1. **Egy kezdetben nyugvó, 226-os tömegszámú rádium-atommag ($^{226}_{88}Ra$) α-bomlása során 15 000 km/s sebességű α-részecskét bocsát ki.**
   a) Határozza meg a bomlás során keletkező atommag tömegszámát és rendszámát!
   b) Mekkora lesz a bomlás során keletkező atommag sebessége?
   c) Határozza meg, hogy a bomlás során keletkező atommag mozgási energiája hány százaléka az α-részecske mozgási energiájának!
   (A megoldásban feltehetjük, hogy $m_{proton} = m_{neutron} = 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg, a magok tömegét a tömeghiány jelenségének figyelmen kívül hagyásával közelíthetjük. Feltehetjük továbbá, hogy a bomlás erőmentes térben következik be, a szétlökődő részecskékre külső erő nem hat.)
   (2006. február)

Megoldás:

Jelölések: $m_o = m_{proton} = m_{neutron} = 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg, $v_\alpha = 15000\,\frac{\text{km}}{\text{s}}$, $A = 226$, $Z = 88$.

a) *A maradék mag tömegszámának és rendszámának meghatározása:*

1+1 pont

Az α-bomlásban a tömegszám 4-gyel csökken, ezért a keletkező mag tömegszáma $A_{új} = A - 4 = 222$.
Az α-bomlásban a rendszám 2-vel csökken, ezért a keletkező mag rendszáma $Z_{új} = Z - 2 = 86$.

b) *A részecskék tömegarányának meghatározása a nukleonszámok segítségével:*

1+1+1+1 pont

Az α-részecske 4 nukleont tartalmaz.
$m_\alpha = 4m_o \quad (= 6{,}64 \cdot 10^{-27}\text{ kg})$

A maradék mag 222 nukleont tartalmaz.
$m_{új} = 222m_o \quad (= 368{,}5 \cdot 10^{-27}\text{ kg})$

(A megoldáshoz csak a részecskék tömegarányára van szükség, ezért a tömegek nagyságának kiszámolása nem követelmény.)

A lendületmegmaradás törvényének alkalmazása, a keletkező mag sebességének meghatározása:

3+1 pont
(bontható)

$$0 = m_\alpha v_\alpha + m_{új} v_{új},$$

$$v_{új} = -\frac{m_\alpha}{m_{új}} v_\alpha = -\frac{4m_o}{222m_o} v_\alpha = -\frac{2}{111} v_\alpha,$$

$$v_{új} = -270{,}3\,\frac{\text{km}}{\text{s}}.$$

(Ha a vizsgázó a keletkező mag sebességének a nagyságát határozza meg, és +270,3 km/s-ot ad meg végeredménynek, akkor ez is teljes értékű megoldás.)

c) *A mozgási energiák arányának meghatározása:*

2+1 pont
(bontható)

$$\frac{E_{új}}{E_\alpha} = \frac{\frac{1}{2} m_{új} v_{új}^2}{\frac{1}{2} m_\alpha v_\alpha^2},$$

$$\frac{E_{új}}{E_\alpha} = \frac{m_{új}}{m_\alpha}\left(\frac{v_{új}}{v_\alpha}\right)^2 = \frac{111}{2}\left(\frac{2}{111}\right)^2 = \frac{2}{111} \approx 0{,}0180,$$

$$\frac{E_{új}}{E_\alpha} \cdot 100\% = 1{,}80\%.$$

(A mozgási energiák közvetlenül is kiszámíthatóak ($E_\alpha = 747$ fJ, $E_{új} = 13{,}5$ fJ), de a megoldás e nélkül is teljes.)

Összesen **13 pont**

2. A Hold életkorának meghatározására a radioaktív kálium bomlását használják. A kálium 1,27 milliárd év felezési idővel bomlik argongázzá, amelyet a káliumtartalmú kőzet megköt. Egy Holdról származó kőzetmintában g 9,30 10^{-7} · káliumot és $1.00 \cdot 10^{17}$ atomot tartalmazó argongázt találtak. A kőzetben található argon a feltételezés szerint csak a kálium bomlásából származik. (A kálium móltömege 39 g/mol , az Avogadro-szám $6 \cdot 10^{23}$ 1/ mol .)

a) Határozza meg, hány kálium atommagot tartalmazott keletkezésekor a kőzet, és ennek hány százaléka bomlott el az idők során!

b) Becsülje meg a kőzet korát!

(2006. október)

Megoldás:

a) A kőzetben lévő kálium mólszámának és atomszámának meghatározása:

1+1 pont

$$n = \frac{m}{M} = 2{,}38 \cdot 10^{-8} \text{ mol}$$

$$N = n \cdot N_A = 1{,}428 \cdot 10^{16} \text{ (db)}$$

A káliumatomok számának meghatározása a kőzet keletkezésekor:

1 pont

$$N_0 = N + N_{Ar} = 1{,}428 \cdot 10^{16} + 1.00 \cdot 10^{17} = 1{,}1428 \cdot 10^{17} \text{(db)}$$

Az elbomlott mennyiség százalékos arányának meghatározása:

2 pont (bontható)

Az elbomlott káliumból argon lesz, ezért $\frac{N_A}{N_0} = \frac{10^{17}}{1{,}1428 \cdot 10^{17}} = 0{,}875 = 87{,}5\%$

b) Annak fölismerése, hogy az aktív magok változásának arányát kell meghatározni, és ennek az értéknek a kiszámítása:

2 pont (bontható)

$$\frac{N}{N_0} = 0{,}125$$

A bomlási törvény értelmezése és alkalmazása a konkrét esetre:

Mivel $0{,}125 = \left(\frac{1}{2}\right)^3$,

1 pont

ezért a kálium atomok száma 3-szor feleződött meg, vagyis $t = 3 \cdot T_{fél}$.

3 pont (bontható)

(Az $\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{fél}}}$ bomlási törvény formális felírása nem szükséges. Ha a vizsgázó logaritmussal számol, akkor e rész 4 pontját a helyes lépések arányában kell megadni.)

A válasz megadása:

1 pont

A kőzet kora 3,81 milliárd év.

Összesen: **12 pont**

3. Határozza meg az α-részecske kötési energiáját az alábbi adatok felhasználásával! Az α-részecske tömege $6{,}6429 \cdot 10^{-27}$ kg, a szabad proton tömege $1{,}6726 \cdot 10^{-27}$ kg, a szabad neutron tömege $1{,}6749 \cdot 10^{-27}$ kg, a vákuumbeli fénysebesség $3 \cdot 10^{8}$ m/s.
(2007. május id.)
Megoldás:

Adatok: $m_\alpha = 6{,}6429 \cdot 10^{-27}$ kg, $m_p = 1{,}6726 \cdot 10^{-27}$ kg, $m_n = 1{,}6749 \cdot 10^{-27}$ kg, $c = 3 \cdot 10^{8}$ m/s.

