ORSZÁGOS
SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY
2005–2010

ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY
2005–2010

ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY 2005–2010

Feladatok és megoldások

Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány
Paks, 2011

Szerkesztette
SZŰCS JÓZSEF

Lektorálta
SÜKÖSD CSABA

Kiadásban közreműködött
CSAJÁGI SÁNDOR

A címlapon:
Marx György Vándordíj
A hátsó borítón
Paksi Disputa a Paksi Atomerőmű Látogatóközpontja előtt
Mindkettő Farkas Pál szobrászművész alkotása.

www.szilardverseny.hu
Felelős kiadó: Csajági Sándor
Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány, Paks kuratóriumának elnöke
Nyomdai előkészítés: Kármán Stúdió, *www.karman.hu*
Nyomta és kötötte: OOK-Press Kft., Veszprém, *www.ookpress.hu*
Felelős vezető: Szathmáry Attila

ISBN 978-963-08-1215-3

Tartalomjegyzék

Beköszöntő

Az olvasó a 2005 és 2010 között szervezett Országos Szilárd Leó Fizikaversenyek összefoglalóját tartja kezében. Ez a könyv egyenes folytatása a korábban megjelent kötetnek, amely e versenyek feladatait és tapasztalatait ismertette az 1998. évi első versenytől 2004-ig bezárólag.

A hazai köz- és felsőoktatásban sok minden változott a 2005–2010 közötti időszakban. A tankötelezettségi kor megemelésével jelentősen megnőtt a középiskolába kerülők száma, a felsőoktatásban pedig bevezetésre került a „Bologna-rendszer", a háromciklusú (alap-, mester- és doktori) képzés. Erre az időszakra esett a felvételi rendszer megváltozásának kiteljesedése is. Megszűnt a felsőoktatási intézmények – korábban sem túl széleskörű – beleszólása a felvett hallgatók kiválasztásába, annak a helyét az érettségi eredményei alapján szerzett merev pontrendszer, és a diákok – több felsőoktatási intézménybe való felvételt is megjelölhető – esetenkénti taktikázása került. Megszűnt az is, hogy az egyetemek dönthettek arról, milyen tanulmányi versenyek győzteseinek adhatnak felvételi kedvezményeket az egyes szakokra való felvétel során.

Mindezek a változások pozitívan és negatívan is hatottak a magyar köz- és felsőoktatásra, és természetesen befolyásolták az Országos Szilárd Leó Fizikaversenyek létét, súlyát és szerepét is.

A középiskolai diákok létszámemelkedésének pozitív hatása lehetett volna az, hogy nő a merítési lehetőség. Több gyerek között több a tehetséges gyerek is. Ugyanakkor a létszámemelkedés óhatatlanul a középiskolai oktatás színvonalának csökkenéséhez vezetett. Középiskolába kerültek olyan fegyelmezhetetlen, kezelhetetlen gyerekek is, akik korábban nem jutottak oda, és akik – a tanárkollégák beszámolói alapján – viselkedésükkel oly mértékben zavarták a tanítási órákat, hogy a többiek tanulását és előrehaladását is akadályozták. A természettudományos óraszámok – így a fizika óraszámai is – továbbra is nagyon alacsonyan maradtak. Nem történt meg az 1990-es évek drasztikus óraszám-csökkentésének korrekciója. 2010-ben egy átlagos diák általános és középiskolai tanulmányai során még mindig fele annyi órában tanulta a fizikát, mint amikor én jártam iskolába. A csökkenő óraszámok helyére belépő néhány új tárgy (például média, kommunikáció stb.) hamarosan nagyon „divatos" lett a diákok körében, mivel ezekben a tárgyakban sokkal kevesebb munkával és erőbedobással lehetett jó eredményeket elérni, mint a hagyományosan nehéz fizikában. A szakma többszöri sürgetése ellenére sem vezette be az oktatási kormányzat a kötelező természettudományos érettségit. Emiatt a diákok motivációja a természettudományos tárgyak iránt továbbra is alacsony szinten maradt.

Mindezek ahhoz vezettek, hogy a 2005–2010 közötti időszakban a középiskolákból kikerülő diákok természettudományos műveltsége soha nem látott mélypontra esett.

Az Országos Szilárd Leó Fizikaversenyt negatívan érintette az új felvételi rendszer merevsége is. Korábban a tudományegyetemek fizikus szakjain, illetve a Műegyetem mérnök-fizikus szakán az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny első 5 helyezettjének nem kellett felvételi vizsgát tennie fizikából. Öt egyetemi dékán egybehangzó írásbeli kérése ellenére sem járult hozzá az oktatási kormányzat ahhoz, hogy a Szilárd Verseny első öt helyezettje az új felvételi rendszerben kapjon felvételi pontkedvezményeket. Ugyanakkor a felsőoktatási intézmények – az őket gazdaságilag szorító „fejkvóta" rendszer, valamint a felvételbe való beleszólási jog megvonása miatt – kénytelenek voltak felvenni olyan diákokat is, akiknek az egyetemre való bekerülése korábban elképzelhetetlen lett volna.

A fejkvóta és a diákok megőrzése érdekében jobb sorsra érdemes egyetemi professzorok és docensek egyetemi felzárkóztató előadások keretében diákok ezrei számára próbáltak olyan alapfokú ismereteket megtanítani matematikából és fizikából, amelyeket a diákoknak már a középiskolában kellett volna megtanulniuk. Az egyetemeknek kellett megpróbálniuk bepótolni azokat a hiányokat, amelyek a középiskolai oktatásból fakadtak.

Mindenképpen sikernek tekinthető az, hogy e sok nagyon negatív – szinte már ellenséges – külső körülmény ellenére az Országos Szilárd Leó Fizikaversenynek sikerült talpon maradnia. Amikor a tanárokban és a diákokban tudatosult, hogy megszűntek a versennyel járó felvételi kedvezmények, visszaesett a versenyre való jelentkezések létszáma, ám azóta ez a létszám lényegében állandó. Minden évben 350–400 között van a versenyre benevezett tanulók száma.

A verseny döntőjén a diákokkal való találkozás mindig üde színfolt. Reményt és bíztatást ad, mert megmutatja, hogy szerencsére még mindig vannak tehetséges és okos diákok, akik a fizika és a természettudományok iránt érdeklődnek, és még mindig vannak áldozatkész és a tehetséggondozás iránt elkötelezett fizikatanárok, akik ezeket a tehetségeket felismerik, motiválják, és időt és energiát nem kímélve foglalkoznak velük, tanítják és nevelik őket.

Régi vágyam, hogy ezt a versenyt nemzetközi szintre emeljem, vonjam be más országok diákjait is. Ezt ez idáig nem sikerült megvalósítani. Jó hír, hogy az utóbbi években néhány erdélyi és szerbiai magyar nyelven tanító iskola is bekapcsolódott a versenybe. A döntőbe azonban sajnos nagyon kevesen jutottak el határainkon túlról. Megismertettem néhány nyugat-európai ország tehetséggondozásért felelős személyeivel is az Országos

Szilárd Leó Fizikaverseny angolra lefordított feladatait, szerettem volna az ő diákjaikat is bevonni a versenybe. Mindenhonnan azt a választ kaptam, hogy ezek a feladatok olyan magas színvonalúak, hogy az ő országukban esély sincs arra, hogy diákok ilyeneket meg tudjanak oldani. Sőt, sok esetben még azt is hozzátették: a fizikatanáraik között sem lehetne olyanokat találni, akik az ilyen feladatokra fel tudnák készíteni az ottani diákokat. A verseny tematikája – a modern fizika – nagyon sok országban nem része a fizika tananyagnak.

Büszkék lehetünk a mi fizikatanárainkra és a diákjainkra is! Magyarországon vannak olyan diákok, akik ezeket a nehéz feladatokat is jól megoldják! Gratulálok a diákoknak, a tanáraiknak és az iskoláiknak!

A Versenybizottságnak, a döntő szervezőinek köszönöm az áldozatos munkát, az Eötvös Loránd Fizikai Társulatnak, a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítványnak, a paksi Energetikai és Szakképzési Intézetnek és valamennyi támogatónknak a hathatós támogatást, amely nélkül ezek a versenyek nem jöhettek volna létre, és ezek a szép eredmények nem születhettek volna meg.

Budapest, 2011. március

Dr. Sükösd Csaba
tszv. egy. docens,
az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny
versenybizottságának elnöke

Bevezetés

2005 tavaszán jelent meg az *Országos Szilárd Leó Fizikaverseny 1998–2004* című feladatgyűjtemény első kötete a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány gondozásában. Az eltelt idő bebizonyította, hogy az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny szervesen illeszkedik a fizikaversenyek rendszerébe, annak egyik meghatározó eleme lett.

A verseny évenkénti megrendezése a kezdetek óta változatlan lelkesedéssel dolgozó versenybizottságra és a döntő helyi szervezőire hárul. A versenybizottság nagy tapasztalattal rendelkező egyetemi oktatókból és középiskolai tanárokból áll, néhány fiatal kollégával kiegészülve. A döntő helyi szervezői a paksi Energetikai Szakközépiskola és Kollégium tanárai és dolgozói. A verseny anyagi hátterének biztosítását a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány vállalta fel.

Köszönetnyilvánítás

Először köszönetemet kívánom kifejezni Sükösd Csabának fáradhatatlan munkájáért, amellyel az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny versenybizottságát irányítja.

Köszönetemet fejezem ki Szűcs Józsefnek, akinek hozzáértő tevékenysége biztosította feladatgyűjteményünk második kötetének megjelenését. Hálás vagyok Kármán Tamásnak, aki a könyv szerkesztését vállalta.

Az alapítvány kuratóriuma nevében köszönetemet fejezem ki szponzorainknak versenyünk anyagi támogatásáért. Fő támogatónkkal, a *Paksi Atomerőmű Zrt.*-vel már több alkalommal több évre szóló tartós adományozási szerződést kötöttünk. Támogatóink köre az elmúlt évek folyamán változatlan volt: *Magyar Villamos Művek Zrt.* (Budapest), *Országos Villamostávvezeték Zrt.* (Budapest), *Paks Város Önkormányzata, Tolna Megyei Önkormányzat Közgyűlése, MAVIR Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt.* (Budapest) és a *Magyar Nukleáris Társaság.*

Mindazoknak, akik az *Országos Szilárd Leó Fizikaverseny 2005–2010* című könyv kiadását lehetővé tették, abban tevékenyen részt vállaltak, illetve gondozták, a kuratórium és versenybizottság nevében sok sikert kívánok. A versenyzőknek eredményes felkészülést, a felkészítő tanároknak pedig sikeres felkészítést kívánok az elkövetkező évek versenyeire. Reméljük, feladatgyűjteményünk a következő évtizedek természettudományos és műszaki értelmiségének nevelésében és oktatásában elnyeri méltó helyét.

Paks, 2011. március

Csajági Sándor
Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány
kuratóriumának elnöke

Marx György
Szilárd Leó gyökerei

– „Enrico Ferminek kimagasló és sokirányú tehetsége volt, szakterületén kívül sok minden más is érdekelte. Nevezetes volt arról, hogy híres kérdéseket kérdezett. Fermi kérdéseinek hosszú bevezetője szokott lenni, például ez:

– »Az Univerzum hatalmas kiterjedésű, csillagok milliárdjai vannak benne, sok közülük hasonlít a mi Napunkra. Sok csillag körül valószínűleg bolygók is keringenek. E bolygók számottevő hányadának felszínén folyékony víz is lehet és gáz-atmoszféra. A csillagból szerteáramló energia megindíthatja szénvegyületek szintézisét, így az óceán langyos tápláló levessé alakul. E molekulák egymásba kapaszkodva önreprodukáló rendszereket alkothatnak. A legegyszerűbb élőlények sokszorozódnak, természetes kiválasztódás révén fejlődnek, mind komplexebbé válnak, míg gondolkodó lények jönnek létre. Civilizáció, természettudomány, technika bontakozik ki. Ekkor azután, friss világokra vágyva, elutaznak a szomszédos bolygókra, később a szomszédos csillagok bolygóira. Ezek a kimagaslóan tehetséges népek aligha hagynák figyelmen kívül az olyan szépséges helyet, amilyen a mi Földünk. De ha mindez így van,« – itt Fermi elérkezett lenyűgöző kérdéséhez – »akkor hol vannak ők?« –

Szilárd Leó, akinek veleszületett humorérzéke volt, Fermi kérdésére megadta a tökéletes választ: – »Itt vannak közöttünk,« – mondta, – »de magyaroknak mondják magukat.«"

Így kezdődik Francis Crick könyve: *The Life Itself* (Az élet mint olyan). Nem nehéz kitalálni, hol szállt le az idegen űrhajó: a „marslakók", akik döntő módon befolyásolták a 20. század tudományát és technikáját (*Gábor Dénes, Andrew Grove, Hevesy György, Kármán Tódor, Kemény János, Arthur Koestler, Neumann János, Szilárd Leó, Teller Ede, Wigner Jenő*) mind 1 km sugarú körön belül születtek Pesten. Ki akarna ezek után még több bizonyítékot?

Szerzőnek az Amerikai Fizikai Társaság 1998. áprilisi Szilárd Leó Centenáriumi Ülésén tartott előadása alapján szerkesztett szöveget a *Fizikai Szemle,* az Eötvös Loránd Fizikai Társulat folyóirata közölte 1998 decemberében. Köszönjük a lap engedélyét az újraközléshez.

Szilárd Leó – Zeisel (Striker) Éva rajza

Nos, Magyarország mindig a történelem keresztútján volt. Ez az a táj, ahol történni szokott a történelem:

A római légiókat, Dzsingisz Kán mongol hordáit, az ottomán inváziót a Dunánál állították meg.

A katolikus hit Itáliából jött, a keleti kereszténység Bizáncból, a reformáció Németországból, az Iszlám a Török Birodalomból.

Magyarország így vált kultúrák ütközőpontjává. Ezt az ízletes koktélt tovább fűszerezte, amikor a zsidók – akiket kiűztek Nyugat-Európából a 15–16. században, majd Oroszországból és az oroszok által elfoglalt Lengyelországból a 18–19. században – Magyarországba vándoroltak. A magyarok a fegyverkészítést a törököktől, a mezőgazdaságot a szlávoktól, az ábécét Itáliától, az ipart a németektől, a kereskedést a zsidóktól tanulták el. A római légiók veteránjai szőlőt ültettek a Balaton partján, hogy bort csináljanak maguknak. A németek tanítottak meg a sörfőzésre. Az oroszok a vodka-lepárlásra. És az antialkoholista törökök szerettették meg velünk a fekete levest: az erős forró feketekávét, ami nemzeti italunkká vált. Most az amerikaiak arra tanítanak, hogy élvezzük a Marlborót.

A kultúráknak eme olvasztótégelyéből támadt Szilárd Leó. Dédapja birkapásztor volt, nagyapja mezőgazdasági vállalkozó, apja gépészmérnök. A család a Kárpátokból ereszkedett alá Budapestre; apja anyanyelve német volt, de Körmöcbányán a gimnáziumban megtanult magyarul, és németes Spitz nevét a magyar Szilárdra váltotta. Leó genetikai és kulturális génjeiben zsidó, német, szlovák, magyar, osztrák etnikai elemek egy speciális vegyületet alkottak, amihez felnőtt életében angol s amerikai zamatok járultak.

Leó 1898. február 11-én született Budapesten, itt ekkor virágzott az ipari forradalom. (Elsőként magyarok gondolták ki a váltóáramot, dinamót, telefonközpontot, villanyvonatot; a kontinens első metrója már működött Budapesten.) A fiatal Leó csodálta az új technikát. Kivált a középiskolások tanulmányi versenyein. (Ezek a magyar tanulmányi versenyek 100 évnél hosszabb múltra tekintenek vissza. A Szilárd Leónál öregebb Kármán Tódor és a nála fiatalabb Teller Ede is megnyerte a versenyeket.)

Amikor Leó 16 éves lett, kitört az I. Világháború. Leó ezt mondta barátainak: – *Ne féljetek a katonai szolgálattól. Az osztrák, német és orosz császár előbb el fogja veszíteni a háborút!* – Ez meglepő jóslat volt, hiszen Oroszország a front túlsó oldalán volt – de Leónak mégis igaza lett.

Az Osztrák–Magyar Monarchia hadat üzent és veszített. Amikor Leó 20 éves lett, Budapest kitapasztalta a Habsburg császár-király uralmát, a parlamentáris demokráciát, ami kommunista uralomba torkollt, idegen katonai megszállással ért véget, azután katonai hatalomátvétel és jobboldali kormány jött – *mindez 12 hónapon belül.* Mindegyik politikai rendszer egy *végső igazságot* kínált, ami azonban élesen ellentmondott az előző *végső igazságnak*. Ismert pedagógiai tapasztalat, hogy ingergazdag környezet fejleszti a tehetséget. Nyugodt égbolt alatt a *társadalmi beilleszkedés* vezet boldogsághoz. Változó (ideológiai) széljárás esetén viszont haszontalannak bizonyulnak a konzervatív tradíciók; ekkor új kiutakat kereső *kreativitás* a túlélés feltétele. Világháborúk ingergazdag iskolaéveket szolgáltatnak a tehetséges fiatalok számára.

Ezen a tájon meg kell tanulnunk átlépni a határokon, ha túl akarjuk élni a viharokat. (Az ember egy másik országban találhatja magát még akkor is, ha ki sem mozdul falujából. Errefelé nem csak a népek vándorolnak, hanem a határok is. Szilárd őseinek szülőhelye ma Szlovákia.) A 20. század a diszciplináris határokat is átlépte. A tér-időnek ezen az izgalmas pontján Leó könnyedén keresztezett politikai és diszciplináris határvonalakat.

Budapesten a 20. század elején a villany volt a nagy újdonság. Egyszer húga diftériában megbetegedett, el is különítették bátyjától. Ekkor a két testvér otthon készített távíróvonalon kommunikált egymással. Leó beiratkozott a Műegyetemre, de a politikai forradalmak idején szocialista jellegű adóreformot dolgozott ki – *hogy megmentse Magyarországot.* Öccsével együtt csatlakozott a szocialista ifjúsági mozgalomhoz és közgazdasági témájú röpcéduláit osztogatta. A forradalom bukása után konzervatív egyetemi hallgatók megverték a Műegyetemen, ezért 1919 decemberében Nyugat felé induló hajóra szállt – hogy soha ne térjen vissza.

A berlini egyetemen az anyag molekuláris szerkezete kezdte érdekelni, és azt kérdezte: győzhet-e az értelem a fokozódó molekuláris káoszon? Megmutatta, hogy a gondolkodás is súrlódással jár, és kiszámította, mennyi 1 bit információ nyerésének entrópia-ára: $k\ln 2$. (Érdeklődésének egyik melléktermméke volt az Einstein–Szilárd-féle hűtőszekrény, ami elektromos energiából tudott hideget csinálni.) Ilyen problémák terelték figyelmét az élő sejt működése felé, ami ételből organizációt teremt.

Londonban, a sejt biológiai anyagcseréjének tanulmányozására radioaktív nyomjelzőket kívánt használni. Hogy az élethez szükséges elemek (például jód) radioaktív izotópjait elkészíthesse, a nem sokkal korábban felfedezett *neutront* alkalmazta. Az atommagok mélyén rejlő hatalmas nukleáris energia technikai felszabadításán gondolkodva találta fel és szabadalmaztatta a *neutron-láncreakciót,* de – látva Hitler emelkedését és látva a szabadalom katonai jelentőségét – azt kérte, hogy az angol szabadalmat titkosítsák. A maghasadás fölfedezése már New Yorkban érte. Elsőként ismerte föl, hogy a maghasadás teheti lehetővé a neutron-láncreakciót. Az atomenergia kontrollált fölszabadítására meg is tervezte az inhomogén atomreaktort. De a II. Világháború közeledtét érezve megpróbált titoktartást szervezni az e témával foglalkozó fizikusok közt – sikertelenül. Roosevelt elnöknél tett közbenjárása vezetett el a kontrollált nukleáris láncreakciót realizáló chicagói atommáglyához, majd a hirosimai atombombához.

Szilárd Leó jobbján barátjával, Wigner Jenővel, mindketten az „Atom a Békéért" díj kitüntettjei

Szilárd Leó azonban elsőként – hónapokkal a hirosimai bomba ledobása előtt – szervezte az atomtudósok tiltakozását az atombomba bevetése ellen – sikertelenül. Hirosima tragédiája ismét arra kényszerítette, hogy a politika felé forduljon. Előre látta a Hidegháborút, amit voltaképp Hirosima és Nagaszaki indított meg, és minden tőle telhetőt megtett, hogy megakadályozza a nukleáris fegyverkezési versenyt – sikertelenül. De Kennedy elnököt és Hruscsov első titkárt legalább sikerült rábeszélnie a Washington–Moszkva Forró Drót létesítésére, hogy az értelem győzedelmeskedhessen a káosz felett. Kezdeményezésének köszönhető, hogy a kubai rakétaválságból nem támadt nukleáris világháború.

A II. Világháború után Leó egyszerre akarta *megmenteni a világot* és *megérteni az életet.* Lombikban tanulmányozta a legrátermettebb változat túlélését: a biológiai evolúciót. A születéskor kapott genetikai információ fokozatos elvesztéseként írta le az öregedést. Amikor őt magát támadta meg a rák, kidolgozta ellene a sugárterápiát – és nyert. Kaliforniában az ő rábeszélésére jött lére a Salk Intézet biológiai és szociális problémák tanulmányozására.

Regényében, *A delfinek hangjá*ban megírta álmát: a világ tudósainak közössége úgy menti meg a világot, hogy delfineknek álcázzák magukat. 1960-ban elfogadta azt az osztrák javaslatot, hogy Seibersdorfban (az osztrák–magyar határ közelében) létrehoz egy valódi biológiai-fizikai intézetet. (A mesebeli Nemzetközi Delfinkutató Tudományos Központ Bécsben működött.) De betegsége megakadályozta, hogy ezt a megálmodott végső győzelmet elérje. Kaliforniában halt meg 1964-ben. Földi hamvai magyar földben találtak végső nyugalmat 1998. február 11-én – századik születésenapján.

Szilárd életútja vak bolyongás volt a térképen? Őrült tudós volt Szilárd, aki fizikát és technikát kevert biológiával és politikával? Vagy tudományismeretének és lelkiismeretének iránytűjét követve egyenesen haladt nagy célja felé, ezenközben lépve át gátlástalanul az értelmetlenné váló diszciplináris határvonalakat? A századvég és a történelem most bizonyítja: Leónak volt igaza! Mai felfogásunk szerint információ, élet, távközlés, intelligencia és demokrácia szorosan összefüggő jelenségek.

Más *őrült magyarok* is indultak el Budapestről, nevüket fentebb fölsoroltuk. A kelet felől érkező szélvihar nyugat felé sodorta őket. Számukra az tette lehetővé a túlélést és diadalt, hogy átléptek a diszciplináris határokon. Összesűrített történelmi tapasztalataik és kalandjaik arra tették képessé ezeket az embereket, akik Közép-Európában élték át az 1910-es (vagy 1940-es) éveket, hogy a *jövőbe lássanak*. Szilárd Leónak ez különösen jól ment:

– *Nem kell feltétlenül okososabbnak lenni másoknál. Elegendő, ha csak egy nappal előttük jársz.*

Budapesten Leó reformátussá keresztelkedett, egy hónappal a jobboldali katonai hatalomátvétel előtt.

Vonaton egy nappal azelőtt utazott Berlinből Bécsbe, mint Hitler lezárta a határokat a zsidók előtt.

Ausztriát az előtt hagyta el, hogy Hitler megszállta az országot.

– *Egy évvel az előtt fogom elhagyni Európát, mielőtt Hitler háborút kezd* – mondta, és New Yorkba hajózott 1938-ban.

Sztálinnak levelet írt, abban megjósolta a háborút Jugoszláviában – és abban az Egyesült Államok beavatkozó szerepét.

Szállodai szobájában mindig becsomagolva állt két bőrönd, kulcsokkal a zárakban, hogy vész közeledtét érezve továbbutazhasson. New Yorkból is elutazott Svájcba a kubai válság tetőpontján. Az amerikaiak csak mosolyogtak rajta. A most nyilvánosságra hozott titkos dokumentumok azonban megmutatják, milyen közel került a világ egy nukleáris konfrontációhoz 1962-ben. Ugyanilyen stílusban Szilárd mindig készen állt, hogy új kutatási irányba induljon el – hogy megmentse az emberiséget.

A marslakók világtörténelmet csináltak – és Magyarország történelme csinálta őket.

Szilárd Leó egy közép-európai volt a fehérek között.

8. Országos Szilárd Leó Fizikaverseny, 2005

Az 1. forduló feladatai[1]

1. feladat
Az amerikai „Mars Odyssey" neutrondetektoros méréseinek modell-értelmezése szerint a Mars felszínének felső fél méterében igen sok víz van.

Vajon hogyan lehet neutrondetektorokkal víz jelenlétére következtetni?

2. feladat
A Földön a legkülönbözőbb felezési idejű – természetes eredetű – radioaktív izotópok fordulnak elő.

Miért létezhetnek olyan izotópok is, amelyeknek a felezési ideje sokkal rövidebb, mint a Föld életkora?

3. feladat
Foton szóródik nyugalomban lévő szabad elektronon (Compton-szórás). A szóródott elektron és a szóródott foton sebességének iránya (a szóródás után) éppen derékszöget zár be.

Mekkora a foton energiája a szóródás után? (Számoljunk relativisztikusan!)

4. feladat
Galaxisunkban, a Tejútrendszerben 10^{41} kg nagyságrendű (fermionokból – protonokból, neutronokból, elektronokból – álló) anyag van, amelynek legnagyobb része atomos hidrogén. A galaxisok valamikor régen néhány ezer fokos hőmérsékletű, híg, főként atomos hidrogénből álló „felhőkből" jöhettek létre úgy, hogy a felhőt a gravitációs vonzás összehúzta. Az Univerzum többi anyagának a felhőre (illetve a felhőben lévő részecskékre) való hatását hanyagoljuk el!

[1] Az első fordulót 2005. február 7-én tartották. Minden feladat helyes megoldása 5 pontot ér. A feladatok nem nehézségi sorrendben vannak, és tetszőleges sorrendben meg lehet őket oldani. A megoldáshoz bármilyen segédeszköz használható. Rendelkezésre álló idő: 180 perc.

Számítsuk ki, hogy egy 10^{41} kg tömegű galaxisnak mekkora lehetett a sugara, amikor az még gömb alakú, 3000 K hőmérsékletű, hidrogénatomokból álló felhő volt?

5. feladat

A hidrogénatomban az elektront helyettesítheti a müon. Az így keletkezett atomot müóniumnak nevezik. A müon ugyanolyan, mint az elektron, csak bomlékony, és a tömege 207 elektrontömeg.

Adatok: A hidrogénatom sugara körülbelül: 0,05 nm, az ionizálási energiája 2,2 aJ.

Mekkora a müónium sugara alapállapotban, és mekkora energia kell ahhoz, hogy ionizáljuk?

6. feladat

A fénymikroszkóp felbontóképességét (az a legkisebb távolság két pont között, amit még meg tudunk különböztetni) a látható fény hullámhossza korlátozza. Nagyságrendileg akkora tárgyakat láthatunk, mint a használt fény hullámhossza. Felgyorsított elektronokkal elektronmikroszkópot készíthetünk, hiszen a részecskék elektromos töltése miatt elektromos és mágneses „lencsékkel" helyettesíthetjük a fénymikroszkópban lévő lencséket.

Elméletileg mekkora felbontóképességet lehetne elérni az elektronmikroszkóppal, ha az elektronokat legfeljebb 50 kV feszültséggel gyorsíthatjuk?

7. feladat

Egy zöld színű műanyag fóliát hosszú láncmolekulák alkotnak, amelyekben egy-egy delokalizált elektron található. Ezek állapotát az erőmentes szakaszra bezárt elektron állapotával modellezhetjük. Azt találták, hogy hosszú időre napsugárzásnak kitett fólia sárga színűvé válik. Az anyagszerkezeti vizsgálatok szerint ez azzal magyarázható, hogy a napsugárzás roncsoló hatására a láncmolekulák két kisebb szakaszra törtek.

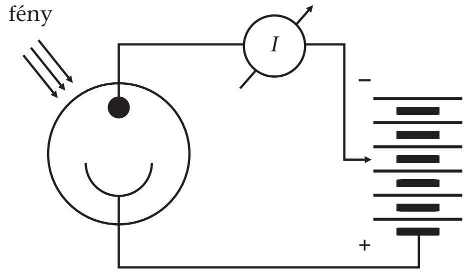
Adatok: az egyes színekhez rendelhető hullámhosszak: vörös: 800 nm, sárga 570 nm, zöld 500 nm, kék 400 nm. Kiegészítő színek: kék-sárga, zöld-vörös.

a) Milyen hosszú láncmolekulákból állt eredetileg a fólia?

b) Eredeti hosszuk hányad részére törtek a láncmolekulák a napsugárzás hatására?

8. feladat

Légritkított üvegcsőben lévő fémfelületet ultraibolya fénysugarakkal világítunk meg (az eszközt fotocellának nevezik).



A megvilágítás hatására elektronok lépnek ki a fémlemezből, és a másik elektródra jutnak, így áramot mérhetünk. Ha a fotocellára ellenirányú feszültséget kapcsolunk, akkor megakadályozhatjuk azt, hogy az elektronok elérjék a másik elektródot.

Két mérést végzünk. Az első esetben a megvilágító fény hullámhossza 279 nm, a második esetben 245 nm. Az első esetben 0,66 V ellenirányú feszültségnél szűnik meg a fotocella árama, a második esetben 1,26 V-nál.

Határozzuk meg a mérési adatokból a Planck-féle állandót!

9. feladat

Egy delokalizált elektron L hosszúságú láncmolekulába van bezárva, helyzetének bizonytalansága tehát $\Delta x = L$. A Heisenberg-féle határozatlansági összefüggés alapján lendületbizonytalansága nem lehet kisebb, mint

$$\Delta p_x = \frac{\hbar}{\Delta x} = \frac{\hbar}{L}.$$

A „húrra befogott” elektron hullámhossza azonban *pontosan* meghatározható:

$$n\frac{\lambda}{2} = L, \quad (n = 1,\ 2,\ 3\ \ldots)$$

ezért – a de Broglie-összefüggés alapján – lendületének abszolút értéke pontosan

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{nh}{2L}.$$

Hogyan lehetséges az, hogy p értéke pontosan meghatározható, ugyanakkor a lendület bizonytalansága mégsem zérus?

10. feladat

Japán kutatók 2004-ben megállapították, hogy ha ^{7}Be radioaktív atomokat C_{60} molekulák („futball-labda”, *fullerén* molekulák) belsejébe helyeznek, a radioaktív ^{7}Be atommagok felezési ideje több mint 1%-kal lecsökken. Ez a legnagyobb változás, amit a radioaktív bomlás ütemében mindmáig mesterségesen elő lehetett idézni.

Mi lehet az érdekes jelenség oka?

Döntő feladatai[2]

ELMÉLETI FELADATOK[3]

I. kategória

1. feladat (kitűzte: Kopcsa József)

Atomos gázok (gőzök) kibocsátási (emissziós) színképében mindig több vonal figyelhető meg, mint ugyanazon anyag elnyelési (abszorpciós) színképében.

Mi lehet ennek a magyarázata?

2. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

Az első mesterséges atommag-átalakítást Rutherford végezte 1919-ben. Azt figyelte meg, hogy – kis valószínűséggel – protonok keletkeznek, ha α-részecskék ütköznek egy Wilson-kamrában lévő levegő nitrogén atommagjaival. A magreakció egyenlete a következő:

$$^{14}\mathrm{N} + \alpha = {}^{17}\mathrm{O} + p.$$

A kísérletek során 23 ezer Wilson-kamrás felvételt értékeltek ki. Ezek közül 8 felvételen lehetett olyan részecskenyomokat (vonalakat) látni, amelyek a fenti reakcióra utaltak.

a) Hogyan működik a Wilson-kamra?

b) Hogyan nézhetett ki az a vonalelrendezés, amely erre a folyamatra utalt?

3. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

Amikor elkezdték vizsgálni a radioaktív sugárzás természetét még csak gyenge mágneses mezőket tudtak előállítani. Ezekben a sugárzás a ma ismert három helyett csak két nyalábra bomlott fel.

Vajon miért?

Útmutatás: A kérdés megválaszolásához számoljunk 0,01 T indukciójú mágneses mezővel, a kibocsátott elektronok átlagenergiáját vegyük 0,511 MeV-nek, az alfa-részecskékét pedig 5,11 MeV-nek!

4. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

Egy hagyományos egyszínű fényforrás másodpercenként 10^{13} fotont bocsát ki, amelyek a tér minden irányába véletlenszerűen indulnak. Két kísérletet hajtunk végre ezzel a fényforrással:

[2] A döntőt 2005. április 9-én Pakson tartották.

[3] A feladatok megoldásához 180 perc áll rendelkezésre. Minden segédeszköz használható. Minden feladatot külön lapra írjon, s minden lapon legyen rajta a megoldó kódja. A feladatok NEM nehézségi sorrendben vannak. Minden feladat helyes megoldása 5 pontot ér.

Első kísérlet: A fényforrástól 1 m távolságra 1 mm^2 keresztmetszetű lyuk van, az ezen áthaladt fényt egy optikai rácsra ejtjük, majd az elhajlási képet fényképezőlemezen rögzítjük. A lemez megvilágításának ideje 1 s.

Második kísérlet: A fényforrást 1 km-re visszük a lyuktól (valamint az optikai rácstól és a fényképezőlemeztől). A megvilágítási idő most 1 millió s.

a) Hány foton halad át a lyukon másodpercenként az első, illetve a második kísérletben?

b) Lesz-e különbség a két fényképezőlemezen rögzített kép között? Ha nem, miért nem, ha igen, milyen különbség lesz?

5. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

Egy speciális lézerrel 5 fs (femtoszekundum, 10^{-15} s) ideig tartó, $\lambda = 600$ nm átlagos hullámhosszúságú fényimpulzusokat hozunk létre.

Mekkora ezeknek a fotonoknak a hullámhossz-bizonytalansága?

6. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

A rádium és a polónium felfedezését követően a Curie-házaspár különböző módokon vizsgálta az új anyagokat. 0,1 g frissen előállított rádiumot 10 g vízzel együtt kaloriméterbe helyeztek, amelyben óránként 1 °C hőmérséklet-növekedést tapasztaltak. Ezt követően az előbbi rádiummennyiségből különválasztották annak 1/100 000-ed részét, melyet egy 30 cm átmérőjű, belülről világító festékkel bevont vákuumharang közepére helyezték el. Mikroszkópon keresztül 1 mm^2 felületen 8 felvillanást lehetett látni percenként.

A Curie-házaspár mérései alapján becsüljük meg a rádium felezési idejét és a bomlás energiáját!

7. feladat (kitűzte: Berta Miklós)

Egy E_γ energiájú foton szabadon mozgó elektronon szóródik. A szóródás után a foton az eredeti irányához képest 60 fokos szög alatt távozik, a szóródás következtében az elektron pedig megáll.

Adatok: A foton energiája $E_\gamma = m_e c^2$ (az elektron nyugalmi energiája).

a) Határozzuk meg a foton hullámhosszának megváltozását!

b) Mekkora volt az elektron mozgási energiája az ütközés előtt?

8. feladat (kitűzte: Vastagh György)

Atommagok vizsgálatához olyan részecskékre van szükség, amelyek de Broglie-hullámhossza kisebb, mint az atommag sugara ($\lambda \approx 10^{-15}$ m).

a) Határozzuk meg a megfelelő fotonok energiáját!

b) Mekkora energiájúak a megfelelő elektronok?

9. feladat (kitűzte: Szűcs József)

A Paksi Atomerőmű által évenként közzétett radioaktív kibocsátási adatokból tudhatjuk, hogy a radioaktív jód izotópok kibocsátásának mértéke 86 MBq/év. Tegyük fel, hogy a radioaktív kibocsátás teljes egészében a 8 nap felezési idejű ^{131}I izotópból származik.

a) Az erőmű mennyi idő alatt bocsátana ki egy jódtablettányi mennyiséget a radioaktív jódból? (Egy tabletta jódtartalmát vegyük 10 mg tömegűnek!)

b) Becsüljük meg, hogy ha az erőmű radioaktív kibocsátása egész évben egyenletesen történik, akkor az egész év alatt kibocsátott 86 MBq aktivitásból mennyi marad meg az év végére? Hogyan változik ez a mennyiség több év után?

