

Országos Szilárd Leó Fizikaverseny – Döntő 2022.

I. (Senior) kategória 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, telekommunikációs eszközök nem. Rendelkezésre álló idő: 180 perc.

1. Feladat:

(kitűzte: Sükösd Csaba || Mindenkinek)

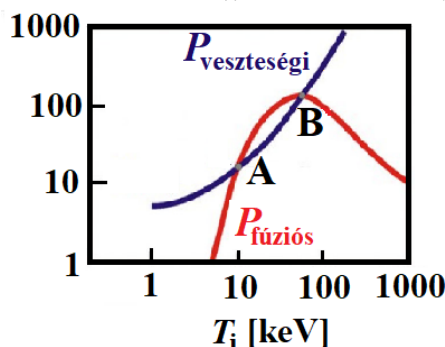
Az orosz-ukrán háború során a sérült csernobili atomerőmű környezetéből megnövekedett dózisteljesítményt jelentettek. Egyesek szerint emiatt jódtablettákat kellene szedni.

- Miért javasolják a hatóságok jódtabletta szedését atomerőmű-baleset környezetében?
- Valóban ajánlott-e a 2022-ben Csernobil környékén megemelkedett dózisteljesítmény miatt jódtablettákat szedni? A választ indokoljuk!

2. Feladat:

(kitűzte: Sükösd Csaba || Mindenkinek)

Egy fúziós reaktorban a magas hőmérsékletű deutérium-trícium plazma hősugárzással (és más módon is) veszít energiát. A plazmát fűtő fúziós reakciók teljesítménye is függ a hőmérséklettől. E két teljesítmény hőmérsékletfüggését mutatja a mellékelt ábra. A vízszintes tengelyen a hőmozgás átlagos mozgási energiája van, a függőleges tengely a teljesítménnyel arányos. Az ábra tengelyei logaritmikusak.



- Hány Kelvin a plazma hőmérséklete az A pontban?
- A plazma hőmérséklete akkor állandó, ha a veszteségi és fűtési teljesítmény egyenlő. Az egyensúly az A és a B pontban is fennáll, de csak az egyik pontban stabil a plazma hőmérséklete. Vajon melyikben és miért?

3. Feladat:

(kitűzte: Radnóti K., Sükösd Cs. & Halász M. || Mindenkinek)

A jó neutronelnyelő anyagok fékezik, sőt le is állíthatják a láncreakciót. Ezen az alapon működnek a mozgatható szabályozó rudak is, vagy a reaktor hűtővizébe kevert bórsav. A Paksi Atomerőműben újabban olyan üzemanyag-kazettákat használnak friss üzemanyagként, amelynek néhány pálcájába jó neutronelnyelő gadolíniumot is belekevertek.

- Vajon mi értelme van az üzemanyaghoz láncreakciót fékező anyagot keverni, ha a szabályozó kazettákkal ellentétben nem tudjuk őket mozgatni?
- Van-e olyan, jó neutronelnyelő izotóp, amely az atomerőmű működése során keletkezik?

4. Feladat:

(kitűzte: Szűcs József || Mindenkinek)

Marx György (1927 – 2002), az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny alapítójának emlékére.

- Magyarázzuk meg a Marx György által felvetett kérdést: miért nem sérül az energiamegmaradás törvénye a trícium radioaktív bomlásánál, hiszen a keletkező ${}^3_2\text{He}$ mag gyengébben kötött, mint a kezdeti ${}^3_1\text{H}$ mag volt, és még szabad elektron is keletkezik $E_\beta > 0$ mozgási energiával!
 - Mi okozhatja a ${}^3_2\text{He}$ mag ${}^3_1\text{H}$ magénál gyengébb kötését, ha mindkét magban 3-3 nukleon van?
- Adatok: $E_k({}^3_1\text{H}) = 1,334$ pJ, $E_k({}^3_2\text{He}) = 1,214$ pJ, $E_\beta^{\text{max}} = 18,6$ keV.

5. Feladat:

(kitűzte: Szűcs József és Halász Máté || Mindenkinek)

Az urán dúsítási szintjét annak Bq/mol-ban mért fajlagos aktivitásából kívánjuk meghatározni.

- Maximálisan hány-szorosára növelhető dúsítással a fajlagos aktivitás a természetes uránhoz képest?
- Adjuk meg a fajlagos aktivitás maximumát!

Adatok: Az ${}^{235}\text{U}$ felezési ideje 704 millió év, az ${}^{238}\text{U}$ izotópé 4,47 milliárd év. A természetes uránban az ${}^{235}\text{U}$ atomok számának aránya 0,7%, az ${}^{238}\text{U}$ atomok számának aránya 99,3%, valamint kis mennyiségben jelen van a ${}^{238}\text{U}$ bomlási sorából származó, vele szekuláris egyensúlyban lévő ${}^{234}\text{U}$ is. Vegyük figyelembe, hogy a ${}^{234}\text{U}$ és ${}^{235}\text{U}$ izotópok a dúsítás során együtt maradnak.