Az α-részecske összetételének (2 proton és 2 neutron) megadása:

2 pont

(Ha a vizsgázó nem adja meg külön az α-részecske összetételét, de a későbbiekben 2 protonnal és 2 neutronnal számol, a 2 pont akkor is megadható.)

A tömeghiány jelenségének felismerése:

3 pont

(A tömeghiány jelenségét magyarázni nem szükséges, csak utalni kell arra, hogy a 2 proton és 2 neutron együttes tömege nagyobb az α-részecske tömegénél.)

A tömeghiány és a kötési energia kapcsolatának megfogalmazása:

$$\Delta m = 2m_p + 2m_n - m_\alpha$$

2 pont

(Ha a fenti egyenletet felírja a vizsgázó, a megelőző 3 pont is megadható.)

$$|E_k| = \Delta m \cdot c^2$$

2 pont

A kötési energia kiszámolása:

$$|E_k| = (2m_p + 2m_n - m_\alpha) \cdot c^2$$

1 pont

$$|E_k| = (2 \cdot 1{,}6726 \cdot 10^{-27}\,\text{kg} + 2 \cdot 1{,}6749 \cdot 10^{-27}\,\text{kg} - 6{,}6429 \cdot 10^{-27}) \cdot (3 \cdot 10^{8}\,\frac{\text{m}}{\text{s}})^2$$

1 pont

$$|E_k| = 4{,}69 \cdot 10^{-12}\ \text{J}$$

1 pont

$$E_k = -4{,}69 \cdot 10^{-12}\ \text{J}$$

1 pont

(Ha a számolás során a kötési energiát következetesen pozitív előjelű mennyiségként kezeli a vizsgázó, az 1 pont megadható, amennyiben valamilyen utalást tesz arra, hogy az α-részecske „szétszedéséhez” energiát kell befektetnünk!)

Összesen **13 pont**

4. **A Naprendszer távoli régiói felé küldött űrszondák a Naptól távol már nem tudják műszereiket napelemek segítségével működtetni. Ezért gyakran olyan különleges telepeket visznek magukkal, melyekben radioaktív izotópokat helyeznek el, és az atommagok bomlása során felszabaduló energiát alakítják elektromos energiává. Ilyen izotóp például a ^{238}Pu, mely 5,5 MeV energiájú α-részecskét bocsát ki. Ezt az energiát a telepben 5%-os hatásfokkal lehet elektromos energiává alakítani. A ^{238}Pu felezési ideje 87 év.**
a) Közelítőleg hány ^{238}Pu atommag bomlik el egy óra alatt, ha az elem teljesítménye kezdetben (az űrhajó indulásakor) 300 W?
b) Ha az űrhajó kommunikációs rendszere legalább 75 W teljesítményt igényel, az indulás után mennyi idővel ad magáról utoljára hírt az űrhajó?
c) Mennyi lesz ekkor az aktivitás közelítő értéke?
(2007. október)
Megoldás:

a) *Egyetlen ^{238}Pu atommag bomlási energiájának megadása joule-ban:*

2 pont

Egyetlen ^{238}Pu atommag bomlása $E_{alfa} = 5{,}5\ \text{MeV} = 8{,}8 \cdot 10^{-13}\ \text{J}$ energiát szabadít fel.

Az egy óra alatt keletkező elektromos, illetve radioaktív energia meghatározása:

1 + 1 pont

Egy óra alatt $E_{elektromos} = 300\ \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 3600\ \text{s} = 1{,}08 \cdot 10^{6}\ \text{J}$ elektromos energia keletkezik, melyhez $E_{bomlás} = E_{elektromos} / 0{,}05 = 21{,}6 \cdot 10^{6}\ \text{J}$ energia szükséges a radioaktív forrásból.

Az elbomló atommagok számának meghatározása:

2 pont

Ehhez $N = \dfrac{E_{bomlás}}{E_{alfa}} = 2{,}45 \cdot 10^{19}$ darab atommag bomlása szükséges egy óra alatt.

b) Annak felismerése, hogy a telep teljesítménye a Pu aktivitásával együtt csökken:

1 pont

Az eltelt idő meghatározása:

3 pont
(bontható)

A telep által szolgáltatott teljesítmény arányos a Pu aktivitásával, tehát 87 éves felezési idővel csökken. A kommunikációs rendszer működtetéséhez szükséges teljesítmény az induló teljesítmény negyede, tehát az utolsó híradás a felezési idő kétszerese, azaz 174 év elteltével érkezik.

c) A kezdeti aktivitás megadása:

1 pont

A kezdeti aktivitás az *a)* pontban kiszámolt, egy óra alatt elbomló atommagszámból számolható. $A = \dfrac{2{,}45 \cdot 10^{19}}{3600\ \text{s}} = 6{,}8 \cdot 10^{15}\ \text{Bq}$.

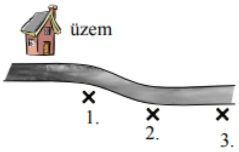
A kétszeres felezési idő elteltével mérhető aktivitás meghatározása:

2 pont

A végső aktivitás ennek a negyede $A_{végső} = 1{,}7 \cdot 10^{15}\ \text{Bq}$.

Összesen 13 pont

5. **Egy nukleáris technológiát alkalmazó üzemből műszaki hiba miatt radioaktív jódizotópot tartalmazó víz szivárog folyamatosan a közeli folyóba. A folyó partján kilométerenként mérőállomások vannak, ahol a vízminták aktivitását mérik. Az első állomás az üzemtől egy kilométerre található, az itt kivett vízminta aktivitása a mérések szerint az elfogadott határérték nyolcszorosa. A jódizotóp felezési ideje 2,5 óra, a folyó sebessége 6 km/h, a vizsgált szakaszon állandó. Tegyük fel, hogy a szennyezés a folyó vizében egyenletesen elkeveredik, mire az a mérőállomásokhoz ér.**



az első három mérőállomás

a) Mekkora folyószakasz minősül radioaktívan szennyezettnek, azaz mekkora folyószakaszon haladja meg a vízminták aktivitása az elfogadott határértéket?
b) Hányadik mérőállomáson lesz a vízminta aktivitása az elfogadott határérték kétszerese?
(2008. május)

Megoldás:

Adatok: $T_{1/2} = 2{,}5$ óra , $v = 6$ km/h

a) *A bomlási törvény alkalmazása a vízben lévő radioaktív szennyezésre:*

3 pont
(bontható)

Mivel az első állomáson a víz aktivitása a határérték nyolcszorosa, azaz 2^3-szorosa, $t = 3 \cdot T_{1/2} = 7{,}5$ óra elteltével csökken a víz aktivitása a megengedett határértékre.
(Helyes válasz 1 pont, indoklás 2 pont.)