10. feladat (kitűzte Szűcs József)

A kozmikus sugárzásból származó neutronok a ^{14}N atommagokban az alábbi magátalakulásokat hozhatják létre:

$$\text{a) } {}^1_0n + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow {}^{14}_6\text{C} + {}^1_1p$$

$$\text{b) } {}^1_0n + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^3_1\text{T}$$

Az első reakcióban a β-bomló, 5730 év felezési idejű radioaktív ^{14}C izotóp keletkezik, a másodikban pedig az ugyancsak β-bomló, 12,3 év felezési idejű ^{3}T izotóp jön létre. Mindkét – kozmikus eredetű – izotóp a szén, illetve a víz körforgása útján eljut a földi vizekbe, illetve a Föld növény- és állatvilágába. A széntermelő magreakció gyakorisága körülbelül 10-szerese a tríciumtermelőének: azaz minden tíz ^{14}C keletkezésére egy ^{3}T mag keletkezése jut. Tegyük fel, hogy a két izotóp csak a fenti két magreakcióval keletkezik.

Adatok: A földi élőlényekben (növényekben, állatokban) előforduló szénatomok közül minden billiomodik (10^{12}-ik) a ^{14}C izotóp. A természetes felszíni vizekben pedig minden trillió (10^{18}) hidrogénatomra jut egy ^{3}T izotóp.

a) Adjuk meg az izotópok keletkezésének és bomlásának egyensúlya esetén a Földön lévő két kozmikus eredetű izotóp tömegének arányát!

b) Becsüljük meg a természetes körforgásban résztvevő szén és víz tömegének arányát!

II. kategória[4]

9. feladat (kitűzte: Vastagh György)

Számítsuk ki a ^{226}Ra radioaktív bomlásából keletkező α-részecske mozgási energiáját a rádium vonatkoztatási rendszerében!

Adatok: ^{226}Ra atommag kötési energiája 281,894 pJ, ^{222}Rn atommag kötési energiája 277,795 pJ, α-részecske kötési energiája 4,533 pJ.

[4] 1–8. feladat megegyezik az I. kategória feladataival.

10. feladat (kitűzte: Ujvári Sándor)

Miért nincs 8 tömegszámú stabil atommag?

Adatok: ^{8}Be atommag kötési energiája: 9,051 pJ, ^{4}He atommag kötési energiája: 4,533 pJ.

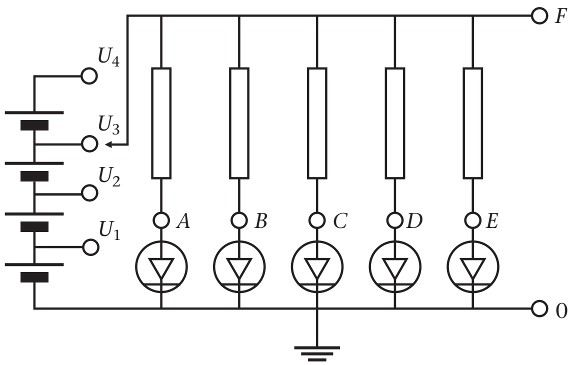
KÍSÉRLETI FELADAT

Planck állandó meghatározása

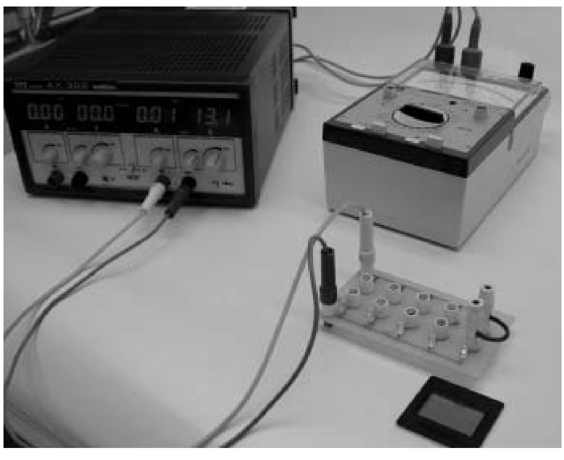
Feladat: Határozzuk meg öt LED diódán elvégzett mérés segítségével a Planck-állandó értékét! Elemezzük, értékeljük az elvégzett mérés hibáit! A mérésről készítsünk jegyzőkönyvet!

Rendelkezésre áll:

- öt, különböző színű világító dióda (LED) előre elkészített kapcsolásban (*1. ábra*)



1. ábra



Kísérleti összeállítás LED diódákkal

- feszültségforrás
- egy optikai rács: rácsállandó 200 vonal/mm
- univerzális feszültség-, áram-, ellenállásmérő, zsinórok
- vonalzó, milliméterpapír

Elmélet: A világító diódák (Light Emitting Diode, LED) lényegében félvezető diódák, amelyekben „p" és „n" típusú rétegek vannak. Külső feszültség nélkül a két réteg határán a töltéshordozók (elektronok, illetve lyukak) rekombinálódnak, és kiürített réteg alakul ki. Az elmozdult elektronok és lyukak miatt a két réteg között potenciálkülönbség (U_0) is létrejön. A potenciálkülönbség nagysága a félvezető tiltott sávjának szélességétől függ: $eU_0 = E_{tiltott}$.

„Záró irányban" alkalmazott külső feszültség hatására ez a kiürített réteg egyre vastagabb lesz, áram tehát nem tud folyni (kivétel a „kisebbségi" töltéshordozók által vitt áram, de ezt most elhanyagoljuk).

A diódára „nyitó irányban" adott feszültség a kialakult U_0 potenciálkülönbség ellen hat. Amikor a külső feszültség ennél nagyobb lesz, akkor az elektronok és a lyukak folyamatos áramlása megindul – a diódán áram folyik. Ezért az U_0 feszültséget a dióda *nyitófeszültségének* is szokás nevezni. Ilyenkor a (pn) átmeneti rétegben a folyamatosan odaérkező elektronok és lyukak rekombinálódnak, és ennek a folyamatnak a során a LED dióda fényt bocsát ki. A kibocsátott fény frekvenciáját a rekombinációban felszabaduló energia szabja meg. Mivel a dióda nyitásakor a rekombináció során az elektron éppen a tiltott sáv energiahézagját „ugorja át", ezért:

$$hf = eU_0.$$

A Planck-állandót tehát a dióda nyitófeszültségének, valamint a kibocsátott fény hullámhosszának meghatározásával lehet megmérni:

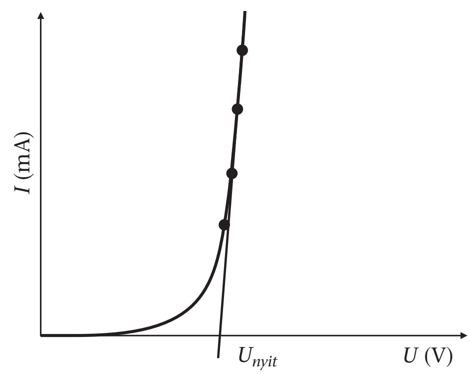
$$h = \frac{eU_0}{f} = \frac{e}{c}U_0\lambda.$$

Mérési útmutató:

a) Az „A" dióda nyitófeszültségét a következő módon határozhatjuk meg az *1. ábra* szerinti kapcsolásban (a többi diódáét ehhez hasonlóan):

– Mérjük meg az „A" dióda munkaellenállását az ellenállásmérővel (vigyázat, ekkor nem szabad a kapcsolást tápfeszültséghez csatlakoztatni)!

– Zárjuk az áramkört az „A" diódánál, és adjunk nyitóirányú feszültséget az „A" diódára (a dióda világítani kezd)!



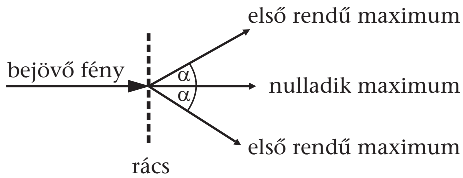
2. ábra

– Mérjük meg az U_{F0} és az U_{A0} feszültségeket 4,5; 9; 13,5; 18 V tápfeszültségnél. Ezekből ki tudjuk számítani a diódán átfolyó áramot (I) minden feszültségértékre.

– Ábrázoljuk az összetartozó (U_{A0}, I) pontokat (lásd *2. ábra*)!

– Fektessünk egyenest a pontokon keresztül. Ahol az egyenes a vízszintes (U) tengelyt metszi, az a nyitófeszültség értéke.

b) A diódák fényének hullámhosszát az optikai rács segítségével határozzuk meg. A rácsállandó 200 vonás/mm. Ismert, hogy az első rendű erősítésre: $d \cdot \sin\alpha = \lambda$, ahol d a rács rácsállandója, α pedig az az irány, amelyben az első rendű maximumot meg lehet figyelni (*3. ábra*). A feladat tehát ennek az iránynak a meghatározása.



3. ábra

Tanácsok:

Mivel „valódi” kép előállításához szükséges optikai rendszer (például lencse) nem áll rendelkezésre, az irány meghatározását a látszólagos kép alapján kell megtenni. Az optikai rácson átnézve szépen láthatók a különböző interferencia-maximumoknak megfelelő látszólagos képek. A látszólagos képek távolsága a rács „mögött” ugyanakkora, mint a nulladik maximum (a dióda) távolsága a rácstól. Ha megmérjük a nulladik és az első rendű maximum távolságát, valamint a dióda-rács távolságot, ebből a két adatból a keresett szög meghatározható.

SZÁMÍTÓGÉPES FELADAT

Aktív zóna vizsgálata

Általános utasítások

– Indítsuk el az „AktivZona.exe” fájlt. Olvassuk el a „Súgót”, és ismerkedjünk meg a program működésével (A program Súgója kinyomtatva is az asztalon van).

A következő 3 feladat mindegyikéhez:

– *Kapcsoljuk ki* a „Hőmérsékleti visszacsatolást”.

– Helyezzünk *detektorokat* a két jobboldali szélső oszlopba (annak érdekében, hogy a neutronsokszorozási tényező mérhető legyen).

– A reaktor *indításához* használjunk külső neutronforrást, ezt azonban később távolítsuk el.

– Az eredményeket mindig *mentsük el* a „Fájl/Mentés” menüpont segítségével a D:\Szilard könyvtárba kód_N.mnt név alatt. Itt a „kód” helyére a saját kódunkat írjuk, az „N” pedig legyen a feladat sorszáma (1., 2., illetve 3.).

– Készítsünk *írásbeli feljegyzést,* és válaszoljunk a feladatokban feltett kérdésekre, valamint elemezzük a szimuláció során tapasztaltakat.

1. feladat

- Állítsunk be *3% dúsítású* urán üzemanyagot és *könnyűvíz* moderátort!
- Építsünk aktív zónát, amelyben a láncreakció még éppen önfenntartó (vagy lassan növekvő $1 < k < 1{,}001$)! Az urán- és a moderátorcellákat *sakktáblaszerűen* helyezzük el, és törekedjünk arra, hogy a lehető legkevesebb elemet használjuk!
- Üzemeltessük ezt a „reaktort”, hagyjuk a teljesítményt növekedni, és figyeljük meg mi történik, miután a víz felforr!

2. feladat

– Állítsunk be *természetes* urán üzemanyagot és *nehézvíz* moderátort!

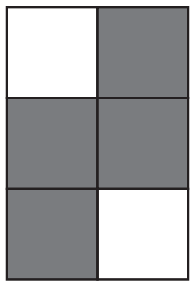
– Építsünk aktív zónát, amelyben a láncreakció még éppen önfenntartó (vagy lassan növekvő: $1 < k < 1{,}001$)! Az urán- és a moderátorcellákat *sakktáblaszerűen* helyezzük el, és törekedjünk arra, hogy a lehető legkevesebb elemet használjuk!

– Üzemeltessük ezt a „reaktort”, hagyjuk a teljesítményt növekedni, és figyeljük meg mi történik, miután a víz felforr!

3. feladat

– Állítsunk be ismét *3% dúsítású* urán üzemanyagot, és *könnyűvíz* moderátort!

– Építsünk aktív zónát, amelyben a láncreakció még éppen önfenntartó (vagy lassan növekvő: $1 < k < 1{,}001$). Az urán- és a moderátorcellákat most úgy helyezzük el, hogy 2 uráncellára 1 moderátorcella jusson, de azért minden uráncella legalább egy oldalon érintkezzen egy moderátorcellával (a hűtés miatt). Itt is törekedjünk arra, hogy a lehető legkevesebb elemet használjuk! Egy lehetséges „elemi cella” a következő (a fehér négyzet a moderátor, a sötét az urán).



– Üzemeltessük ezt a „reaktort”, hagyjuk a teljesítményt növekedni, és figyeljük meg mi történik, miután a víz felforr!

Elemezzük a három szimulációs kísérlet tanulságait a jegyzőkönyvben!

Az 1. forduló feladatainak megoldása

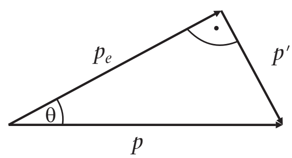
1. feladat megoldása

A víz nagyon jó neutronlassító. Gyorsneutron-forrásból kibocsátott, és a környezet által visszaszórt neutronok energiaeloszlásából jól lehet következtetni a környezet víztartalmára.

2. feladat megoldása

Ezek az izotópok nem a Föld anyagát szülő szupernóvában jöttek létre, hanem itt a Földön keletkeznek. Két fő forrásuk van: a bomlási sorok (például radon), illetve a kozmikus sugárzás (például ^{14}C, ^{3}T).

3. feladat megoldása



Jelöljük p-vel a beeső foton lendületének abszolút értékét, ekkor a foton energiája pc (c a fénysebesség). A lendületmegmaradást a lendületvektorok alkotta háromszöggel vehetjük figyelembe: $\boldsymbol{p} = \boldsymbol{p}_e + \boldsymbol{p}'$, ahol $\boldsymbol{p}_e$ a meglökött elektron lendületvektora, $\boldsymbol{p}'$ a szóródott foton lendületvektora. A feladat szerint $\boldsymbol{p}_e$ és $\boldsymbol{p}'$ merőlegesek egymásra, ezért a három vektor derékszögű háromszöget alkot (*ábra*). Felírjuk az energiamegmaradás törvényét (relativisztikusan):

$$p\,c + m_0 c^2 = p'\,c + \sqrt{(p_e c)^2 + (m_0 c^2)^2}\,.$$

Rendezzük át az egyenletet, és emeljünk négyzetre:

$$(p\,c + m_0 c^2 - p'\,c)^2 = (p_e c)^2 + (m_0 c^2)^2.$$

Bal oldalon a négyzetre emelést elvégezve:

$$c^2 (p - p')^2 + (m_0 c^2)^2 + 2c\,m_0 c^2 (p - p') = (p_e c)^2 + (m_0 c^2)^2.$$

Az egyszerűsítések után kapjuk:

$$(p - p')(p - p' + 2m_0 c) = p_e^2.$$

Használjuk most ki az impulzusokra fennálló Pitagorasz-tételt:

$$p_e^2 = p^2 - p'^2 = (p - p')(p + p').$$

Visszahelyettesítve:

$$(p - p')(p - p' + 2m_0 c) = (p - p')(p + p').$$

Mivel $p - p'$ nem lehet 0, ezért oszthatunk vele:

$$p - p' + 2m_0 c = p + p',$$

amiből már egyszerűen adódik, hogy $p' = m_0 c$, s ebből

$$E'_\gamma = p'\,c = m_0 c^2 = 511 \text{ keV},$$

amely éppen az elektron nyugalmi energiájával egyezik meg.

Megjegyzés: Látható, hogy a kapott eredmény független mind a szórási szögtől, mind a beeső foton energiájától. Vagyis, ha bármilyen energiájú foton a szabad nyugvó elektronon úgy szóródik, hogy a szórt foton impulzusa derékszöget zár be a meglökött elektron impulzusával, akkor a szórt foton energiája mindig az elektron nyugalmi energiájával egyezik meg. Az elektron teljes (relativisztikus) energiája pedig a beérkező foton energiájával lesz egyenlő.

4. feladat megoldása

Bár az Univerzum leggyakoribb eleme a hidrogén, a Föld légkörében mégsem találkozunk vele. Ennek az az oka, hogy a Föld gravitációs vonzóereje nem képes a könnyű hidrogénatomokat (molekulákat) a hőmozgás ellenében fogva tartani, ezért ha egyáltalán kikerül hidrogén a földi légkörbe, az onnan megszökik. Hasonló gondolatmenettel juthatunk el a feladat megoldásához is. Az M tömegű – gömb alakúnak feltételezett – galaxis anyaga gravitációs vonzóerőt fejt ki minden egyes m tömegű hidrogénatomra. Az R sugarú felhő „széléről" szökhetnek meg a hidrogénatomok, ott a potenciális energiájuk

$$-\gamma\,\frac{m\,M}{R}.$$

Az atomok mozgási energiája a hőmozgásból származik, ezért átlagos értéke

$$\frac{3}{2}kT.$$

Az atomok akkor nem tudnak „megszökni" – azaz a felhő akkor nem oszlik szét – ha a szélén lévő atomok teljes energiája negatív, azaz

$$\frac{3}{2}k\,T-\gamma\,\frac{m\,M}{R}\le 0.$$

Ebből

$$R\le\gamma\,\frac{2m\,M}{3k\,T}.$$

Tehát

$$R\le\left(6{,}67\cdot10^{-11}\ \frac{\mathrm{N\,m^2}}{\mathrm{kg^2}}\right)\frac{2\cdot\left(1{,}67\cdot10^{-27}\ \mathrm{kg}\right)\cdot\left(10^{41}\ \mathrm{kg}\right)}{3\cdot\left(1{,}38\cdot10^{-23}\ \dfrac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}}\right)\cdot\left(3000\ \mathrm{K}\right)}=$$

$$=1{,}80\cdot10^{23}\ \mathrm{m}\approx 19\ \text{millió fényév}.$$

Megjegyzés: Ez – természetesen – a felhő átlagos anyagsűrűségére ad egy alsó korlátot:

$$\rho=\frac{3M}{4\pi\,R^3}.$$

Az adatokat behelyettesítve kapjuk:

$$\rho \geq 4{,}1 \cdot 10^{-30} \ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}.$$

Ekkor a hidrogénatomok átlagosan 7 m távolságra vannak egymástól a kozmikus felhőben.

5. feladat megoldása

A függvénytáblázatban megtalálható képletek szerint a hidrogénatom sugara:

$$r_0 = \frac{4\,\pi\,\varepsilon_0\,\hbar^2}{e^2\,m},$$

illetve az elektron energiája:

$$E_0 = -\frac{m\,e^4}{2\left(4\,\pi\,\varepsilon_0\right)^2\hbar^2}.$$

Az ionizációs energia éppen ezen energia abszolút értéke, hiszen éppen ennyit kell befektessünk ahhoz, hogy az elektront a végtelen távoli, 0 energiájú állapotba vigyük.

A képletekből láthatóan a sugár fordítottan, az energia pedig egyenesen arányos a tömeggel. Ezért a müónium sugara a hidrogénatom sugarának 207-ed része, az ionizációs energia pedig 207-szer akkora. Azaz:

$$R_{0\mu} = \frac{R_{0\mathrm{H}}}{207} = 2{,}42 \cdot 10^{-13}\ \mathrm{m} \quad \text{és} \quad E_{i\mu} = 207 \cdot E_{i\mathrm{H}} = 4{,}55 \cdot 10^{-16}\ \mathrm{J}.$$

6. feladat megoldása

A gyorsított elektron hullámhosszát kell kiszámolni, hogy a felbontóképességet megkapjuk. Az 50 kV feszültséggel gyorsított elektron mozgási energiája $E_e = 50\ \mathrm{keV} = 8{\cdot}10^{-15}$ J.

Ebből – ha klasszikusan számolunk – a sebessége:

$$v = \sqrt{\frac{2E_e}{m_e}} \approx 1{,}326 \cdot 10^8\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}.$$

A lendülete pedig

$$p = m\,v = 0{,}91 \cdot 10^{-30} \cdot \left(1{,}326 \cdot 10^8\right) = 1{,}207 \cdot 10^{-22}\ \frac{\mathrm{kg\,m}}{\mathrm{s}}.$$

Megjegyzés: Relativisztikusan számolva az elektron teljes energiája:

$$E = m_0 c^2 + 8 \cdot 10^{-15} = \sqrt{(p\,c)^2 + \left(m_0 c^2\right)^2}.$$

Mivel $m_0 c^2 = 0{,}511$ MeV $= 81{,}76 \cdot 10^{-15}$ J, ezért ebből pc egyszerűen kifejezhető:

$$p\,c = \sqrt{1372{,}16 \cdot 10^{-30}\ \mathrm{J}^2} = 37{,}04 \cdot 10^{-15}\ \mathrm{J},$$

és ebből

$$p = 1{,}235 \cdot 10^{-22}\ \frac{\mathrm{kg \cdot m}}{\mathrm{s}}.$$

Látható, hogy a relativisztikus számolás sem hoz lényegesen eltérő eredményt, ezért a klasszikus számolás is elfogadható.

A hullámhossz de Broglie-képlete alapján:

$$\lambda = \frac{h}{p}.$$

Behelyettesítve

$$\lambda = \frac{h}{1{,}235 \cdot 10^{-22}} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34}}{1{,}235 \cdot 10^{-22}} = 5{,}365 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{m}.$$

Nagyságrendileg ennyi lesz a feladatban szereplő elektronmikroszkóp elméletileg elérhető felbontása. A gyakorlatban ez a felbontás a különböző leképezési hibák miatt nem érhető el.

7. feladat megoldása

Az l hosszúságú szakaszra bezárt elektron kvantált energiája:

$$E = \frac{h^2}{8m\,l^2}\,n^2.$$

A feladat szerint minden molekulában egyetlen elektron van csak delokalizált állapotban, ezért alapállapotban ($n = 1$) ezen elektron energiája

$$E = \frac{h^2}{8m\,l^2}.$$

Az alapállapotú rendszer olyan λ hullámhosszúságú fényt képes elnyelni, ahol a fotonok a delokalizált elektront a második energiaszintre gerjesztik, azaz

$$h\,\frac{c}{\lambda} = \frac{h^2}{8m\,l^2} \cdot (4 - 1).$$

Ebből a láncmolekulák hossza

$$l^2 = \frac{3h\lambda}{8mc}.$$

Itt $\lambda = 800$ nm, hiszen a fólia azért látszik zöldnek, mert a fehér fényből a vörös fény nyelődik el (fordítódik gerjesztésre). Behelyettesítve az értékeket, a láncmolekulák hosszára $l = 0{,}85$ nm értéket kapunk.

b) A képletből látható, hogy az elnyelt fény hullámhossza $\lambda \sim l^2$. Ha a fólia sárga színű lett, akkor a kék fényt (azaz feleakkora, 400 nm hullámhosszúságú fényt) nyelte el. Ezért a láncmolekulák hossza az eredeti hossz $\sqrt{2}$-ed részére csökkent, vagyis

$$l' = \frac{l}{\sqrt{2}} = 0{,}707 \cdot l.$$

A másik „töredékmolekula" $l'' = 0{,}293\,l$ nem zavar, mert a fehér fényből már csak az erősen ultraibolya (~68 nm) összetevőt tudná elnyelni, s ez pedig – ha van egyáltalán ilyen komponens a fényben – a látható színt nem módosítja.

8. feladat megoldása

A fotoeffektus a két esetben:

$$h f_1 = W + \frac{m v_1^2}{2},$$

$$h f_2 = W + \frac{m v_2^2}{2},$$

mivel:

$$f_1 = \frac{c}{\lambda_1},\ f_2 = \frac{c}{\lambda_2} \text{ és } \frac{m v_1^2}{2} = e U_{Z1},\ \frac{m v_2^2}{2} = e U_{Z2}.$$

Behelyettesítés és a két egyenlet kivonása után kapjuk:

$$h c \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) = e \left(U_{Z1} - U_{Z2} \right),$$

és innen:

$$h = \frac{e \left(U_{Z1} - U_{Z2} \right) \lambda_1 \lambda_2}{c \left(\lambda_1 - \lambda_2 \right)},$$

A megadott értékek és a függvénytáblázatból kikeresett e és c adatok behelyettesítésével a Planck-állandóra $h = 6{,}43 \cdot 10^{-34}$ Js értéket kapunk.

9. feladat megoldása

A feladat megfogalmazása már ad egy kis útmutatást a megoldásra, amikor hangsúlyozza, hogy a de Broglie-összefüggés a lendület abszolút értékét határozza meg. A lendület maga – mint ismeretes – vektormennyiség, és ezért nem csak abszolút értéke, hanem iránya is van. A Heisenberg-féle határozatlansági összefüggés pedig nem a lendület abszolút értéke bizonytalanságára mond ki valamit, hanem a lendületvektor valamelyik tengelyre való *vetületére*. Az egydimenziós húrra bezárt részecskénél a lendület „iránya" csak kétféle lehet: vagy a pozitív tengely irányába mutat, vagy ellenkezőleg.

A feladatban szereplő látszólagos ellentmondás feloldásának kulcsa, hogy a húron kialakuló állóhullám *két, egymással szemben haladó hullám szuperpozíciója*. Mindkettőnek azonos a hullámhossza, ezért lendületük abszolút értéke is azonos. Irányuk azonban ellentétes, ezért az egyik lendülete $+p$, a másiké $-p$. A lendület (x-tengelyre való vetületének) bizonytalansága tehát ebben az esetben $\Delta p_x = 2|p|$. Ide helyettesíthetjük be a de Broglie-összefüggésből kapott p értékét:

$$\Delta p_x = 2|p| = 2\frac{nh}{2L} = \frac{nh}{L} \quad \text{(itt } n = 1,\ 2,\ 3\ldots\text{)}.$$

Erre nyilvánvalóan igaz, hogy

$$n\frac{h}{L} > \frac{\hbar}{L} = \frac{1}{2\pi}\frac{h}{L},$$

azaz nincs ellentmondás a Heisenberg-féle határozatlansági összefüggéssel.

10. feladat megoldása

A ^{7}Be elektronbefogással bomlik: $^{7}_{4}\mathrm{Be} + e^- \rightarrow {}^{7}_{3}\mathrm{Li} + \nu$. Emiatt a bomlás sebességét nemcsak a ^{7}Be atommag tulajdonságai határozzák meg, hanem az atommag helyén lévő elektronsűrűség is. Ha egy Be atomot egy C_{60} molekula belsejébe helyezünk, a 60 db szénatom közelsége miatt megnő az atommag helyén lévő elektronsűrűség, és ez megnöveli a bomlás valószínűségét, miáltal lecsökken a felezési idő.

A döntő feladatainak megoldása

ELMÉLETI FELADATOK MEGOLDÁSA

I. kategória

1. feladat megoldása

Jelöljük egy atom lehetséges állapotainak energiáját E_0, E_1, E_2, … E_n-nel. A kibocsátott, illetve elnyelt fotonok frekvenciájára teljesül a Bohr-féle feltétel: $hf_{ik} = E_i - E_k$. Abszorpció esetén alapállapotú atomokat gerjesztünk, tehát az átmenetben az egyik állapot feltétlenül a $k = 0$ állapot. Emisszió esetén gerjesztett atomok térnek vissza alacsonyabb energiájú állapotokba, ezért egy magasan gerjesztett állapotból több, alacsonyabban gerjesztett állapotba is történhet átmenet (például $i = 4$ mellett $k = 0, 1, 2, 3$ is lehet).

2. feladat megoldása

Túltelített gőzt állítanak elő, amelyben a részecskék keltette ionok kicsapódási gócként viselkednek. Az egyes részecskékre utaló nyomok különböző vastagságúak. Mágneses mezőben a részecskék pályának alakjából, görbületi sugarából következtetni lehet fajlagos töltésükre, sebességükre, a pálya hosszából energiájukra. A protonok kevesebb iont hoznak létre útjuk közben, így pályagörbéjük vékonyabb vonal, mint az α-részecskéké.

Az α-részecske pályája elágazik, de úgy, hogy az egyik nyom vékony lesz (ez a proton nyoma), míg a másik vastag (ez a keletkezett oxigénmag nyoma). Az, hogy a vastagabb vonal az oxigénmag nyoma, azt az energia- és lendületmegmaradás alapján lehetett kiszámolni.

3. feladat megoldása

A mágneses mezőbe érkező töltött testek körpályán fognak mozogni. Az ehhez szükséges centripetális erőt a Lorentz-erő szolgáltatja. A részecskék mozgását leíró egyenlet:

$$m\frac{v^2}{R} = q\,v\,B.$$

Innen a körpálya sugara:

$$R = \frac{m\,v}{q\,B}.$$

A számlálóban a részecskék lendülete $p = mv$ szerepel. Ezt a relativisztikus energiaképletből lehet kiszámítani:

$$E_{kin} = \sqrt{(p\,c)^2 + \left(m_0\,c^2\right)^2} - m_0\,c^2.$$

ahol E_{kin} a részecske mozgási energiája, m_0 pedig a nyugalmi tömege. Ebből kapjuk:

$$p\,c = \sqrt{\left(E_{kin} + m_0\,c^2\right)^2 - \left(m_0\,c^2\right)^2} = \sqrt{E_{kin}\left(E_{kin} + 2\,m_0\,c^2\right)}.$$

Alfa-részecskék esetében $q = 2e$, $m_\alpha \sim 8000\,m_e$, és $E_\alpha \sim 10\,E_e$. Vegyük figyelembe, hogy $E_e \sim m_e c^2$, Ezért

$$R_\alpha = \frac{p_\alpha}{2\,e\,B} \approx \frac{\sqrt{10\,E_e\left(10\,E_e + 2\cdot 8000\,m_e c^2\right)}}{2\,e\,c\,B} \approx \frac{m_e\,c}{2\,e\,B}\sqrt{10\cdot 8010} = 200\,\frac{m_e\,c}{e\,B}.$$

Elektronok esetében pedig:

$$R_\beta = \frac{p_e}{eB} \approx \frac{\sqrt{E_e\left(E_e + 2m_e c^2\right)}}{e c B} \approx \frac{m_e c}{eB}\sqrt{3} \approx 1{,}73\,\frac{m_e c}{eB}.$$

Tehát az alfa-részecskék pályasugara körülbelül 115-ször akkora, mint az elektronoké. Amikor tehát az elektronok pályájának „begörbülését” már meg lehet figyelni, az alfa-részecskékét még nem. (Ehhez még a konkrét pályasugarakat sem kell kiszámolni.)

Kihasználva, hogy $m_e c^2 = 0{,}511\ \text{MeV} = 0{,}511\cdot 1{,}6\cdot 10^{-13}\ \text{J} = 8{,}176\cdot 10^{-14}\ \text{J}$, az elektronok számszerű pályasugara

$$R_e = 1{,}73\,\frac{8{,}176\cdot 10^{-14}\ \text{J}}{1{,}6\cdot 10^{-19}\ \text{C}\cdot 0{,}01\ \text{T}} \approx 0{,}29\ \text{m}.$$

Ez könnyen megfigyelhető, míg a körülbelül 33 méteres pályasugár az alfa-részecskéknél rövid távon nem észlelhető.

Megjegyzés: Ha klasszikusan számolnánk, akkor $p = \sqrt{2mE}$, így a két részecske lendületének aránya:

$$\frac{p_\alpha}{p_e} = \sqrt{\frac{2\cdot 8000\, m_e\cdot 10\, E_e}{2 m_e E_e}} = \sqrt{80\,000} = 282{,}8.$$

Ezzel a két sugár arányára:

$$\frac{R_\alpha}{R_e} = \frac{282{,}8}{2} = 141{,}4$$

értéket kapnánk. Jól látható a „relativisztikus” és a „klasszikus számolás” különbsége.

4. feladat megoldása

Az első kísérletben a lyukon másodpercenként

$$10^{13}\cdot\frac{10^{-6}}{12{,}56} = 796\,178$$

foton halad át. A második kísérletben hasonlóan kapjuk, hogy másodpercenként 0,79 foton halad át, azaz átlagosan 1,256 másodpercenként halad át 1 foton. Az első esetben egyszerre sok foton érkezik az optikai rácsra, a második kísérletben egyszerre legfeljebb egy. Mindkét kísérletben a fényképezőlemezen kialakuló képet körülbelül ugyanannyi (796 178) foton hozza létre, hiszen a második kísérletben éppen annyiszor hosszabb ideig mérünk, ahányszor kisebb az intenzitás. A fényképezőlemezeken rögzített képek között mégsem lesz különbség (eltekintve apróbb statisztikus ingadozásoktól), mert a fotonok nem egymással, hanem saját magukkal interferálnak amikor áthaladnak az optikai rácson. Ezért az „egy-fotonos" kísérletben is ugyanolyan interferenciaképet találunk, mint amikor egyszerre sok foton érkezett.

5. feladat megoldása

A $t = 5 \cdot 10^{-15}$ s ideig tartó fényhullámcsomag eleje és vége között a távolság:

$$L = ct = 3 \cdot 10^8 \cdot (5 \cdot 10^{-15}) = 1{,}5 \cdot 10^{-6}\ \text{m}.$$

Azaz $\Delta x \approx 1{,}5 \cdot 10^{-6}$ m. Így a Heisenberg-féle határozatlansági összefüggésből

$$\Delta p \approx \frac{\hbar}{\Delta x}.$$

Mivel $p = h/\lambda$, ezért:

$$\Delta p = p_2 - p_1 = h\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right) = h\left(\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 \lambda_2}\right) \approx h\,\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2}.$$

Ebből kapjuk, hogy

$$\Delta\lambda \approx \lambda^2 \frac{\Delta p}{h}.$$

Behelyettesítve Δp értékét:

$$\Delta\lambda \approx \lambda^2 \frac{\hbar}{h\,\Delta x} = \lambda^2 \frac{1}{2\pi\,\Delta x}.$$

Végül a számértékeket behelyettesítve:

$$\Delta\lambda \approx \frac{(600 \cdot 10^{-9}\ \text{m})^2}{6{,}28 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-6}\ \text{m}} = 3{,}82 \cdot 10^{-8}\ \text{m} = 38{,}2\ \text{nm}.$$

6. feladat megoldása

Felezési idő becslése: A különválasztott minta tömege $m = 10^{-6}$ g $= 10^{-9}$ kg. A felhígított mintából kijövő alfa-részecskék a tér minden irányába egyenletesen repülnek. Ezért, ha egy 0,15 méterre lévő 1 mm^2 felületen percenként 8 becsapódást észlelünk, akkor egy 0,15 m sugarú gömb teljes felszínére percenként

$$N = 8\,\frac{4\pi R^2}{F} = 8\,\frac{4\pi\,(0{,}15\ \text{m})^2}{10^{-6}\ \text{m}^2} = 2{,}26 \cdot 10^6$$

darab alfa-részecske csapódna be. Ennyit bocsát tehát ki a forrás egy perc alatt. A minta aktivitása (a másodpercenkénti bomlások száma) tehát:

$$A_1 = \frac{2{,}26 \cdot 10^6}{60\ \mathrm{s}} = 37\,700\ \mathrm{Bq}.$$

A rádium moláris tömege $M = 226$ g/mol, ezért a mintában lévő atomok száma:

$$N = \frac{10^{-6}\ \mathrm{g} \cdot 6 \cdot 10^{23}\ \dfrac{1}{\mathrm{mol}}}{226\ \dfrac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = 2{,}65 \cdot 10^{15}.$$

A bomlási törvény alapján a bomlási állandó:

$$\lambda = \frac{A_1}{N} \approx 1{,}42 \cdot 10^{-11}\ \frac{1}{\mathrm{s}}.$$

A felezési idő pedig:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx 4{,}88 \cdot 10^{10}\ \mathrm{s},$$

ami körülbelül 1550 évnek felel meg. (A pontos irodalmi adat 1602 év.)

Bomlási energia becslése: A vízbe helyezett rádium tömege: $m_{\mathrm{Ra}} = 10^{-4}$ kg, a víz tömege $m_{\mathrm{víz}} = 10^{-2}$ kg. Az igen kis mennyiségű rádium hőkapacitását elhanyagoljuk a víz hőkapacitása mellett.

A vízben lévő rádium aktivitása

$$A_2 = 10^5 A_1 = 3{,}768 \cdot 10^9\ \mathrm{Bq}.$$

Az óránként felszabaduló energia:

$$\Delta E = c\, m_{\mathrm{víz}} \Delta T \approx 42\ \mathrm{J}.$$

A másodpercenként felszabaduló energia:

$$\frac{\Delta E}{3600} \approx 1{,}17 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{J/s}.$$

A bomlásonként felszabaduló energia:

$$\varepsilon = \frac{1{,}17 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{J/s}}{3{,}768 \cdot 10^9\ 1/\mathrm{s}} \approx 3{,}1\ \mathrm{pJ}.$$

Megjegyzés: Valójában a rádium bomlásakor felszabaduló alfa-részecske energiája a kapott érték körülbelül 1/4-e (körülbelül 5 MeV), mivel a rádium további három, rövid felezési idejű, alfa-bomló leányeleme (Rn, Po, Bi) radioaktív egyensúlyba kerül az anyaelemmel, ezért a felszabaduló számított energia négy részre osztandó.

