lakható övezetben kering 11,2 nap keringési idővel 7,5 millió km (1/20 csillagászati egység, CsE) sugarú körpályán. Tételezzük fel, hogy a vörös törpe csillagról a bolygófelszín 1 m<sup>2</sup>-ére jutó sugárzási teljesítmény megegyezik a földi napállandóval, tovább azt, hogy a vörös törpe hőmérsékleti sugárzásának maximumhelye a Nap sugárzási maximumhelyének (550 nm) éppen kétszerese.

a) Hányad része lenne ekkor a vörös törpe csillag átmérője a Nap átmérőjének?

b) Hányad része a vörös törpe tömege a Nap tömegének?

**Adatok:** A földi évet 365 napnak vehetjük.

### 4. feladat

(Kitűzte: Radnóti Katalin)

Pierre Curie a következő módon becsülte meg a rádium által kibocsátott alfa-részecskék energiáját:

- Tapasztalta, hogy a rádiumvegyületek mindig kissé melegebbek, mint a környezetük. Ha egy ilyen vegyületet hosszabb időre kaloriméterbe helyeztek, megállapítható volt, hogy minden gramm rádium kb. 588 J hőt fejleszt óránként. Ezt az értéket elosztva a keletkező  $\alpha$ -részecskék számával, meg lehet határozni egy részecske energiáját.
- A bomlások számának a meghatározása egy úgynevezett *spintariszkóp* segítségével történt. Ez egy kis méretű doboz, melynek az alját belülről cink-szulfiddal vonták be, míg a másik oldalára egy lencsét helyeztek. A lencse és a cink-szulfid felület közé egy tűt helyeztek, melyre kis mennyiségű radioaktív anyagot vittek fel. A tőről a cink-szulfid felületre került  $\alpha$ -részecskék a nagyítón keresztül megfigyelhető *szcintillációt*, fényfelvillanást hoznak létre.
- Lemérték 5 mg rádiumot tartalmazó sót, melyet 5 liter vízben feloldottak. A jól összekevert oldatból ez után 1mm<sup>3</sup> oldatot juttattak a spintariszkóp tűjére, ahonnan a víz gyorsan elpárolgott, ellenben ottmaradt a tisztán rádiumtartalmú anyag. A cink-szulfid felületen minden 100-adik szcintilláció volt észlelhető, így 100 s alatt 37 felvillanást lehetett látni.

Becsüljük meg az alfa részecskék energiáját Pierre Curie mérései alapján!

### 5. feladat

(Kitűzte: Újvári Sándor)

Egy <sup>60</sup>Co radioaktív minta felét egy űrhajóval űrutazásra visztünk 0,7c sebességgel, a másik felét a Földön hagyjuk. Az űrhajó földi idő szerint éppen 10 év múlva tér vissza. Mennyi lesz az aktivitások aránya, amikor a visszaérkezés után ismét megmérjük mindkét mintát?

**Adatok:** a <sup>60</sup>Co felezési ideje 5,27 év.

### 6. feladat

(Kitűzte: Sükösd Csaba)

R. Davis és J. Bahcall éppen 60 éve kezdték el a Nap-neutrínók kimutatására tervezett, „Homestake” nevű kísérletüket, amelyet több mint 24 éven át folytattak. Ebben a kísérletben 1478 m mélyen a Föld alatt, egy elhagyott aranybányában 390000 liter C<sub>2</sub>Cl<sub>4</sub> (tetraklóretilén) folyadékot használtak a neutrínók detektálására. A neutrínók és a <sup>37</sup>Cl atomok kölcsönhatása a következő

**A feladatok a túloldalon folytatódnak!**



reakcióegyenlettel írható le:  $\nu + {}^{37}\text{Cl} \rightarrow {}^{37}\text{Ar} + e^-$ . A Nap-modell szerint  $9 \cdot 10^{36}$  esemény kellett volna létrejöjjön klór-atomonként és másodpercenként. A mérések azonban ennek csak legfeljebb a harmadrészét igazolták. Ez jelentette hosszú időn át a „Nap-neutrínó rejtély”.

- Mi lehet az oka, hogy éppen folyadék formában lévő klóratomokkal való reakciót választottak a kísérlet végrehajtásához?
- Miért kellett a Föld mélyében lévő helyre telepíteni a kísérletet?
- Davis 35 naponként választotta el a reakciótermékeket. Hány  ${}^{37}\text{Ar}$  atom keletkezhetett ennyi idő alatt a neutrínókkal történő reakciókból?
- A keletkezett  ${}^{37}\text{Ar}$  atomok radioaktívak, és 35 napos felezési idővel bomlanak. Hány bomlást várhatott Davis a 35 nap után összegyűjtött reakciótermékekből, ha a bomlásokat 100% hatásfokkal tudta észlelni?
- Davis sok éven keresztül folytatta a mérést a fenti módon. Vajon nem lett volna jobb, ha sok évig gyűjti a reakciótermék atomokat, és csak a végén választja szét a várhatóan sokkal több atomot, nem pedig 35 naponként újra és újra?