A szennyezett folyószakasz hosszának kiszámítása:

4 pont

$s = 1\,\text{km} + v \cdot 3 \cdot T_{1/2} = 46\,\text{km}$. ***(bontható)***
(Amennyiben a vizsgázó az első mérőállomás előtti 1 km folyószakaszt nem adja hozzá, 1 pontot kell levonni.)

b) *Azon idő meghatározása, amely alatt a minta aktivitása a határérték kétszeresére csökken:*

3 pont
(bontható)

Mivel az első mérőállomáson a víz aktivitása a határérték 2^3-szorosa, $t = 2 \cdot T_{1/2} = 5$ óra elteltével csökken a víz aktivitása a megengedett határérték kétszeresére.
(Helyes válasz 1 pont, indoklás 2 pont.)

A szennyezés által ezen idő alatt megtett út kiszámítása és a mintavételi állomás számának meghatározása:

2 pont
(bontható)

5 óra alatt a víz 30 km-re viszi az 1. mérőállomástól a szennyezést, azaz a 31. mérőállomáson lesz a minta aktivitása a határérték kétszerese.
(Helyes válasz 1 pont, indoklás, akár rajzon is, 1 pont.)

Összesen 12 pont

6.

Egy magfizikai kísérletben egy neutron eltalálta egy héliumatom magját, és az ennek hatására deutériummá és tríciummá hasadt szét: ${}_{0}^{1}n + {}_{2}^{4}He \rightarrow {}_{1}^{2}H + {}_{1}^{3}H$. Mekkora volt a neutron sebessége az ütközés előtt, ha a héliumatom az ütközés előtt állt, a reakcióban keletkező deutérium és trícium együttes mozgási energiája pedig $E_{DT} = 0{,}9 \cdot 10^{-12}$ J?

A neutron tömege $m_n = 1{,}6749 \cdot 10^{-27}$ kg, a héliumé $m_{He} = 6{,}6465 \cdot 10^{-27}$ kg, a trícium tömege $m_T = 5{,}0083 \cdot 10^{-27}$ kg, a deutériumé pedig $m_D = 3{,}3436 \cdot 10^{-27}$ kg.

(A neutron sebességét a mozgási energia klasszikus képlete alapján határozza meg!)

($c = 3 \cdot 10^8 \ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$)

(2010. május)

Megoldás:

Adatok: $E_{DT} = 0{,}9 \cdot 10^{-12}$ J, $m_n = 1{,}6749 \cdot 10^{-27}$ kg, $m_{He} = 6{,}6465 \cdot 10^{-27}$ kg,
$m_T = 5{,}0083 \cdot 10^{-27}$ kg, $m_D = 3{,}3436 \cdot 10^{-27}$ kg, $c = 3 \cdot 10^8 \ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$

A tömegdefektus szerepének felismerése:

2 pont

A reakciótermékek össztömege és a kiinduló anyagok össztömege különböző.

A tömegdefektus értékének kiszámítása:

1 pont

$\Delta m = (m_D + m_T) - (m_n + m_{He}) = 0{,}0305 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg} \approx 3 \cdot 10^{-29}\ \mathrm{kg}$

(Amennyiben a felírásból nem világos, hogy tömegnövekedés történt, de később a vizsgázó e szerint számol, a pontszám megadandó.)

A tömegdefektusnak megfelelő energiamennyiség meghatározása:

1 + 1 pont

$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 2{,}7 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{J} \approx 16{,}9\ \mathrm{MeV}$

(Nem feltétlenül szükséges MeV egységekre átszámolni az energiát, lehet végig Joule-t használni.)

Az energiamegmaradási tétel alkalmazása az ütközésre és a neutron energiájának kiszámítása:

2 + 1 pont

$E_{neutron} = E_{DT} + \Delta E = 3{,}6 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{J} \approx 22{,}5\ \mathrm{MeV}$

A neutron mozgási energiája egyenlő a reakciótermékek mozgási energiájának és a tömegdefektusnak megfelelő energiamennyiségnek az összegével.
(Az összefüggés megadása szöveges leírással vagy képlettel 2 pont, eredmény számértékének meghatározása 1 pont.)

A neutron sebességének kiszámítása:

1+1 pont

$$v_{neutron} = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{neutron}}{m_n}} = 6{,}6 \cdot 10^7\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

Összesen: 10 pont

7. **Az emberi szervezetbe bekerülő radioaktív izotópoknak (akár véletlenül bekerülő szennyezőanyagokról, akár az orvostudományban egyre gyakrabban alkalmazott enyhén radioaktív nyomjelző anyagokról van szó) a szervezetből való kiürülését gyakran hasonló "bomlástörvény" írja le, mint magát a radioaktív bomlást. Ilyenkor az adott anyag biológiai felezési idején azt az időt értjük, ami alatt a radioaktív anyag (illetve bomlástermékének) mennyisége az emberi testben a természetes anyagcsere-folyamatok hatására a felére csökken. Természetesen a biológiai kiürülés a radioaktív bomlástól függetlenül, azzal időben párhuzamosan zajlik, azaz a radioaktív atommagok egy része elhagyja a szervezetet, akár elbomlott, akár nem. Tegyük fel, hogy egy vizsgálat céljából egy emberbe bevitt izotópmennyiség aktivitása a vizsgálat kezdetekor A_0 = 104 Bq. Az anyag radioaktív felezési ideje $T_{1/2}$ = 6 óra, biológiai felezési ideje a páciensben pedig T_{biol} = 12 óra.**

a) Mennyi lesz a páciensben maradó izotópok aktivitása a vizsgálat kezdete után 12 órával?

b) Mennyi idő alatt csökkenne ugyanerre az értékre a páciensben lévő izotópok aktivitása, ha az izotóp nem ürülne ki a szervezetből, azaz nem volna biológiai felezési idő?

c) A vizsgálat kezdetekor a tartóedényben lévő izotópoknak csak a 80%-át vitték be a páciensbe, a maradék az edényben maradt. Mennyi idő elteltével lesz ugyanakkora az edényben maradt mennyiség aktivitása, mint a páciensben maradó mennyiség aktivitása?