7. feladat megoldása

a) A folyamat egy „fordított” Compton-szórás, amikor szórás közben a foton energiát nyer a kezdetben mozgó elektrontól, amely megáll.

Az energia- és a lendületmegmaradási törvényt kell felírni. Jelöljük p_γ-val, p'_γ-val és p_e-vel rendre a foton szórás előtti, szórás utáni lendületét, valamint az elektron szórás előtti lendületét (az elektron lendülete a szórás után 0).

Az energiamegmaradásból következik:

$$p_\gamma c + \sqrt{(p_e c)^2 + (m_0 c^2)^2} = p'_\gamma c + m_0 c^2.$$

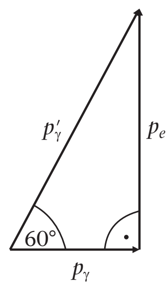
Használjuk ki, hogy $E_\gamma = p_\gamma c$ és, hogy $E_\gamma = m_e c^2$, így kapjuk,hogy

$$\sqrt{(p_e c)^2 + (p_\gamma c)^2} = p'_\gamma c.$$

Négyzetre emelés, és c^2-tel való egyszerűsítés után adódik:

$$p_e^2 + p_\gamma^2 = p'^2_\gamma.$$

A három lendületre tehát érvényes Pitagorasz tétele, azaz a három lendületvektor derékszögű háromszöget alkot. Mivel a feladat szerint p_γ és p'_γ által bezárt szög $\alpha = 60°$, ezért a három lendületvektor az ábra szerint helyezkedik el.



Ebből azonnal adódik: $p'_\gamma = 2p_\gamma$, azaz $E'_\gamma = 2E_\gamma$. A foton kezdeti hullámhossza $\lambda = h/p_\gamma$, a szóródott foton hullámhossza pedig:

$$\lambda' = \frac{h}{p'_\gamma} = \frac{h}{2p_\gamma} = \frac{1}{2}\lambda.$$

A hullámhossz megváltozása tehát:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = -\frac{1}{2}\lambda.$$

A foton hullámhossza tehát éppen a felére csökkent.

A foton eredeti hullámhosszára felírhatjuk:

$$\frac{hc}{\lambda} = 0{,}511 \text{ MeV} = 8{,}176 \cdot 10^{-14} \text{ J},$$

ebből pedig

$$\lambda = \frac{hc}{8{,}176 \cdot 10^{-14}} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{8{,}176 \cdot 10^{-14}} = 2{,}43 \cdot 10^{-12} \text{ m}.$$

A hullámhossz-megváltozás tehát ennek éppen a fele, azaz

$$\Delta\lambda = 1{,}215 \cdot 10^{-12} \text{ m}.$$

b) Az elektron mozgási energiája az ütközés előtt:

$$T = E_e - m_0 c^2 = \sqrt{\left(p_e c\right)^2 + \left(m_0 c^2\right)^2} - m_0 c^2.$$

A lendületvektorok alkotta háromszög alapján $p_e c$ = tg60°$\cdot p_\gamma c = \sqrt{3}\, m_0 c^2$, ezért

$$T = m_0 c^2 \left(\sqrt{3+1} - 1\right) = m_0 c^2 = 0{,}511 \text{ MeV}.$$

8. feladat megoldása

a) Adott $\lambda = 10^{-15}$ m, ebből a részecske lendülete: $p = h/\lambda$ meghatározható. Ekkora lendületű foton energiája:

$$E_\gamma = p\,c = h\,\frac{c}{\lambda} = 6{,}626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \frac{3 \cdot 10^8 \ \dfrac{\text{m}}{\text{s}}}{10^{-15} \text{ m}} =$$

$$= 1{,}988 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 1242{,}5 \text{ MeV}.$$

b) Relativisztikusan számolva p lendületű elektron mozgási energiája:

$$T = \sqrt{\left(p\,c\right)^2 + \left(m_0 c^2\right)^2} - m_0 c^2 = \sqrt{\left(\frac{h\,c}{\lambda}\right)^2 + \left(m_0 c^2\right)^2} - m_0 c^2.$$

Vegyük észre, hogy a gyökjel alatti első tagot már a fotonokra kiszámoltuk (1242,5 MeV). Ezért az elektron mozgási energiája:

$$T = \sqrt{\left(1242{,}5 \text{ MeV}\right)^2 + \left(0{,}511 \text{ MeV}\right)^2} - 0{,}511 \text{ MeV} = 1241{,}99 \text{ MeV}.$$

Megjegyzés: Látszik, hogy ezek az elektronok „ultra-relativisztikusak”, azaz nyugalmi tömegük lényegében elhanyagolható a mozgási energiájuk mellett.

9. feladat megoldása

a) Az A aktivitású jódatomok számát a bomlási törvényből kapjuk:

$$N = \frac{A}{\lambda} = A\,\frac{T}{\ln 2} = 86 \cdot 10^6 \ \frac{1}{\text{s}} \ \frac{8 \cdot 86400 \text{ s}}{\ln 2} = 8{,}57 \cdot 10^{13}.$$

Az N atom együttes tömege:

$$m = \frac{8{,}57 \cdot 10^{13}}{6 \cdot 10^{23} \ \dfrac{1}{\text{mol}}} \cdot 131 \ \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 1{,}87 \cdot 10^{-8} \text{ g}.$$

Így a kibocsátáshoz szükséges idő:

$$t = \frac{0{,}01\ \text{g}}{1{,}87 \cdot 10^{-8}\ \dfrac{\text{g}}{\text{év}}} = 535\,000\ \text{év}.$$

b) Egyenletes kibocsátás esetén a naponként kibocsátott aktivitás:

$$A_0 = \frac{86\ \text{MBq}}{365\ \text{nap}} = 0{,}235\ \frac{\text{MBq}}{\text{nap}}.$$

Az aktivitás időfüggésére felírhatjuk az exponenciális törvényt:

$$A = A_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8}},$$

itt t napokban helyettesítendő be. Ebből meghatározható hogy az aktivitás naponta mindig 0,917-ed részére csökken. Ezért 365 napra összegezve a napi kibocsátások megmaradt hányadát q = 0,917 hányadosú, n = 365 tagú mértani sort kapunk: A_0, A_0q, … A_0q^{n-1}. A sor összege adja az 1 év után megmaradt összes aktivitást:

$$A_ö = A_0\frac{q^n - 1}{q - 1} \approx A_0\frac{-1}{q - 1} = 12{,}04\,A_0 = 2{,}83\ \text{MBq}.$$

Megjegyzések:

1. A feladat megoldásához más gondolatmenettel is eljuthatunk. Mivel a jód felezési ideje 8 nap, ezért néhány felezési idő múltán a korábban kibocsátott jód aktivitása lényegében eltűnik. (például 10 felezési idő – azaz 80 nap – alatt ezredrészére csökken). Ezért az egyensúly várhatóan körülbelül ennyi idő alatt beáll. Az egyensúlyt viszont az jellemzi, hogy amennyit naponként kibocsát az erőmű, annyit csökken az elbomlás miatt a már kint lévő jód aktivitása. Azaz 0,235 MBq = (1–0,917)A. Ebből a kint lévő egyensúlyi aktivitás:

$$A = \frac{0{,}235}{1 - 0{,}917} = 2{,}83\ \text{MBq}.$$

2. Pontosabb egyensúlyi értéket kapunk a differenciális

$$\frac{dA}{dt} = -\lambda A$$

bomlási törvényből, ugyanis

$$|A| = \frac{dA/dt}{\lambda} = \frac{T}{\ln 2}\frac{dA}{dt} = \frac{8\ \text{nap}}{0{,}693}\,0{,}235\ \frac{\text{Bq}}{\text{nap}} = 2{,}71\ \text{MBq}.$$

A fentiek alapján körülbelül 80 nap után már ezrelék pontossággal beáll az egyensúly, így évek múlva is ez az érték állandó marad (ha az erőmű radioaktív jódkibocsátása időben egyenletes).

10. feladat megoldása

a) Egyensúly esetén a radioaktív izotóp magok időegységre jutó keletkezése megegyezik a földi készlet aktivitásával:

$$\frac{\Delta N_{\mathrm{C}}}{\Delta t} = \frac{dN_{\mathrm{C}}}{dt} = \lambda_{\mathrm{C}} N_{\mathrm{C}},$$

$$\frac{\Delta N_{\mathrm{T}}}{\Delta t} = \frac{dN_{\mathrm{T}}}{dt} = \lambda_{\mathrm{T}} N_{\mathrm{T}}.$$

A két egyenlet arányát képezve, – felhasználva a 10 keletkezési arányt – kapjuk:

$$10 = \frac{\lambda_{\mathrm{C}} N_{\mathrm{C}}}{\lambda_{\mathrm{T}} N_{\mathrm{T}}}.$$

Ebből az izotóp atomok számának aránya:

$$\frac{N_{\mathrm{C}}}{N_{\mathrm{T}}} = 10\,\frac{\lambda_{\mathrm{T}}}{\lambda_{\mathrm{C}}} = 10\,\frac{T_{\mathrm{C}}}{T_{\mathrm{T}}} = 4658.$$

A tömegeik arányát megkapjuk, ha az atomok számának arányát megszorozzuk a tömegszámok arányával:

$$\frac{m_{\mathrm{C}}}{m_{\mathrm{T}}} = \frac{N_{\mathrm{C}}}{N_{\mathrm{T}}}\,\frac{14}{3} = 10\,\frac{T_{\mathrm{C}}}{T_{\mathrm{T}}}\,\frac{14}{3} = 21\,739.$$

b) Fejezzük ki a körforgásban résztvevő stabil izotópok számának arányát a bomló izotóp atomok számának arányával:

$$\frac{N_{12\mathrm{C}}}{N_{\mathrm{H}}} = \frac{10^{12} N_{\mathrm{C}}}{10^{18} N_{\mathrm{T}}} = 4{,}658 \cdot 10^{-3}.$$

Ezután a tömegeik arányát megkapjuk, ha a vízmolekula és a szénatom relatív atomtömegének arányával szorozzuk az atomok arányát, és a kapott érték felét vesszük (mivel 2 hidrogénatom kell egy vízmolekulához):

$$\frac{m_{\text{víz}}}{m_{\text{szén}}} = \frac{1}{2}\,\frac{N_{\mathrm{H}}}{N_{12\mathrm{C}}}\,\frac{18}{12} \approx 161.$$

Tehát a természetes körforgásban megközelítőleg 160-szor nagyobb tömegű víz vesz részt, mint szén.

II. kategória 9–10. feladatának megoldása

9. feladat megoldása

A ^{226}Ra α-bomlásának reakcióegyenlete:

$$^{226}\mathrm{Ra} \rightarrow {}^{222}\mathrm{Rn} + \alpha.$$

A magreakció során felszabaduló energia a kötési energiák különbségéből adódik, vagyis:

$$Q = E_{köt}(\mathrm{Rn}) + E_{köt}(\alpha) - E_{köt}(\mathrm{Ra}) =$$

$$= 277{,}795 \text{ pJ} + 4{,}533 \text{ pJ} - 281{,}894 \text{ pJ} = 0{,}434 \text{ pJ}.$$

A nyugvónak tekintett Ra atommaghoz rögzített koordinátarendszerben (laborrendszer) a szétrepülő két részecske lendülete ellentétes irányú, de azonos abszolút értékű. Emiatt:

$$Q = \frac{p^2}{2M_\alpha} + \frac{p^2}{2M_{\mathrm{Rn}}} = E_\alpha + E_{\mathrm{Rn}}.$$

Ebből az következik, hogy a felszabaduló energián a részecskék a tömegükkel fordított arányban osztoznak, vagyis

$$E_\alpha = Q\frac{M_{\mathrm{Rn}}}{M_{\mathrm{Rn}} \quad M_\alpha} = Q\frac{222}{226} = 0{,}426 \text{ pJ}.$$

10. feladat megoldása

Könnyű atommagoknál adott tömegszám mellett az a legstabilabb atommag, ahol a protonok és a neutronok száma megegyezik. Ezért elegendő megvizsgálni a 4 protont és 4 neutront tartalmazó ^{8}Be atommagot. Ha ez nem létezik, nem létezhet más, 8-as tömegszámú atommag sem.

A ^{8}Be atommagban lévő protonok és neutronok közül kettő-kettő a legalacsonyabb, csomómentes 1*s* állapotba kerül – akárcsak a ^{4}He atommagban. A további két proton, illetve két neutron a Pauli-elv miatt a jóval nagyobb mozgási energiát jelentő, egycsomós *p*-állapotba kényszerül. Jóllehet a 8 részecske között több kölcsönhatás tud létrejönni, mint 4 között (és ez a mag kötési energiáját növeli), de a *p*-állapotba szorult részecskék megnőtt mozgási energiája a ^{8}Be atommag kötési energiáját gyengíti. Ezért energetikailag kedvezőbb lesz a ^{8}Be-nak két ^{4}He atommagra szétesni, mert a két ^{4}He atommagban mind a nyolc részecske a legalacsonyabb, csomómentes állapotba kerülhet. Ezt a kötési energiákból is azonnal be lehet látni. A ^{8}Be kötési energiája 9,051 pJ, amely kisebb, mint a ^{4}He atommag kötési energiájának kétszerese: $2 \cdot 4{,}533$ pJ = 9,066 pJ > 9,051 pJ.

A 8. verseny döntőjének eredménye

11–12. évfolyam (I. kategória)

1. helyezést ért el ***Halász Gábor,*** az ELTE Radnóti Mikós Gimnázium, Budapest tanulója, felkészítő tanára Honyek Gyula, 85 pontos eredménnyel,
2. ***Széchenyi Gábor*** (Verseghy F. Gimn., Szolnok, Pécsi István, 78),
3. ***Kiss Péter*** (ELTE Apáczai Csere J. Gyak. Gimn., Budapest, Zsigri Ferenc, 77)
4. *Kómár Péter* (Fazekas M. Gimn., Budapest, Dvorák Cecília, 74),
5. *Molnár Kristóf* (Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg, Pálovics Róbert, 71),
6. *Ferenczy Máté* (Fazekas M. Gimn., Budapest, Dvorák Cecília, 67),
7. *Bana Péter* (Varga K. Gimn., Szolnok, Nagy Tibor II., 62),
8. *Varjas Dániel* (Széchenyi I. Gimn., Dunaújváros, Kispál István, 61),
9. *Tóth Emil* (SZTE Ságvári E. Gimn., Szeged, Dr. Kovács László, 59),
10. *Lantos Judit* (Bethlen G. Gimn., Hódmezővásárhely, Nagy Tibor, 57),
11. *Szécsényi István* (ELTE Apáczai Csere J. Gimn., Budapest, Kotek Gábor, 55),
12. *Heisenberger Viktor* (Leőwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter, 54),
13. *Kocsis Vilmos* (SZTE Ságvári E. Gimn., Szeged, Dr. Kovács László, 53),
14. *Deák Áron* (Bencés Gimn., Pannonhalma, Pintér Ambrus, 51),
15. *Papp Dániel* (SZTE Ságvári E. Gimn., Szeged, Dr. Kovács László, 49),
16. *Szijártó Rita* (Garay J. Gimn., Szekszárd, Dr. Jurisits József, 48),
17. *Domján Dániel* (Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg, Pálovics Róbert, 45),
18. *Nagy Róbert* (ELTE Apáczai Csere J. Gimn., Budapest, Pákó Gyula, 43).

9–10. évfolyam (II. kategória)

1. helyezést ért el ***Vajna Szabolcs,*** a Berze Nagy János Gimnázium, Gyöngyös tanulója, felkészítő tanára Kiss Miklós, 56 pontos eredménnyel,
2. ***Takátsy Balázs*** (Bethlen G. Gimn., Hódmezővásárhely, Nagy Tibor, 48),
3. ***Vincze János*** (Fazekas M. Gimn., Debrecen, Takács Kálmán, Szegedi Ervin, 47)
3. ***Almási Gábor*** (Leőwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter, 47),
3. ***Pósa László*** (Bethlen G. Gimn., Hódmezővásárhely, Nagy Tibor, 47),
6. *Adamik Dániel* (Eötvös J. Gimn., Tata, Magyar Csabáné, 45),
7. *Dudás János* (Bethlen G. Gimn., Hódmezővásárhely, Nagy Tibor, 42),
8. *Kozák Gábor* (Bethlen G. Gimn., Hódmezővásárhely, Nagy Tibor, 27),
9. *György Hunor* (Batthyány K. Gimn., Szigetszentmiklós, Bülgözdi László, 26),
9. *Gyebrószki Gergely* (Batthyány K. Gimn., Szigetszentmiklós, Bülgözdi László, 26).

9. Országos Szilárd Leó Fizikaverseny, 2006

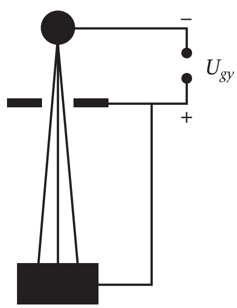
Az 1. forduló feladatai[1]

1. feladat

Egy röntgencsőben U_{gy} feszültséggel gyorsítják fel az elektronokat.

a) Mi annak a feltétele, hogy az anódból kiinduló röntgensugárzás fotonjai frontális ütközés során megállítsák a felgyorsított, sugárzást keltő elektronokat?

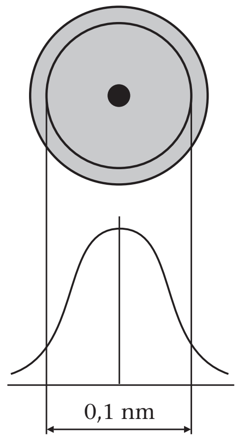
b) Legfeljebb mekkora lehet a röntgenfoton energiája egy ilyen ütközés után?



2. feladat

A hidrogénatomban a proton vonzása tartja fogva az elektront. A hullámmodell szerint *alapállapotban* az elektront egy gömbszimmetrikus, csomófelületmentes állóhullám írja le. Egyensúlyi állapotban a gömb alakú atom sugara $R_0 \approx 0{,}05$ nm, energiája $E_{H0} = -2{,}2$ aJ. A proton vonzásából származó *átlagos elektrosztatikus energia* $1/R$-rel arányos és értéke alapállapotban $E_{p0} = -4{,}4$ aJ. Az „atomba zárt”, kvantumos nyüzsgést végző elektron *átlagos mozgási energiája* pedig $1/R^2$-tel arányos.

Becsüljük meg, hogy a hidrogénatomot mekkora külső nyomással lehetne úgy összepréselni, hogy térfogata 1%-kal csökkenjen!



[1] Az első fordulót 2006. február 27-én tartották. Minden feladat helyes megoldása 5 pontot ér. A feladatokat tetszőleges sorrendben lehet megoldani. A megoldáshoz bármilyen segédeszköz használható. Rendelkezésre álló idő: 180 perc.

3. feladat

A Rák köd középpontjában – az 1300-as években történt szupernóva-robbanás maradványaként – egy neutroncsillag található, amelyet a csillagászok Rák-pulzárnak neveztek el. A Rák-pulzár saját tengelye körül 30 Hz-es fordulatszámmal forog. A csillag anyaga atommag-sűrűségűnek vehető ($\approx 1{,}4 \cdot 10^{17}$ kg/m^3).

a) Becsüljük meg, mekkora lehet a gömb alakúnak képzelt csillag sugara, ha tömegét a Nap tömegével ($2 \cdot 10^{30}$ kg) vesszük azonosnak!

b) A csillag felszínén mekkora lehet a nehézségi gyorsulás értéke?

c) Vizsgáljuk meg, hogy a g_n értékét mennyire befolyásolja a csillag gyors forgása! Hasonlítsuk össze a Földön lévő viszonyokkal!

4. feladat

Egy atommag azonos számú protonból és neutronból tevődik össze. A mag szabad nukleonokból történő keletkezésekor fellépő 0,908%-os tömeghiány 306,8 MeV energiának felel meg.

Melyik ez az atommag? Határozzuk meg az atommag tömegszámát és rendszámát!

5. feladat

Egy 50 m^3 térfogatú, jól záró szobában, amelyet már régen nem szellőztettek, a radon aktivitáskoncentrációja 800 Bq/m^3.

a) Hány gramm radon áramlik be óránként a szobába a padlón keresztül?

b) Mit ajánlhatunk a lakóknak ilyen, vagy ennél nagyobb aktivitáskoncentrációnál?

6. feladat

A Greenpeace aktivistái tüntettek annak idején a német egyesítés után nekünk átadott friss, használatlan atomerőműi üzemanyag-kazetták vasúti szállítása ellen, féltvén a környezetet a „sugárfertőzéstől”.

Mondjunk a véleményt erről az eseményről!

7. feladat

A neutron- és az α-sugárzás is egyaránt veszélyes az élő szervezetre.

Biológiailag az azonos energiájú neutron- vagy α-sugárzás a veszélyesebb?

8. feladat

A protonokat és neutronokat kétféle kvark alkotja. Az egyik az up kvark, töltése +2/3 szorosa az elemi töltésnek, a másik a down kvark, ennek töltése –1/3 szorosa az elemi töltésnek. A proton 2 up és 1 down kvarkból, a neutron 2 down és 1 up kvarkból áll. A kvarkok nem tudnak kiszabadulni, hanem csak a proton és a neutron belsejében, kötött állapotban léteznek.

Mekkora energiájú elektronokkal végzett szóráskísérlettel tehetők ezek a kvarkok „láthatóvá”?

9. feladat

A párizsi Eiffel-torony 324 m magas, fémből (acélból) készült. A fémben lévő vezetési elektronok a fémben szabadon elmozdulhatnak. Az elektronoknak van tömege, mégsem „esnek le” mind a torony aljára.

a) Vajon mi lehet ennek az oka?

b) Mi történne abszolút zérus fokon?

10. feladat

Gyakran hallani arról, hogy a globális felmelegedés következtében előfordulhat, hogy leáll a meleg Golf-áramlat, és Nyugat-Európára újabb jégkorszak vár.

Mi lehet ennek a magyarázata?

Döntő feladatai[2]

ELMÉLETI FELADATOK[3]

I. kategória

1. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

A csernobili atomerőmű balesetekor a baleset helyszínétől távol a lakosság legnagyobb sugárterhelését a ^{131}I és a ^{137}Cs izotópok jelentették.

Ugyanakkora aktivitású ^{137}Cs vagy ^{131}I szervezetbe kerülésekor melyik izotóp a veszélyesebb?

Adatok: A ^{137}Cs fizikai felezési ideje 30 év, biológiai felezési ideje 100 nap, a bomlásakor felszabaduló összenergia 1,176 MeV, amelyből 662 keV a leánymag gamma-sugárzása során keletkezik, a többi béta-bomláskor. A ^{131}I felezési ideje 8 nap, a bomlásakor felszabaduló összenergia 0,971 MeV, amelyből átlagosan 380 keV gamma-sugárzás formájában, a többi bétabomlásban szabadul fel.

[2] A döntőt 2006. április 29-én Pakson tartották.

[3] A feladatok megoldásához 180 perc áll rendelkezésre. Minden segédeszköz használható. Minden feladatot külön lapra írjunk, s minden lapon legyen rajta a megoldó kódja. A feladatok NEM nehézségi sorrendben vannak. Minden feladat megoldása 5 pontot ér.

2. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

Egy TOKAMAK belsejében a következő fúziós folyamatot használják energiaátalakításra:

$$D + D \to {}^3He + n.$$

A TOKAMAK plazmájának magas hőmérsékletén a részecskéknek 10 keV átlagos mozgási energiájuk van.

a) Mennyire közelíthetik meg egymást az ekkora átlagos energiával rendelkező részecskék?

b) Valóban létrejöhet-e a fúzió ezen a hőmérsékleten?

3. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

A radioaktivitás felfedezését követően komoly feladat volt a keletkező részecskék energiájának meghatározása. Az első adatok az α-részecskékre vonatkoztak. Az könnyen észrevehető volt, hogy a rádiumvegyületek mindig kissé melegebbek, mint a környezetük. Ha egy ilyen vegyületet kaloriméterbe helyeztek, megállapítható volt, hogy mennyi hőt fejlesztenek óránként. Ezt az értéket elosztva az óránként keletkező α-részecskék számával, meg lehetett határozni egy részecske energiáját. A következő feladat tehát a bomlások számának a meghatározása. Ez úgynevezett spintariszkóp segítségével történt.

A spintariszkóp egy kis méretű doboz, amelynek az alját belülről cink-szulfiddal (ZnS) vonták be, míg a másik oldalán egy lencse van. A lencse és a cink-szulfid felület közé egy tűt helyeztek, melyre kis mennyiségű radioaktív anyagot vittek fel. A tűről a cink-szulfid felületre került α-részecskék a nagyítón keresztül megfigyelhető szcintillációt, fényfelvillanást hoznak létre.

A rádium bomlási sora olyan, hogy három olyan bomlási termék, leányelem is felhalmozódik, melyek szintén α-részecskéket bocsátanak ki.

Egy konkrét mérés a következőképp történhetett: kaloriméterben lemérték, hogy 1 gramm rádium 588 J hőt fejleszt óránként. Ezután lemértek 5 mg rádiumot tartalmazó sót, melyet 5 liter vízben feloldottak. A jól összekevert oldatból ezután 1 mm^3 oldatot juttattak a spintariszkóp tűjére, ahonnan a víz elpárolgott, és a rádiumtartalmú anyag ott maradt. A berendezés elrendezése olyan volt, hogy az α-részecskéknek csak századrészét lehetett észlelni. A mérés során 100 másodperc alatt 37 felvillanás volt látható.

A fenti mérési adatok alapján mekkora lehet az α-részecske energiája?

4. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

A lakásban lévő fogyasztásmérőben (villanyóra) forgó elektromágneses mezőt hoznak létre a benne lévő tekercsek, amikor valamilyen fogyasztót rákapcsolunk a hálózatra. Ebben a forgó elektromágneses mezőben az ott elhelyezett alumíniumkorong forgásba jön.

Mi történne, ha alumíniumkorong helyett

a) szigetelő korongot,

b) szupravezető (pontosan zérus ellenállású) anyagból készült korongot építenénk be a villanyórába? Többet, vagy kevesebbet mérne a mérőóra?

Indokoljuk meg a válaszokat!

5. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

Láncmolekulákból álló vegyület vizes oldatát kémcsőbe helyezve, az oldat áteső fényben zöld színűnek látszik.

Legalább mekkora a vegyület láncmolekuláinak a hossza?

6. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

A müon az elektronnál 207-szer nagyobb tömegű, de azzal megegyező töltésű elemi részecske, mely a kozmikus sugárzás hatására keletkezik átlagosan 2 GeV energiával, magasan a földi légkörben. Mivel nehezebb az elektronnál, így elbomlik elektronra és neutrínókra a következő bomlási folyamat szerint:

$$\mu^- \to e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu .$$

A részecske átlagos élettartama mindössze $\tau = 2{,}15 \cdot 10^{-6}$ s. Érthetetlennek tűnt, hogy ilyen rövid élettartam mellett hogyan képes a müonok jelentős része áthatolni a körülbelül 10 km vastag légrétegen, hiszen nem haladhatnak gyorsabban, mint a vákuumbeli fénysebesség.

Mi a probléma megoldása?

7. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

Egy Pu-Be neutronforrás másodpercenként 10^4 neutront bocsát ki tokozás nélkül. A forrást polietilénből készült, vastag falú műanyag tokba helyezzük. (A polietilén szenet és hidrogént tartalmaz.)

a) Jöhet-e ki *kevesebb* neutron a tokozott forrásból, mint a tokozás nélküliből?

b) Jöhet-e ki *több* neutron a tokozott forrásból, mint a tokozás nélküliből?

c) Jöhet-e ki *ugyanannyi* neutron a tokozott forrásból, mint a tokozás nélküliből?

A válaszokat indokoljuk meg!

Megjegyzések:

1) A Pu-Be forrásban a következő Pu izotópok vannak különböző koncentrációban: ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{240}Pu, ^{241}Pu. Ezek között vannak alfa-bomló, és hasadóképes izotópok is.

2) A valóságos Pu-Be forrásokat fémtokba helyezik.

8. feladat (kitűzte: Ujvári Sándor)

A Cosmos 1 nevű napvitorlás tömege 100 kg, a 600 m^2 nagyságú, tükröző felülete a sugárzásra merőlegesen áll. A vitorlást nem a napszél, hanem a Nap által kibocsátott fotonok hajtják.

a) Mekkora, és milyen irányú a napvitorlás gyorsulása?

b) Mekkora és milyen irányú lesz a gyorsulás, ha a napvitorlát az előzőhöz képest 45°-kal elfordítjuk?

c) Mi történne, ha a napvitorla nem tükröző lenne, hanem fekete?

9. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

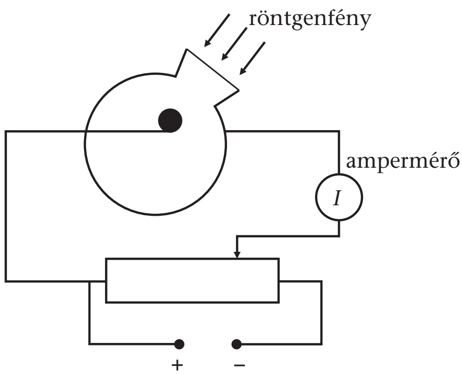
A sok ismert *stabil* atommag között mindössze négy olyan van, amelyekben mind a protonok, mind a neutronok száma páratlan. Ezek: $^{2}_{1}$H, $^{6}_{3}$Li, $^{10}_{5}$B, $^{14}_{7}$N.

a) Mi az oka annak, hogy a páros proton- és/vagy neutronszámú atommagok általában stabilabbak?

b) Mi lehet az oka, hogy csak a legkisebb páratlan számok esetén vannak stabilan létező páratlan-páratlan atommagok?

10. feladat (kitűzte: Szűcs József)

Az *ábrán* látható kísérleti összeállításban egy gömb alakú, fémházas légritkított edény közepébe lítiumból készült katódot helyezünk. A katódot ablakon keresztül ismeretlen hullámhosszúságú, monokromatikus röntgenfénnyel sugározzuk be. A besugárzás hatására a katódból kilépő elektronok zárják az összeállítás áramkörét: a nagy érzékenységű ampermérő áramot jelez. Az ellentér feszültségét növelve két komponens figyelhető meg. Körülbelül $U = 100$ V feszültségig az áramerősség folyamatosan csökken. Ezt követően az áramerősség igen kis értéken marad, és csak körülbelül $U = 5000$ V feszültséggel lehetne teljesen megszüntetni.



Megjegyzés: A lítium kilépési munkáját a számítások során elhanyagolhatjuk.

a) Mekkora lehet a monokromatikus röntgensugárzás hullámhossza?

b) Mi lehet az oka a két komponens megjelenésének?

A feltételezést számítással is támasszuk alá!

II. kategória 9–10. feladata

9. feladat (kitűzte: Vastagh György)
Egy részecskegyorsító-csőben a céltárgyra 32 femtojoule (fJ) energiájú deuteronnyaláb érkezik. Az ionáram erőssége 300 μA.

Mennyi energiát kell másodpercenként elvezetni a céltárgyról, hogy az ne melegedjen?

10. feladat (kitűzte: Vastagh György)
Egy üzemben a hegesztési varratok átvilágítására ^{60}Co izotóp gamma-sugárzását használják. A ^{60}Co bomlásakor atommagonként két gamma-foton keletkezik. Az egyik foton energiája 0,187 pJ, a másiké 0,213 pJ. A radioaktív preparátum a beszerzéskor $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq aktivitású volt, egy év alatt az aktivitása 12,2%-kal csökkent.

a) Mennyi az izotóp felezési ideje?

b) Mekkora volt a preparátumból egy másodperc alatt kilépő gammafotonok összenergiája a beszerzéskor?

KÍSÉRLETI FELADAT

Természetes eredetű radioaktív elemek vizsgálata

Általános tudnivalók
A mérésekhez a következő eszközök állnak rendelkezésre:
1 db porszívó,
1 db GM-csöves sugárzásmérő műszer, detektorral,
1 db Bunsen állvány fogókkal,
1 db műanyag írásvetítő fólia,

Porszívó filterében és léggömbbel összegyűjtött radioaktív por mérése Geiger–Müller-számlálócsővel.

2 db léggömb,
1 csomag gézlap,
1 tekercs szigetelő szalag.

Feladatok

a) Gyűjtsünk a mérésekhez radont és radon-leányelemeket!

b) Írjuk le a jegyzőkönyvbe a gyűjtési módszer fontosabb elemeit!

c) Figyeljük meg és jegyzőkönyvben dokumentáljuk a levegőben lévő, természetes eredetű radioaktív nemesgáz, a radon összegyűjthető leányelemeinek bomlását!

d) Várhatóan mennyi idő alatt fog a mérhető aktivitás a kezdeti aktivitás század részére csökkenni?

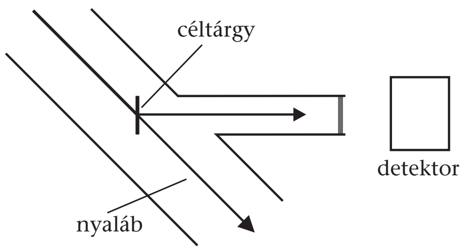
Mérésekhez a következőket tanácsoljuk:

A radon-leányok összegyűjtése hosszú időt vesz igénybe, ezért ennek elindításával kezdjük a kísérleti munkát!

GM-csöves sugárzásmérő ismertetése

A versenyzők az ismertetőt megkapták.

SZÁMÍTÓGÉPES FELADAT



Egy gyorsító-berendezés mellett a következő kísérletet hajtjuk végre:

A gyorsítóban ^{10}B ionokat (atommagokat) gyorsítunk, amelyek protonokat tartalmazó céltárgyra (például vékony polietilén fólia) esnek. Ott rugalmatlanul szóródnak és gerjesztett állapotba kerülnek. A detektor felé repülésük közben elbomlanak, és gamma-sugarakat bocsátanak ki. Ezek a gamma-fotonok a Doppler-jelenség miatt módosított energiával érkeznek a detektorba. Vannak olyan atommagok is, amelyek csak az után bomlanak el, hogy a változtatható hosszúságú repülési cső végében lévő lemezben lefékeződnek. A detektor a kibocsátott gamma-sugarakat észleli.

Feladatok:

1) A gyorsító kikapcsolt állapotában „kalibráljuk” a detektorunkat standard sugárforrások segítségével (^{137}Cs – 662 keV, ^{60}Co – 1170 keV, 1333 keV)!

2) Vegyük fel a spektrumot a gyorsító bekapcsolt állapota mellett, különböző repülésicső-hosszúságok esetén.

3) A felvett spektrumok alapján határozzuk meg a következőket:

a) a gerjesztett állapot energiáját,

b) a rugalmatlanul szóródott részecskék energiáját,

c) a gerjesztett állapot élettartamát.

Figyelem! A számítógépes kísérlet elvégzéséről külön „mérési jegyzőkönyvet" kell beadni. A jegyzőkönyv tartalmazzon minden olyan adatot, amelyek a „kísérlet" megismétléséhez és az eredmények ellenőrzéséhez szükségesek (kiindulási, mérési adatok, számítási módszer, végeredmény stb.)! A kiértékeléshez és a jegyzőkönyv elkészítéséhez minden segédeszköz használható – beleértve a számítógépen rendelkezésre álló eszközöket is (például Excel). Excel használata esetén az Excel táblát el kell menteni, és a jegyzőkönyvben fel kell tüntetni a nevet, hogy a kiértékeléskor a zsűri belenézhessen.

Segítség: A relativisztikus Doppler-effektus képlete:

$$f' = f\frac{\sqrt{1+\frac{v}{c}}}{\sqrt{1-\frac{v}{c}}}.$$

A program használatát külön részletes útmutató magyarázta el.

Az 1. forduló feladatainak megoldása

1. feladat megoldása

a) Feltételezzük, hogy a foton-elektron ütközés az anód és az antikatód közötti térrészben történik, ahol az elektronok megkapták már az elektromos mezőből a teljes energiájukat. Legyen egy elektron lendületének nagysága p_e, a vele szembe jövő fotoné pedig h/λ, az ütközés után a foton lendülete h/λ' lesz.

Írjuk fel a frontális ütközésre a megmaradási tételeket!