**Adatok:** A tetraklóretilén sűrűsége:  $1,62 \text{ g/cm}^3$ , a klór móltömege  $35,453 \text{ g/mol}$ , a  ${}^{37}\text{Cl}$  részaránya 24,23 atomszázalék.

### 7. feladat

(Kítűzte: Halász Máté és Szűcs József)

Egy 1,5 kg tömegű űrszonda a Nap-Föld távolságában körpályán kering a Nap körül  $v = 29,75 \text{ km/s}$  sebességgel, de távol a Földtől. Egy adott pillanatban kinyitja a „napvitorlát”. Mekkora felületű kell legyen a napvitorla, hogy az űrszonda elhagyhassa a Naprendszer? Tegyük fel, hogy mozgása során végig kellően távol marad a Földtől és a többi bolygótól, ezért azok tömegvonzása elhanyagolható! A napvitorlák a Nap fénysugárzását tökéletesen visszaverő felületből készültek, mindig a napsugárzásra merőlegesen állnak, és elegendően vékonyak ahhoz, hogy a fotonokon kívül a Napból érkező egyéb részecskék akadálymentesen áthaladjanak rajtuk.

**Útmutatás:** Vegyük észre, hogy a sugárnyomásból származó tolóerő a gravitációs erőhöz hasonló erőtvény szerint változik, így az általa végzett munka is hasonlóan számítható.

**Adatok:** Napállandó:  $1370 \text{ W/m}^2$ , Nap-Föld távolság (CsE): 150 millió km, Naptömeg:  $1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ .

### 8. feladat

(Kítűzte: Radnóti Katalin)

Az alábbi táblázat a hazánkban beépített szélérőművek egy hetes elektromos energia „termelési” adatait mutatja (MAVIR weblap nyomán).

	Teljesítmény [MW]
1. nap	50
2. nap	100
3. nap	75
4. nap	150
5. nap	10
6. nap	0
7. nap	0

A táblázat alapján becsüljük meg a hazai szélérőmű park százalékos kihasználtságát a vizsgált héten! A beépített összes teljesítmény 330 MW.

- Mekkora a szélérőmű-park százalékos kihasználtsága? Szemléltessük ezt ábrán is!
- Hogyan aránylik ez a Paksi Atomerőmű 90%-os kihasználtságához?
- Ennyi energia „megtermeléséhez” mekkora tömegű 5 % -ban dúsított uránra lenne szükség? Egy hasadás alkalmával 32 pJ energia szabadul fel.

### 9. feladat

(Kítűzte: Kis Dániel)

Mekkora energia szabadulna fel akkor, ha 1 liter tiszta nehézvíz ( $\text{D}_2\text{O}$ ) minden deutérium atommagja fúzióban egyesülne? A nehézvíz sűrűsége:  $1,1056 \text{ g/cm}^3$ ; kétféle fúziós folyamat játszódhat le (azonos valószínűséggel):

- $\text{D} + \text{D} \rightarrow {}^3\text{He} + \text{n}$ ,      2)  $\text{D} + \text{D} \rightarrow {}^3\text{T} + \text{p}$ .

**Adatok:** Az egyes atommagok tömegei atomi tömegegységben:

- $m(\text{n}) = 1,008665 \text{ u}$
- $m(\text{p}) = 1,007825 \text{ u}$
- $m(\text{D}) = 2,014102 \text{ u}$
- $m(\text{T}) = 3,016049 \text{ u}$
- $m({}^3\text{He}) = 3,016029 \text{ u}$ .

### 10. feladat

(Kítűzte: Mester András)

A metastabil gammasugárzó technécium-99-et ( ${}^{99}\text{Tc}^m$ ) orvos diagnosztikai vizsgálatokhoz használják.

- Határozzuk meg a bomlásnál felszabaduló energiát!
- Egy betegnek beadott 5 ml térfogatú injekció aktivitása  $1,5 \text{ GBq/ml}$ . Hány százalékkal csökken a testben lévő izotóp aktivitása 10 óra múlva, ha a  ${}^{99}\text{Tc}^m$  fizikai felezési ideje 6 óra, a technécium biológiai felezési ideje pedig 1 nap?

**Adatok:** Az atomtömegek atomi tömegegységben ( $m_u$ ):  ${}^{99}\text{Tc}^m : 98,90640 m_u$ ,  ${}^{99}\text{Tc} : 98,90625 m_u$

Vége