(2013. május id.)

Megoldás:

Adatok: $A_0 = 10^4$ Bq, $T_{1/2}$ = 6 óra, T_{biol} = 12 óra

a) A páciensben maradó izotópok aktivitásának meghatározása:

6 pont
(bontható)

Mivel a 12 óra éppen a biológiai felezési idő, az izotópok fele kiürül a szervezetből (2 pont). A bentmaradó hányad a radioaktív bomlástörvény szerint bomlik. Mivel az adott időtartam a felezési idő kétszerese, az eredeti mennyiség negyede marad csak meg (2 pont). Így összességében az izotópoknak csak 1/8-a marad meg, tehát a keresett aktivitás

$A = A_0/8 = 1{,}25\cdot10^3$ Bq (2 pont).

A választ nem feltétlenül szükséges szövegesen megfogalmazni; egy, a lényeget kifejező formula is elfogadható teljes értékű válaszként, pl.:

$$A = A_0\cdot\frac{1}{2}\cdot\left(\frac{1}{2}\right)^2 = A_0\cdot\frac{1}{8} = 1{,}25\cdot10^3\ \text{Bq}\ .$$

b) Az adott aktivitáscsökkenéshez szükséges idő meghatározása :

2 pont
(bontható)

Mivel $\frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^3$ (1 pont), pusztán a radioaktív bomlás miatt a szükséges idő $t = 3T_{1/2}$ = 18 óra (1 pont).

c) Annak az időpontnak a meghatározása, amelynél a páciensben maradó izotópok, illetve az edényben maradó izotópok aktivitása megegyezik:

4 pont
(bontható)

A páciensbe került, illetve az edényben maradt izotópmennyiség aránya 4:1 (1 pont). Mivel a két mennyiség a radioaktív bomlás hatására ugyanúgy bomlik (1 pont), akkor lesz az aktivitásuk egyforma, ha a páciensbe került mennyiség a biológiai ürülés miatt a negyedére csökken (1 pont), azaz $2T_{biol}$ = 24 óra (1 pont) elteltével.

Összesen **12 pont**

8. Egy atomerőműből származó hulladékban kétféle radioaktív izotóp található. Az egyik izotóp felezési ideje két hónap, a másik izotópé pedig négy hónap. A hulladék aktivitása négy hónap alatt 3/8 részére csökkent.
a) Mennyi volt a két izotóp aktivitásának aránya az eredeti hulladékban?
b) Mennyi lesz a hulladék aktivitása a kezdő értékhez viszonyítva újabb 4 hónap múlva?
c) Melyik izotóp atommagjaiból volt kezdetben több a hulladékban?
(2013. október)
Megoldás:

Adatok: $T_1 = 2$ hónap, $T_2 = 4$ hónap

a) *A kétféle aktivitás viszonyának felírása és kiszámítása a kezdeti időpontban:*

5 pont (bontható)

Például:

$A_1' = \frac{A_1}{4}$, illetve $A_2' = \frac{A_2}{2}$ (1 + 1 pont),

$A_1' + A_2' = \frac{3}{8}(A_1 + A_2)$ (1 pont),

$\frac{A_1}{4} + \frac{A_2}{2} = \frac{3A_1}{8} + \frac{3A_2}{8}$ (1 pont),

$A_1 = A_2$ (1 pont).

b) *A minta aktivitásának kiszámítása újabb négy hónap elteltével:*

5 pont (bontható)

Például:

$A_1'' = \frac{A_1'}{4}$, illetve $A_2'' = \frac{A_2'}{2}$ (1 pont),

$A_1'' = \frac{A_1}{16}$, illetve $A_2'' = \frac{A_2}{4}$ (1 pont).

$\frac{A_1'' + A_2''}{A_1 + A_2} = \frac{\frac{A_1 + 4A_2}{16}}{A_1 + A_2}$ (1 pont),

$\frac{A_1'' + A_2''}{A_1 + A_2} = \frac{5}{32} = 0{,}156$. (Rendezés és számítás, 1 + 1 pont).

c) *A válasz megadása, indoklás:*

2 pont bontható

Abból az izotópból volt több, amelyiknek a felezési ideje hosszabb. (1 pont)

A hosszabb felezési idejű izotóp lassabban bomlik, így nagyobb számú atommagja biztosít ugyanakkora aktivitást, mint a rövidebb felezési idejű izotóp aktivitása. (1 pont)

Összesen: 12 pont

9. Egy konténerbe 1 mól, 30 nap felezési idejű radioaktív izotópot helyez egy robot. 30 nap múlva kinyitja a konténert, és még 1 mól, az előzővel azonos izotópot helyez az előző minta mellé, majd lezárja a konténert.
a) Ettől kezdve mennyi idő telik el, míg a konténerben ismét 1 mól lesz az eredeti izotóp mennyisége?
b) A minta kezdeti aktivitása $1{,}6\cdot 10^{17}$ Bq volt. Mekkora volt a konténer tartalmának aktivitása 30 nap elteltével, az újabb minta behelyezése előtt és után, illetve akkor, amikor visszacsökkent a radioaktív atommagok száma 1 mólra? (2013. május)

Megoldás:

Adatok: $T = 30$ nap, $t_1 = 30$ nap, $n_0 = 1$ mól

a) A bomlástörvény felírása a konténer második lezárását követő időszakra:

3 pont (bontható)

Mivel a konténert másodszorra éppen az első minta behelyezése után 30 nappal zárta le a robot, ekkor az eredeti minta fele elbomlott (1 pont), de mivel újabb mólnyi anyag került a konténerbe, abban összesen $\frac{3}{2}$ mól (1 pont) radioaktív mag található.

A bomlástörvény általános alakja $N_t = N_0 \cdot 2^{\frac{-t}{T_{1/2}}}$ (1 pont).

A keresett idő meghatározása:

6 pont (bontható)

Alkalmazva a bomlástörvényt a konkrét esetre

$n_0 = \frac{3}{2} n_0 \cdot 2^{\frac{-t}{30\,\text{nap}}}$ (2 pont)

$\frac{2}{3} = 2^{\frac{-t}{30\,\text{nap}}}$ (1 pont)

Az egyenlet megoldása:

$-\frac{t}{30\,\text{nap}} = \log_2 \frac{2}{3} = \frac{\lg \frac{2}{3}}{\lg 2}$, amiből $t \approx 17{,}5$ nap (3 pont).

b) Az aktivitás alakulása:

3 pont (bontható)

Az aktivitás arányos az (bomlásra kész) izotópok számával (1 pont). Így a kezdeti aktivitás 30 nap alatt a felére csökken: $0{,}8\cdot 10^{17}$ Bq (1 pont).
Az újabb mólnyi izotóp hozzáadásával az aktivitás az eredeti 1,5-szeresére nő: $2{,}4\cdot 10^{17}$ Bq, majd a folyamat végére, $t \approx 47{,}5$ nap múlva visszaáll a kezdeti értékre: $1{,}6\cdot 10^{17}$ Bq (1 pont).