Lendületmegmaradás:

$$p_e - \frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'}. \tag{1}$$

Energiamegmaradás:

$$e\,U_{gy} + \frac{h}{\lambda}c = \frac{h}{\lambda'}c. \tag{2}$$

Az (1) és (2)-ből kapjuk az elektron megállításhoz szükséges foton hullámhosszát:

$$\lambda = \frac{2hc}{p_e c - U_{gy} e}. \tag{3}$$

Az elektronok által keltett folytonos röntgenspektrumban előforduló röntgenfotonok hullámhosszára az alábbi egyenlőtlenség írható fel (a fotonok energiája legfeljebb az elektronok mozgási energiájával lehet egyenlő):

$$\lambda \geq \frac{hc}{U_{gy}} e. \tag{4}$$

Így (3) és (4) összevetésével feltételként kapjuk:

$$\frac{2hc}{p_e c - U_{gy} e} \geq \frac{hc}{U_{gy} e}.$$

Ebből:

$$U_{gy} e \geq \frac{1}{3} p_e c. \tag{5}$$

A klasszikus mechanika szerint:

$$p_e = \sqrt{2m U_{gy} e}\,.$$

Így kapjuk, hogy

$$U_{gy} \geq \frac{2}{9e} m c^2 = 113{,}7 \text{ kV}.$$

Tehát 113,7 kV vagy annál nagyobb gyorsító feszültségnél már keletkeznek akkora lendületű fotonok a röntgencsőben, hogy képesek megállítani a szembe jövő – „őket keltő”– elektronokat. (Relativisztikusan számolva ennél valamivel nagyobb feszültségértéket kapnánk.)

b) A foton energiája a szóródás után (2) alapján éppen a gyorsító feszültségből kapott elektronenergia és az ütköző röntgenfoton energiájának összege. Mivel az ütközés előtti röntgenfoton energiája legfeljebb az azt keltő elektron mozgási energiájával lehet egyenlő ezért

$$\frac{h}{\lambda'} c \leq 2e U_{gy}.$$

Megjegyzés: A megoldás szerint a 113,7 kV gyorsító feszültségű röntgencsőből kijövő röntgensugárzás folytonos spektruma a szokásos minimális határhullámhosszon túl is terjedhet, de legfeljebb a szokásos határhullámhossz feléig. Ennek kísérleti kimutatása azonban kétséges, mivel a fent tárgyalt foton-elektron ütközések nagyon ritkán fordulhatnak elő, így spektrumának detektálása is nehéz.

2. feladat megoldása

Az elektron teljes energiája elektrosztatikus és mozgási energiából áll. Jelöljük E_{m0}-val az egyensúlyi (összenyomás előtti) mozgási energiát, E_{p0}-val az egyensúlyi elektrosztatikus helyzeti energiát, $E_{0\mathrm{H}}$-val pedig az atom teljes egyensúlyi energiáját. A megadott adatok szerint egyensúlyi állapotban: $E_{0H} = E_{m0} + E_{p0}$, amiből az átlagos mozgási energia $E_{m0} = E_{0H} - E_{p0}$ $= -2{,}2$ aJ $-(-4{,}4$ aJ$) = +2{,}2$ aJ. Látható, hogy $E_{p0} = -2E_{m0} = 2E_{0H}$.

Először az összenyomáshoz szükséges energiát számoljuk ki. Mivel a mozgási energia $1/R^2$ szerint, a potenciális energia $1/R$ szerint változik, ezért az atom energiája valamely R sugarú állapotban a következőképpen írható föl:

$$E = E_{m0}\left(\frac{R_0^2}{R^2}\right) + E_{p0}\left(\frac{R_0}{R}\right) = -E_{0H}\left(\frac{R_0^2}{R^2}\right) + E_{0H}\,2\left(\frac{R_0}{R}\right) =$$

$$= E_{0H}\left(\frac{2R_0}{R} - \frac{R_0^2}{R^2}\right).$$

Az összenyomáshoz szükséges energia tehát:

$$\Delta E = E - E_{0H} = E_{0H}\left[2\,\frac{R_0}{R} - \left(\frac{R_0}{R}\right)^2 - 1\right] = -E_{0H}\left(\alpha^2 - 2\alpha + 1\right) = -E_{0H}(\alpha - 1)^2,$$

ahol az $\alpha = R_0/R$ jelölést vezettünk be.

Ahhoz, hogy az atom térfogata 1%-kal csökkenjen (azaz az eredetinek 0,99-szorosa legyen), a sugarát $\sqrt[3]{0{,}99} = 0{,}9967$-szorosra kell csökkenteni (mivel a térfogat R^3-nal arányos). Ekkor $\alpha = 1/0{,}9967 = 1{,}0033$, és ebből

$$\Delta E = 2{,}2\cdot 10^{-18}\cdot 0{,}0033^2 = 2{,}4\cdot 10^{-23}\ \mathrm{J}.$$

Az összenyomáshoz szükséges nyomást az energianövekedéshez szükséges munkavégzés $\Delta E = p\Delta V$ alapján becsülhetjük. A térfogatváltozás a feladat szerint az atom eredeti térfogatának 1%-a, azaz

$$\Delta V = 0{,}01\,\frac{4\pi}{3}R_0^3 = 5{,}24\cdot 10^{-33}\ \mathrm{m}^3.$$

Így

$$p = \frac{\Delta E}{\Delta V} = \frac{24\cdot 10^{-24}\ \mathrm{J}}{5{,}24\cdot 10^{-33}\ \mathrm{m}^3} = 4{,}58\cdot 10^9\ \mathrm{Pa}.$$

Megjegyzések: A $\Delta E = p\Delta V$ képlet alkalmazása csak egy közelítés a térfogati munkára, hiszen az összenyomás nem állandó nyomáson történik. A térfogati munka pontosan

$$\Delta E = \int_{V_0}^{V_1} p(V)\,dV.$$

3. feladat megoldása

a) A neutroncsillag sugara:

$$R = \sqrt[3]{\frac{3M}{4\pi\,\rho_{mag}}} \approx 15 \text{ km}.$$

b) Felszínén a gravitációs gyorsulás:

$$g_g = \gamma \frac{M}{R^2} \approx 6 \cdot 10^{11} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

c) A forgásából származó centrifugális gyorsulás:

$$a_{cf} = R\,\omega^2 = 5{,}32 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

A centrifugális gyorsulás nagysága kereken 1 ezred része a gravitációs gyorsulásénak, így a nehézségi gyorsulás értékét (a két gyorsulás eredőjét) a csillag forgása csak kis mértékben befolyásolja, akárcsak Földünk esetében (ahol a gyorsulások aránya körülbelül 0,003).

4. feladat megoldása

A tömeghiányra felírhatjuk:

$$\frac{\Delta E}{c^2} = \Delta m = 9{,}08 \cdot 10^{-3}\, Z\left(m_p + m_n\right).$$

Ebből a Z rendszámot kifejezve

$$Z = \frac{\Delta E}{c^2\, 9{,}08 \cdot 10^{-3}\left(m_p + m_n\right)}.$$

Megfelelő értékeket behelyettesítve Z értékére kapjuk

$$Z = \frac{3{,}068 \cdot 10^8 \text{ eV} \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} \frac{\text{J}}{\text{eV}}}{9 \cdot 10^{16} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot 9{,}08 \cdot 10^{-3} \cdot (1{,}0078 + 1{,}00867) \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} =$$

$$= 17{,}97 \approx 18.$$

Tehát a keresett atommag a ${}^{36}_{18}\text{Ar}$.

5. feladat megoldása

a) A szobában egy másodperc alatt átlagosan

$$N = A\,V = 800\ \frac{\mathrm{Bq}}{\mathrm{m}^3} \cdot 50\ \mathrm{m}^3 = 40\,000$$

radonatom bomlik el. Egy óra alatt ennek a 3600-szorosa, azaz $N_ö = 1{,}44 \cdot 10^8$ db. Akkor marad fenn az egyensúly, ha ugyanennyi részecske áramlik be egy óra alatt. A radon moláris tömege $M = 222$ g/mol. A beáramló radon tömege:

$$m = \frac{M}{N_A} N_ö = \frac{222\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}}{6 \cdot 10^{23}\ \frac{1}{\mathrm{mol}}} \cdot 1{,}44 \cdot 10^8 = 5{,}328 \cdot 10^{-14}\ \mathrm{g}.$$

b) Az Európai Unió ajánlása szerint 400 Bq/m^3 aktivitáskoncentráció fölött a lakásban lakókat figyelmeztetni kell arra, hogy a radonkoncentráció túl magas. Általában gyakoribb szellőztetést és ezenkívül esti, lefekvés előtti szellőztetést javasolnak.

6. feladat megoldása

A használatlan üzemanyag-kazetták aktivitása nagyon kicsi, mert nagyon nagy felezési idejű urándioxidot tartalmaznak. A 238-as tömegszámú uránizotóp felezési ideje 4,5 milliárd év, a 235-ösé 710 millió év. Az üzemanyagkazetták csak akkor tesznek szert veszélyes aktivitásra, miután a reaktorban használatba vették őket, de ilyenkor igen komoly biztonsági szabályok betartásával kezelik. A másik probléma a sugárfertőzés fogalmának használata. A sugárzás nem fertőz, ilyenkor a sugárszennyezés, sugárterhelés a megfelelő kifejezés.

7. feladat megoldása

Külső sugárzás esetén a nagyobb áthatolóképességű neutronsugárzás veszélyesebb, mivel belső szerveket is ér, főként protonokat lök meg, melyek már ionizálnak, így szabad gyökök keletkeznek. Az α-sugárzás nem tud áthatolni a bőrön, ezért külső sugárzás esetén kevésbé veszélyes. Belső sugárzáskor (inkorporációnál), ha bekerül a szervezetbe, akkor az α-sugárzás minden részecskéje igen erősen ionizál, míg a neutronok egy része csak hosszabb úton adja le energiáját. Így az inkorporált (szervezetbe bekerült) sugárzó anyag esetén az alfa-sugárzás a veszélyesebb.

8. feladat megoldása

Egy proton nagyságrendileg 10^{-15} m méretű. Tegyük fel, hogy egy kvark megfigyeléséhez olyan elektronokat használunk, amelyek de Broglie-hullámhossza ennél még 1 nagyságrenddel kisebb (a jó leképzés végett), azaz $\lambda \approx 10^{-16}$ m.

Ekkor az elektron lendülete a de Broglie-összefüggésből:

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{Js}}{10^{-16}\ \mathrm{m}} = 6{,}63 \cdot 10^{-18}\ \frac{\mathrm{kg\,m}}{\mathrm{s}}.$$

Mivel ekkora lendületnél az elektron nyugalmi energiája ($E_0 = m_0c^2 \approx 8 \cdot 10^{-14}$ J) már elhanyagolható a $pc \approx 2 \cdot 10^{-9}$ J értékhez képest, ezért az elektron mozgási energiája jó közelítéssel:

$$E_m \approx p\,c \approx 2 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{J} = 12{,}5\ \mathrm{GeV}.$$

Megjegyzés: A közelítés

$$E_m = \sqrt{(p\,c)^2 + \left(m_0\,c^2\right)^2} - m_0\,c^2$$

összefüggés alapján történt.

9. feladat megoldása

a) Két okra is visszavezethető, hogy a vezetési elektronok nem esnek le mind a torony aljára. Az egyik ok az elektrongázban lévő elektronok hőmozgása. Ahogy az oxigén- vagy nitrogénmolekulák sem esnek le mind a Föld felszínére az állandó hőmozgás miatt, az elektronok eloszlása is egy, a barometrikus sűrűségeloszláshoz hasonló eloszlást követ.

$$\rho(x) = \rho_0\, e^{-\frac{m g x}{k T}},$$

ahol m az elektronok tömege, g a nehézségi gyorsulás, x a torony aljától mért távolság, k a Boltzmann-állandó, T az abszolút hőmérséklet. Mivel a képletben szereplő elektrontömeg nagyon kicsiny, ezért az eloszlás nagyon jó közelítéssel egyenletes. A kitevőben szereplő tört értéke – az Eiffel-torony magassága, x = 324 m érték mellett – szobahőmérsékleten:

$$\frac{m g x}{k T} = \frac{9{,}11 \cdot 10^{-31}\ \mathrm{kg} \cdot 9{,}81\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \cdot 324\ \mathrm{m}}{1{,}38 \cdot 10^{-23}\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}} \cdot 300\ \mathrm{K}} = 0{,}70 \cdot 10^{-6}.$$

Eszerint a torony teteje és alja közötti elektronsűrűség kevesebb, mint egy milliomod résszel tér el egymástól (kihasználtuk, hogy kis x-ekre érvényes az $e^{-x} \approx 1 - x$ közelítés).

b) Másrészt abszolút nulla fokon sem esne le minden elektron a torony aljára. Az elektronok egy része „leesik”, és ez által potenciálkülönbség jön létre a torony alja és teteje között. Az így kialakult térerősség akadályozza meg a többi elektront, hogy leessen. Az egyensúly feltétele az, hogy az elektromos térerősségből származó erő éppen egyensúlyt tartson az elektronra ható gravitációs erővel, azaz:

$$eE = mg,$$

amiből a szükséges térerősség kifejezhető:

$$E = \frac{m}{e} g = \frac{9{,}1 \cdot 10^{-31}\ \mathrm{kg}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C}} \cdot 9{,}81\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 5{,}58 \cdot 10^{-11}\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}.$$

A torony teteje és alja között tehát potenciálkülönbség van:

$$U = Ed = 5{,}58 \cdot 10^{-11}\ \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}} \cdot 324\ \mathrm{m} = 18 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{V} = 18\ \mathrm{nV}.$$

Megjegyzés: Az elektrosztatikából ismert Gauss-törvényt alkalmazva kiszámíthatjuk, hogy a szükséges $E = mg/e$ elektromos térerősség létesítéséhez már elegendő, ha egy 1 m^2 alapterületű és 324 m magas vasoszlopban csupán átlagosan 0,006 darab elektron esik le az alaplapra, hogy a többi, körülbelül $5 \cdot 10^{31}$ darab elektron, a nehézségi erőteret kikompenzált homogén elektromos térben abszolút zérus fokon is szabadon lebeghessen. Természetesen itt nem vesszük figyelembe a szabadon lebegő elektronok közötti elektromos taszítást a fémrácsban rögzített pozitív fémionok semlegesítő hatása miatt.

10. feladat megoldása

A Golf-áramlat hajtóereje az északi sarkkör és a déli meleg tengerek közötti hőmérséklet-különbség. A globális felmelegedés azonban nem egyenletesen melegíti a Föld minden területét. Míg a déli tengereken néhány fok felmelegedést okoz, a sarkkörökön a felmelegedés a tíz fokot is meghaladhatja (olvad a jég, csökken a hótakaró által fedett terület, növekszik a napfényből az energia elnyelése, és ez felerősíti a helyi melegedést). Ezáltal végeredményben csökken az áramlatot hajtó hőmérséklet-különbség. Ehhez hozzájárul még, hogy a sarkkörökön megolvadó jégből és hóból származó édesvíz éppen ott hígítja fel az áramlat vizét, ahol a hosszú úton történő párolgás következtében megnőtt sótartalom miatt a mélybe kellene buknia. A hígabb víznek kisebb lesz a sűrűsége, és ezért nem fog lebukni. Az áramlat keringési rendszere tehát megszakad.

A döntő feladatainak megoldása

ELMÉLETI FELADATOK MEGOLDÁSA

I. kategória

1. feladat megoldása

A két izotóp bomlásonként körülbelül ugyanannyi energiát ad le mind béta-, mind gamma-sugárzás formájában. A cézium azonban vízben oldható alkálifém, mindenütt jelen van, ahová a szervezetben el tud jutni vízben feloldódva, a jód pedig specifikusan a pajzsmirigyben kötődik, és ott fel is halmozódik. Azonos aktivitás esetén tehát ugyanannyi leadott energia cézium esetén a teljes testben nyelődik el, jód esetén pedig kizárólag a pajzsmirigyben. Így a jód károsító hatása sokkal nagyobb.

2. feladat megoldása

a) A részecskék összes mozgási energiája $2E$ = 20 keV = $3{,}2\cdot10^{-15}$ J, a részecskék töltése egy elemi egység, $q = 1{,}6\cdot10^{-19}$ C.

A maximális megközelítéskor – $r_{\min}$ minimális távolságnál – a mozgási energiák elektrosztatikus potenciális energiává alakulnak át:

$$2E = k\frac{q_1 q_2}{r_{\min}}.$$

Ebből $r_{\min}$-t kifejezve, az adatok behelyettesítésével

$$r_{\min} = k\frac{q_1 q_2}{2E} = 0{,}72\cdot10^{-13}\ \text{m}.$$

Ez a távolság a deutérium atommagok átmérőjének körülbelül 20–25-szöröse. Tehát a minimális távolság túl nagynak tűnik ahhoz, hogy a magreakció létrejöhessen.

b) A magok érintkezéséhez szükséges $r_{\min} = 2R_{mag} \approx 3{,}5\cdot10^{-15}$ m-es távolság eléréséhez a részecskéknek

$$2E = k\frac{q_1 q_2}{2R_{mag}} \approx 0{,}65\cdot10^{-13}\ \text{J} = 0{,}4\ \text{MeV}$$

energiával kell(ene) rendelkezniük, azaz részecskénként 0,2 MeV-tal. Ez 20-szorosa a részecskék átlagos 10 keV energiájának. Ezek szerint a fúzió nem jöhetne létre. A fúzió létrejöttének mégis van el nem hanyagolható valószínűsége. Erre két okot hozhatunk fel.

Egyfelől a részecskék egy része az átlagos energiánál jóval nagyobb energiával is mozoghat a Boltzmann-eloszlásnak megfelelően.

Másrészt pedig a mikrovilágban gyakori alagúteffektus jelensége miatt a Coulomb-gátnál kisebb energiájú részecskék is létrehozhatnak fúziót (vagyis alagúteffektussal „átfúrhatják” a potenciálgátat).

3. feladat megoldása

A spintariszkóp tűjére 10^{-9} g rádium került. Ekkor 100 s alatt 37 felvillanást lehetett észlelni. De mivel csak minden 100-ik volt látható, ezért 100 s alatt 3700 bomlás történik, vagyis 1 s alatt 37. Az 1g tömegű rádiumban pedig 10^9-szer több, azaz $3{,}7 \cdot 10^{10}$ bomlás jön létre másodpercenként. (Ezt az aktivitást nevezték el curie-nek, jele Ci.) Ez az aktivitás óránként $1{,}33 \cdot 10^{14}$ bomlást jelent. Az egy óra alatt fejlődő hőmennyiség 588 J, amelyet az összes bomlás során felszabaduló energia szolgáltat. Ezért egy bomlás során

$$\Delta E = \frac{588\ \mathrm{J}}{1{,}33 \cdot 10^{14}} = 4{,}42 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{J}$$

energia szabadul fel. Ennek körülbelül a negyed része jut a rádium bomlására.

Így a rádium bomlásakor keletkező α-részecskék energiája körülbelül $1{,}1 \cdot 10^{-12}$ J = 6,9 MeV.

4. feladat megoldása

a) Az alumínium korong azért kezd el forogni, mert a benne lévő szabad (vezetési) elektronokat a forgó elektromágneses mező gyorsítja. Mozgásuk közben azonban az elektronok a fémráccsal ütköznek (ettől van az anyagnak ellenállása), és lendületet (és energiát) adnak át a korongnak, miáltal az is forgásba jön.

A szigetelő korong nem kezdene el forogni, mert nincsenek benne szabad elektronok, amelyeket a forgó elektromos mező fel tudna gyorsítani.

b) A szupravezető korong sem jönne forgásba, mert abban vannak ugyan szabad elektronok, de energiájukat és lendületüket nem tudják átadni az anyagnak, mivel nem ütköznek a ráccsal (ha ütköznének, akkor energiát adnának át, és az anyagnak lenne elektromos ellenállása, azaz nem lenne szupravezető).

Tehát sem a szigetelő, sem a szupravezető korong nem fog forogni, a villanyóra semmit sem mérne.

5. feladat megoldása

A láncmolekula a piros fényt nyeli el, ha áteső fényben zöldnek látszik. A piros fény frekvenciája $4{,}3 \cdot 10^{14}$ Hz. Az egydimenziós húrmodell szerint

$$h f = \Delta E = \frac{h^2}{8 m a^2}\left(n^2 - 1\right),$$

ahol h a Planck-állandó, m az elektron tömege, n = 1, 2, 3, ... pozitív egész szám a kvantumszám. Az első gerjesztett állapottal (n = 3) számolva kapjuk

$$a^2 = \frac{3h}{8mf} = \frac{3 \cdot 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{Js}}{8 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}\ \mathrm{kg} \cdot 4{,}3 \cdot 10^{14}\ \frac{1}{\mathrm{s}}} \approx 6{,}35 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{m}^2,$$

innen $a \approx 7{,}97 \cdot 10^{-10}$ m.

6. feladat megoldása

A 10 km-es magasságról fénysebességgel körülbelül

$$t = \frac{10^4}{3 \cdot 10^8} \approx 3{,}3 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{s}$$

alatt lehet leérni. Ez a müon élettartamának több mint tízszerese. Ez persze nem zárja ki, hogy müonok leérjenek, hiszen ez csak annyit jelent, hogy a fent keletkező müonoknak csak nagyon kicsi, $e^{-10} = 4{,}5 \cdot 10^{-5}$ része ér le. A mérések ennél viszont sokkal több mezont detektálnak a Föld felszínén, ennek oka a *relativisztikus idődilatáció* (időtartam meghosszabbodás). A relativitáselmélet alapján a v sebességgel mozgó müon átlagos élettartama, illetve mozgási energiája:

$$\tau' = \frac{\tau}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

$$E_{mozgási} = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2.$$

A két egyenletből

$$\tau' = \tau \frac{E_{mozgási} + m_0 c^2}{m_0 c^2} = \tau \left(\frac{E_{mozgási}}{m_0 c^2} + 1 \right) =$$

$$= 2{,}15 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{s} \left(\frac{2 \cdot 10^3\ \mathrm{MeV}}{207 \cdot 0{,}511\ \mathrm{MeV}} + 1 \right) \approx 4{,}2 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{s}.$$

Ez pedig éppen az az idő, ami alatt a nagyenergiájú (fénysebességhez közeli sebességgel mozgó) részecskék leérhetnek a Föld felszínére a magas légkörből.

Mivel az átlagos élettartam az az idő, ami alatt a magas légkörben keletkező müonok *e*-ed része (körülbelül 37%-a) elbomlik, a fentiek miatt a müonok *jelentős része* (63%-a) eléri a földi detektort.

7. feladat megoldása

Mindhárom kérdésre igen a helyes válasz. A polietilén tokozásnak kétféle hatása lehet:

– Elnyeli a neutronok egy részét. Emiatt jöhet ki *kevesebb* neutron tokkal, mint tok nélkül.

– Lelassítja és visszaszórja a neutronokat a forrás felé. A lassú neutronok a forrásban lévő hasadóképes Pu-izotópokban maghasadást okoznak, és ez többlet-neutronok fellépéséhez vezethet. Emiatt jöhet ki *több* neutron tokkal, mint tok nélkül.

Nyilván a körülményektől (a tok vastagságától, a forrás izotóp-összetételétől stb.) függ, hogy melyik hatás dominál. Ha a két hatás éppen kiegyenlíti egymást, akkor éppen ugyanannyi neutron is kijöhet tokkal, mint tok nélkül.

8. feladat megoldása

a) A Nap gravitációs vonzóereje

$$F_G = f\frac{mM}{R^2} = 6{,}67\cdot 10^{-11}\,\frac{100\ \mathrm{kg}\cdot 2\cdot 10^{30}\ \mathrm{kg}}{2{,}25\cdot 10^{22}\ \mathrm{m}^2} = 0{,}59\ \mathrm{N},$$

amely a Nap irányába mutat. A Napból jövő fotonok a 600 m^2 felületű vitorlára időegység alatt

$$P = 600\ \mathrm{m}^2\cdot 1353\ \mathrm{W/m}^2 = 811\,800\ \mathrm{J/s}$$

energiát szállítanak. A fotonok által a vitorlásra gyakorolt erő az időegység alatt átadott lendületből határozható meg:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{2\dfrac{\Delta P}{c}}{\Delta t} = \frac{2\cdot 8{,}11\cdot 10^5\ \mathrm{J}}{1\ \mathrm{s}\cdot 3\cdot 10^8\ \mathrm{m/s}} = 5{,}4\cdot 10^{-3}\ \mathrm{N}.$$

A Nap felé mutató eredő erő tehát

$$F_e = 0{,}59\ \mathrm{N} - 0{,}0054\ \mathrm{N} = 0{,}5846\ \mathrm{N}.$$

A vitorlás Nap felé mutató gyorsulása

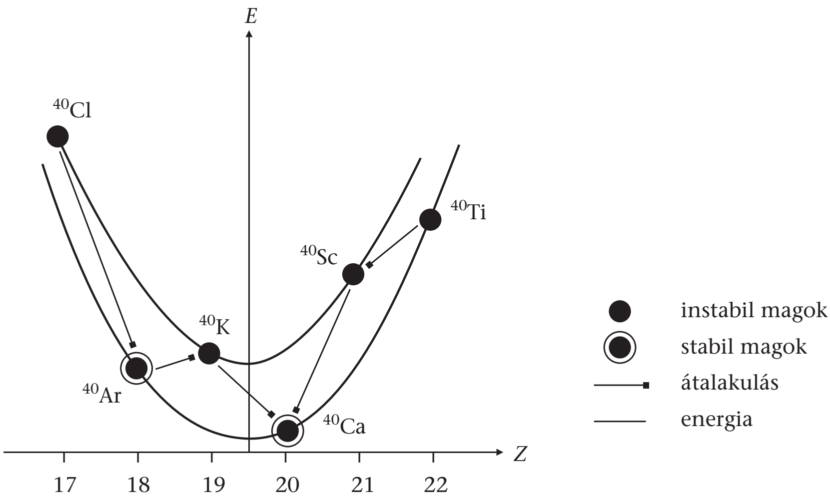
$$a = \frac{F}{m} = 5{,}846\cdot 10^{-3}\ \mathrm{m/s}^2.$$

b) Ha a vitorlát elfordítjuk, az átadott lendület iránya is megváltozik, és a gravitációs és a fény-nyomásból eredő erők vektori eredőjét kell kiszámítani. Ez lehetőséget ad a „pályamenti" gyorsításra, és így a napvitorlás fokozatosan energiát nyerhet.

c) Ebben az esetben a fotonok által a vitorlának átadott impulzus fele akkora lenne, így a kifejtett erő is fele akkora. Vagyis ekkor az eredő erő F_e = 0,59 N – 0,0027 N = 0,5873 N lenne.

9. feladat megoldása

Az alapállapotú atommagok (kötési) energiafelületének tulajdonságaiból következik, hogy az azonos tömegszámú (A) atommagok energiája a rendszám (Z) függvényében parabola mentén helyezkedik el. Ezt azonban a párenergia jelenléte módosítja. A tömegszám a rendszámnak (Z) és a neutronok számának (N) összege: $A = Z+N$. Páros tömegszámot (például 40) azonban kétféleképpen is elő lehet állítani: páros Z + páros N, valamint páratlan Z + páratlan N.



a) A párenergia miatt a páratlan-páratlan atommagok kevésbé erősen kötöttek („magasabb energiájúak"), mint a páros-páros atommagok.

Ez ahhoz vezet, hogy egy páratlan-páratlan atommagnak mindkét oldalon lehet olyan „szomszédja", amelyekre való bomlás energetikailag kedvező. A ^{40}K-hoz hasonló atommagokat tehát az energiavölgy „alján" lévő, páratlan-páratlan atommagok között kereshetjük. Az energiavölgy „oldalán" már a Pauli-lejtő meredeksége miatt nem fordulhat elő, hogy mindkét szomszéd alacsonyabb energiájú legyen.

b) A könnyű atommagoknál már olyan keskeny a völgy „alja" (olyan meredek a parabola), hogy a szomszédok mindenképpen feljebb kerülnek. Ezért vannak stabil páratlan-páratlan atommagok csak a könnyű atommagok között.

10. feladat megoldása

A kísérletben egyidejűleg lép fel a foto- és a Compton-effektus jelensége.

a) Mivel 5000 volton szűnik meg minden áram, így a kilépő elektronok mozgási energiája legfeljebb 5 keV. A fotoeffektus egyenlete

$$\frac{hc}{\lambda} = E_1 + W_{kilépési}.$$

A feladat szerint a kilépési munkát elhanyagoljuk (az $E_1 = 5000$ eV mellett a valószínűleg néhány tized eV-os kilépési munka esetében ez indokolt is), a foton hullámhosszára kapjuk:

$$\lambda = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{5000 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 2{,}48 \cdot 10^{-11} \text{ m}.$$

b) A Compton-szórás esetén a szóródott foton energiája:

$$E'_\gamma = E_\gamma \frac{1}{1 + (1 - \cos\vartheta)\dfrac{E_\gamma}{m_e c^2}},$$

ahol m_e az elektron nyugalmi tömege. Az energiamegmaradás miatt a meglökött elektronok energiája:

$$E_e = E_\gamma - E'_\gamma = E_\gamma \left[1 - \frac{1}{1 + (1 - \cos\vartheta)\dfrac{E_\gamma}{m_e c^2}}\right].$$

Nyilván az elektronok akkor kapják a legnagyobb energiát, amikor a szóródott foton éppen visszafelé szóródik, azaz amikor $\vartheta = 180°$. Ekkor tehát

$$E_e = E_\gamma \left(1 - \frac{1}{1 + \dfrac{2E_\gamma}{m_e c^2}}\right) = E_\gamma \frac{\dfrac{2E_\gamma}{m_e c^2}}{1 + \dfrac{2E_\gamma}{m_e c^2}}.$$

Felhasználva, hogy $E_\gamma = 5000$ eV és $m_e c^2 = 511\,000$ eV, ezért

$$\frac{2E_\gamma}{m_e c^2} = \frac{10\,000}{511\,000} = 0{,}0196.$$

Innen

$$E_e = E_\gamma \frac{0{,}0196}{1{,}0196} = 0{,}01919\, E_\gamma = 95{,}96 \text{ eV}.$$

Ez pedig teljesen összhangban van a kísérletben tapasztaltakkal. Vagyis azzal, hogy a körülbelül 100 voltos ellentérnél a fotoáram hirtelen lecsökken, mivel ekkor fékeződnek le a Compton-szórásban meglökött – 95,96 eV energiát nyert – elektronok.

II. kategória 9–10. feladatának megoldása

9. feladat megoldása
Annyi energiát kell elvonni, amennyit a deuteronok a céltárgynak átadnak. Ehhez meghatározzuk a másodpercenként szállított töltést: $Q = It = 30 \cdot 10^{-4}$ C, így a becsapódott magok száma másodpercenként

$$N = \frac{Q}{e} = \frac{3 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{C}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C}} = 1{,}875 \cdot 10^{15}.$$

Így a céltárgynak átadott energia

$$E = 1{,}875 \cdot 10^{15} \cdot 32 \cdot 10^{-15}\ \mathrm{J} = 60\ \mathrm{J}.$$

Ennyit kell elvonni, azaz 60 W teljesítménnyel kell hűteni a céltárgyat.

10. feladat megoldása
a) Az aktivitás időben exponenciálisan csökken az

$$A_2 = A_1 2^{-\frac{t}{T}}$$

függvény szerint, ahol A_1 a kezdeti, $A_2 = (1-0{,}122)A_1$ pedig az 1 év utáni aktivitás. Rendezés után fenti egyenlet mindkét oldalának logaritmusát véve, T-t kifejezve kapjuk, hogy

$$T = \frac{t \lg 2}{\lg \frac{A_2}{A_1}} = -\frac{1\ \text{év} \cdot 0{,}3010}{0{,}05065} = 5{,}33\ \text{év}.$$

b) Az 1 s alatt elbomlott atomok száma

$$N = A\,t = 3{,}7 \cdot 10^{10}.$$

A fotonok összenergiája pedig

$$E = N\left(E_1 + E_2\right) = 3{,}7 \cdot 10^{10} \cdot (1{,}87\ \mathrm{J} + 2{,}13\ \mathrm{J}) \cdot 10^{-13} = 1{,}48 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{J}.$$

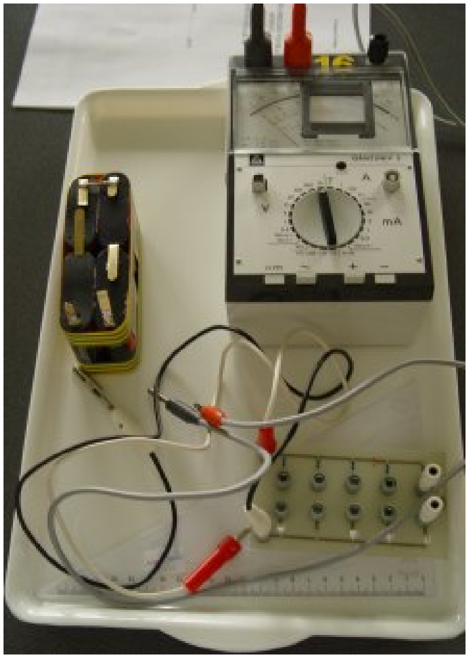
A paksi ESZI, a Szilárd Versenyek döntőinek színhelye

Kezdődik a döntő elméleti fordulója (2005)

Kísérő tanárok „disputája" (2005)

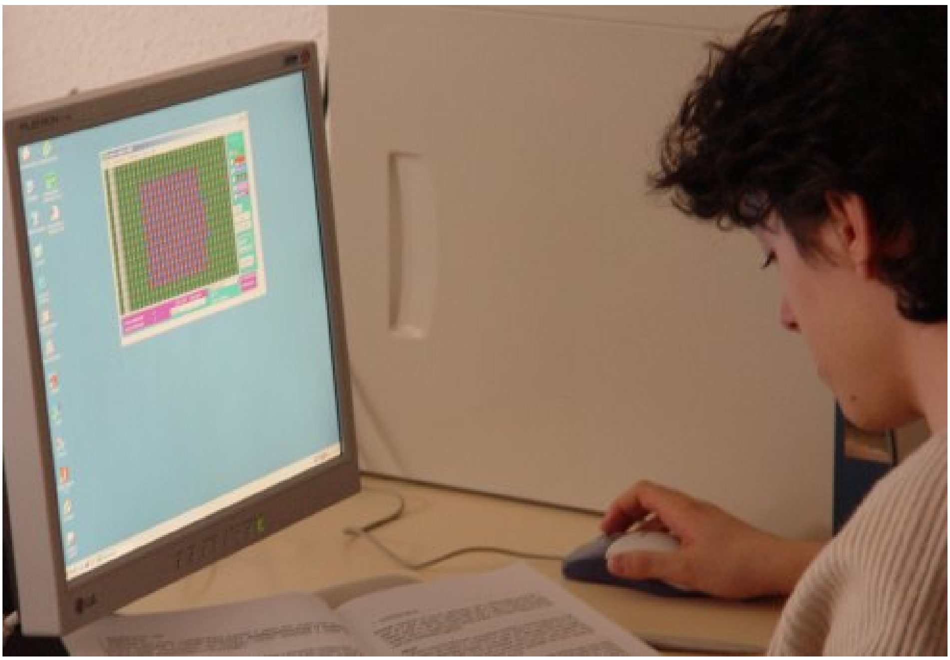
Marx György Vándordíj győztes csapata (2005)

Tanári delfindíj képe



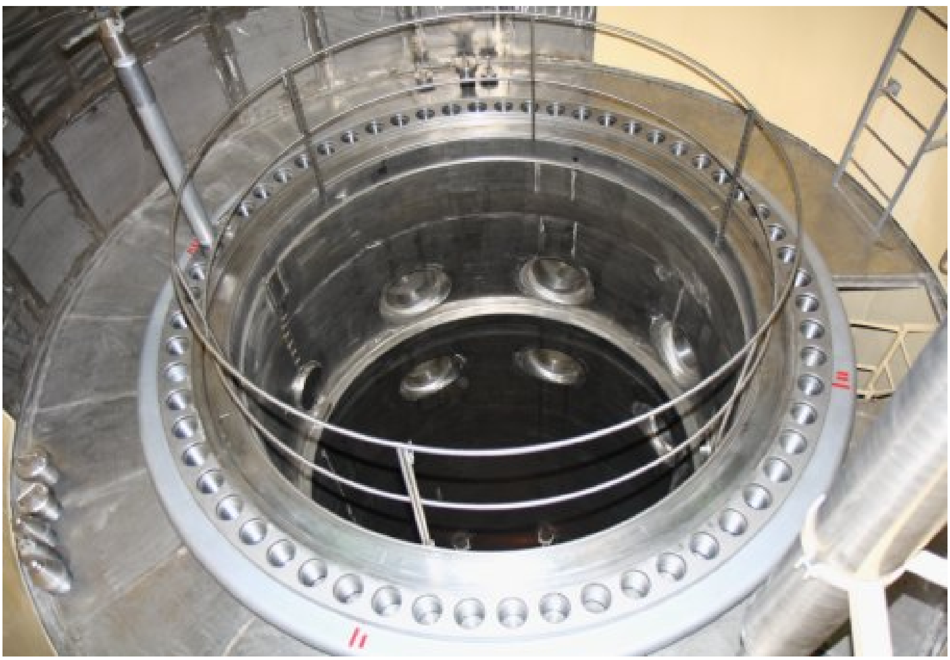
Az összeállított LED-es kísérleti feladat (2005)