6. Feladat:

(kitűzte: Tarján Péter || Mindenkinek)

Csikai Gyula (1930 – 2021) debreceni fizikus emlékére.

Szalay Sándor és Csikai Gyula 1956-os kísérlete szolgáltatta az egyik első bizonyítékot a neutrínó létezésére. A kísérletben egy béta-bomlásból származó elektron és a leánymag nyomait figyelték meg ködkamrában. A ${}^6_3\text{He} \rightarrow {}^6_3\text{Li} + e^- + \bar{\nu}$ folyamatban keletkező Li mag és az elektron indulási irányait mutatja az ábra. (A bomlás előtt az anyamag állónak tekinthető.)



- Magyarázzuk meg, miért bizonyíték az ábrán látható ködkamra-kép arra, hogy egy harmadik részecske is keletkezik a bomlás során!
- Mekkora és milyen irányú lendületet visz el a keletkező antineutrínó, ha az elektron a bomlásban felszabaduló energia 40%-át, a Li mag pedig $1,5 \cdot 10^{-17}$ J-t visz el mozgási energiaként? (Tegyük fel, hogy a Li mag és az elektron kezdeti sebességei éppen merőlegesek egymásra. Válasszuk x tengelynek a leánymag, y tengelynek az elektron pályairányát!)

Adatok: az atommagok tömege $m_{\text{He}} = 9,9928 \cdot 10^{-27}$ kg, $m_{\text{Li}} = 9,9856 \cdot 10^{-27}$ kg, $m_e = 9,1094 \cdot 10^{-31}$ kg $\approx 0,511$ MeV/ c^2 . A Li magot kezelhetjük nemrelativisztikusan.

7. Feladat:

(kitűzte: Sükösd Csaba || Mindenkinek)

1991. október 15-én az USA-ban lévő Fly's Eye detektor észlelte az addigi legnagyobb energiájú $((3,2 \pm 0,9) \cdot 10^{20}$ eV) részecskét a kozmikus sugárzásban. Ezt a részecskét „Oh My God” (OMG) részecskének nevezték el, mivel észlelésekor a kutatók így kiáltottak fel meglepetésükben.

- Mekkora sebességű teniszlabdának (tömege kb. 57 g) van ekkora mozgási energiája?
- Tegyük fel, hogy az OMG részecske proton volt! Mennyivel térne el a sebessége a vákuumbeli fénysebességtől?
- Tegyük fel, hogy egy ilyen energiájú proton, és egy foton egyszerre indul el a Földről, ugyanabba az irányba. Mennyi idő múlva „maradna le” ez a proton 1 cm-rel a foton mögött a földi koordináta-rendszerben? (A földi koordináta-rendszert tekinthetjük inerciarendszernek.)

A proton nyugalmi tömege: $m_p = 0,938$ GeV/ c^2 . Útmutatás: a felmerülő numerikus probléma kikerüléséhez kihasználhatjuk a következő közelítést: $1 - (a/b)^2 \approx 2(1 - a/b)$, ha $a \approx b$.

8. Feladat:

(kitűzte: Veres Gábor || 2. (Junior) kategória)

Az LHC-ben a protonok energiája 7 TeV. Az alagút 27 km kerületű gyűrű. Milyen hosszúnak érzékelik a protonok ezt a kört? A proton tömege: $m_p = 0,938$ GeV/ c^2 .

9. Feladat:

(kitűzte: Szűcs József || 2. (Junior) kategória)

Gondolatban helyezzünk el az éjjeliszekrényünkre egy dobozban 1000 db ${}^{238}\text{U}$ uránatomot! Hányszor nagyobb annak a valószínűsége, hogy egy hat oldalú dobókockával egymás után 10-szer hatost dobunk, mint annak, hogy reggelre az uránatomok közül akár csak egy is elbomlik?

Adatok: az ${}^{238}\text{U}$ felezési ideje 4,47 milliárd év, az alvási időt vegyük 8 órának.

10. Feladat:

(kitűzte: Mester András és Tarján Péter || 2. (Junior) kategória)

Az EU-ban a legtöbb élelmiszert Belgiumban kezelik ionizáló sugárzással. A kezeléshez használt izotópok γ -fotonjainak energiája kb. 1,2 MeV.