Összesen: 12 pont

10. Egy $^{235}_{92}\mathrm{U}$ (urán) atommag egy termikus neutronnal találkozik, és a reakció során $^{94}_{38}\mathrm{Sr}$ (stroncium) és $^{140}_{54}\mathrm{Xe}$ (xenon) atommagokra, valamint neutronokra hasad szét.

a) Írja föl a folyamatot, figyeljen a rendszámok és tömegszámok megadására is!

b) Mekkora energia szabadul fel egy ilyen hasadás során? (Az urán és a maghasadást kiváltó termikus neutron mozgási energiája elhanyagolhatóan kicsi.)

c) Hány gramm uránnak kell ilyen módon elhasadnia, hogy 1 MJ energia szabaduljon fel?

(m_{Xe} = 139,922 u, m_{Sr} = 93,915 u, m_U = 235,044 u, m_n = 1,009 u, ahol u az atomi tömegegységet jelenti, $1\ \mathrm{u} = 1{,}661\cdot10^{-27}\ \mathrm{kg}$, $c = 2{,}998\cdot10^{8}\ \dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$.)

(2015. május)

Megoldás:

Adatok: m_{Xe} = 139,922 u, m_{Sr} = 93,915 u, m_U = 235,044 u, m_n = 1.009 u, $1\ \mathrm{u} = 1{,}661\cdot10^{-27}\ \mathrm{kg}$, $c = 2{,}988\cdot10^{8}\ \dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$.

a) *A reakcióegyenlet felírása:*

6 pont
(bontható)

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{140}_{54}Xe + ^{94}_{38}Sr + 2^{1}_{0}n$$

Minden helyesen felírt tag 1 pont, összesen 5 pont. Az egyenlet helyes felírása 1 pont.
Nem számít hibának, ha a neutronoknál a rendszám jelölése hiányzik.

b) *A reakció során létrejövő tömegváltozás felírása és kiszámítása:*

1 + 1 pont

$$\Delta m = m_n + m_U - m_{Xe} - m_{Sr} - 2\cdot m_n = 0{,}198\ \mathrm{u} = 3{,}289\cdot10^{-28}\ \mathrm{kg}$$

A reakció során felszabaduló energia felírása és kiszámítása:

1 + 1 pont

$$E = \Delta m\cdot c^2 = 2{,}96\cdot10^{-11}\ \mathrm{J}$$

c) *Az 1 MJ energia felszabadulásához szükséges uránmennyiség tömegének kiszámítása:*

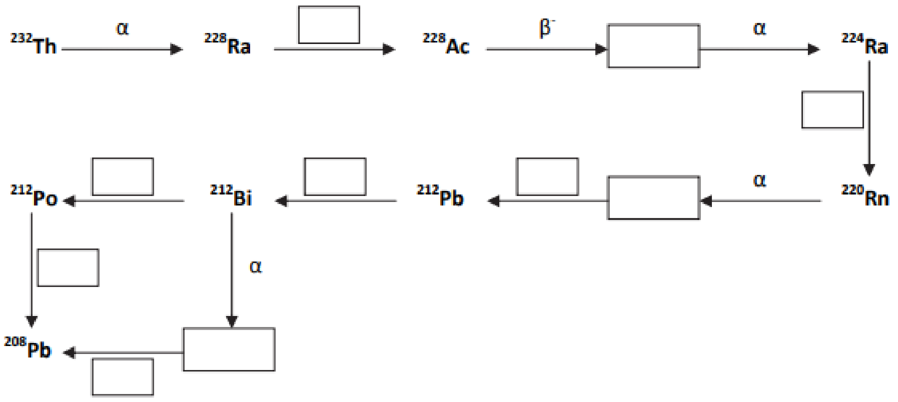
3 pont
(bontható)

Mivel a szükséges reakciók száma $N = \dfrac{1\ \mathrm{MJ}}{E} = \dfrac{1\ \mathrm{MJ}}{2{,}96\cdot10^{-11}\ \mathrm{J}} = 3{,}378\cdot10^{16}$ (1 pont),

az elhasadó urán tömege:
$m = N\cdot m_U = 3{,}378\cdot10^{16}\cdot235{,}044\cdot1{,}661\cdot10^{-27}\ \mathrm{kg} = 1{,}319\cdot10^{-5}\ \mathrm{g}$ (2 pont).

Összesen: 13 pont

11. Az ábrán a tórium 232-es izotópjának radioaktív bomlási sora látható – kissé hiányosan. A nyilak jelzik az egyes átalakulásokat. A nyilak fölötti (melletti) betű jelzi, hogy milyen bomlás történt.



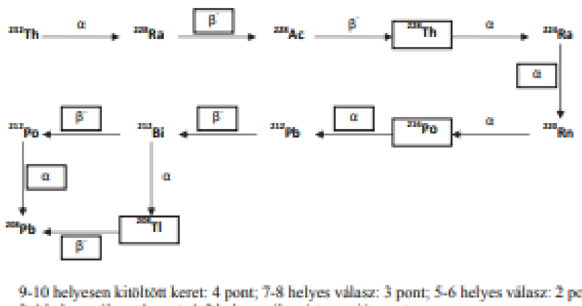
a) Milyen izotópok, illetve bomlástípusok szerepelnek az üres kerettel jelzett helyeken? A keretekbe írt adatokkal egészítse ki az ábrát!
b) Hányszor fordul elő a bomlássorozat folyamán, hogy olyan elem izotópja alakul ki egy bomlás után, amely korábban már szerepelt a bomlási sorban? Melyek ezek?
c) A tóriumatommag a bomlási sor végére ólomatommaggá alakul, miközben α- és β- részecskéket bocsát ki. Mennyivel kisebb az ólomatommag és a kibocsátott részecskék össztömege, mint a tóriumatommag kezdeti tömege? Hány joule energia szabadul föl, míg egy tóriumatommag ólomatommaggá alakul át?
(2015. május id.)