Számítógépes feladat megoldása közben (2005)



Versenyzők és kísérő tanárok a Látogatóközpontban (2008)

Reaktortartály belseje az Atomerőmű Karbantartó és Gyakorló Központjában (2008)



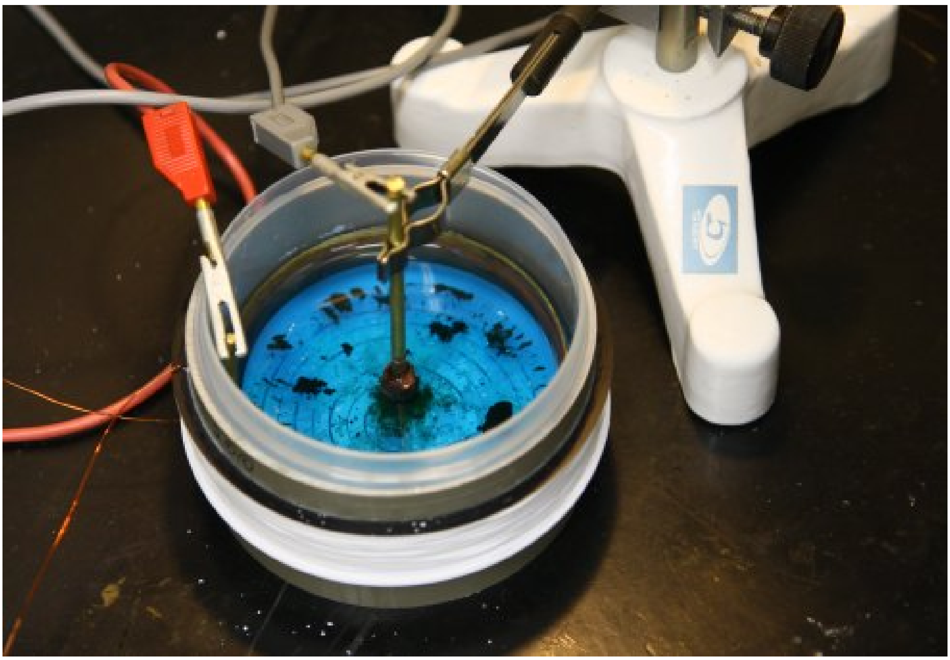
Az atomreaktorok fűtőelemkötegei

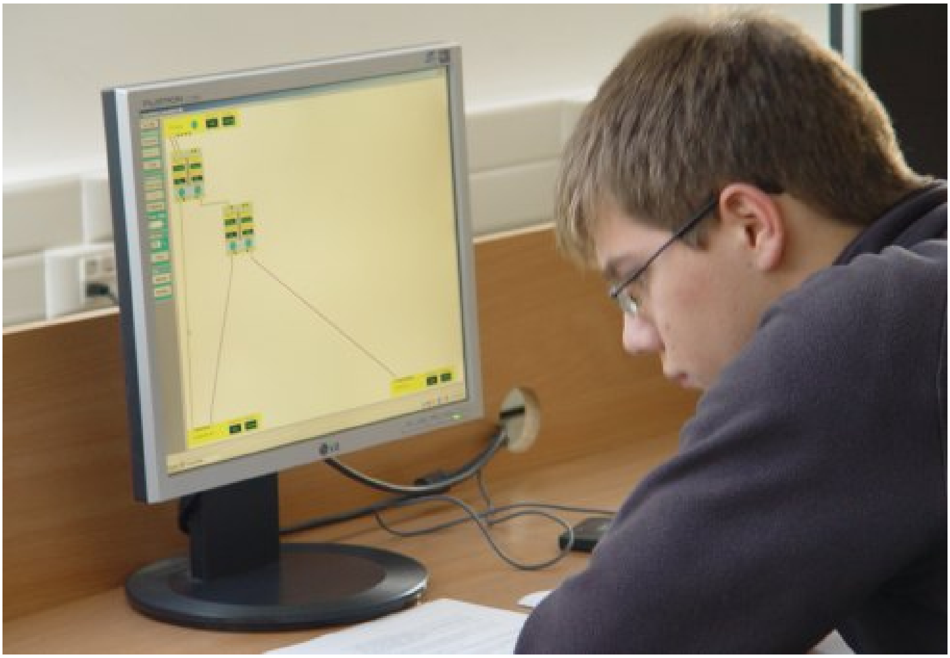
Fűtőelem-kazetták tartószerkezete

Látogatás a Karbantartó és Gyakorló Központban (2008)

Emlékérem a tanári delfindíjjal

Kísérleti feladat: keringető szivattyú modell (2008)





Munka a szimulációs feladattal (2008)

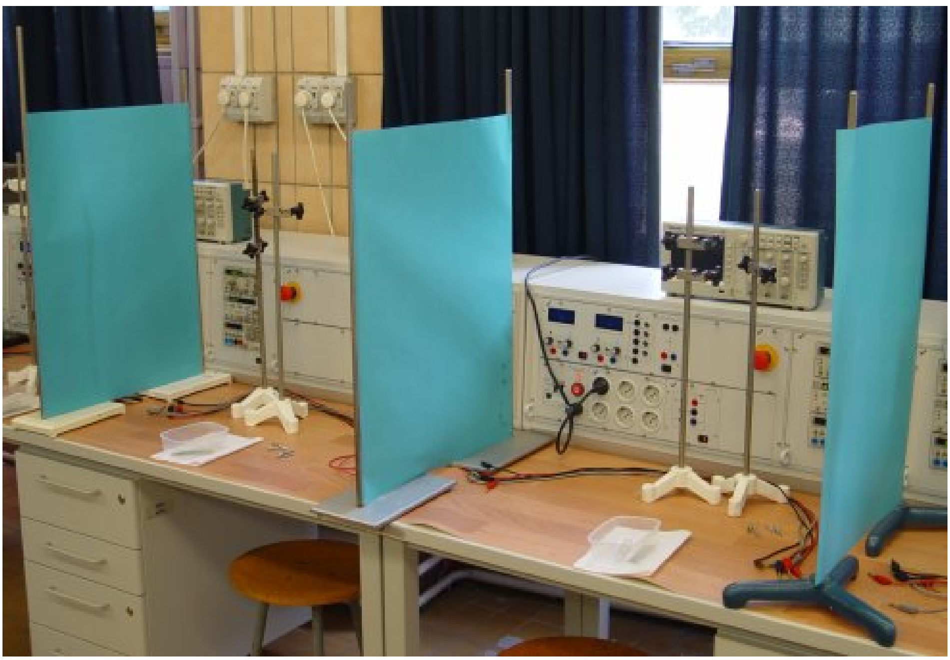
Marx György Vándordíj győztesei (2008)

A verseny döntőjének megnyitója (2009)

Tanári előadás a „Women in Nuclear”-ról (2009)

„Bohr–Heisenberg-vita", M. Frayn Koppenhága című színművének előadásán (2009)

Elszeparált kísérleti mérőhelyek (2009)



A verseny döntőjének ünnepélyes zárása (2009)

Delfin-díj nyertese a zsűri tagjainak körében (2009)

A 2010. évi döntő poszterkiállítása

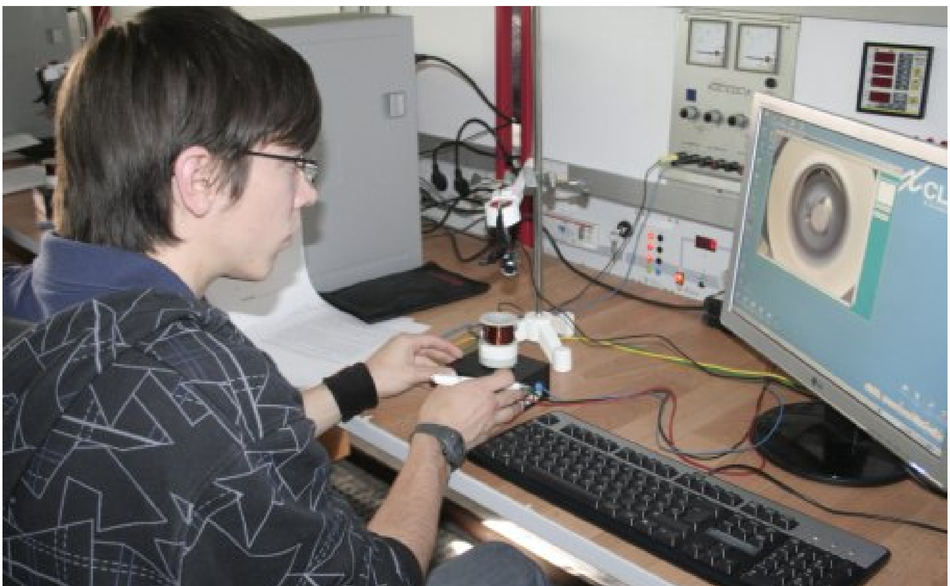
A döntő elméleti fordulója (2010)

Kísérleti feladatok megoldása közben (2010)

Szilárd Leó – ezüst, arany, bronz – érmék

Versenyzők a szimulációs feladat megoldása közben (2010)

Munka a kísérleti feladattal (2010)



A Verseny döntőjének ünnepélyes zárása (2010)

Marx György Vándordíj győztes csapata (2010)

A „varázsszem” kompozíció 24 varázsszem elektroncsőből (2010)

A Makovecz-templom belülről

Szilárd-verseny döntők résztvevőinek területi megoszlása (1998–2010)

A 9. verseny döntőjének eredménye

11–12. évfolyam (I. kategória)

1. helyezést ért el ***Széchenyi Gábor,*** a Verseghy Ferenc Gimnázium, Szolnok tanulója, felkészítő tanára Pécsi István, 77 pontos eredménnyel,
2. ***Molnár Kristóf*** (Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg, Pálovics Róbert, 75),
3. ***Nagy Péter*** (Verseghy F. Gimn., Szolnok, Pécsi István, 74),
4. *Szaller Dávid* (Berze Nagy J. Gimn., Gyöngyös, Kissné Császár Erzsébet, Kiss Miklós, 72),
5. *Vajna Szabolcs* (Berze Nagy J. Gimn., Gyöngyös, Kiss Miklós, 63),
6. *Nikházy László* (Kazinczy F. Gimn., Győr, Berta Miklós, Pócza József 61),
7. *Bana Péter* (Varga K. Gimn., Szolnok, Nagy Tibor, 60),
8. *Nagy Zoltán* (Varga K. Gimn., Szolnok, Nagy Tibor, 58),
9. *Szíjártó Rita* (Garay J. Gimn., Szekszárd, Jurisits József, 57),
10. *Pósa László* (Bethlen G. Gimn., Hódmezővásárhely, Nagy Tibor, 55),
11. *Kocsis Vilmos* (SZTE Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged, Kovács László, 55),
12. *Mándi Gábor* (Tóth Á. Gimn., Debrecen, Kovács Miklós, Szegedi Ervin, 55),
13. *Pálovics Róbert* (Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg, Németh László, 54),
14. *Drótos Gábor* (Szerb A. Gimn., Budapest, Szemes Balázs, 48),
15. *Buday Péter* (Garay J. Gimn., Szekszárd, Jurisits József, Kotek László, 48),
16. *Domonkos Tamás* (Bethlen G. Gimn., Hódmezővásárhely, Nagy Tibor, Berecz János, 47),
17. *Boross Péter* (Tóth Á. Gimn., Debrecen, Kovács Miklós, Szegedi Ervin, 46),
18. *Kovács Noémi* (ELTE Trefort Á. Gyak. Isk., Budapest, Chikán Éva, 44),
19. *Dudás János* (Bethlen G. Gimn., Hódmezővásárhely, Nagy Tibor, 44),
20. *Onozó Ervin* (SZTE Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged, Kovács László, 43).

9–10. évfolyam (II. kategória)

1. helyezést ért el ***Pósfay Péter,*** Bolyai János Gimnázium, Kecskemét tanulója, felkészítő tanára Svihrán Éva, 66 pontos eredménnyel,
2. ***Almási Gábor*** (Leöwey K., Gimn., Pécs, Simon Péter, 61),
3. ***Szolnoki Lénárd*** (Dóczy Gimn., Debrecen, Tófalusi Péter, 58),
4. *Lovas Lia Izabella* (Leöwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter, 52),
5. *Hlatky Dávid* (Leöwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter, 49),
6. *Nagy Zsolt* (Leöwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter, 44),
7. *Tolner Ferenc* (Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg, Pálovics Róbert, 38),
8. *Kovács Máté* (SZTE Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged, Kovács László, 33),
9. *Horváth László* (Batthyány K. Gimn., Szigetszentmiklós, Bülgözdi László, 32).

10. Országos Szilárd Leó Fizikaverseny, 2007

Az 1. forduló feladatai[1]

1. feladat
A sugárterápia bevezetése Szilárd Leó nevéhez fűződik.
Milyen életrajzi vonatkozása van ennek?

2. feladat
Egy α-sugárzás behatolási mélysége 10^5 Pa nyomású levegőben 4 cm.
Mekkora lenne a behatolási mélység 10^3 Pa nyomású légritkított térben?

3. feladat
Mi történik az alábbi felépítésű reaktorokkal, ha csőtörés miatt megszökik a hűtőközeg?
a) Ha a moderátor grafit, a hűtőközeg víz?
b) Ha a moderátor grafit, a hűtőközeg hélium?
c) Ha a hűtővíz egyben a moderátor is?

4. feladat
A véráramlás sebességét radiocirkulográfiának nevezett módszerrel mérik. A korábbi vizsgálati eljárás szerint a vérbe ^{24}Na izotópot juttatnak, amelynek felezési ideje 15 óra, és 2,75 MeV energiájú γ-fotont bocsát ki. A modernebb eljárás szerint ^{99}Tc izotópot használnak, amelynek felezési ideje 6 óra, és 0,14 MeV energiájú γ-fotont bocsát ki.

Mekkora a szervezet által elnyelt dózisok aránya a két vizsgálatban, ha mindkét esetben ugyanakkora aktivitású készítményt juttatnak a szervezetbe?

Útmutatás: A biológiai kiürülést ne vegyük figyelembe, és tegyük fel, hogy a kibocsátott gamma-fotonoknak ugyanakkora hányada nyelődik el a szervezetben mindkét esetben (a fotonok energiájától függetlenül)!

[1] Az első fordulót 2007. február 26-án tartották. Minden feladat helyes megoldása 5 pontot ér. A feladatokat tetszőleges sorrendben lehet megoldani. A megoldáshoz bármilyen segédeszköz használható. Rendelkezésre álló idő: 180 perc.

5. feladat
Tegyük fel, hogy az igen veszélyes ^{210}Po alfa-sugárzó polónium izotópból 1 μg kerül egy ember szervezetébe, és az 1 nap alatt az emésztőcsatornán végighalad. (Az izotóp felezési ideje 138 nap, az alfa-részek energiája 5,3 MeV.)

a) Mekkora a szervezetbe került izotóp aktivitása?

b) Mekkora dózist kap a 2 kg össztömegű emésztőcsatorna ez idő alatt?

c) Mindannyiunk testében van valamennyi – természetes eredetű – ^{210}Po izotóp, szerencsére igen kis mennyiségben. Legfeljebb mekkora tömegű izotóp lehet (állandóan) egy 60 kg-os ember szervezetében, hogy az egy év alatt kapott dózis a természetes háttérsugárzásból eredő 2,8 mSv/év dózisérték alatt maradjon? (*Tegyük fel, hogy az izotópnak van egy egyensúlyi koncentrációja, azaz annyi utánpótlása is van, amennyi éppen elbomlik.*)

6. feladat
Vízszintes helyzetű kondenzátorlemezek között félúton egy egyszeresen ionizált olajcsepp lebeg vákuumban. A lemezek távolsága 5 cm, a közöttük lévő feszültség 5000 V. A felső lemez pozitív töltésű. Az olajcsepp egyszer csak elveszíti a töltését.

a) Mekkora az olajcsepp tömege?

b) Merrefelé, és miért kezd el mozogni, miután elvesztette a töltését?

c) Mekkora gyorsulással mozog a csepp?

d) Mennyi idő alatt éri el a lemezt?

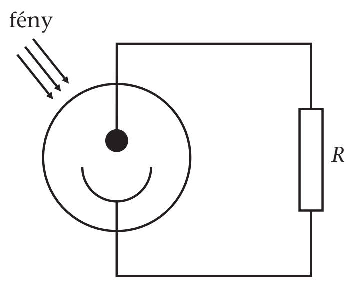
7. feladat
Egy ^{137}Cs γ-forrás aktivitása 9250 Bq. A Geiger–Müller-számláló másodpercenként átlagosan 197 beütést regisztrál akkor, amikor a forrás és a számláló között 2 mm vastag ólomlemez van. A lemez eltávolításakor az átlagos beütésszám másodpercenként 280-ra nő.

a) A mérés során a keletkező γ-fotonok hány százalékát tudjuk csak mérni?

b) Mekkora az ólom abszorpciós együtthatója a γ-sugárzásra nézve?

c) Milyen vastag ólomlemezt kellene alkalmazni, ha azt szeretnénk, hogy 50%-kal csökkentse a γ-sugárzás intenzitását?

8. feladat
Egy fotocellát 400 nm hullámhosszúságú ibolyaszínű fénnyel világítunk meg. A katódra jutó fényteljesítmény 5 mW. A katód anyagának kilépési munkája 2 eV, a katód kvantumhatásfoka pedig 1/5, vagyis minden ötödik foton becsapódására jut egy elektronkilépés. A fotocella elektródáira ellenállást kapcsolunk a rajz szerint.



a) Mekkora egyensúlyi feszültség alakul ki az ellenálláson, ha $R = 100\ \Omega$?
b) Mekkora lesz az egyensúlyi feszültség, ha $R = 1\ \mathrm{M}\Omega$?

9. feladat
Egy betegnek terápiás célból 1 GBq aktivitású radioaktív készítményt adnak be.

Hányszor többet kell a betegnek várnia ahhoz, hogy a testében lévő többletaktivitás 1 kBq-re csökkenjen, ahhoz képest, mintha csak diagnosztikai célú, 1 MBq aktivitású izotópkészítményt kapott volna?

10. feladat
A CERN-ben a 27 km kerületű, gyűrű alakú alagútban elhelyezett LEP (Large Electron-Positron Collider – Nagy Elektron-Pozitron Ütköztető) gyorsítógyűrűben elektronokat és pozitronokat gyorsítottak 101 GeV energiára. Most ugyanebben az alagútban egy másik gyorsító, az LHC (Large Hadron Collider – Nagy Hadron Ütköztető) épült. Ebben egymással szemben rohanó két protonnyalábot gyorsítanak majd fel egyenként 7 TeV energiára, és ezeket ütköztetik össze.

Hányszor erősebb mágneses teret kell létrehozni a részecskék ugyanakkora sugarú körpályán tartásához, mint a LEP esetében kellett?

Döntő feladatai[2]

ELMÉLETI FELADATOK[3]

I. kategória

1. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)
Egy nemrég kivágott fadarabból ^{14}C izotóp mérésére alkalmas mintát készítettek. A mintából a számláló 15 beütést számlált óránként. Egy azonos tömegű és ugyanúgy előkészített régi fadarab esetében ez az érték csak 8,5 volt óránként. Ez utóbbi fadarab Szenofern fáraó koporsójából származott. A történészek úgy gondolják, hogy a fáraó Krisztus előtt 2700 és 2550 közt halhatott meg.

Alá tudja-e támasztani ez a mérés a történészek vélekedését?

Adat: A ^{14}C felezési ideje 5760 év.

[2] A döntőt 2007. április 28-án Pakson tartották.
[3] A feladatok megoldásához 180 perc áll rendelkezésre. Minden segédeszköz használható. Minden feladatot külön lapra írjunk, s minden lapon legyen rajta a megoldó kódja. A feladatok NEM nehézségi sorrendben vannak. Minden feladat megoldása 5 pontot ér.

2. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

Az ^{235}U atommagot már igen kis (termikus) energiájú neutron el tudja hasítani, míg a ^{238}U atommag elhasítását csak jóval nagyobb energiájú neutronok tudják megtenni.

Mi ennek a magfizikai magyarázata?

3. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

A $C_{20}H_{22}$ láncmolekulában két szénatom közötti kötéstávolság 134 pm. Minden szénatom egyik elektronja delokalizálódik az egész molekula mentén.

Legalább mekkora energiájú fotonnal gerjeszthető a molekula?

4. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

„Néhány héttel ezelőtt az észak-koreaiak közölték James Kellyvel az USA State Department egyik vezetőjével: van atomprogramjuk, foglalkoznak urániumdúsítással, azaz plutónium más módon való elnyerésével. Erre válaszként az USA leállította az Észak-Koreába irányuló olajszállításait. A válaszra adott válaszként pedig Észak-Korea megkezdte az új fűtőtestek beszállítását a Phenjantól 90 km-re található, 5 megawattos, grafit fékezésű erőműbe. Az észak-koreaiak a közelmúltban eltávolították a reaktorról azt a pecsétet, amelyet a ENSZ Biztonsági Tanácsának ellenőrei helyeztek el korábban. Eltávolították az ENSZ pecsétjeit további három nukleáris létesítményről is: egy használt fűtőtesteket tartalmazó raktárról, egy moderátort újrafeldolgozó laboratóriumról és egy urániumgyártó üzemről. Felmondták továbbá csatlakozásukat a Nukleáris Sorompó Egyezményhez."

Fűzzünk megjegyzéseket a fenti, 2002-ből származó újsághírhez, és hívjuk fel a figyelmet az újságíró tévedéseire és hibás szóhasználatára!

5. feladat (kitűzte: Tallián Miklós)

Egy nukleáris alapismeretekkel rendelkező kereskedő azt találja ki, hogy néhány üveg régi, jó minőségű, leviaszolt dugóval légmentesen lezárt bort felbont, majd azonos korú és származási helyű, de sokkal gyengébb minőségű, olcsó borral felhígítja. Ezek után a keveréket az eredeti (illetve azokkal teljesen azonos) üvegekbe visszacsomagolva árusítja. Azt gondolja, hogy mivel azonos korú bort használt a keveréshez, a kapott folyadék tríciumtartalma ugyanaz lesz, mint az eredeti, jó minőségű boré, így nem bukhat le.

a) Igaza van-e a tríciumtartalmat illetően? (*Indokoljuk meg a választ!*)

b) Hogyan lehetne lebuktatni a kereskedőt?

6. feladat (kitűzte: Tallián Miklós)

Egy gránittömbben az ^{238}U koncentrációja 10^{-5}. Az ^{238}U bomlási sorának végén a ^{206}Pb ólomizotóp áll.

a) Becsüljük meg az egy 1 tonna tömegű gránittömb teljes aktivitását!

b) A kapott eredmény a valódi értéket alá- vagy fölébecsli?

c) Mit kellene tudni a pontos eredményhez?

Adatok: A gránitot tekintsük SiO_2-nak, ennek moláris tömege 60 g. 10^{-5}-es uránkoncentráció jelentése: a tömb minden százezredik részecskéje urán, nem pedig SiO_2. Az ^{238}U felezési ideje 4,5 milliárd év.

7. feladat (kitűzte: Kopcsa József)

Egy 20 cm^3 térfogatú edény 400 mg tömegű rádiumot tartalmaz.

Mekkora a vele radioaktív egyensúlyban lévő radongáz nyomása 30 °C hőmérsékleten?

Adatok: A ^{226}Ra felezési ideje 1620 év, a ^{222}Rn felezési ideje 3,825 nap.

8. feladat (kitűzte: Kopcsa József)

A természetes radioaktív izotópok felezési idejét és az általuk kibocsátott α-részecskék hatótávolságát vizsgálva Geiger és Nuttal megállapították: a nagyobb hatótávolságú α-részecskéket kibocsátó izotópok felezési ideje jelentősen kisebb.

Milyen fizikai modellel értelmezhető ez a tapasztalat?

9. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

Az ITER nevű, nemzetközi összefogásban Cadarache-ban (Franciaország) épülő, tokamak típusú kísérleti fúziós berendezésben a szupravezető tekercsek B = 11 T mágneses indukciót hoznak létre. A több millió fokos deutérium-trícium plazmában D + T → ^{4}He + n atommag-reakció következik be, amelyben 17,6 MeV energia szabadul fel. A plazma hőmérsékletének fenntartásához szükséges, hogy a keletkező ^{4}He részecskék (α-részecskék) legnagyobb része a plazmában adja le mozgási energiáját (a szakemberek ezt α-fűtésnek hívják).

a) Mekkora a keletkezett α-részecskék mozgási energiája?

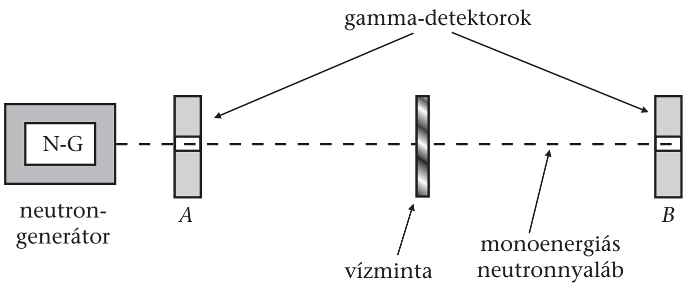
b) Az α-részecskék a mágneses erővonalak mentén spirális pályán mozognak. Legfeljebb mekkora sugara van ennek a spirálisnak, ha a mágneses indukció 11 T?

c) Mekkora átmérőjűnek kell lennie a plazmának, hogy a keletkezett α-részecskék 90%-a a mozgása során biztosan ne lépjen ki a plazmából, azaz a teljes energiáját a plazmában adja le?

Adatok, útmutatás: Az α-részecske tömege: $6{,}644656 \cdot 10^{-27}$ kg. Tegyük fel, hogy az R sugarú plazmában egyenletes a részecskesűrűség, és a magreakciók is egyenletes sűrűséggel következnek be.

10. feladat (kitűzte: Szűcs József)

Neutronok ^{1}H magokban való elnyelődésének vizsgálatára neutrongenerátorból keskeny, monoenergiás neutronnyalábot nagyon vékony vízmintán keresztül vezetnek (lásd *ábra*). A vízminta előtt és mögött egy-egy gamma-detektorral (*A* és *B*) regisztrálják a $^{1}\mathrm{H}(n,\gamma)^{2}\mathrm{H}$ magreakció során kibocsátott gamma-fotonokat. Az egyik detektor E_1 = 3,32 MeV energiájú, a másik detektor pedig E_2 = 3,57 MeV energiájú gamma-fotonokat detektál. A detektált fotonok irányát vehetjük a neutronnyalábbal párhuzamosnak!



a) Melyik detektor (*A* vagy *B*) érzékeli az E_1 energiájú gamma-fotonokat, és miért?

b) A mért adatokból számítsuk ki a részecskenyaláb neutronjainak E_n energiáját és a keletkező deuteronok E_k kötési energiáját!

Adatok: A számításkor a neutronok tömegét vegyük $m_n = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg kerekített értéknek, a deuteron magokét pedig $m_\mathrm{D} = 3{,}34 \cdot 10^{-27}$ kg-nak. Számoljunk 1 MeV = $1{,}6 \cdot 10^{-13}$ J, $c = 3 \cdot 10^{8}$ m/s értékekkel!

II. kategória 9–10. feladata

9. feladat (kitűzte: Ujvári Sándor)

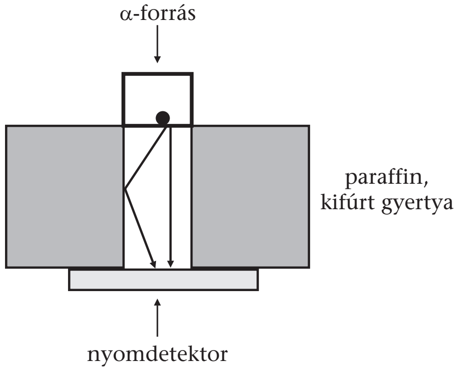
Becsüljük meg, mennyivel csökken egy atomerőmű üzemanyag-kazettájának tömege, ha a kiégés során a benne lévő ^{235}U magok 10%-a szenved hasadást!

Adatok: Az üzemanyag-kazettában lévő UO_2 tömege kezdetben 220 kg, és ebben az ^{235}U dúsítási aránya 3%. (Tegyük fel, hogy körülbelül 200 MeV szabadul fel minden hasadáskor, és csak az ^{235}U hasadásával számolunk.)

10. feladat (kitűzte: Kaszás Dezső)

Szilárdtest-nyomdetektorral kényelmesen elvégezhető a Rutherford-kísérlet az *ábrán* látható összeállítással. A szóródott részecskéket arról ismerhetjük meg, hogy a maratás után az általuk keltett nyom átmérője jóval nagyobb, mint a detektort irányváltoztatás nélkül elérő részecskéké.

Mivel magyarázható a különbség?



KÍSÉRLETI FELADAT

β-sugárzás energiájára adott nagyságrendi becslés

A radioaktivitás felfedezése (1896) után hamarosan megállapították, hogy a sugárzás általában 3 komponensre bontható: α-, β- és γ-sugárzásra. Az is kiderült, hogy a β-sugárzás során elektronok lépnek ki a sugárzó anyagból. Nagy meglepetést okozott viszont, hogy ezeknek az elektronoknak a megszokott kémiai energiáknál nagyságrendekkel nagyobb volt az energiájuk. Ebben a mérésben viszonylag egyszerű eszközökkel meghatározzuk egy β-sugárzó preparátumból kilépő elektronok energiájának nagyságrendjét.

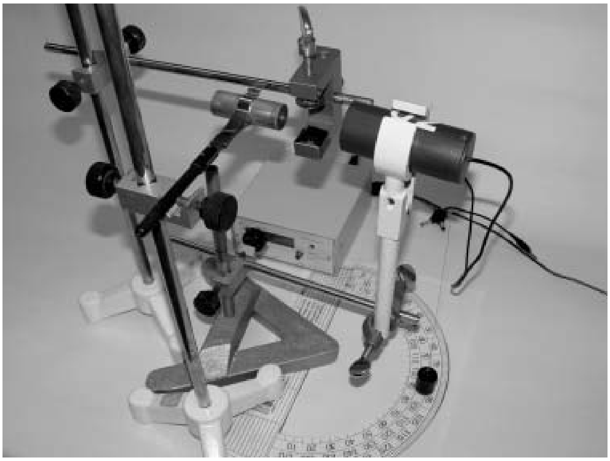
A mérés elve:

A kollimált (nagyjából egy irányba haladó) β-nyalábot Geiger–Müller-számlálócsővel detektáljuk. A mozgó elektronokat mágneses mezővel eltérítjük, és a mágneses mező ismeretében az eltérülés mérésével adunk becslést az elektronok energiájára. Az erős, állandó mágnesekkel létrehozott mágneses indukció erősségét egy árammal átjárt vezetőre (kengyelre) gyakorolt hatásából lehet meghatározni.

A forrás – sugárvédelmi okoknál fogva – igen kis aktivitású, ezért gondosan tervezzük meg a mérést, hogy ne fussunk ki a rendelkezésre álló időből!

A méréshez rendelkezésére áll:

- egy kollimátorban elhelyezett radioaktív sugárforrás (csak β-sugárzást bocsát ki),
- egy számítógéphez csatlakoztatott Geiger–Müller-számláló,
- egy tartóba erősített mágnespár,
- egy felfüggesztett kengyel,
- árammérő,



Béta-sugárzás eltérülésének vizsgálata számlálócsővel

- változtatható ellenállás,
- 9 voltos elem.

A mágnes átmérőjét és a kengyel adatait (méret, tömeg) a kísérletvezető tanár adja meg.

FONTOS!

Beadandó a „Mérési jegyzőkönyv”, amely tartalmazza

– a mérést végző azonosítóját,
– a mérések minden fontos paraméterét,
– a mért nyers adatokat,
– az eljárást (lépésenként), amellyel a végeredményhez eljutottunk,
– a végeredmény(eke)t,
– a végeredmény(ek) hibáját és a hiba kiszámítási vagy becslési módját,
– az eredmények diszkutálását,
– valamint minden olyan információt, amely a mérés reprodukálásához szükséges.

A mérési jegyzőkönyvnek olyannak kell lennie, hogy annak alapján bárki a mérést megismételhesse, és (a statisztikus hibákon belül) hasonló eredményt kaphasson.

Tanácsok a feladat végrehajtásához:

a) Először mérjük meg a „hátteret”. Távolítsuk el a kollimált sugárforrást, és mérjük a beütésszámot lehetőleg hosszú ideig. A mért beütésszám mellett jegyezzük fel azt is, hogy mennyi ideig mértünk.

b) Mérjük meg a kollimátorból kijövő β-sugárzást *mágnes nélkül,* több különböző szög mellett annak érdekében, hogy a mért „szögeloszlást” majd összehasonlíthassuk a mágnes jelenlétében mért szögeloszlással. A mért beütésszámokat korrigáljuk a háttérrel!

c) Vegyük fel a szögeloszlást ismét, ezúttal a *mágnes jelenlétében*. A szögeloszlást összehasonlítva az előző pontbeli szögeloszlással, határozzuk meg az eltérítés szögét (α)!

d) A *mágneses indukció erősségének meghatározása* a kengyel segítségével: Célszerű a kengyelt a mágneses mező széléhez tenni, és akkora áramerősséget beállítani a potenciométerrel, hogy a kengyel kitérítve kerüljön a mágneses mező közepére. A kitérítés szögéből (a kengyel adatainak az ismeretében) határozzuk meg a kengyelre ható erő nagyságát, és ebből a mágneses indukció értékét!

e) A c) pontban meghatározott szög és a d) pontban meghatározott mágneses indukció segítségével adjunk becslést az elektronok átlagos energiájára! Az energia meghatározásánál figyelembe kell venni, hogy az elektronok sebessége a fénysebesség nagyságrendjébe eshet.

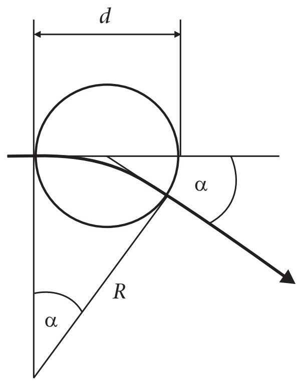
f) Diszkutáljuk (elemezzük) az eredményt. Milyen hibák adódhatnak a mérés során, és ezek mekkorák lehetnek? Miért csak nagyságrendi becslést ad ez a mérés?

Néhány segítség:

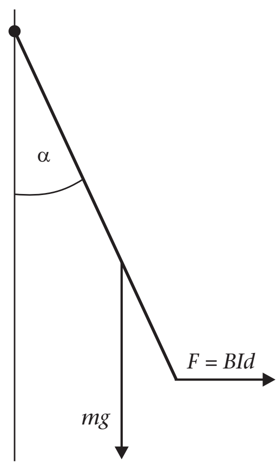
1) Az eltérülés szögéből határozzuk meg először annak a körpályának a sugarát (R), amelyen a β-részecskék mozognak. A rajz alapján:

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{d/2}{R}.$$

A szög mérésével így R meghatározható.



2) A mágneses indukció erősségének a meghatározása. Ha a kengyelben I áramerősség folyik, és a kengyel éppen a d átmérőjű mágnes „közepére" lóg be, akkor a rá ható erő: $F = Bd$. Az F erőt pedig a kengyel függőlegestől való kitérülésének szögéből (φ) lehet meghatározni (egyszerű statikai feladat). Vegyük figyelembe, hogy a súlyerő a kengyel súlypontjában „hat", a mágneses mező pedig a kengyelnek a mágneses mezőben lévő részén!



3) A mágneses térben haladó részecske p lendületét a B mágneses indukció és az R pályasugár ismeretében meghatározhatjuk abból kiindulva, hogy a körpályához szükséges centripetális erőt a mágneses Lorentz-erő ($F_L = evB$) adja:

$$a_{cp} = \frac{F_L}{m}, \text{ azaz } \frac{v^2}{R} = \frac{evB}{m}, \text{ és ebből}$$

$$p = mv = eRB.$$

4) A lendületből az energiát relativisztikus összefüggés segítségével határozzuk meg.

$$E_{mozgási} = \sqrt{(p\,c)^2 + \left(m_0\,c^2\right)^2} - m_0\,c^2,$$

Itt m_0 az elektron nyugalmi tömege (m_0c^2 = 0,511 MeV = $0{,}8176 \cdot 10^{-13}$ J.