- Miért kezelnek bizonyos élelmiszereket ionizáló sugárzással?
- Hány gray (Gy) az elnyelt dózis, ha 50 dkg csirkehús besugárzása esetén annak hőmérsékletemelkedése $1,2$ °C? ($c_{\text{csirke}} \approx 3370$ J/(kg · °C))
- Mennyi ideig tart a besugárzás, ha a γ -forrás aktivitása 420 TBq, és a kibocsátott energia 25%-a nyelődik el a húspanban?

11. Feladat:

(kitűzte: Radnóti Katalin || 1. (Senior). kategória)

Vegyünk egy, az 500 nm hullámhosszú (zöld színű) fény hullámhosszával megegyező sugarú gerjesztett hidrogénatomot.

- Ennek a hidrogénatomnak az elektronja mekkora főkvantumszámú pályán van a Bohr-modellben?
- Mekkora hullámhosszúságú fotonnal lehetne ezt az atomot ionizálni?
- Előfordulhat-e egy ekkora méretű hidrogénatom szobahőmérsékleten?

A feladatok a következő oldalon folytatódnak!

2/??

Adatok: $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js, $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s, az alapállapotú hidrogénatom sugara $r_0 \approx 0,05$ nm-rel közelíthető, energiája $-2,2$ aJ.

12. Feladat:

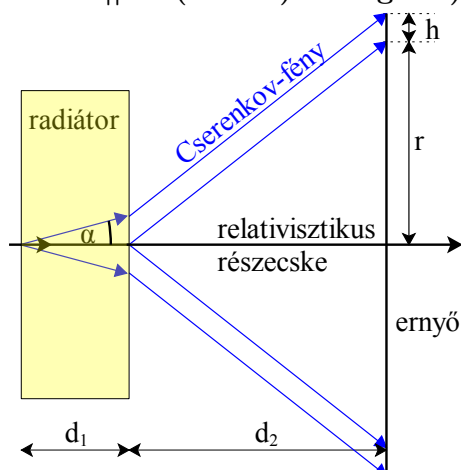
(kitűzte: Tarján Péter || 1. (Senior). kategória)

A részecskefizikai detektorrendszerek egyik hasznos összetevője a RICH (Ring Imaging CHerenkov) detektor. Ennek elve, hogy egy vékony átlátszó közegen (*radiátoron*) nagy sebességgel áthaladó töltött részecske Cserenkov-fényt kelt; ez a kúp alakban szétterjedő sugárzás egy távolabb elhelyezkedő ernyőn gyűrű alakú fényfoltot hoz létre. A fényt pozícióérzékeny elektronikus detektorokkal érzékeljük. Egy ilyen detektor vázlatát mutatja az ábra.

Egy nagy energiájú π^- áthaladásakor az ernyőn kapott fénygyűrű belső sugara $r = 118,2$ mm.

- Milyen vastag a fénygyűrű az ernyőn?
- Mekkora az átmenő töltött részecske lendülete?
- Egy adott típusú részecskénél vajon mi korlátozza a meghatározható legkisebb és legnagyobb lendületet?

Adatok: A radiátor törésmutatója $n = 1,2988$, $d_1 = 15$ mm, $d_2 = 80$ mm, $m_\pi = 0,1396$ GeV/ $c^2 = 2,489 \cdot 10^{-28}$ kg, a radiátor és az ernyő közötti közegnek tekintjük vákuumnak. A Cserenkov-sugárzás kibocsájtási szögére írhatjuk, hogy $\cos(\alpha) = c/(nv)$, ahol v a részecske sebessége, n a törésmutató és c a fénysebesség vákuumban.



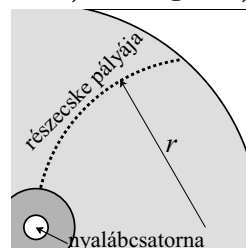
13. Feladat:

(kitűzte: Tarján Péter || 1. (Senior). kategória)

Vegyünk egy gyorsítót, ahol egymással szemben 1 GeV energiára gyorsított elektronokat és pozitronokat ütköztetünk. Az ütközés után keletkező töltött részecskéket egy ún. sokszálas proporcionális kamrával mérjük, amely a töltött részecskék lendületének mérésére alkalmas.

A detektor belsejében a homogén mágneses tér axiális irányú (az ábra síkjára merőleges) és nagysága $B = 2$ T. Egy észlelt, egyszeres elemi töltésű részecske pályasugara $r = 1,59$ m.

- Mekkora az észlelt részecske lendületének nyálábírányra merőleges összetevője?
- A lenti táblázatból adjuk meg az összes lehetséges részecskét, amihez ez a pálya tartozhat!



Jel	γ	ν_e	e^-	μ^-	π^0	π^-	K^-	p	n	τ^-
m_0 [MeV/ c^2]	0	$< 2,2 \cdot 10^{-6}$	0,511	105,7	135	139,6	493,7	938,3	939,6	1776,9