Megoldás:

Adatok: $M_{232Th} = 232{,}04 \cdot u$, $M_{208Pb} = 207{,}98 \cdot u$, $M_{\alpha} = 4 \cdot u$, $M_{e} = 5{,}49 \cdot 10^{-4} \cdot u$,
$1\ u = 1{,}6605 \cdot 10^{-27}$ kg

a) Az adatok pótlása az ábrán:

4 pont
(bontható)



9-10 helyesen kitöltött keret: 4 pont; 7-8 helyes válasz: 3 pont; 5-6 helyes válasz: 2 pont; 3-4 helyes válasz: 1 pont; 1-2 helyes válaszért nem jár pont.

b) Azon elemek megnevezése, amelyek kétszer szerepelnek a bomlási sorban:

2 pont
(bontható)

A bomlási sorban kétszer szerepel a Th (tórium), a Ra (rádium), a Po (polónium) és a Pb (ólom). 4 helyes válasz 2 pontot ér, 2-3 helyes válasz 1 pontot, egyetlen helyes válaszért nem jár pont.

c) A tömeghiány és az annak megfelelő energia felírása és kiszámítása:

6 pont
(bontható)

$\Delta M = M_{232Th} - M_{208Pb} - 6 \cdot M_{\alpha} - 4 \cdot M_{\beta} = 0{,}0578 \cdot u = 9{,}598 \cdot 10^{-29}$ kg
(képlet + számítás: 3 + 1 pont).
Amennyiben a vizsgázó a képletben szereplő α- és/vagy β- részecskék számát helytelenül számolja ki, 1 pontot kell levonni.

$E = \Delta M \cdot c^2 = 8{,}63 \cdot 10^{-12}$ J (képlet + számítás: 1 + 1 pont)

Összesen: 12 pont

12. **Az ^{235}U- és ^{238}U-izotópok egy körülbelül 6 milliárd évvel ezelőtti szupernóva-robbanásban keletkeztek, majd a bolygókeletkezés során a Föld anyagába beépültek. Jelenleg a Földön található uránnak 99,28%-a 238U-izotóp, és csak 0,72%-a ^{235}U-izotóp. Mindkét izotóp radioaktív, felezési idejük T_{235} = 704 millió év, illetve T_{238} = 4,47 milliárd év.**
   a) Hány százaléka maradt meg a Földön a 6 milliárd évvel ezelőtti szupernóvarobbanásban keletkezett ^{235}U-izotópnak és ^{238}U-izotópnak?
   b) Körülbelül mennyi volt a két izotóp aránya a keletkezésükkor? Miért ennyire kicsi az ^{235}U részaránya ma?
   (2017. május)

Megoldás:

Adatok: $T_{238} = 4{,}47\cdot 10^9$ év, $T_{235} = 704\cdot 10^6$ év, 99,28%, 0,72%, $t = 6\cdot 10^9$ év.

a) A bomlástörvény felírása az izotópok számának változására és a megmaradt izotópok arányának meghatározása:

5 pont
(bontható)

Mivel $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$ (1 pont), ezért:

^{235}U: $\frac{N_{235}}{N_0} = 2^{-\frac{6}{0,704}} = 2{,}7 \cdot 10^{-3}$, azaz 0,27%-a maradt meg .

(Képlet + számítás, 1 + 1 pont.)

^{238}U : $\frac{N_{238}}{N_0'} = 2^{-\frac{6}{4,47}} = 0{,}394$, azaz 39,4% - a maradt meg.

(Képlet + számítás, 1 + 1 pont.)

b) Az izotópok kezdeti arányának meghatározása:

5 pont
(bontható)

A mai izotóparány: $\frac{N_{238}}{N_{235}} = \frac{99,28}{0,72}$ (1 pont).

A mai arányt az eredeti izotópmennyiségekkel felírva:

$$\frac{N_0' \cdot 2^{-\frac{t}{T_{238}}}}{N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{235}}}} = \frac{99,28}{0,72} \text{ (2 pont),}$$

amiből az eredeti arányra:

$\frac{N_0'}{N_0} = 0{,}95$ (illetve $\frac{N_0}{N_0'} = 1{,}05$) adódik, azaz körülbelül egyenlő arányban keletkeztek.

(2 pont)

Az ^{235}U izotóp mai alacsony arányának indoklása:

2 pont

A ^{235}U-izotóp felezési ideje jóval kisebb, így sokkal nagyobb része bomlott el, mint az ^{238}U-izotópnak.

Összesen: 12 pont

13. Mérések szerint a 16-os oxigénizotóp atommagjának tömege $2{,}656 \cdot 10^{-26}$ kg. A 4-es héliumizotóp atommagjának tömege $6{,}645 \cdot 10^{-27}$ kg.

a) Számolja ki és hasonlítsa össze a két atommag egy nukleonra jutó kötési energiájának abszolút értékét! Mire lehet következtetni a különbségből a magátalakulások szempontjából?

b) Adja meg a hélium- és az oxigénatom elektronszerkezetét!

c) Az elektronszerkezet alapján indokolja meg, hogy az oxigén miért alkot kétatomos molekulákat, míg a hélium atomi állapotban van!

(A proton tömege $m_p = 1{,}6726 \cdot 10^{-27}$ kg, a neutroné $m_n = 1{,}675 \cdot 10^{-27}$ kg, $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.)

(2018. május)

Megoldás: (13 pont)

Adatok: $m_p = 1{,}6726 \cdot 10^{-27}$ kg, $m_n = 1{,}675 \cdot 10^{-27}$ kg, $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $M_O = 2{,}656 \cdot 10^{-26}$ kg, $M_{He} = 6{,}645 \cdot 10^{-27}$ kg.

a) A tömegdefektus definíciója, illetve tömeg-energia ekvivalencia felírása a kötési energia meghatározására:

3 pont (bontható)

$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - M$ általános esetben, vagy pl. a héliummag esetére

$\Delta m = 2 \cdot m_p + 2 \cdot m_n - M_{He}$ (bármelyik helyes felírás elfogadható, általánosan vagy valamelyik konkrét atommag esetén) (2 pont).

$E_{köt} = \Delta m \cdot c^2$ (1 pont). ($E_{köt}$ a kötési energia abszolút értékét jelöli.)