SZÁMÍTÓGÉPES FELADAT

Gamma-detektor effektív homlokfelülete helyzetének meghatározása

Ismert, hogy egy pontszerű sugárforrástól R távolságra lévő detektor által érzékelt gamma-fotonok száma a detektor távolságának négyzetével fordítottan arányos azaz N ~ $1/R^2$. Egy kiterjedt detektornál azonban kérdéses az, hogy a detektor mely részétől kell mérni az R-et? A detektor geometriai homlokfelületétől (a forráshoz legközelebb lévő felülettől)? A detektor közepétől? Vagy valahonnan máshonnan?

A mérés célja

A szimuláció segítségével egy kiterjedt (6 cm átmérőjű és 6 cm magas), henger alakú szcintillációs detektor „effektív homlokfelületének” helyzetét kell meghatározni különböző energiájú gamma-fotonokra vonatkozólag. A detektor egy radioaktív forrás által kibocsátott gamma-sugarakat észleli, és azok spektrumát fel tudjuk venni. A pontszerű radioaktív forrás „kevert” radioaktív izotópokat tartalmaz, és a következő energiájú gamma-fotonokat bocsátja ki: 662 keV, 2560 keV és 3750 keV.

A detektort a sugárforrástól 3 cm és 40 cm közötti tartományban tudjuk mozgatni. A program a detektor geometriai homlokfelületének távolságát adja meg a sugárforrástól. Legyen az effektív homlokfelület d cm-rel mélyebben a detektor belsejében, a geometriai homlokfelület mögött. Ez azt jelenti, hogy a detektor által érzékelt N beütésszám

$$N = \frac{\text{konst.}}{(R + d)^2}, \qquad (1)$$

ahol R a detektor geometriai homlokfelületének távolsága a sugárforrástól. Több, különböző R távolságban való méréssel a d távolság meghatározható.

Segítség: Vegyük az (1) egyenlet reciprokát, és vonjunk mindkét oldalból négyzetgyököt.

Ekkor látható, hogy $1/\sqrt{N}$ az R függvényében ábrázolva egyenest ad. Az egyenes paramétereiből a d meghatározható (például a mérési pontokra történő egyenes illesztéssel).

Konkrét feladatok:

1) Először „kalibráljuk" a detektorunkat, azaz a fentebb felsorolt, három ismert gamma-energia segítségével tájékozódjunk arról, hogy melyik gamma-foton melyik „csatorna" környékére ad „teljes-energia" csúcsot. (A csatornaszám az energia lineáris függvénye.)

2) Vegyük fel a spektrumot több különböző detektortávolság mellett, és jegyezzük fel a három „teljes-energia" csúcsban talált nettó beütésszámokat azonos mérési idők mellett (lásd a „Program használata" című útmutató „Csúcsterület meghatározása" című pontját).

3) A kapott beütésszámok alapján határozzuk meg a detektor „effektív homlokfelületének" helyzetét a három gamma-energiára vonatkozólag. Adjuk meg az eredmények bizonytalanságát (hibáját) is. (Ehhez akár milliméter-papiros egyenesillesztést, akár az Excel programot, akár más, egyéni módszert és segédeszközt is használhatunk.) Minden esetben dokumentáljuk azonban, hogy a nyers mérési eredményekből hogyan jutottunk el a végeredményig!

4) Próbáljunk magyarázatot adni, hogy miért függ a megfigyelt módon az effektív homlokfelület helyzete a gamma-fotonok energiájától!

5) „Szorgalmi" feladat: adjunk magyarázatot arra, hogy miért látunk háromnál több csúcsot. (Ez nem szerves része a feladatnak, de többletpontot lehet érte kapni. Tehát, ha nem sikerül gyorsan választ adni erre, ne töltsünk el vele sok időt.)

Fontos!

Beadandó a „Mérési jegyzőkönyv", amely tartalmazza

- a mérést végző azonosítóját,
- a mérések minden fontos paraméterét,
- a mért nyers adatokat,
- az eljárást (lépésenként), amellyel a végeredményhez eljutottunk,
- a végeredmény(eke)t,
- a végeredmény(ek) hibáját és a hiba kiszámítási vagy becslési módját,
- az eredmények diszkutálását,
- valamint minden olyan információt, amely a mérés reprodukálásához szükséges.

A mérési jegyzőkönyvnek olyannak kell lenni, hogy annak alapján a mérést bárki megismételhesse, és (a statisztikus hibákon belül) hasonló eredményt kaphasson.

Az 1. forduló feladatainak megoldása

1. feladat megoldása

Szilárd Leónál hólyagrákot diagnosztizáltak. Felesége és Klein György tanácsait követve, valamint a szakirodalmat tanulmányozva megtervezte saját sugárkezelését. A műtét után körülbelül 60 Gy γ-dózist adatott magának a műtéti területen. A rák nyom nélkül elmúlt, Szilárd Leó ezt követően 14 év múlva szívrohamban halt meg. A boncolás kimutatta, hogy a rákból teljesen felgyógyult.

Megjegyzés: Ugyancsak ezzel kapcsolatos életrajzi adat, hogy Szilárd Leó a biofizika professzora lett a Chicagói Egyetemen.

2. feladat megoldása

Az alfa-részecskék energiavesztését a gázban lévő atomokkal, molekulákkal való kölcsönhatás okozza (ionizáció, gerjesztés stb.). Az egyedi molekulákkal való kölcsönhatást nem befolyásolja, hogy az illető molekula mekkora nyomású gázban van, ezért mindkét esetben átlagosan ugyanannyi molekulával való kölcsönhatás után „áll meg" az alfa-részecske. Így az alfa-részek behatolási mélysége (más néven hatótávolsága) egyenesen arányos a gáz részecskék átlagos távolságával. A p nyomású gázban a részecskék átlagos d távolságát a $pV = NkT$ állapotegyenletből becsülhetjük meg: az egyenletből kifejezzük az egy részecskére jutó térfogatot, majd annak köbgyökét vesszük (így kapjuk d-t, mint a részecskére jutó kocka alakú térfogat élhosszát):

$$d \approx \sqrt[3]{\frac{V}{N}} = \sqrt[3]{\frac{kT}{p}}.$$

Az összefüggésből látható, hogy az átlagos d távolság a nyomás köbgyökével fordítottan arányos, ezért felírhatjuk

$$d_2 = d_1 \sqrt[3]{\frac{p_1}{p_2}} = d_1 \sqrt[3]{100} = 4{,}64\, d_1.$$

Vagyis az alfa-részek behatolási mélysége (más néven: hatótávolsága) a 10^3 Pa nyomású levegőben $r = 4{,}64 \cdot 4$ cm $= 18{,}56$ cm lenne.

3. feladat megoldása

a) A grafit végzi a neutronok moderálását, a láncreakció szempontjából a H_2O-nak a neutronelnyelő szerepe dominál. A víz megszökése esetén tehát neutronelnyelő távozik, növekszik a neutronszám, megszalad a láncreakció. Az ilyen reaktor a hűtőközeg-vesztéses üzemzavarral szemben instabil, megszalad.

b) A ^{4}He zárt héjszerkezetű atommag, nem nyel el neutronokat, ^{5}He nem létezik. A hélium megszökése esetén emiatt nem távozik neutronelnyelő anyag, a neutronok száma nem nő, sőt a moderálásuk kicsit gyengül. A reaktor ezzel az üzemzavarral szemben stabil.

c) Ez esetben a víznek moderátorszerepe is van. Ha a víz elfolyik, nincs moderátor sem. A gyors neutronok az ^{238}U-ban elnyelődnek, a láncreakció minden beavatkozás nélkül leáll.

A fentiek viszont csak a láncreakció megszaladására vonatkozó meggondolások. A hűtőközeg megszökése után még a láncreakció leállása ellenére is bekövetkezhet zónaolvadás, ha nem gondoskodunk üzemzavari hűtésről, mert az üzemanyagot az erős radioaktivitás a láncreakció leállása után is tovább fűti! Ez minden fenti esetre igaz.

4. feladat megoldása

A kétféle készítmény összes radioaktív atomjainak száma:

$$N(0)_{\mathrm{Na}} = \frac{A\,T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{A \cdot 54\,000}{0{,}693} = A \cdot 7{,}79 \cdot 10^5 \text{ db},$$

$$N(0)_{\mathrm{Tc}} = \frac{A\,T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{A \cdot 21\,600}{0{,}693} = A \cdot 3{,}12 \cdot 10^5 \text{ db}.$$

A feladat feltevése szerint a sugárzásnak energiától függetlenül ugyanannyiad része nyelődik el a szervezetben, ezért a két dózis aránya:

$$\frac{D_{\mathrm{Na}}}{D_{\mathrm{Tc}}} = \frac{N(0)_{\mathrm{Na}}\,E_{\mathrm{Na}}}{N(0)_{\mathrm{Tc}}\,E_{\mathrm{Tc}}} = \frac{A \cdot 7{,}79 \cdot 10^5 \cdot 2{,}75}{A \cdot 3{,}12 \cdot 10^5 \cdot 0{,}14} = 49.$$

Tehát az első esetben közel negyvenkilencszer akkora dózist kap a páciens.

5. feladat megoldása

a)

$$A = \frac{\ln 2}{T_f} N = \frac{\ln 2}{1{,}38 \cdot 10^2 \cdot 8{,}64 \cdot 10^4} \frac{10^{-6}\text{ g}}{2{,}1 \cdot 10^2\text{ g}} \cdot 6 \cdot 10^{23} =$$

$$= 1{,}66 \cdot 10^8 \text{ Bq} = 166 \text{ MBq}.$$

b) 1 nap alatt leadott energia:

$$E \approx A\,t\,E_\alpha = 1{,}66 \cdot 10^8 \,\frac{1}{\text{s}} \cdot 8{,}64 \cdot 10^4 \text{ s} \cdot 8{,}48 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 12{,}16 \text{ J}.$$

A 2 kg tömegű emésztőcsatorna által kapott dózis:

$$D = \frac{12{,}16 \text{ J}}{2 \text{ kg}} = 6{,}08 \text{ Gy}.$$

Ez jóval több, mint ami az emésztőrendszer tönkretételéhez szükséges.

Megjegyzések:

1) Azért számolhattunk állandó aktivitással, mert a 138 nap felezési idő miatt az 1 nap alatt bekövetkező kis csökkenés elhanyagolható.

2) *Fontos!* Ilyen nagy dózisoknál már elnyelt dózissal (Gy) kell számolni, hiszen a biológiailag okozható kár (sejthalál) egy bizonyos elnyelt dózis

fölött már nem nő tovább (egy elpusztult sejtet hiába teszünk ki még nagyobb dózisnak, attól nem fog „jobban elpusztulni”). Ez a gondolat azonban a Szilárd Leó versenyhez megadott irodalomban nincs kifejtve, ezért a versenybizottság helyesnek fogadta el azt, ha egy versenyző egyenértékdózist, azaz 6 Gy·20 =120 Sv-et adott meg.

c) Mivel kis intenzitásról van szó, itt már egyenértékdózissal kell számolni. 2,8 mSv-nek 60 kg-os ember esetében 60·0,0028 = 0,168 J felelne meg. Figyelembe kell azonban venni, hogy az α-sugárzás sugárzási tényezője 20, ezért ennél hússzor kevesebb energia nyelődhet csak el α-sugárzásból, azaz csak 0,0084 J. Ennyi energiát

$$\Delta N = \frac{E}{E_\alpha} = 0{,}99 \cdot 10^{10}$$

bomlás hoz létre. Mivel állandó aktivitást teszünk fel, ezért az átlagos aktivitás:

$$A = \frac{0{,}99 \cdot 10^{10}}{\text{év}} = \frac{0{,}99 \cdot 10^{10}}{365 \cdot 24 \cdot 3600\ \text{s}} = 314{,}1\ \text{Bq}.$$

Az aktivitásból a bomló atommagok száma:

$$N = \frac{A\,T}{0{,}693},$$

azaz

$$N = \frac{314{,}1 \cdot 138 \cdot 24 \cdot 3600}{0{,}693} = 5{,}4 \cdot 10^{9}.$$

Ebből

$$m = \frac{N}{N_A}\,210\ \text{g} = 1{,}89 \cdot 10^{-12}\ \text{g} = 1{,}89\ \text{pikogramm}.$$

6. feladat megoldása

a) Kezdetben a csepp lebeg, ezért a cseppre ható erők eredője nulla. Azaz $eE = mg$. Ebből

$$m = \frac{eE}{g} = \frac{e\dfrac{U}{d}}{g} = 1{,}63 \cdot 10^{-15}\ \text{kg}.$$

b) Miután elveszíti a töltését, csak a nehézségi erő hat rá, és ezért lefelé kezd el mozogni.

c) Szabadesést végez g = 9,81 m/s^2 gyorsulással.

d) A csepp 2,5 cm utat tesz meg, nulla kezdősebességről indulva g gyorsulással, azaz

$$s = \frac{g}{2}t^2,$$

innen

$$t = \sqrt{\frac{2s}{g}} = 7{,}14 \cdot 10^{-2}\ \text{s}.$$

7. feladat megoldása

a) A számláló a 9250 darab fotonból csak 280-at érzékel, ami a fotonok körülbelül 3%-a.

b) Az intenzitás exponenciálisan csökken az abszorbens felületétől x távolságra:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x},$$

ahol I_0 a belépő intenzitás, μ pedig az abszorpciós együttható. Esetünkben

$$197 = 280\, e^{-2\mu}$$

egyenletet kell megoldani. Vegyük mindkét oldal logaritmusát:

$$\ln 197 = \ln 280 - 2\mu,$$

ebből μ = 0,176 mm.

c) Az x felezőréteg meghatározásakor ismét használjuk az exponenciális összefüggést: $0{,}5 = e^{-0{,}175x}$. Ebből $\ln 0{,}5 = -0{,}175 \cdot x$, ahonnan x = 3,96 mm.

Megjegyzés: A középiskolások számára ismertebb formulát is alkalmazhatjuk a felezőréteg vastagságának meghatározására:

$$I = I_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{x}{x_F}}.$$

Ebből logaritmizálás után a keresett x_F felezőréteget kifejezhetjük:

$$x_F = x\,\frac{\lg\left(\frac{1}{2}\right)}{\lg\left(\frac{I}{I_0}\right)} = 3{,}96\ \text{mm}.$$

8. feladat megoldása

A fotocella által leadható legnagyobb áramerősséget (az úgynevezett telítési áramot, amikor valamennyi katódból kilépő elektron áthalad az ellenálláson) a fény teljesítményéből és a kvantumhatásfokból számíthatjuk ki:

$$I_t = \frac{P \dfrac{\lambda}{h\,c} e}{5} = 32 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{A} = 320\ \mu\mathrm{A}.$$

a) A telítési áram a 100 ohmos ellenálláson

$$U = IR = 3{,}2 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{A} \cdot 100\ \Omega = 0{,}032\ \mathrm{V}$$

feszültségesést hoz létre. Még ellenőrizni kell, hogy ez a feszültség ténylegesen létrejöhet-e az ellenálláson. A katódból kilépő elektronok energiáját a fényelektromos egyenletből tudjuk meghatározni:

$$E_m = \frac{h\,c}{\lambda} - W_{ki} = 1{,}1\ \mathrm{eV}.$$

A kilépő elektronok tehát az ellenálláson kialakult 0,032 V „ellenteret” biztosan le tudják győzni, mivel az a fotocella zárófeszültségének körülbelül 3%-a. Az ellenálláson tehát folyamatosan folyik az áram, a kialakuló feszültséget a lehetséges maximális áramerősség határozza meg.

b) Ha 1 MΩ-os ellenállást kapcsolunk a fotocellára, a fenti összefüggés alapján az ellenálláson tízezerszer akkora, azaz 320 V feszültségesésnek kellene kialakulni. Az elektronok azonban – a fényelektromos egyenlet alapján – legfeljebb 1,1 V-os „ellenteret” tudnak legyőzni, ennél nagyobb feszültség az ellenálláson nem alakulhat ki. Ez azt jelenti, hogy itt nem folyhat a lehetséges maximális áramerősség, a kialakuló feszültséget a fotocella „lezárása” fogja megszabni. Ezért 1,1 V körüli feszültség (1,1 V-nál valamivel kisebb feszültség) fog kialakulni. Ha az ellenálláson körülbelül 1,1 V feszültség alakul ki, akkor a rajta átfolyó áram erőssége: $1{,}1 \cdot 10^{-6}$ A = 1,1 μA. Ez a maximális áramerősségnek körülbelül 290-ed része. Ennek létrejöttéhez elegendő, ha a katódból kilépő elektronoknak csak körülbelül 3,4 ezreléke (a legnagyobb energiájúak) éri el az anódot. A többi (kisebb energiájú) elektront a kialakult elektromos erőtér már visszafordítja a katód felé.

9. feladat megoldása

Tegyük fel, hogy diagnosztikai esetben *T* idő alatt csökken a készítmény aktivitása (1 kBq / 1 MBq) = 0,001 részére. Terápiás esetben a készítmény aktivitásának (1 kBq / 1 GBq) = 0,000001 = $(0{,}001)^2$-re kell csökkenni. Mivel a radioaktív bomlások időben exponenciálisan, csökkennek, azaz az aktivitás azonos idők alatt ugyanannyiad részére csökken (egyenlő időközönként a pillanatnyi aktivitás értékek mértani sort alkotnak), ezért

$(0{,}001)^2$-es csökkenéshez éppen kétszer annyi idő kell, mint 0,001-szeres csökkenéshez. Azaz $2T$ időre van szükség. (Tehát, ha diagnosztikai esetben például 2 órát várt a beteg az aktivitás kívánt szintre való csökkenéshez, akkor az 1000-szeres aktivítású terápiás készítmény lecsökkenésére mindössze 4 órát kell várnia.)

10. feladat megoldása

A körpályára merőleges mágneses tér, valamint a részecske töltése és sebessége által meghatározott Lorentz-erő adja a körpályán tartáshoz szükséges centripetális erőt. Azaz az erők abszolút értékére

$$\frac{m v^2}{r} = e v B.$$

Innen:

$$p = m v = B r e.$$

Itt m a részecskék (az elektron, illetve a proton) relativisztikus tömege, amely a teljes relativisztikus energiával kifejezhető:

$$E = m c^2 = \sqrt{(p c)^2 + \left(m_0 c^2\right)^2}.$$

Mivel a részecskék mozgási energiája mindkét esetben sokkal nagyobb, mint a nyugalmi tömegük, azaz $pc \gg m_0 c^2$, ezért a fenti képletben $m_0 c^2$ elhanyagolható, és kapjuk, hogy

$$p = \frac{E}{c}.$$

Ezt beírva a $p = Bre$ képletbe

$$E = B(r e c),$$

innen

$$\frac{E}{B} = \text{konst.},$$

mivel a zárójelben szereplő mennyiségek mindkét esetben ugyanazok. Ebből kapjuk, hogy:

$$\frac{E_p}{E_e} = \frac{B_p}{B_e} = \frac{7 \cdot 10^{12}}{101 \cdot 10^9} = 69{,}3.$$

Tehát az LHC-nél a protonok gyorsításánál körülbelül 70-szer nagyobb indukciójú mágneses teret kell alkalmazni, mint a LEP-nél az elektronok gyorsításakor. Ennek oka a körülbelül 70-szeres energia.

A döntő feladatainak megoldása

ELMÉLETI FELADATOK MEGOLDÁSA

I. kategória

1. feladat megoldása

Feltételezve, hogy mindkét mérésnél az aktivitás és a beütésszámok aránya ugyanaz alkalmazhatjuk a B beütésszámokra is az exponenciális törvényt:

$$B = B_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}},$$

ahol $B_0 = 15$ jelenti a mai famintánál mért beütésszámot, $B = 8{,}5$ pedig a régészeti lelet (fáraó koporsója) mintájánál mértet, $T = 5760$ év a C izotóp felezési ideje, t pedig a koporsó kora. A fenti egyenlet mindkét oldalának logaritmusát véve a keresett t idő kifejezhető:

$$t = T\frac{\lg\left(\frac{B}{B_0}\right)}{\lg\left(\frac{1}{2}\right)} = 5760 \text{ év}\,\frac{-0{,}2467}{-0{,}3010} \approx 4720 \text{ év}.$$

Így a fadarab Krisztus előtt 2700 körüli évekből származhat, ezért a történészeknek igaza lehet.

2. feladat megoldása

Az ok a párenergia. Mindkét uránizotópban a protonok száma páros, azonban az ^{235}U páratlan, míg az ^{238}U páros számú számú neutront tartalmaz van. A páros számú nukleont tartalmazó magok stabilabbak. Az ^{235}U a neutron befogásakor páratlan neutronszámú (gyengébben kötött) magból páros neutronszámú (erősebben kötött) atommaggá válik, míg az ^{238}U esetén éppen fordított a helyzet. Ezért az ^{235}U neutronbefogása után nagyobb kötési energia áll az atommag rendelkezésére ahhoz, hogy a hasadási gáton áthaladjon.

3. feladat megoldása

Használjuk a húrmodellt! A molekulában a 20 C-atom között 19 kötés van, azaz a molekula hossza

$$a = 19 \cdot 134 \text{ pm} = 2546 \text{ pm} = 2{,}546 \text{ nm}.$$

A molekulában 20 delokalizált elektron van, és a Pauli-elv miatt egy állapotban 2 elektron lehet, így az első 10 delokalizált állapot teljesen betöltött. A gerjesztéshez tehát a 10. és a 11. állapot közti energiakülönbséget kell leadnia a fotonnak.

A k-ik állapot energiája az alapállapottól számítva

$$E = \frac{h^2}{8ma^2}k^2.$$

Így a 10. és a 11. állapotok különbségére kapjuk:

$$\Delta E = \frac{h^2}{8ma^2}\left(11^2 - 10^2\right) = \frac{\left(6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{Js}\right)^2 \cdot 21}{8 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}\ \mathrm{kg} \cdot \left(2{,}546 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{m}\right)^2} =$$

$$= 1{,}956 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{J}.$$

4. feladat megoldása

A szövegben az alábbi helytelen kifejezések és szóhasználatok fordulnak elő:

– az uránium helyes neve magyarul urán;

– az urándúsítás során nem plutóniumot nyernek ki, (különösen nem *elnyernek*);

– a reaktorban nem fűtőtestek, hanem üzemanyag-kazetták, esetleg fűtőelemek vannak;

– a grafitfékezésű helyesen grafitmoderátoros;

– a pecsétet nem az ENSZ Biztonsági Tanácsa, hanem a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség helyezte el;

– nem a moderátort, hanem a használt fűtőelemet (nem fűtőtestet) szokás reprocesszálni;

– az üzemben szintén fűtőelemet és nem uránt gyártanak, az uránt a kibányászott uránércből állítják elő;

– az egyezmény neve helyesen Atomsorompó Egyezmény.

5. feladat megoldása

a) Igen, hiszen a trícium a bor víztartalmában HTO formájában van jelen. Azonos helyen és időben termelt borok tríciumtartalma tehát azonos kell legyen.

b) A trícium bomlásakor ^{3}He gáz keletkezik, a bor korából és eredeti tríciumtartalmából meghatározható mennyiségben. Ez a hermetikusan lezárt üvegből nem tud kiszökni, összegyűlik a folyadék felett, az üvegben. A keveréshez azonban a palackokat meg kell bontani. Ekkor a ^{3}He gáz elszökik. Ha tehát az üveg gáztartalmából a fogyasztás előtt mintát veszünk, megvizsgáljuk a ^{3}He tartalmát, és a vártnál kisebb eredményt kapunk, az üveget felnyitották palackozás után.

6. feladat megoldása

a) Először ki kell számolni, hogy hány tagja van a bomlási sornak. Mivel a tömegszámot csak az α-bomlás csökkenti, adódik, hogy $(238-206)/4 = 8$ db α-bomlás történik. Ez a rendszámot 16-tal csökkenti. Ám az ólom rendszáma 82, így szükség van 6 db β-bomlásra is. Ez összesen 14 bomlást jelent az urántól az ólomig.

Mivel az ^{238}U felezési ideje jelentősen nagyobb a sor összes tagjánál, szekuláris egyensúly alakul ki, azaz a bomlási sor minden tagjának aktivitása az ^{238}U aktivitásával fog megegyezni. Azaz elég az urán aktivitását meghatározni és ennek a 14-szerese lesz a keresett aktivitás.

Az ^{238}U aktivitásának meghatározása: 1 tonna gránitban lévő SiO_2 molekulák mennyisége

$$n_{\mathrm{SiO}} = \frac{m}{M} = \frac{10^6\ \mathrm{g}}{60\ \mathrm{g/mol}} = \frac{1}{6}\cdot 10^5\ \mathrm{mol}.$$

Az ^{238}U urán mennyisége pedig

$$n_{\mathrm{U}} = n_{\mathrm{SiO}}\cdot 10^{-5} = \frac{1}{6}\ \mathrm{mol}.$$

Az uránatomok száma

$$N = n N_A = 10^{23}.$$

Az urán aktivitása a bomlási törvényből

$$A_{\mathrm{U}} = N\lambda = N\frac{\ln 2}{T_{1/2}} = 10^{23}\cdot\frac{\ln 2}{4{,}5\cdot 10^9\cdot 3{,}15\cdot 10^7\ \mathrm{s}} = 4{,}88\cdot 10^5\ \mathrm{Bq}.$$

A teljes sor aktivitása pedig $A_{ö} = A_{\mathrm{U}}\cdot 14 = 6{,}83$ MBq.

b) A kapott eredmény a valódi aktivitást felülbecsli, mert a sornak tagja egy nemesgáz, a ^{222}Rn, ez ki tud diffundálni a kőzetekből, így a sor utána következő tagjai aktivitásának meghatározásánál ezt figyelembe kellene venni.

c) A pontos eredményhez ismerni kellene az eltávozott radon mennyiségét.

7. feladat megoldása

Egyensúlyban a két radioaktív izotóp aktivitása megegyezik. $\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$, ebből

$$N_2 = N_1\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = N_1\frac{T_2}{T_1},$$

ahol T_1, illetve T_2 az egyes izotópok felezési ideje.

400 mg rádiumban

$$N_1 = \frac{0{,}4}{226} N_A = 1{,}06 \cdot 10^{21}$$

részecske van, ahol N_A az Avogadro-szám. A felezési idők felhasználásával megkaphatjuk N_2 értékét is:

$$N_2 = 1{,}06 \cdot 10^{21} \frac{3{,}825 \text{ nap}}{1620 \cdot 365{,}25 \text{ nap}} = 6{,}86 \cdot 10^{15}$$

Az ideális gázok állapotegyenlete

$$pV = \frac{N_2}{N_A} R\,T,$$

ebből p-t kifejezve, behelyettesítés után kapjuk:

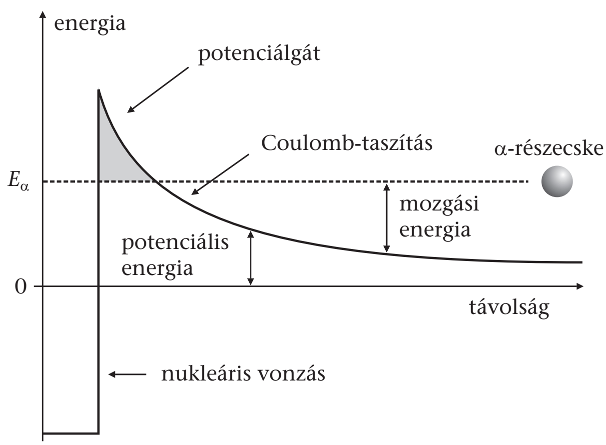
$$p = \frac{N_2}{V N_A} R\,T = \frac{6{,}86 \cdot 10^{15}}{2 \cdot 10^{-5}\ \text{m}^3 \cdot 6 \cdot 10^{23} 1/\text{mol}} \cdot 8{,}314\ \frac{\text{J}}{\text{K mol}} \cdot 303\ \text{K} =$$

$$= 1{,}44\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2}.$$

Tehát a radongáz nyomása egyensúlyban mindössze 1,441 pascal.

8. feladat megoldása

Az α-részecskék hatótávolsága monoton növekvő kapcsolatban van a részecskék mozgási energiájával. Így a Geiger–Nuttal-törvényt úgy is át lehet fogalmazni, hogy a nagyobb energiájú α-részecskéket kibocsátó izotópok felezési ideje kisebb.



Az α-bomlás kvantummechanikai modellje szerint az α-részecske alagút-effektussal tud kijutni az atommag potenciálvölgyéből. A potenciálgáton való átjutás valószínűsége erősen függ a potenciálgát szélességétől és magasságától: minél szélesebb és magasabb a potenciálgát, annál kisebb valószínűséggel tud rajta átjutni a részecske.

Azok az α-részecskék, amelyek nagy energiával lépnek ki, „magasabban" vannak az atommag potenciálvölgyében, ezért nekik keskenyebb és kevésbé magas potenciálgáton kell átjutniuk. Ez nagyobb valószínűséggel következhet be, tehát azonos számú atommagból időegység alatt több bomlik el, vagyis az izotóp felezési ideje kisebb.

9. feladat megoldása

A feladat megoldása három részre bontható.

a) Először azt határozzuk meg, hogy mekkora energiával keletkeznek az α-részek az említett atommag-reakcióban. Annak ellenére, hogy a reakció több millió fokos hőmérsékleten zajlik, a D és a T kezdeti mozgási energiáját elhanyagolhatjuk, hiszen az a reakcióban felszabaduló energiának csak mintegy ezreléke. Ennek alapján úgy vehetjük, hogy a D és a T „áll" a reakció előtt, azaz a teljes lendület nulla. A lendület úgy marad meg, ha a keletkező neutron és α-részecske lendületének abszolút értéke (p) megegyezik, és irányuk ellentétes. Az energiamérleg-egyenlet tehát:

$$\frac{p^2}{2m_n} + \frac{p^2}{2m_\alpha} = 17{,}6 \text{ MeV}.$$

Mivel $m_n = m_\alpha/4$, így kapjuk

$$5\,\frac{p^2}{2m_\alpha} = 5\,E_\alpha = 17{,}6 \text{ MeV},$$

amiből adódik:

$$E_\alpha = \frac{17{,}6}{5} = 3{,}52 \text{ MeV}.$$

b) Az α-részecskék adott sebessége (energiája) mellett a spirális pálya sugara a sebességvektornak a mágnesestérerősség-vektorral bezárt szögétől függ. Ha a sebességvektor párhuzamos a térerősségvektorral, akkor a részecske egyenes vonalban halad („0 átmérőjű spirális"). A maximális pályasugarat akkor kapjuk, amikor a sebességvektor éppen merőleges a mágnesesindukció-vektorra. Ekkor elfajult lesz a spirális: körmozgást kapunk. A körpálya sugarát a centripetális gyorsulásból határozhatjuk meg:

$$\frac{v^2}{r} = \frac{q\,v\,B}{m}.$$

Ebből kapjuk

$$r = \frac{m\,v}{q\,B} = \frac{\sqrt{2m\,E_\alpha}}{2e\,B}.$$

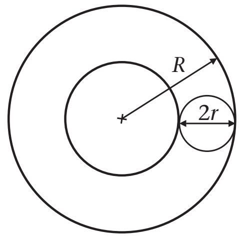
Az adatokat behelyettesítve kapjuk:

$$r = \frac{\sqrt{2\cdot 6{,}64\cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg}\cdot 3{,}52\cdot 1{,}6\cdot 10^{-13}\ \mathrm{J}}}{2\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\ \mathrm{C}\cdot 11\ \mathrm{Vs/m^2}} = \frac{8{,}65\cdot 10^{-20}\ \mathrm{kg\,m/s}}{35{,}2\cdot 10^{-19}\ \mathrm{kg/s}} =$$

$$= 0{,}0246\ \mathrm{m}.$$

Azaz az α-részecskék maximális pályasugara 2,46 cm.

c) Az előző pont alapján azok az α-részecskék, amelyek a plazma szélétől $2r = 2\cdot 2{,}46 = 4{,}92$ cm-rel beljebb keletkeznek a plazmában, biztosan nem jutnak ki a plazmából útjuk során.



Annak feltétele tehát, hogy ezek aránya 90% legyen:

$$\frac{\pi (R-2r)^2}{\pi\, R^2} = 0{,}9.$$

Ebből R kifejezhető:

$$R = r\frac{2}{1-\sqrt{0{,}9}}.$$

Behelyettesítve az r =2,46 cm értéket, kapjuk R = 95,88 cm. Azaz a „plazmafonal” átmérője majdnem 2 méter kell legyen! Érthető, hogy miért van szükség óriási berendezésre az önfenntartó reakció megvalósításához.

Megjegyzések: Ténylegesen ennél kisebb átmérőre van szükség. A megoldás során két közelítést is tettünk. Az egyik az, hogy a plazma egyenletes sűrűségű. A valóságban a plazma közepe sűrűbb, ezért a széle körüli részeken viszonylag kevesebb részecske tartózkodik, így a kiszökés is kisebb valószínűségű.

A másik ok, ami miatt valamivel kisebb plazmasugár is elegendő az, hogy a szélén (az $R-2r$ körgyűrűben) keletkezett α-részek egy része is benne marad a plazmában, attól függően, hogy éppen milyen irányú sebességvektorral keletkeztek. Ezeket pedig a megoldásban nem vettük figyelembe a 90% meghatározásakor.

10. feladat megoldása

a) A bejövő neutronok lendületvektorának iránya (és ezzel a reakciópartnerek teljes lendületének iránya is) a B detektor felé mutat. Ezért a B detektorban detektált foton lesz a nagyobb energiájú, hiszen ebben az esetben a gamma-foton a reakció teljes lendületéből nagyobb részt hordoz, mint amikor a foton az *A* detektor felé bocsátódik ki. Nagyobb lendület pedig nagyobb energiát is jelent $E = pc$ alapján.

b) Az energiák kvantitatív meghatározásához a reakciók lendület- és energiamegmaradás egyenleteit kell felírni mind a két esetben.

Előre szóródó foton esetében a megmaradási tételek egyenletei:

$$p_n = p_{\mathrm{D}} + \frac{E_f}{c}, \tag{1}$$

$$\frac{p_n^2}{2m_n} + E_k = \frac{p_{\mathrm{D}}^2}{2m_{\mathrm{D}}} + E_f, \tag{2}$$

ahol p_n és p_{D} a neutron és a deuteron, az E_f/c pedig a gamma-foton lendülete, E_k a deuteron kötési energiája, E_f az előre haladó foton energiája.

Megjegyzés: A részecskék mozgási energiáját a klasszikus képlettel írhatjuk fel, mivel azok nagyságrendje legfeljebb néhány MeV, amely a körülbelül 1000–2000 MeV nyugalmi energiák mintegy 0,1%-a, így a tömegnövekedés elhanyagolható.

Visszaszóródó foton esetében a megmaradási egyenletek:

$$p_n = p'_{\mathrm{D}} - \frac{E'_f}{c}, \tag{1'}$$

$$\frac{p_n^2}{2m_n} + E_k = \frac{p'^2_{\mathrm{D}}}{2m_{\mathrm{D}}} + E'_f, \tag{2'}$$

ahol p'_{D} az előre lökődő deuteron, az E'_f/c pedig a hátra szóródó foton lendülete, E'_f a foton energiája.

Az (1′) és az (1) egyenletek kivonásából kapjuk a (3) egyenletet:

$$p'_{\mathrm{D}} - p_{\mathrm{D}} = \frac{E'_f + E_f}{c}. \tag{3}$$

A (2′) és (2) egyenletek különbségéből pedig a (4) egyenletet:

$$p'^2_{\mathrm{D}} - p_{\mathrm{D}}^2 = 2m_{\mathrm{D}}\left(E'_f - E_f\right). \tag{4}$$

A (4) és (3) hányadosából egyszerűsítés és rendezés után kapjuk az (5) egyenletet:

$$p'_{\mathrm{D}} + p_{\mathrm{D}} = \frac{E_f - E'_f}{E_f + E'_f}\, 2\, m_{\mathrm{D}}\, c. \tag{5}$$

A (3) és az (5) egyenlet összeadásából, illetve kivonásából megkapjuk mindkét esetre a deuteronok lendületét:

$$p'_{\mathrm{D}} = \frac{E_f - E'_f}{E_f + E'_f} m_{\mathrm{D}} c + \frac{E_f + E'_f}{2c}, \tag{6}$$

$$p_{\mathrm{D}} = \frac{E_f - E'_f}{E_f + E'_f} m_{\mathrm{D}} c - \frac{E_f + E'_f}{2c}. \tag{7}$$

Az (1)-ből pedig a neutronok kezdeti lendülete adódik:

$$p_n = \frac{E_f - E'_f}{E_f + E'_f} m_{\mathrm{D}} c + \frac{E_f - E'_f}{2c}. \tag{8}$$

A (6), (7), (8) egyenletekbe az adatok behelyettesítésével nyerjük az alábbi lendületértékeket, amelyekből a neutronok és a deuteronok mozgási energiája kiszámítható:

$$p'_{\mathrm{D}} = 3{,}82 \cdot 10^{-20}\ \mathrm{kg}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}, \qquad E'_{\mathrm{D}} = \frac{p'^2_{\mathrm{D}}}{2m_{\mathrm{D}}} = 2{,}18 \cdot 10^{-13}\ \mathrm{J} = 1{,}37\ \mathrm{MeV},$$

$$p_{\mathrm{D}} = 3{,}46 \cdot 10^{-20}\ \mathrm{kg}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}, \qquad E_{\mathrm{D}} = \frac{p^2_{\mathrm{D}}}{2m_{\mathrm{D}}} = 1{,}79 \cdot 10^{-13}\ \mathrm{J} = 1{,}12\ \mathrm{MeV},$$

$$p_n = 3{,}65 \cdot 10^{-20}\ \mathrm{kg}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}, \qquad E_n = \frac{p^2_n}{2m_n} = 3{,}99 \cdot 10^{-13}\ \mathrm{J} = 2{,}49\ \mathrm{MeV}.$$

A (2) vagy (2′) energiamérleg-egyenletekből pedig a deuteron kötési energiájára kapjuk az $E_k = 3{,}52 \cdot 10^{-13}$ J = 2,2 MeV értéket.

Megjegyzés: Ilyen nagy energiájú neutronok protonokon történő befogódásának valószínűsége roppant kicsiny (a hatáskeresztmetszet mikrobarnokban mérhető), a lassú neutronok befogódásának valószínűsége több nagyságrenddel nagyobb. Ezért nagyon vékony céltárgyat kell készíteni, hogy a gyors neutronok ne fékeződhessenek le, és ne zavarják meg a mérést. Vékony céltárgy esetén pedig a reakciósebesség (időegység alatt bekövetkező reakciók száma) lesz roppant kicsiny. Tehát e folyamat tényleges megmérése igen gondosan előkészített, hosszú ideig tartó kísérlettel történhetne csak meg.

II. kategória 9–10. feladatának megoldása

9. feladat megoldása

Az urán dúsítási aránya 3%, ezért a 220 kg-nyi UO_2-ból 220 kg$\cdot$0,03 = 6,6 kg ^{235}U tartalmú UO_2 van. Ebből az urán tömege

$$m = \frac{235}{267} \cdot 6{,}6 = 5{,}81 \text{ kg}.$$

Mivel ennek 10%-a szenved hasadást, ezért csak 0,581 kg urán hasad el.

0,235 kg uránban $6 \cdot 10^{23}$ atommag van, ezért az elhasadt uránmagok száma:

$$\frac{0{,}581 \text{ kg}}{0{,}235 \dfrac{\text{kg}}{\text{mol}}} \cdot 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} = 1{,}48 \cdot 10^{24} \text{ db}.$$

Egy maghasadáskor felszabadul E = 200 MeV = $3{,}2 \cdot 10^{-11}$ J. A teljes felszabaduló energia tehát

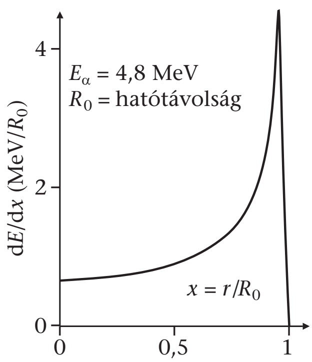
$$E_{összes} = 1{,}48 \cdot 10^{24} \cdot 3{,}2 \cdot 10^{-11} = 4{,}736 \cdot 10^{13} \text{ J}.$$

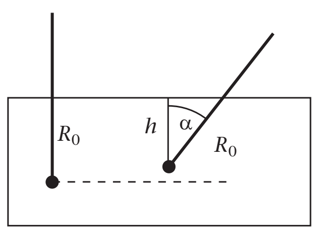
Ennek megfelelő tömeg:

$$\Delta m = \frac{E_{összes}}{c^2} = \frac{4{,}736 \cdot 10^{13}}{9 \cdot 10^{16}} = 0{,}526 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \approx 0{,}53 \text{ g}.$$

10. feladat megoldása

Az α-részecskék az útjuk végén roncsolják legjobban az anyagot (a bal oldali *ábrán* példaként egy 4,8 MeV energiájú α-részecske energialeadásának eloszlását mutatjuk be). Jelöljük R_0-val az alfa-részecskék hatótávolságát az anyagban. A merőlegesen beesett részecskék természetesen ilyen mélységben hagy-





nak nyomot (lásd a jobb oldali *ábrát*). Az α szög alatt beesett részecskék azonban csak $h = R_0 \cos\alpha$ mélységig jutnak el. Mivel a maratás többé-kevésbé egyenletes rétegeket távolít el a nyomdetektor felszínéről, először azon részecskék nyomait látjuk majd, amelyek ferdén estek be a felületre. Ezek lesznek a szóródott részecskék nyomai. A nem (vagy csak kis szögben) szóródott részecskék nyomait hosszabb idejű maratás után tehetjük láthatóvá, miután vastagabb anyagréteget lemarattunk a nyomdetektor felszínéről.[4]

A 10. verseny döntőjének eredménye

I. kategória (11–12. osztály)

1. helyezést ért el ***Kónya Gábor,*** a Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Gimnázium, Budapest tanulója, felkészítő tanára Horváth Gábor, 70 pontos eredménnyel,
2. ***Nagy Viktor*** (Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg, Pálovics Róbert, 68),
3. ***Vajna Szabolcs*** (Berze Nagy J. Gimn., Gyöngyös, Ombódiné Madai Judit, Kiss Miklós, 66),
4. *Vincze János* (Fazekas M. Gimn., Debrecen, Takács Kálmán, Türk Zsuzsanna, 65),
5. *Székely Gergely* (Földes F. Gimn., Miskolc, Héjj Márta, Bíró István, 64),
6. *Tolner Ferenc* (Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg, Pálovics Róbert, 61),
7. *Almási Gábor* (Leöwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter, 61),
8. *Meszéna Balázs* (Fazekas M. Főv. Gyak. Gimn., Budapest, Takács Lajos, 60),
9. *Fülöp Bálint* (ELTE Apáczai Csere J. Gyak. Gimn., Budapest, Zsigri Ferenc, 60),
10. *Pósa László* (Bethlen G. Ref. Gimn., Hódmezővásárhely, Nagy Tibor, 59),
11. *Horváth Zoltán* (Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg, Pálovics Róbert, 59),
12. *Pálovics Róbert* (Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg, Németh László, 52),
13. *Werner Miklós* (ELTE Apáczai Csere J. Gyak. Gimn., Budapest, Flórik György, 52),
14. *Balázs Dániel* (ELTE Apáczai Csere J. Gyak. Gimn., Budapest, Zsigri Ferenc, 52),
15. *György Hunor* (Batthyány K. Gimn., Szigetszentmiklós, Bülgözdi László, 48),
16. *Dudás János* (Bethlen G. Ref. Gimn., Hódmezővásárhely, Nagy Tibor, 47),
17. *Drozdy András* (ELTE Apáczai Csere J. Gyak. Gimn., Budapest, Zsigri Ferenc, 45),
18. *Németh Márton* (Szerb A. Gimn., Budapest, Czeglédi Ilona, Dékán Tamás, 44),

[4] Köszönet Dr. Tóth Eszter tanárnőnek, aki a megoldások ismertetése során fontos kiegészítő megjegyzést tett.

19. *Hlatky Dávid* (Leöwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter, Almási László, Hegedüs János, 41),
20. *Szolnoki Lénárd* (Debreczeni Ref. Koll. Dóczy Gimn., Debrecen, Tófalusi Péter, 40).

II. kategória (9–10. osztály)

1. helyezést ért el ***Horváth László,*** a Batthyány Kázmér Gimnázium, Szigetszentmiklós tanulója, felkészítő tanára Bülgözdi László, 76 pontos eredménnyel,
2. ***Lovas Lia Izabella*** (Leöwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter, 64),
3. ***Bokányi Eszter*** (Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg, Pálovics Róbert, 58),
4. *Badics Alex* (Eötvös J. Gimn., Tata, Magyar Csabáné, 50),
5. *Kovács Máté* (SZTE Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged, dr. Kovács László, 41),
6. *Somogyi Márton* (Leöwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter 35),
7. *Pásztor Ádám* (Verseghy F. Gimn., Szolnok, Pécsi István, 33),
8. *Forberger Klaudia* (Boronkay Gy. Műsz. Középisk., Vác, Dr. Tóth Eszter, 31),
9. *Mikó Gergely* (János Zs. Unitárius Koll., Kolozsvár, Popa Márta, 21),
10. *Popa Tímea* (János Zs. Unitárius Koll., Kolozsvár, Popa Márta, 7).

11. Országos Szilárd Leó Fizikaverseny, 2008

Az 1. forduló feladatai[1]

1. feladat
a) Miért állíttatta le az USA Reaktorbiztonsági Bizottsága a grafitmoderátoros vízhűtésű reaktorokat már 1953-ban?

b) Melyik magyar származású tudós volt elnöke ennek a bizottságnak?

2. feladat
A következő idézet Marie Curie 1903-ban készült doktori értekezéséből való.

„Indukált radioaktivitás létesíthető úgy is, hogy egyes anyagokat urániummal együtt oldunk fel. A kísérlet báriummal sikerült. Ha Derierne eljárása szerint kénsavat töltünk urániumot és báriumot tartalmazó oldatba, a lecsapott báriumszulfát aktivitást visz magával, ezalatt az urániumsó aktivitásának egy részét elveszíti. Becquerel azt találta, hogy többször ismételve ezen eljárást, oly urániumot kapunk, mely már alig aktív. Azt lehetne hinni ezek után, hogy ezen eljárással sikerült az urániumtól egy ezen fémtől különböző radioaktív testet elválasztani, amelynek jelenléte okozza az uránium aktivitását. Ez azonban távolról sincs így, minthogy néhány hónap múlva az uránium visszanyeri eredeti aktivitását, a lecsapott bárium-szulfát ellenben elveszti nyert aktivitását. Hasonló jelenség megy végbe a tóriummal”.

Mi lehet a magyarázata a fenti idézetnek?

3. feladat
Az α-bomlást gyakran kíséri negatív β-bomlás, de pozitív β-bomlás és elektronbefogás nem.

Mi lehet ennek az oka?

[1] Az első fordulót 2008. február 25-én tartották. Minden feladat helyes megoldása 5 pontot ér. A feladatokat tetszőleges sorrendben lehet megoldani. A megoldáshoz bármilyen segédeszköz használható. Rendelkezésre álló idő: 180 perc.

4. feladat

Egy röntgencső másodpercenként 10^{15} darab, átlagosan 150 pm hullámhosszúságú fotont bocsát ki, ha 100 kV feszültségen 50 mA áramot vesz fel.

Mekkora hatásfokkal működik a cső?

Mire fordítódik a felvett energia jelentős része?

5. feladat

Torinóban őriznek egy leplet, amelyről sokan azt gondolják, hogy Krisztus halotti leple volt. A lepel korát ^{14}C vizsgálattal kívánták meghatározni. A mérés szerint a lepel a XIV. század közepéből (körülbelül 1350-ből) származik.

Hogy aránylik egymáshoz a minta ^{14}C aktivitása és az az aktivitás, amely akkor lenne, ha a lepel valóban 2000 éves volna?

6. feladat

Egy ciklotron átmérője *d,* a gyorsítófeszültség frekvenciája pedig *f.*

Határozzuk meg egy ciklotronból kilépő protonok maximális mozgási energiáját!

7. feladat

A technécium ($Z = 43$) egyik izotópja sem stabil, mesterségesen állítják elő. Észak-Amerika ^{99}Tc ellátásáért felelős kanadai kutatóreaktort (NRU, Chalk River, Ontario) 2007 novemberében biztonsági problémák miatt a tervezettnél hosszabb időre le kellett állítani. A földrész technécium-ellátása ezzel megbénult. Figyelembe véve a heti átlag 300 000 darab ^{99}Tc alapú orvosi vizsgálatot, a kanadai kormány a biztonsági aggályok ellenére egy hónappal később újraindíttatta a reaktort.

A ^{99}Tc izotópnak van egy körülbelül 6 óra felezési idejű gerjesztett (metastabil) állapota ^{99m}Tc, amelyből γ-sugárzás kibocsátásával bomlik el. Emiatt, és egyéb tulajdonságai miatt is, alkalmas szív- és érrendszeri diagnosztikai vizsgálatokra. (Teller Edénél is alkalmazták 1979-ben, amikor infarktusa volt.) Rövid felezési ideje miatt a helyszínen, a kórházban kell elválasztani egy „szülő” izotóptól, amelyből keletkezik, és amellyel radioaktív egyensúlyban van. Ezt a szülő izotópot állítják elő atomreaktorokban.

a) Mi lehet a „kezdő” stabil atommag (amit be kell tenni a reaktorba)?

b) Mi lehet a „szülő” atommag (aminek a bomlásából a ^{99m}Tc keletkezik)?

c) Általában milyen feltételeknek kell eleget tegyen egy diagnosztikára használt radioizotóp felezési ideje, illetve az őt szülő izotóp felezési ideje?

8. feladat

Hidrogénatom gerjesztett elektronja az $n = 5$ állapotból az $n = 1$ állapotba kerülve kibocsát egy fotont.

Legfeljebb mekkora mozgási energiájú fotoelektront képes ez a foton kiváltani fém nátriumból? (A nátrium kilépési munkája 2,75 eV.)

9. feladat

Egy 50 kg tömegű ember áll a tőle 1 méterre levő, 20 MBq aktivitású jódizotóppal kezelt betegtől. Feltételezzük, hogy annak testét a 356 keV energiájú fotonok fele hagyja el, és az emberünket érőknek is a fele nyelődik el benne. (Vegyük úgy, hogy az ember a testének 1 m^2-nyi felszínét fordítja a sugárforrás felé!)

a) Becsüljük meg, mekkora sugárdózist kaphat az ember a beteg személytől 1 perc alatt!

b) Hány vízmolekula felbontásához lenne elegendő ez az energia? (Adatokat a Függvénytáblázatból vegyük!)

10. feladat

A Genf melletti CERN-ben épül a világ legnagyobb részecskegyorsító berendezése, az LHC (Nagy Hadron Ütköztető). A föld alatti alagútban lévő gyorsító gyűrűnek 27 km a kerülete, és benne 7 TeV (= $7 \cdot 10^{12}$ eV) energiájú protonok keringenek majd.

Mekkora mágneses indukciót kell létrehozni az eltérítő mágnesekben a protonok körpályán tartásához, ha az 1232 db eltérítő mágnes mindegyike 14,3 m hosszú?

Döntő feladatai[2]

ELMÉLETI FELADATOK[3]

1. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

Mikor, hol és kivel együtt kezdett el foglalkozni Teller Ede a magfúzióval?

Milyen felismerésekre vezetett a közös kutatómunka?

2. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

Tekintsük ismertnek a Nap fúziós energiatermelését! A Nap sugárzási teljesítménye (napállandó) Nap–Föld-távolságban: P_N = 1388 W/m^2.

Határozzuk meg, hogy másodpercenként hány, a Napból származó neutrínó szeli át testünk minden négyzetcentiméterét!

[2] A döntőt 2008. április 19-én Pakson tartották.

[3] A feladatok megoldásához 180 perc áll rendelkezésre. Minden segédeszköz használható. Minden feladatot külön lapra írjunk, s minden lapon legyen rajta a megoldó kódja. A feladatok NEM nehézségi sorrendben vannak. Minden feladat megoldása 5 pontot ér.

3. feladat (kitűzte: Czifrus Szabolcs)

A közeli jövő egyik legnagyobb neutronfizikai kutatócentruma az ESS (Európai Spallációs Forrás) lesz, amely reményeink szerint Magyarországon fog megépülni. A berendezésben egy protonnyalábbal valamilyen nehézfémből készült céltárgyat bombáznak, amelyből a protonok neutronokat váltanak ki.

A protonok energiája 1 GeV, a protonnyaláb árama 150 mA. A nyaláb impulzusszerűen működik, másodpercenként 16-szor 2 ms időtartamra. Tegyük fel, hogy az ehhez szükséges elektromos energia atomerőműből származik.

a) Évente hány mol uránt kell elhasítani az erőműben az ESS nyalábjához szükséges elektromos energia biztosítására, ha az atomerőmű hatásfokát 33%-nak tekintjük?

b) Hogyan aránylik az ezekben a hasadásokban másodpercenként keletkező neutronok száma az ESS-ben keletkezett neutronok számához képest? (Az ESS-ben 1 proton becsapódása átlagosan 30 neutront vált ki.)

4. feladat (kitűzte: Papp Gergely)

A paksi reaktorok hűtésére és moderálására közönséges vizet használnak.

Mi történne, ha a reaktorokban a vizet nehézvízre cserélnénk?

(*A deutérium tömegét közelíthetjük a hidrogén tömegének kétszeresével.*)

5. feladat (kitűzte: Papp Gergely)

Magyarország éves energiaigénye közelítőleg $3 \cdot 10^{10}$ kWh (beszámítva mindenféle energiát, nemcsak villamosenergiát). Tegyük fel, hogy ennyi energiát tisztán szabályozott magfúzióból szeretnénk felszabadítani. A zárt rendszerben lejátszódó folyamatok:

$$^{6}\mathrm{Li} + {}^{1}n \rightarrow {}^{4}\mathrm{He} + {}^{3}\mathrm{T} + (4{,}8\ \mathrm{MeV}),$$

$$^{2}\mathrm{D} + {}^{3}\mathrm{T} \rightarrow {}^{4}\mathrm{He} + {}^{1}n + (17{,}62\ \mathrm{MeV}).$$

a) Hány kg ^{6}Li és hány liter nehézvíz szükséges ehhez!

b) Hány kg héliumgáz keletkezik az energiatermelés során?

(A nehézvíz sűrűsége 1100 kg/m^3.)

6. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

Az alábbi táblázat a természetes uránban előforduló uránizotópok néhány adatát tartalmazza:

Izotóp	Százalék	Felezési idő
^{238}U	99,275	4,51 milliárd év
^{235}U	0,72	0,71 milliárd év
^{234}U	0,0055	247 000 év

Adjunk magyarázatot ezeknek az izotópoknak az előfordulási gyakoriságára!

7. feladat (kitűzte: Kopcsa József)

A paksi atomerőmű egy blokkjának átlagos teljesítménye 480 MW, hatásfoka 34%

a) Mennyivel csökken a fűtőanyag tömege 1 nap alatt?

b) Naponta mekkora tömegű kohókoksz elégetésével lehetne ezt a teljesítményt biztosítani?

c) Mekkora tömegű CO_2-dal szennyeznénk a légkört naponta a b) kérdésben számított kohókoksz elégetésével?

(A kohókokszot tekintsük tiszta szénnek, égéshője 29,75 MJ/kg.)

8. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

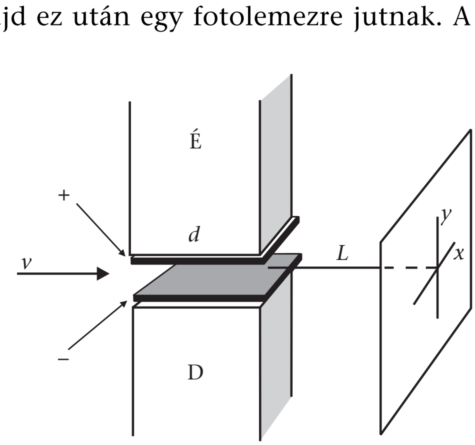
Ha a KI (káliumjodid) kristályból eltávolítunk egy jodid iont, akkor az üresen maradt helyet egy – ugyancsak negatív töltésű – elektron foglalhatja el („elektron-színcentrum”). Ezt az elektront úgy tekinthetjük, mintha egy $2d$ oldalélű kocka alakú dobozba lenne bezárva, ahol d = 0,7 nm a KI kristály rácsállandója.

Milyen hullámhosszúságú fényt képes elnyelni a kristály?

9. feladat (kitűzte: Mester András)

Joseph John Thomson 1912-ben kimutatta a neon két izotópját. Kezdeti módszeréből fejlődött ki a tömegspektroszkópia, az izotópokra és atommagokra vonatkozó ismeretek egyik fő forrása.

A módszer lényege: ionsugarak keskeny nyalábját állítják elő, a nyaláb a részecskék sebességére merőleges, egymással párhuzamos irányú elektromos és mágneses mezőn halad át, nagy vákuumban. A részecskéket az elektromos és mágneses mezők eltérítik, majd ez után egy fotolemezre jutnak. A lemez síkja merőleges a sebességre (lásd *ábra*). Az azonos pontból induló, de különböző sebességű részecskék becsapódásai egy jellegzetes görbét rajzolnak a fotolemezre.



a) Határozzuk meg a fotolemezen kialakuló $y = f(x)$ görbét, feltételezve, hogy a mágneses mező által létrehozott irányváltozás szöge nem túl nagy! Hogyan lehet ezzel a módszerrel felismerni az izotópokat? A részecskék d hosszan haladnak az elektromos és mágneses mezőben, majd L távolságot tesznek meg az ernyőig. $d \ll L$, és a gravitációs hatástól tekintsünk el!)

b) Milyen egyéb, atomfizikával kapcsolatos dolog fűződik J. J. Thomson nevéhez?

10. feladat (kitűzte: Szűcs József)

Bergengócia „infravörös csillagászai” titokzatos, nagyméretű, hidrogénből álló, sugárzó gömb alakú objektumot fedeztek fel távol a „Bergenverzumban”. A gömb átmérője 1 millió km. A felszín 300 K hőmérsékletű feketetest, amelynek sugárzása jelentősen kiemelkedik a 3 kelvines kozmikus háttérből. A csillagászok megfigyelései szerint a hidrogéngömb átmérője nem csökken, ezért a sugárzási energia nem származhat gravitációs összehúzódásból.

A titokzatos égi objektum felfedezésének hírét Bergengócia elméleti fizikusai nagy örömmel fogadták, mivel igazolva látják elméletüket: amely szerint Bergenverzumban az atomok tömege úgy marad állandó, hogy az elektronok tömege igen lassan növekszik, a protonok tömege pedig ugyanannyival csökken.

a) A hidrogénatom hullámmodellje segítségével értelmezzük a hidrogéngömb sugárzását az elméleti fizikusok hipotézise alapján!

b) Becsüljük meg, hogy évszázadonként hány százalékos az elektronok tömegnövekedése, ha a csillagászok becslése alapján tudjuk, hogy a gömbben a hidrogénatomok átlagos sűrűsége 1 mol köbméterenként!

II. kategória 9–10. feladata

9. feladat (kitűzte: Ujvári Sándor)

Rutherford a következő kísérlettel határozta meg, hogy milyen részecskékből áll az α-sugárzás: Egy légritkított üvegballonba rádiumot helyezett, majd az összegyűlt gázt kisülési csőbe sűrítette. A kisülés színképét elemezve megállapította, hogy a keletkezett gáz hélium.

Két nap alatt mennyi (hány mol) hélium gyűlt össze, ha a ballonban elhelyezett rádium tömege két gramm volt? (*A rádium leányelemeinek további bomlásától tekintsünk el.*)

10. feladat (kitűzte: Vastagh György)

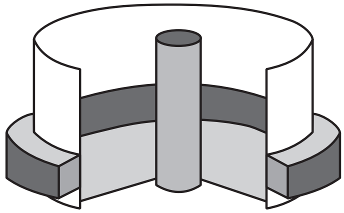
Egy E_1 kezdeti mozgási energiájú α-részecske centrálisan ütközött egy nyugvónak tekinthető atommaggal. A mozgási energiája az ütközés után E_2-re csökkent.

a) Határozzuk meg a két mag tömegeinek arányát!

b) Mi lehetett a második mag, ha E_2 az E_1-nek 25%-a?

KÍSÉRLETI FELADAT

Elektromágneses keringető szivattyú modellje



Szilárd Leónak és Albert Einsteinnek közös szabadalma egy mozgó alkatrészeket nem tartalmazó, elektromágneses elven működő szivattyú. A találmány lényege az, hogy elektromosan vezető folyadékon (például folyékony fémen) áramot hajtunk át, és olyan mágneses mezőbe helyezzük, amely merőleges az áram irányára. Az elektromos és a mágneses mező együttes hatása a folyadékot mozgásba hozza. Ezt a találmányt akár folyékony fém (például folyékony nátrium) hűtésű atomerőművekben is fel lehet használni a hűtőfolyadék mozgásban tartására.

A mérés elve:

A mérés során nem folyékony fémmel, hanem 0,3 mólos $CuSO_4$ oldattal végzünk méréseket. Az oldat vezeti az elektromos áramot, és ezzel „modellezi” a folyékony fémet.

– Az oldatot olyan hengeres edénybe öntjük (*ábra*), amelynek szélén és közepén egy-egy hengeres vezető van. Ezeknek sugarát jelöljük R_1, illetve R_2-vel ($R_1 < R_2$). $R_1 = 2$ mm, R_2 értékét mérjük le!

– A két vezetőre U egyenfeszültséget kapcsolunk egy tápegységből, amelynek hatására a folyadékban sugárirányú áram indul meg. Ennek erősségét jelöljük I_1-gyel. Az U feszültség nagyságaa tápegységen beállítható. A feszültség és az áram aktuális értéke a tápegység beépített műszerén mérhető.

– A hengeres edényt olyan elektromágnes belsejébe helyezzük, ahol a mágnesesindukció-vektor iránya a henger tengelyével párhuzamos. Az elektromágnessel B indukciójú mágneses mezőt állítunk elő.

Az elektromágnes adatai: menetszám: $N = 200$, belső átmérő $d = 11$ cm, a mágneses indukció kiszámításához szükséges egyéb adatokat mérjük le (a folyadék relatív permeabilitását vegyük 1-nek). A tekercset egy másik tápegységből tápláljuk, a tekercsen átfolyó áram erőssége (I_2) beállítható, és a tápegység beépített műszerén leolvasható. A sugárirányú áramra a rá merőleges B indukciójú mágneses mező erőt gyakorol, amelynek hatására a folyadék forgásba jön. A folyadék azonban nem merev testként forog! Elméleti számítások szerint a középponttól r távolságra lévő folyadékrétegek szögsebességére fennáll a következő összefüggés:

$$\omega(r) = \frac{K}{r^2}, \tag{1}$$

ahol K állandó (mértékegysége: m^2/s).

Feladatok:

1) Állítsuk össze a mérési elrendezést!

2) Igazoljuk a fenti (1) összefüggést, és határozzuk meg a K állandó értékét legalább 3 különböző mágneses indukció mellett!

Tanácsok:

a) Az összefüggés igazolásához mérjük meg a folyadék forgási sebességét (például a körülfordulási időt) több különböző sugár mellett!

b) Válasszunk olyan ábrázolási módot, hogy lineáris összefüggés legyen az ábrázolandó mennyiségek között!

c) Illesszünk egyenest a mérési pontokra (grafikusan, vagy számítással), és ennek alapján határozzuk meg a K állandó értékét!

3) A mérések alapján rajzoljuk fel, hogy hogyan függ a K állandó értéke a mágneses mező B indukciójától!

A méréshez rendelkezésre áll:

- Műanyag edény, amelynek alján henger alakú, sárgaréz elektróda van;
- sárgaréz rúd, amelyet a henger közepébe be lehet lógatni Bunsen állványon;
- 0,3 mólos $CuSO_4$ (rézszulfát) oldat;
- egyenáramú tápegység 3 kimenettel és 2 beépített mérőműszerrel (U és I);
- vonalzó,
- koncentrikusan rajzolt körök (a pályasugár méréséhez).
- Az idő mérésére használhatjuk a mobiltelefon stopperóráját. (A mobiltelefont másra tilos használni!)

Fontos!

Beadandó a „Mérési jegyzőkönyv”, amely tartalmazza

– a mérést végző azonosítóját,

– a mérések minden fontos paraméterét,

– a mért nyers adatokat,
– az eljárást (lépésenként), amellyel a végeredményhez eljutottunk,
– a végeredményeket,
– a végeredmények hibáját és a hiba kiszámítási vagy becslési módját,
– az eredmények diszkutálását,
– valamint minden olyan információt, amely a mérés reprodukálásához szükséges.

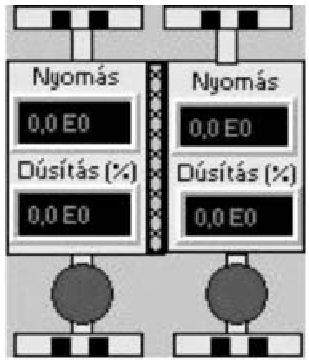
A mérési jegyzőkönyvnek olyannak kell lennie, hogy annak alapján bárki a mérést megismételhesse, és (a mérési hibákon belül) hasonló eredményt kaphasson.

SZÁMÍTÓGÉPES FELADAT

Diffúziós urándúsító szimulációja

A feladat során egy UF_6 gázt tartalmazó tartályból diffúziós cellák segítségével lehetőleg minél nagyobb mennyiségű és minél nagyobb dúsítású gázt kell előállítani megadott idő alatt.

A diffúziós cellákban a gáz nyomását és az áramló gáz sebességét be lehet állítani, valamint a diffúziós cellák egymáshoz kapcsolását is a versenyző tetszése szerint lehet változtatni.



Diffúziós cella

Feladatok:

1) Ismerkedjünk meg a szimulációs programmal. A program használatát külön útmutató magyarázza el.

2) Hozzunk létre egyetlen dúsító cellát! Vizsgáljuk meg az egyes paraméterek hatását a dúsításra! Az észrevételeket rögzítsük jegyzőkönyv formájában!

3) Vizsgáljunk egy kétcellás elrendezést! Vizsgáljuk meg, milyen hatásai lehetnek annak, ha visszavezetjük a gázt egy korábbi fokozatra! Az észrevételeket rögzítsük a jegyzőkönyvben!

4) Tapasztalatok alapján építsünk és üzemeltessünk egy diffúziós elven alapuló urándúsító telepet! Maximálisan 6 db dúsító cellát használhatunk. A jegyzőkönyvben írjuk le, hogy milyen szempontok alapján terveztük úgy az elrendezést, ahogyan az megépült.

5) Vizsgáljuk a megépített urándúsító működését, és próbáljuk úgy beállítani a paramétereket, hogy 5 perc (300 s) alatt a lehető legtöbb, és legnagyobb dúsítású uránt tudjunk összegyűjteni.

6) A rendelkezésedre álló idő utolsó 5 percében üzemeltessük a dúsítót 300 s-ra időzített üzemmódban. (A zsűri csak ennek eredményét fogja látni.)

7) A futás befejezésekor mentsük el az eredményt. A fájl neve legyen az azonosító. A fájlnévnek nem kell kiterjesztés adni, a program automatikusan ad *.DIF kiterjesztést.

A zsűri a feladatot a következő szempontok alapján pontozza:

1) Pontszám =

$$N\left(\frac{d}{0{,}709}-1\right)^{8},$$

ahol N a 300 s idő alatt összegyűjtött ^{235}U mólok száma a „Dúsított urán" tartályban, d pedig a dúsítás százalékban kifejezett értéke.

2) Ez a pontszám a zsűri által adott végeredménynek csak a 2/3 részét határozza meg. A további 1/3 rész a számítógépes „kísérletről" készült jegyzőkönyv értékeléséből adódik.

Figyelem! A számítógépes feladat elvégzéséről külön „mérési jegyzőkönyvet" kell beadni. A jegyzőkönyv tartalmazzon minden olyan adatot, amelyek a „kísérlet" megismétléséhez és az eredmények ellenőrzéséhez szükségesek! Fontos, hogy a levont következtetések, megfigyelések is legyenek rögzítve a jegyzőkönyvben. A zsűri azt is figyeli, hogy az elért eredmény mennyire logikus gondolkozás és tervezés eredménye. A jobb munkaszervezés érdekében célszerű a jegyzőkönyvet akkor véglegesíteni, amíg a 300 s-os, utolsó „futás" történik.

(A kiértékeléshez és a jegyzőkönyv elkészítéséhez minden segédeszköz használható – beleértve a számítógépen rendelkezésre álló eszközöket, programokat is. Ezek használata esetén azonban a programok eredményét is el kell menteni, és a jegyzőkönyvben fel kell tüntetni a nevét, hogy kiértékeléskor a zsűri belenézhessen.)

Az 1. forduló feladatainak megoldása

1. feladat megoldása

a) Kiderült, hogy a plutóniumot is termelő hanfordi reaktoroknak veszélyes sajátossága a pozitív üregtényező.

– A pozitív üregtényező grafittal moderált és vízzel hűtött reaktoroknál fordulhat elő. Azt jelenti, hogy a hűtővízben keletkezett üregek (például buborékok forráskor) felgyorsíthatják a láncreakciót. A víznek kettős szerepe lehet: neutronlassító (ezzel segíti a láncreakciót), és neutronelnyelő (ezzel fékezi a láncreakciót). A reaktor aktív zónájának elrendezésétől függ, hogy a víz melyik szerepe dominál. Grafitmoderátoros reaktoroknál a neutronlassítást a grafit már elvégzi, itt a víznek általában már csak a neutronelnyelő szerepe dominál. Emiatt a víz vesztése (például forrás vagy csőtörés) a neutronelnyelést csökkenti, így a láncreakció felgyorsul. A csernobili reaktorbalesetben (1986) nagy szerepe volt a reaktor pozitív üregtényezőjének. A grafitmoderátoros reaktoroknak egy további veszélyes tulajdonságára Wigner Jenő hívta fel a figyelmet. A grafit egyes szénatomjait gyorsneutronok kilökhetik a kristályrácsból, és a kristályhibákban tárolt energia – megfelelő kezelés hiányában – hirtelen, láncreakciószerűen felszabadulhat. Róla nevezték el a jelenséget wigneritisznek. Ez okozta az angliai Windscale reaktor balesetét 1957-ben.

b) Teller Ede az 1947–49-ig az USA Reaktorbiztonsági Bizottságának vezetője volt. A bizottság kezdeményezésére 1953 után leállították a grafitmoderátoros, vízhűtésű reaktorokat, és többet nem is építettek ilyeneket nyugaton.

2. feladat megoldása

A kémiai kezeléssel az urán bomlástermékeit, az urán bomlási sorának többi elemét távolították el. A maradék tiszta urán már alig mutat radioaktivitást. Pár hónap múlva ismét felszaporodnak a bomlástermékek, ezért nő meg az urán aktivitása. Az eltávolított bomlástermékek felezési ideje jóval kisebb, mint az uráné, ezért azok aktivitása gyorsan csökken.

3. feladat megoldása

Az α-bomlás a nehéz elemek atommagjainak tulajdonsága, és ezeknél az atommagoknál az energiavölgy már jócskán elhajlik a $Z = N$ egyenestől a neutrontöbblet felé. Ezekben a magokban $N > Z$. A bomlás során a protonok és a neutronok száma ugyanannyival (2-vel) csökken, ezért a neutron-proton arány növekszik, hiszen százalékosan a protonok nagyobb százaléka lépett ki, mint a neutronoké. Matematikailag

$$\frac{N-2}{Z-2} > \frac{N}{Z}.$$

Egyszerű algebrai átalakítások után könnyen belátható, hogy ez minden $N > Z$-re teljesül.

A neutrontöbblet relatív növekedése miatt a negatív béta-bomlás közelebb visz az egyensúlyi állapothoz, hiszen a neutronok száma csökken, a protonok száma pedig nő. Pozitív béta-bomláskor és elektronbefogáskor a neutronok száma nőne és a protonok száma csökkenne, ezért ez az egyensúlyi helyzettől még távolabb vinne, emiatt ezek a bomlásfajták nem kísérik az α-bomlásokat.

4. feladat megoldása

A felvett teljesítmény: $P = UI = 100\ \text{kV} \cdot 50\ \text{mA} = 5000\ \text{W}$.

A leadott hasznos teljesítmény: az 1 s alatt kibocsátott fotonok által elszállított energia. Egy foton energiája:

$$\varepsilon = hf = h\frac{c}{\lambda} = 1{,}326 \cdot 10^{-15}\ \text{J}.$$

Tehát a fotonok formájában leadott teljesítmény: $P = N\varepsilon = 10^{15}$ 1/s · 1,326 · 10 J = 1,326 W.