Az egy nukleonra jutó kötési energia meghatározása a hélium, illetve az oxigén esetén:

2 + 2 pont (bontható)

$$\frac{E_{köt}^{He}}{A} = \frac{(2m_p + 2m_n - M_{He}) \cdot c^2}{A_{He}} \approx 1{,}125 \cdot 10^{-12}\ \text{J},$$

$$\frac{E_{köt}^{O}}{A} = \frac{(8m_p + 8m_n - M_O) \cdot c^2}{A_O} \approx 1{,}25 \cdot 10^{-12}\ \text{J}.$$

A magátalakulásokra vonatkozó következtetés levonása:

2 pont

Az oxigén egy nukleonra jutó kötési energiája nagyobb, tehát az oxigénatommag stabilabb.

b) A hélium és az oxigén elektronszerkezetének felírása:

1 + 1 pont

A hélium elektronszerkezete: ***1s2*** (1 pont).
Az oxigén elektronszerkezete: ***1s2, 2s2, 2p4*** (1 pont).

c) Az atomos és molekuláris szerkezet magyarázata:

1 + 1 pont

A hélium teljesen betöltött energiaszintekkel rendelkezik (zárt elektronhéj) (1 pont), míg az oxigén 2p héja csak részben van betöltve (1 pont).

Összesen: 13 pont

14. Egy atomerőműből származó hulladékban három különböző, A, B, illetve C jelű radioaktív izotóp található, a felezési idejük T_A = 1000 év, T_B = 2000 év, illetve T_C = 10000 év. Az egyes izotópok aktivitása a mintában $A_A = 6\cdot10^7$ Bq, $A_B = 2\cdot10^6$ Bq, $A_C = 1{,}2\cdot10^5$ Bq. A hulladékot biztonságos helyen kell tárolni, amíg mindegyik izotópfajta aktivitása külön-külön 4 Bq alá nem csökken.
a) Mennyi lesz a hulladékban található egyes izotópok aktivitása 10 000 év elteltével?
b) Körülbelül meddig kell biztonságos helyen tárolni a hulladékot? Melyik izotóp miatt?
(2016. május id.)

Megoldás:

Adatok: T_A = 1000 év, T_B = 2000 év, T_C = 10000 év, $A_A = 6\cdot10^7$ Bq, $A_B = 2\cdot10^6$ Bq, $A_C = 1{,}2\cdot10^5$ Bq, $A_{küszöb}$ = 4 Bq, t = 10000 év.

a) *Az aktivitások meghatározása 10000 év elteltével:*

5 pont (bontható)

Mivel $A' = \frac{A}{2^{t/T}}$ (2 pont), ezért:

$A_A' = \frac{A_A}{2^{10}} = 5{,}86\cdot10^4$ Bq (1 pont),

$A_B' = \frac{A_B}{2^5} = 6{,}25\cdot10^4$ Bq (1 pont),

$A_C' = \frac{A_C}{2} = 6\cdot10^4$ Bq (1 pont).

(A törvény általános alakját nem szükséges felírni. Amennyiben a vizsgázó ennek megfelelően számol, a teljes pontszám jár.)

b) *Azoknak az időintervallumoknak a meghatározása, amelyek alatt az egyes izotópok aktivitása a küszöbaktivitás alá csökken:*

5 pont (bontható)

Mindegyik izotópra a 4 Bq $\geq A'' = \frac{A}{2^n}$ (2 pont) összefüggés segítségével kell meghatározni, hogy a felezési idő hányszorosa kell elteljen, amíg az aktivitás 4 Bq alá csökken. Így:

$n_A = 24 \rightarrow t_A$ = 24000 év (1 pont),
$n_B = 19 \rightarrow t_B$ = 38000 év (1 pont),
$n_C = 15 \rightarrow t_C$ = 150000 év (1 pont).

(Elegendő a felezési idő legkisebb egész számú többszörösét megadni, a logaritmus-számítással meghatározható pontos időket nem szükséges meghatározni.)

A szükséges tárolási idő meghatározása és az ezt szükségessé tevő izotóp megnevezése:

1 + 1 pont

A C jelű izotóp miatt körülbelül 150000 évig biztonságos helyen kell tárolni a hulladékot.

Összesen: 12 pont

15. **A hagyományos atomerőművekben az urán 235-ös tömegszámú izotópjának hasításával szabadítunk fel energiát. Az egyik legtipikusabb (de nem kizárólagos) hasadási folyamat során az uránmag egy neutron hatására 137-es tömegszámú cézium és 96-os tömegszámú rubídium magokká hasad. A folyamatban 173 MeV energia szabadul fel.**
a) Írja fel a hasadás reakcióegyenletét!
b) Hány gramm uránatommag hasadása szabadít fel 1 kJ energiát?
c) A keletkezett cézium radioaktív, felezési ideje kb. 30 év. Számítsa ki, hogy hány év alatt csökken a cézium aktivitása a kezdeti érték 1%-ára! Az ^{235}U-mag tömege M_U = 235,04 u, ahol u = 1,6605·10^{-27} kg az atomi tömegegység.
(2020. május II.)

Megoldás: (14 pont)

Adatok: E = 1 kJ, E_{hasad} = 173 MeV, u = 1,6605·10^{-27} kg, M_U = 235,04 u, T = 30 év.

a) *A reakcióegyenlet felírása:*

5 pont
(bontható)

$${}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{235}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{96}_{37}\mathrm{Rb} + {}^{137}_{55}\mathrm{Cs} + 3\,{}^{1}_{0}\mathrm{n}\,.$$

(Az egyenlet minden tagjának helyes feltüntetése 1 pontot ér. Az izotópok jelölése csak rend- és tömegszámmal együtt fogadható el, a neutronok esetében azonban ezen számok elhagyása nem számít hibának.)

b) *Az 1 kJ energia felszabadításához szükséges urán tömegének meghatározása:*

4 pont
(bontható)

Az 1 kJ felszabadításához szükséges hasadások száma:

$N = \dfrac{E}{E_{hasad}} = \dfrac{1\cdot 10^{3}}{173\cdot 10^{6}\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}} = 3{,}6127\cdot 10^{13}$ db (képlet + számítás, 1 + 1 pont),

amiből $m = N\cdot M_U\cdot u = 3{,}6127\cdot 10^{13}\cdot 235{,}04\cdot 1{,}6605\cdot 10^{-27} = 1{,}41\cdot 10^{-8}$ g
(képlet + számítás, 1 + 1 pont).

c) *Az aktivitáscsökkenéshez szükséges idő meghatározása:*

5 pont
(bontható)

Mivel $2^{-\frac{t}{T}} = 0{,}01$ (2 pont),

$-\dfrac{t}{T} = \log_2 0{,}01 = -6{,}6439$ (rendezés + számítás, 1 + 1 pont),

amiből $t \approx 200$ év (1 pont).

(Amennyiben a vizsgázó $2^7 = 128$ miatt $t = 7\cdot T = 210$ évet ad meg, teljes pontszám jár.)

Összesen: 14 pont

16. **Egy radioaktív hulladékot tartalmazó tartályban 2 év felezési idejű izotóp van, amely 2 MeV energiájú alfa-részecskéket bocsát ki bomlása során. A bomló atommagok által kibocsátott részecskék energiája a tartály vastag falában nyelődik el, a hulladék kezdetben 200 W teljesítménnyel fűti a tartályt. Hogy a tároló hőmérséklete állandó maradjon, egy hűtőrendszernek percenként 0,5 l hűtővizet kell pumpálnia a tároló falában lévő csöveken keresztül, az adott fűtőteljesítmény mellett.**
a) Kezdetben hány radioaktív bomlás történik a tartályban másodpercenként?
b) Hány fokkal nő meg a hűtővíz hőmérséklete, amíg a hűtőrendszeren átfolyik?
c) Hány év elteltével csökken az izotóp fűtőteljesítménye 25 W-ra?

(A víz fajhője c = 4183 J/kg·C°, sűrűsége ρ = 1 kg/l, az elemi töltés e = $1{,}6\cdot10^{-19}$ C, 1 eV = $1{,}6\cdot10^{-19}$ J. Feltehetjük, hogy a fal hőmérséklete állandó és a falban elnyelődött energia mind a hűtővíz felmelegítésére fordítódik, az egyéb hőveszteség elhanyagolható.)
(2021. október)

Megoldás: (12 pont)

Adatok: $T_{1/2}$ = 2 év, E_α = 2 MeV, P = 200 W, V = 0,5 l, c = 4183 J/kg·°C, ρ = 1 kg/l, $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ C.

a) A tartályban másodpercenként történő bomlások számának meghatározása:

4 pont (bontható)

$$N=\frac{P}{E_\alpha}=\frac{200\ \text{W}}{2\cdot10^{6}\ \frac{\text{MeV}}{\text{db}}\cdot1{,}6\cdot10^{-19}\ \frac{\text{J}}{\text{MeV}}}=6{,}25\cdot10^{14}\ \text{db/s}$$

(képlet + adatok behelyettesítése + számítás, 2 + 1 + 1 pont)

b) A hűtővíz hőmérséklet-emelkedésének meghatározása:

5 pont (bontható)

Mivel az egyéb hőveszteség elhanyagolható, t = 1 perc alatt:

$$P\cdot t=c\cdot V\cdot\rho\cdot\Delta t\Rightarrow\Delta t=\frac{P\cdot t}{c\cdot V\cdot\rho}=\frac{200\ \text{W}\cdot60\ \text{s}}{4183\ \frac{\text{J}}{\text{kg°C}}\cdot0{,}5\ \text{l}\cdot1\ \frac{\text{kg}}{\text{l}}}=5{,}74\ \text{°C}$$

(képlet + rendezés + adatok behelyettesítése + számolás, 2 + 1 + 1 + 1 pont).

c) A teljesítménycsökkenéshez szükséges idő meghatározása:

3 pont (bontható)

Mivel $200\ \text{W}\cdot\frac{1}{2^3}=25\ \text{W}$ (1 pont),
$t_2=3\cdot T_{1/2}$ (1 pont),
Tehát t_2 = 6 év elteltével csökken 25 W-ra a teljesítmény. (1 pont).

Összesen: 12 pont

17.

A 2004-ben elnevezett röntgenium $^{272}_{111}\mathrm{Rg}$ izotópját először 1994-ben tudták előállítani $^{64}_{28}\mathrm{Ni}$ és $^{209}_{83}\mathrm{Bi}$ ütköztetésével. Részecskegyorsító segítségével a kétszeresen pozitív töltésű nikkelionokat $3\cdot 10^{7}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ sebességre gyorsítva tudták a bizmutizotóp atommagjának „lőni" úgy, hogy a két atommagból létrejöjjön az új elem.

a) Mekkora gyorsítófeszültség segítségével lehet az említett nikkelionokat a kívánt sebességre gyorsítani?
b) Írja fel a feladatban szereplő magreakció egyenletét!
c) Mekkora az új atommag kötési energiájának abszolút értéke?

(A $^{272}_{111}\mathrm{Rg}$ atomtömege 272,1532 u, ahol „u" az atomi tömegegység: u = 1,6605 · 10^{-27} kg.

A $^{64}_{28}\mathrm{Ni}$ atomtömege 63,928 u, a proton tömege m_p = 1,6726· 10^{-27} kg, a neutroné

m_n = 1,6749· 10^{-27} kg, az elemi töltés e = 1,6022·10^{-19} C, c = 2,9979·10^{8} m/s.)

(2022. május)

Megoldás: (12 pont)

Adatok: $v = 3\cdot 10^7$ m/s, M_R = 272,1532 u, M_{Ni} = 63,928 u, u = 1,6605·10^{-27} kg,
m_p = 1,6726·10^{-27} kg, m_n = 1,6749·10^{-27} kg, c = 2,9979·10^8 m/s, e = 1,6·10^{-19} C.

a) A keresett gyorsítófeszültség meghatározása:

4 pont (bontható)

$$2\cdot e\cdot U = \frac{1}{2}M_{\mathrm{Ni}}\cdot v^2 \Rightarrow U = \frac{1}{4}\frac{M_{\mathrm{Ni}}\cdot v^2}{e} = 149\cdot 10^6\ \mathrm{V} \approx 150\ \mathrm{MV}$$

(képlet + adatok behelyettesítése + számítás, 2 + 1 + 1 pont)

b) A reakcióegyenlet felírása:

2 pont

$$^{209}_{83}\mathrm{Bi} + {}^{64}_{28}\mathrm{Ni} \rightarrow {}^{272}_{111}\mathrm{Rg} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

Az egyenlet csak a tömegszámok és rendszámok jelölésével és a keletkező neutron feltüntetésével fogadható el. A rendszám/tömegszám jelölésének hiánya a neutronon nem számít hibának.

c) A kötési energia meghatározása:

6 pont (bontható)

Mivel a tömegdefektus:

$$\Delta m = 111\cdot m_p + 161\cdot m_n - M_R = 3{,}4071\cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg}$$

(képlet + adatok behelyettesítése + számítás, 1 + 1 + 1 pont)

Így a kötési energia:

$$|E_{\text{köt}}| = \Delta m\cdot c^2 = 3{,}0621\cdot 10^{-10}\ \mathrm{J}\ (= 1{,}91\ \mathrm{GeV})$$

(képlet + adatok behelyettesítése + számítás, 1 + 1 + 1 pont)

Összesen: 12 pont