A hatásfok:

$$\frac{P_{le}}{P_{fel}} = \frac{1{,}326\ \mathrm{W}}{5000\ \mathrm{W}} = 2{,}65 \cdot 10^{-4}.$$

Tehát a röntgencső hatásfoka csupán 0,026%, felhasznált energia túlnyomó része az anód anyagát melegíti.

5. feladat megoldása

Az aktivitás nagysága a bomlatlan ^{14}C atommagok számától függ. Tegyük fel, hogy a lepelben keletkezésekor ugyanannyi, $N(0)$ darab ^{14}C volt, korától függetlenül (akár 2000 éves, akár 650 éves).

A maradék atommagok számát az

$$N(t) = N(0) \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

képlet adja meg, ahol T = 5568 év, a radiokarbon felezési ideje. Ebből:

$$N(2000) = N(0) \cdot 2^{-\frac{2000}{5568}} = 0{,}7796 \cdot N(0), \text{ illetve}$$

$$N(650) = N(0) \cdot 2^{-\frac{650}{5568}} = 0{,}9223 \cdot N(0).$$

Mivel az aktivitás:

$$A = N\frac{\ln 2}{T},$$

ezért a keresett aktivitások aránya a atommagok számának arányával egyezik meg. A két aktivitás aránya tehát

$$\frac{A(2000)}{A(650)} = \frac{N(2000)}{N(650)} = \frac{0{,}7796\,N(0)}{0{,}9223\,N(0)} = 0{,}845.$$

Tehát, ha 2000 éves lenne a lepel, akkor a jelenleg mért aktivitás 0,845-szörösét kellene kapni.

6. feladat megoldása

A ciklotron működésének feltétele, hogy az alkalmazott feszültség frekvenciája (f) szigorúan egyezzen meg a protonok körmozgásának frekvenciájával, azaz a szögsebességük:

$$\omega = 2\pi f. \tag{1}$$

A dinamikai feltétel, hogy a Lorentz-erő biztosítsa a centripetális gyorsulást:

$$e\,v\,B = m\,R\,\omega^2, \tag{2}$$

ahol m a protonok tömege, e a töltése.
Mivel $v = R\omega$, ezért (2)-ből v-re kapjuk:

$$v = \frac{e\,B\,R}{m}. \tag{3}$$

Maximális mozgási energiánál a sebesség is maximális, ez (3)-ból $R = d/2$-nél valósul meg, vagyis amikor a protonok pályasugara a ciklotron átmérőjének éppen fele. Így kapjuk:

$$E_{kin(\max)} = \frac{m\,v^2}{2} = \frac{1}{2}m\left(\frac{e\,B\,d}{2m}\right)^2.$$

Mivel (2)-ből:

$$B = \frac{2\pi\,f\,m}{e},$$

ezért

$$E_{kin(\max)} = \frac{1}{2}m\,\pi^2\,d^2\,f^2.$$

7. feladat megoldása

a) A „kezdő"-mag a molibdén (Z = 42) 98-as tömegszámú stabil izotópja lehet, mert reaktorban neutronnal besugározva nem stabil 99-es izotópot kapnak az alábbi magreakció szerint:

$${}^{98}_{42}\mathrm{Mo} + n \rightarrow {}^{99}_{42}\mathrm{Mo} + \gamma.$$

b) A „szülő"-mag természetesen a ${}^{99}_{42}\mathrm{Mo}$ radioaktív mag a következő magreakció szerint:

$${}^{99}_{42}\mathrm{Mo} \rightarrow {}^{99\mathrm{m}}_{43}\mathrm{Tc} + \beta^- + \bar{\nu}.$$

A Tc metastabil gerjesztett állapotban keletkezik, ezt jelzi az „m" jelölés. A mag γ-foton kibocsátásával – körülbelül 6 óra felezési idővel – kerül alapállapotba:

$${}^{99\mathrm{m}}_{43}\mathrm{Tc} \rightarrow {}^{99}_{43}\mathrm{Tc} + \gamma.$$

A vizsgálatban ezt a γ-sugárzást detektálják. A Mo-Tc rendszerben körülbelül egy nap alatt beáll a radioaktív egyensúly. A keverékből a technéciumot kémiai módszerekkel a kórházban elválasztják, és így használják nyomjelzésre.

c) A vizsgálat szempontjából az a jó, ha a beadott radioaktív izotóp felezési ideje rövid, mert ekkor kis mennyiség is viszonylag nagy aktivitású, viszont hamar lebomlik, és nem terheli sokáig a beteg szervezetét. A szülőizotóp esetében viszont a felezési idő nem lehet túl rövid, mivel ezt kell elszállítani a reaktortól a kórházba, és közben nem szabad nagyon lebomlania. Túl hosszú felezési idő sem jó, mert akkor a szükséges aktivitás eléréséhez nagy anyagmennyiségre lenne szükség. A ^{99}Mo felezési ideje 66 óra, ami ésszerű kompromisszum.

8. feladat megoldása

A hidrogénatomban lévő elektron alapállapoti energiája

$$E_1 = -\frac{e^4 m}{2\left(4\pi\varepsilon_0\right)^2 \hbar^2} = -2{,}19\ \text{aJ}.$$

Az $n = 5$ gerjesztett állapotban az energia

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} \quad \text{tehát} \quad E_5 = \frac{-2{,}19}{25}\ \text{aJ}.$$

Az energiaszintek közötti energiakülönbség egyenlő az atomból kilépő foton energiájával

$$h f = E_n - E_1 = E_5 - E_1 = \frac{-2{,}19\ \text{aJ}}{25} + 2{,}19\ \text{aJ} = \frac{24 \cdot 2{,}19\ \text{aJ}}{25} = 2{,}1\ \text{aJ}.$$

A nátriumból kilépő elektronra a fotoeffektus egyenlete

$$h f = W_{ki} + \frac{m v^2}{2}.$$

Ebből a kilépő elektronok maximális mozgási energiája

$$\frac{m v^2}{2} = h f - W_{ki} = 2{,}1 \cdot 10^{-18}\ \text{J} - 4{,}4 \cdot 10^{-19}\ \text{J} = 1{,}66 \cdot 10^{-18}\ \text{J} = 1{,}66\ \text{aJ}.$$

Ahol $W_{ki} = 2{,}75\ \text{eV} = 4{,}4 \cdot 10^{-19}\ \text{J} = 0{,}44\ \text{aJ}$ a nátrium kilépési munkája.

9. feladat megoldása

a) A beteg testéből egy perc alatt kilépő γ-fotonok összes energiája:

$$E_ö = \frac{1}{2} A\, t\, E_\gamma = \frac{20 \cdot 10^6\ \frac{1}{\text{s}}}{2} \cdot 60\ \text{s} \cdot 356\ \text{keV} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-16}\ \frac{\text{J}}{\text{keV}} = 3{,}4 \cdot 10^{-5}\ \text{J}.$$

A feladat szerint az emberünk sugárforrás felé mutatott felszíne $F = 1\ \text{m}^2$, és a sugárforrástól $R = 1$ m távolságra áll. Ezért az összes kibocsátott foton

$$\frac{F}{4\pi R^2} = \frac{1}{4\pi}$$

-ed része esik rá. (*Itt kihasználtuk azt, hogy a jód az ember pajzsmirigyében nyelődik el, ezért pontszerű sugárforrásnak tekinthető.*) Mivel az emberre jutó fotonoknak csak a fele nyelődik el a testében, ezért az elnyelt energia

$$E_e = \frac{1}{4\pi} \cdot 3{,}4 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{2} = 1{,}35 \cdot 10^{-6}\ \text{J}.$$

Így az egésztestre vett elnyelt dózis:

$$D = \frac{1{,}35 \cdot 10^{-6}\ \text{J}}{50\ \text{kg}} = 2{,}7 \cdot 10^{-8}\ \text{Gy} = 27\ \text{nGy}.$$

Megjegyzés: Ez óránként körülbelül 1600 nGy elnyelt dózist jelent. Ez körülbelül 16 szorosa a háttérsugárzásból eredő magyarországi átlagnak (100 nGy/h).

b) Mivel a vízmolekula kötési energiája 498 kJ/mol, ezért egy vízmolekula elbontásához

$$E_D = \frac{498 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^{23}} = 8{,}3 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$$

energia szükséges. Így az egész testben elnyelt energia

$$n = \frac{1{,}35 \cdot 10^{-6}\ \text{J}}{8{,}3 \cdot 10^{-19}\ \text{J}} \approx 1{,}63 \cdot 10^{12}$$

vízmolekulát tud elbontani.

10. feladat megoldása

A 27 km kerületű LHC-nek vannak egyenes szakaszai is, ezért nagyobb a kerülete, mint a mágnesek teljes hosszúsága! A „körpályán" tartás azonban csak az eltérítő mágnesekben történik. A mágnesek teljes hossza $s = 1232 \cdot 14{,}3$ m = 17 617,6 m. Ez azt jelenti, hogy ha a mágneseket egymás mellé helyeznénk, akkor egy ekkora kerületű kört kapnánk. E kör sugara:

$$R = \frac{s}{2\pi} = \frac{1232 \cdot 14{,}3\ \text{m}}{2\pi} = 2804\ \text{m}.$$

A körpályán tartáshoz szükséges centripetális erőt a mágneses Lorentz-erő biztosítja:

$$\frac{m v^2}{R} = q v B.$$

Ebből kapjuk:

$$B = \frac{m v}{q R} = \frac{p}{q R}, \tag{1}$$

ahol p a részecske lendületét jelenti.

A protonok nyugalmi tömege ~0,938 GeV, azaz ~0,001 TeV, így a 7 TeV-es protonok erősen relativisztikus részecskék, így lendületükre nagyon jó közelítéssel: $p \approx E/c$. Ezt behelyettesítve (1)-be, majd az adatokat beírva kapjuk:

$$B = \frac{E}{q R c} = \frac{7 \cdot 10^{12}\ \mathrm{eV} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{eV}}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C} \cdot 2804\ \mathrm{m} \cdot 3 \cdot 10^{8}\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}} = \frac{7\ \mathrm{J}}{0{,}8412\ \mathrm{C}\ \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}}} =$$

$$= 8{,}32\ \frac{\mathrm{Vs}}{\mathrm{m}^2} = 8{,}32\ \mathrm{T}.$$

Tehát a protonok körpályán tartásához szükséges mágneses indukció nagysága 8,32 T.

A döntő feladatainak megoldása

ELMÉLETI FELADATOK MEGOLDÁSA

I. kategória

1. feladat megoldása

1938, Teller Ede George Gamow-val dolgozta ki a magfúzió elméletét, ezzel magyarázták meg a csillagok energiatermelését. Ekkoriban Gamow és Teller a George Washington egyetemen tanított. A Manhattan-projekt során Fermi tette fel neki a kérdést, hogy egy atombombával be lehetne-e indítani a magfúziót (1942). Ez az ötlet vezetett el a hidrogénbombához (első amerikai kísérleti robbantás: 1952. november 1-jén volt).

2. feladat megoldása

A Nap energiatermelésében vegyük most csupán a p-p ciklust! A „sárga függvénytáblázat" 233. oldala alapján egy p-p ciklusban gyakorlatilag 4 protonból keletkezik egy darab ^{4}He mag, „melléktermékként" pedig két neutrínó és $2 \cdot (1{,}44\ \mathrm{MeV} + 5{,}49\ \mathrm{MeV}) + 12{,}85\ \mathrm{MeV} = 26{,}71\ \mathrm{MeV} = 4{,}2794\ \mathrm{pJ}$ energia szabadul fel. Feltesszük, hogy a neutrínók és az energia kibocsátása is a térben egyenletesen oszlik el, és terjedésük a világűr vákuumában azonos ($1/R^2$ szerint gyengül). Ekkor azt lehet mondani, hogy minden 2,1397 pJ-os „energiacsomag” mellé egy neutrínó is társul. Ez azt jelenti, hogy egy négyzetméterre (tegyük fel, hogy merőlegesek vagyunk a napsugarakra) másodpercenként

$$N = \frac{1388 \text{ J}}{2{,}1397 \cdot 10^{-12} \text{ J}} = 6{,}486 \cdot 10^{14}$$

darab neutrínó jut. Egy négyzetcentiméterre pedig $6{,}486 \cdot 10^{10}$.

Vagyis a testünk felületének minden négyzetcentiméterére másodpercenként, 64,86 milliárd neutrínó esik, amelynek túlnyomó többsége kölcsönhatás nélkül áthalad rajtunk.

3. feladat megoldása

a) Az ESS-ben egy protonnyaláb-impulzus teljesítménye

$$P_{imp} = 1 \text{ GV} \cdot 150 \text{ mA} = 0{,}15 \text{ GW}.$$

1 s alatt összesen $16 \cdot 2$ ms = 32 ms-ig szállít energiát a nyaláb, így a nyaláb átlagos teljesítménye

$$P_{átl} = 0{,}032 \cdot 0{,}15 \text{ GW} = 4{,}8 \text{ MW}.$$

Határozzuk meg a céltárgyba másodpercenként becsapódó protonok számát! Az átlagos áramerősség $I = 0{,}032 \cdot 150$ mA = 4,8 mA, így a céltárgyba másodpercenként átlagosan becsapódó protonok száma

$$N = \frac{4{,}8 \cdot 10^{-3} \text{ A}}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 3 \cdot 10^{16} \text{ 1/s}.$$

Mivel 1 proton becsapódása 30 neutront vált ki a céltárgy anyagából, ezért a neutronok átlagos forráserőssége a céltárgy mögött

$$I_f = 9 \cdot 10^{17} \text{ 1/s}.$$

Számoljuk ki, hogy az atomerőműben másodpercenként hány uránatommag hasadása kell ehhez a teljesítményhez! Egy hasadásban 198 MeV = $3{,}1723 \cdot 10^{-11}$ J energia szabadul fel. Nekünk másodpercenként $3 \cdot 4{,}8$ MJ = 14,4 MJ hasadásból származó energiára van szükségünk (figyelemmel az atomerőmű hatásfokára). Ehhez másodpercenként $4{,}539 \cdot 10^{17}$ maghasadás szükséges. Így az éves maghasadások száma:

$$N_{év} = 4{,}5 \cdot 10^{17} \frac{1}{\text{s}} \cdot 8{,}64 \cdot 10^{4} \text{ s} \cdot 365 = 1{,}42 \cdot 10^{25}.$$

Ez megfelel 23,6 mol uránnak.

b)A reaktorban hasadásonként átlagosan 2,4 neutron szabadul fel. Így a másodpercenként keletkező neutronok száma $N_n = 2{,}4 \cdot 4{,}5 \cdot 10^{17} \approx 10^{18}$. Látható, hogy ez a szám alig nagyobb, mint az ESS-ben egy másodperc alatt keletkező neutronok száma. Mivel a láncreakció fenntartásához hasadásonként egy neutronra szükség van, és a neutronok nagyobb része el is nyelődik, ezért nyilvánvaló, hogy a spallációs forrás ilyen felépítésben hatékonyabban „konvertálja" a nukleáris energiát neutronokká, tehát hatékonyabb neutronforrás, mint egy reaktor. (És akkor nem beszéltünk arról, hogy az ESS-ben átlagos fluxust néztünk.)

4. feladat megoldása

A feladat szövege utal rá, hogy a deutérium tömege szerepet játszik a kérdés megoldásában. Mint tudjuk a nehézvízben lévő deutérium jobb moderátor, mint a közönséges vízben található hidrogén, mivel kevésbé nyeli el a neutronokat. A deutérium mag (deuteron) kétszeres tömege miatt azonban egy ütközésben átlagosan kevesebb energiát veszít a neutron, mint a protonokkal való ütközéskor. Ezért a megfelelő lassulásig (termikus szint) megtett út hosszabb lesz. A paksi reaktorokban a fűtőelempálcák távolsága közönséges vízre van optimalizálva. Ezért, ha nehézvízzel töltenénk fel a reaktor aktív zónáját, akkor a neutronok még nem érnék el a hasításhoz szükséges termikus energiaszintet, amikor a következő fűtőelempálcához érnek, ezért ott az ^{235}U magok hasítása helyett az ^{238}U magokba fogódnának be hasítás nélkül. Így a reaktorokat valószínűleg kritikussá sem lehetne tenni.

Megjegyzés: A CANDU típusú reaktoroknál, ahol nehézvizet moderátorként és hűtőközegként használnak, más fűtőelem-elrendezéssel működik a reaktor, annak ellenére, hogy ott üzemanyagként dúsítás nélküli természetes uránt alkalmaznak.

5. feladat megoldása

Az egy reakcióban összesen felszabaduló energia

$$E_f = 2{,}242 \cdot 10^7 \text{ eV} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \frac{\text{J}}{\text{eV}} = 3{,}59 \cdot 10^{-12} \text{ J} \approx 3{,}6 \text{ pJ}.$$

Mivel az energia megtermeléséről (és nem villamosenergia termeléséről) szól a feladat, ezért a hatásfokot 1-nek vehetjük. Így az évenként szükséges energiamennyiség:

$$E_ö = 3 \cdot 10^{10} \text{ kWh} = 1{,}08 \cdot 10^{17} \text{ J}.$$

Így a szükséges fúziós reakciók száma évenként:

$$N = \frac{1{,}08 \cdot 10^{17} \text{ J}}{3{,}6 \cdot 10^{-12} \text{ J}} = 3 \cdot 10^{28},$$

vagyis a reakciók mólnyi mennyisége:

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{3 \cdot 10^{28}}{6 \cdot 10^{23}\ \dfrac{1}{\text{mol}}} = 5 \cdot 10^4 \text{ mol} = 50 \text{ kmol}.$$

Egy fúziós reakcióhoz egy darab lítium atom és egy darab deutérium atom szükséges, és két hélium atom keletkezik. A reakció egyenletek szerint szükség van n mólnyi ^{6}Li-ra, $n/2$ mólnyi D_2O-ra, és $2n$ mólnyi ^{4}He atom keletkezik. A moláris tömegek: M_{Li} = 6 kg/kmol, M_{He} = 4 kg/kmol, M_{D2O} = 20 kg/kmol.

a) Így a fúziós reaktor éves üzemanyag szükséglete:

$$m_{\text{Li}} = 50 \text{ kmol} \cdot 6\ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 300 \text{ kg},$$

$$m_{\text{D2O}} = 25 \text{ kmol} \cdot 20\ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 500 \text{ kg}.$$

A nehézvíz térfogata:

$$V = \frac{500 \text{ kg}}{1100\ \dfrac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0{,}454 \text{ m}^3 = 454 \text{ liter}.$$

b) A keletkező hélium tömege:

$$m_{\text{He}} = 100 \text{ kmol} \cdot 4\ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 400 \text{ kg}.$$

Megjegyzés: Mivel a természetes lítiumban a ^{6}Li 7,6%-ban, a természetes vízben a ^{2}D körülbelül 0,02%-ban fordul elő, ezért a fenti mennyiségek előállítására jóval több természetben előforduló „nyersanyagot” kellene felhasználni.

6. feladat megoldása

A két gyakoribb izotóp arányára magyarázatot ad felezési idejük és a Föld kora. (Ezek különböző bomlási sorok tagjai, egymást nem befolyásolják.) Az ^{234}U izotóp azonban nem magyarázható így, ez ugyanis a 238-as urán bomlási sorának tagja. Felezési ideje jóval kisebb annál, így az ^{238}U-nal *szekuláris egyensúlyban* van, azaz a két izotóp aktivitása megegyezik. (A Föld keletkezése óta elegendő idő eltelt ahhoz, hogy a szekuláris egyensúly beálljon.) Ekkor

$$\frac{\ln 2}{T_1} N_1 = \frac{\ln 2}{T_2} N_2,$$

vagyis a felezési idők aránya megegyezik a koncentrációk arányával:

$$\frac{99{,}275}{0{,}0055} \approx \frac{4{,}51 \cdot 10^9 \text{ év}}{2{,}47 \cdot 10^5 \text{ év}}.$$

Megjegyzés: Ha a Földkéreg megszilárdulásának korát 4,5 milliárd évnek vesszük, akkor az ^{238}U izotóp körülbelül egyszer feleződött napjainkig, ugyanakkor az ^{235}U már 4500/710 ≈ 6,3-szer feleződött. Így, ha kezdetben azonos nagyságrendű volt a két uránizotóp magok száma, mára ez az arány körülbelül $(1/2)^{5,3} \approx 0{,}0254$-ed részére csökkent. Ez nagyságrendileg megegyezik a 0,7%/99,3% ≈ 0,007 izotóp százalékaránnyal. A különbség onnan adódhat, hogy kezdetben sem volt teljesen azonos a két uránizotóp magjainak száma (a párenergia miatt az ^{238}U magok stabilabbak, ezért már kezdetben is több volt belőlük).

7. feladat megoldása

a) A maghasadásból származó hőteljesítmény

$$P_{hő} = \frac{480 \text{ MW}}{0{,}34} = 1411{,}76 \text{ MW}.$$

Így egy nap alatt

$$E = 8{,}64 \cdot 10^4 \text{s} \cdot 1{,}41 \cdot 10^9 \text{ W} = 1{,}22 \cdot 10^{14} \text{ J}$$

energia szabadul fel. $E = mc^2$ tömeg-energia egyenértékűség egyenletből a tömegcsökkenés:

$$\Delta m = \frac{E}{c^2} = \frac{1{,}22 \cdot 10^{14} \text{ J}}{9 \cdot 10^{16} \ \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = 1{,}35 \cdot 10^{-3} \text{ kg}.$$

Tehát a fűtőanyag tömege naponta 1,35 grammal csökken.

b) A napi szükséges koksz tömege:

$$m = \frac{E}{é} = \frac{1{,}22 \cdot 10^{14} \text{ J}}{29{,}75 \ \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} = 4{,}1 \cdot 10^6 \text{ kg} = 4100 \text{ t}.$$

c) A naponta felszabaduló széndioxid mennyiségét a moláris tömegek arányából kapjuk:

$$m_{CO_2} = \frac{44}{12} m_C = 15\,033 \text{ t}.$$

8. feladat megoldása

Az erőmentes, D = 1,4 nm élhosszú kockába zárt elektron kvantált energiaformulája:

$$E_{n_x, n_y, n_z} = \frac{h^2}{8mD^2}\left(n_x^2 + n_y^2 + n_z^2\right),$$

ahol h a Planck-állandó, m az elektron tömege, D a kocka élhossza, $n_x = 1, 2, \ldots$, $n_y = 1, 2, \ldots$, $n_z = 1, 2, \ldots$ pedig a kvantumállapot lehetséges kvantumszámai. Tekintsük a két legalsó energiaszint közötti átmenetet: $E_{111} \to E_{211}$. A gerjesztéshez szükséges fotonenergia:

$$hf = E_{211} - E_{111} = \frac{3h^2}{8mD^2}.$$

Ebből a gerjesztő foton hullámhossza:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{8mD^2}{3h} = 3 \cdot 10^8\ \frac{\text{m}}{\text{s}}\ \frac{8 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}\ \text{kg} \cdot \left(1{,}4 \cdot 10^{-9}\ \text{m}\right)^2}{3 \cdot 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \text{J}} = 2152\ \text{nm}.$$

Ez a foton a távoli infravörös tartományba esik. Természetesen, ha az elektront magasabb energiaszintre gerjesztjük, akkor látható tartományból is képes a kristály meghatározott hullámhosszú fotonokat elnyelni.

A látható fény tartományába esne például az $E_{111} \to E_{411}$ gerjesztéskor elnyelt foton hullámhossza (433 nm).

Megjegyzés: Könnyen kaphatunk további gerjesztéseknek megfelelő fotonhullámhosszakat. Így például az $E_{221} \to E_{111}$ gerjesztésnél az energiakülönbség 2-szeresére nő, a foton hullámhossza pedig felére (1076 nm-re) csökken. Az $E_{222} \to E_{111}$ átmenetnél pedig az energiaszint-különbség 3-szor akkora lesz, a gerjesztő foton hullámhossza pedig 1/3-ára, azaz 717 nm-re csökken. Ez már a látható vörös tartomány. Érdemes megvizsgálni, hogy a KI kristálynak a látható tartományban (400 nm – 800 nm) összesen hány abszorpciós vonala lenne.

9. feladat megoldása

a) Az ionokat az elektromos tér függőleges, a mágneses tér vízszintes irányban téríti el. Ernyőre merőleges gyorsulásuk nincsen. Egy v sebességű részecske $t = d/v$ idő alatt halad át az elektromos, illetve a mágneses mező tartományán. Ennyi ideig hat rá erő. Az erő x irányú komponense a mágneses Lorentz-erő: $F = evB$. Bár ez az erő mindig merőleges a sebességre, de a feladat szövege szerint a sebesség iránya csak kicsit változik az áthaladás során, ezért ezen erő nagyságát és irányát is állandónak vehetjük. Az x irányú gyorsulás:

$$a_x = \frac{evB}{m}.$$

Így t idő alatt szerzett x irányú sebességkomponense:

$$v_x = a_x t = \frac{e v B}{m} \frac{d}{v} = \frac{e B d}{m}. \tag{1}$$

Az y irányban az elektromos mező gyorsít, így a gyorsulás y-komponense:

$$a_y = \frac{e E}{m}.$$

A mezőn való áthaladáskor szerzett y irányú sebességkomponens:

$$v_y = a_y t = \frac{e E}{m} \frac{d}{v} = \frac{e E d}{m v}. \tag{2}$$

A töltött részecskék az eltérítő mezőkből való kilépésük után egyenes vonalú egyenletes mozgást végeznek az ernyőbe való becsapódásig. Ezért a becsapódás helyének x-, y-koordinátái és az ernyő L távolságának aránya megegyezik a megfelelő sebességkomponens és a v sebesség arányával, így az (1) és (2) felhasználásával adódik:

$$\frac{y}{L} = \frac{v_y}{v} = \frac{e E d}{m v^2}, \tag{3}$$

$$\frac{x}{L} = \frac{v_x}{v} = \frac{e B d}{m v}. \tag{4}$$

A (3), (4) egyenletekből v-t kiküszöbölve megkapjuk az x- és y-koordináták közötti összefüggést

$$y = \frac{m}{e} \frac{E}{L B^2 d} x^2.$$

Az összefüggés egy parabola egyenlete. Tehát az eltérített (azonos e/m fajlagos töltésű) töltött részecskék az ernyőn egy parabola mentén csapódnak be. A különböző e/m fajlagos töltésű ionok más-más parabolát határoznak meg.

b) J. J. Thomson alkotta meg az első atommodellt, az úgynevezett pudingmodellt. Az ő nevéhez főződik az elektron felfedezése is: 1897-ben kimutatta, hogy a katódsugárzás negatív elektromos töltésű részecskékből áll.

10. feladat megoldása

A gömb alakú hidrogénfelhő hőmérsékleti sugárzása:

$$P_s = \sigma T^4 4 R^2 \pi = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2 \mathrm{K}^4} \cdot (300\ \mathrm{K})^4 \cdot 12{,}56 \cdot (5 \cdot 10^8\ \mathrm{m})^2 =$$

$$= 1{,}44 \cdot 10^{21}\ \mathrm{W}.$$

Ezt a felületi sugárzást a térfogati energiafelszabadulás táplálja, amely az elektronok tömegnövekedéséből ered.

A térfogati teljesítménysűrűség:

$$\frac{P_s}{\frac{4\pi}{3}R^3} = \frac{1{,}44\cdot 10^{21}\ \mathrm{W}}{\frac{4\pi}{3}\left(5\cdot 10^{8}\ \mathrm{m}\right)^3} = 2{,}75\cdot 10^{-6}\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^3}.$$

Így az egy hidrogénatomra jutó teljesítmény:

$$P_{atom} = \frac{P_V}{N_A} = \frac{2{,}75\cdot 10^{-6}\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^3}}{6\cdot 10^{23}} = 4{,}59\cdot 10^{-30}\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{atom}}.$$

A hidrogénatom alapállapotbeli energiája a hullámmodellből származtatva:

$$E_0 = -\frac{m k^2 e^4}{2\hbar^2}.$$

Az E időbeli csökkenése adja az egy hidrogénatomra jutó sugárzási teljesítményt. Az alapállapot energiájának időbeli csökkenése arányos az elektron m tömegének dm/dt időbeli növekedésével:

$$\frac{dE_0}{dt} = -\frac{k^2 e^4}{2\hbar^2}\frac{dm}{dt} = 238{,}3\cdot 10^{10}\ \frac{\mathrm{Ws}}{\mathrm{kg}}\frac{dm}{dt} = 4{,}59\cdot 10^{-30}\ \mathrm{W}.$$

Ebből pedig meghatározhatjuk az elektron tömegnövekedésének sebességét:

$$\frac{dm}{dt} = 1{,}926\cdot 10^{-42}\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}} = 2{,}11\cdot 10^{-12}\ \frac{m_e}{\mathrm{s}} \approx 2{,}11\cdot 10^{-12}\cdot 3{,}15\cdot 10^{9}\frac{m_e}{100\ \text{év}} =$$

$$= \frac{0{,}0066\ m_e}{100\ \text{év}} = \frac{0{,}66\%}{100\ \text{év}}.$$

Vagyis az elektronok tömegének 100 évenkénti 0,66%-os növekedése elegendő ahhoz, hogy egy ekkora méretű hidrogénfelhő felszínét a 3 K hőmérsékletű világűrben 300 K szobahőmérsékleten tartsa emberi léptékkel mérve hosszú ideig.

Megjegyzés: A feladat természetesen nem valódi jelenségen alapul, de tanulságul szolgálhat arra, hogy az atomi állandók (elemi részek töltése, tömege stb.) mennyire állandóak, értékük kismértékű változása is mekkora makroszkopikus változásokat okozna. Hasonló becsléseket lehetne végezni, hogy az e elemi töltés, vagy a k Coulomb-állandó időbeli változása milyen kozmikus változásokat eredményezne.

II. kategória 9–10. feladatának megoldása

9. feladat megoldása

Az m = 2 g tömegű rádium aktivitását a bomlási törvényből meghatározzuk:

$$A = \frac{\ln 2}{T_f} N = \frac{\ln 2}{T_f} \frac{m}{M} N_A = \frac{0{,}69}{1{,}6 \cdot 10^3 \cdot 3{,}15 \cdot 10^7 \text{ s}} \frac{2 \text{ g}}{226 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} =$$

$$= 7{,}27 \cdot 10^{10} \frac{1}{\text{s}}.$$

A kezdeti aktivitást állandónak vehetjük 2 nap időtartamra, ezért a két nap alatt bekövetkező bomlások száma: $\Delta N = A\,t = 7{,}27 \cdot 10^{10}$ 1/s $\cdot\, 48 \cdot 3600$ s = $1{,}26 \cdot 10^{16}$.

Mivel minden bomlásból egy He atommag keletkezik, ezért a héliummagok mólszáma:

$$n = \frac{1{,}26 \cdot 10^{16}}{6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}} = 2{,}1 \cdot 10^{-8} \text{ mol}.$$

Megjegyzés: A keletkezett héliumgáz rendkívül kis mennyiségű. Ha normál állapotban van, akkor mindössze $V = 2{,}1 \cdot 10^{-8} \cdot 22{,}41$ dm^3 $\approx$ 0,5 mm^3 térfogatú. Ha viszont egy 4,7 literes edényben gyűjtjük össze T = 273 K hőmérsékleten, akkor nyomása a normál nyomás 10 milliomod része (0,01 Pa) lenne.

10. feladat megoldása

a) A rugalmas ütközésnél a lendület és a mozgási energia megmaradását alkalmazhatjuk:

$$E_1 = E_2 + E_3, \qquad (1)$$

$$p_1 = p_3 \pm p_2, \qquad (2)$$

ahol az 1-es index a bejövő alfa-részecskére, a 2-es index az ütközés utáni alfa-részecskére, míg a 3-as index az ismeretlen tömegű (kezdetben nyugvó) atommagra vonatkozik. A kettős előjelre azért van szükség a lendületmegmaradás felírásánál, mert a feladat szövege nem szól arról, hogy az alfa-részecske „visszapattant”, vagy továbbhaladt, az ütközés után.

Figyelembe véve a $p = \sqrt{2mE}$ összefüggést, az (1)-ből E_3-t kifejezve a (2) egyenlet így írható:

$$\sqrt{2mE_1} = \sqrt{2M\left(E_1 - E_2\right)} \pm \sqrt{2mE_2},$$

ahol M az ismeretlen atommag tömege.

Osszuk el a fenti egyenlet mindkét oldalát $\sqrt{2mE_1}$-gyel:

$$1 = \sqrt{\frac{M}{m}\left(1 - \frac{E_2}{E_1}\right)} \pm \sqrt{\frac{E_2}{E_1}}.$$

Ebből az M/m arány kifejezhető:

$$\frac{M}{m} = \frac{\left(1 \pm \sqrt{\frac{E_2}{E_1}}\right)^2}{1 - \frac{E_2}{E_1}}.$$

b) Behelyettesítve $\sqrt{E_1/E_2} = 0{,}5$ értéket a fenti egyenletbe az M/m arányra két értéket kapunk:

$$\frac{M}{m} = 3, \text{ illetve } \frac{M}{m} = \frac{1}{3}.$$

Az első arány értékének megfelelő atommag tömege $M = 3m$ ez a ^{12}C atommagra teljesül. A második aránynak megfelelő $M = m/3$ tömegű atommag nem létezik.

Tehát a keresett M tömegű atommag a szén atommagja, amelyről az alfarész rugalmas ütközés után visszapattan.

A 11. verseny döntőjének eredménye

I. kategória (11–12. évfolyam)

1. helyezést ért el ***Nagy Tibor,*** a Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg tanulója, felkészítő tanára Pálovics Róbert, 82 pontos eredménnyel,
2. ***Gubicza Ágnes*** (Kazinczy F. Gimn., Győr, Nikházy Lászlóné, Berta Miklós, 77),
3. ***Almási Gábor*** (Leőwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter 74),
3. ***Lovas Lia Izabella*** (Leőwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter, 74),
5. *Szolnoki Lénárd* (Debreceni Ref. Koll. Dóczy Gimn., Debrecen, Tófalusi Péter, 70),
6. *Horváth László* (Batthyány K. Gimn., Szigetszentmiklós, Bülgözdi László, 67),
7. *Hegyi Ádám* (Dobó I. Gimn., Eger, Hóbor Sándor, 66),
8. *Tolner Ferenc* (Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg, Pálovics Róbert, 65),
9. *Bokányi Eszter* (Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg, Pálovics Róbert 63),
10. *Kovács Máté* (SZTE Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged, Kovács László, 61),

11. *Hlatky Dávid* (Leőwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter, 60),
12. *Bíró László* (Piarista Gimn., Budapest, Urbán János, 57),
12. *Vida Györy* (Garay J. Gimn., Szekszárd, Pesti Gyula, Elblinger Ferenc, 57),
14. *Bőle Pál* (ELTE Apáczai Csere J. Gimn., Budapest, Zsigri Ferenc, 51),
14. *Lóczi Dávid* (Széchenyi I. Gimn., Sopron, Légrádi Imre, 51),
16. *Török Csaba* (Berze Nagy J. Gimn., Gyöngyös, Kiss Miklós, 50),
17. *Gilicze Barnabás* (Bethlen G. Református Gimn., Hódmezővásárhely, Nagy Tibor, 44),
17. *Tolnai Gábor* (Vajda J. Gimn., Keszthely, Farkas László, 44),
19. *Koczka Krisztina* (ELTE Trefort Á. Gyak. Gimn., Budapest, Chikán Éva, 42).

II. kategória (9–10. évfolyam)

1. helyezést ért el ***Varga Ádám,*** az SZTE Ságvári Endre Gyakorló Gimnázium, Szeged tanulója, felkészítő tanára Kovács László, 63 pontos eredménnyel,
2. ***Kovács Benjamin*** (Leőwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter, 57),
2. ***Pásztor Ádám*** (Verseghy F. Gimn., Szolnok, Pécsi István, 57),
4. *Harstein Máté* (Leőwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter, 52),
5. *Kramer Zsolt* (Leőwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter, 50),
6. *Csábi Dávid* (Energetikai Szakközépisk. és Koll., Paks, Faragó Zoltán, Nagyné Lakos Mária, 47),
7. *Eszes Dávid* (Batthyány K. Gimn., Szigetszentmiklós, Bülgözdi László, 39),
8. *Nádor Iván* (Leőwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter, 38),
9. *Zsolezsai Viktor* (Verseghy F. Gimn., Szolnok, Pécsi István, 35),
10. *Túri Attila* (Verseghy F. Gimn., Szolnok, Pécsi István, 32).

12. Országos Szilárd Leó Fizikaverseny, 2009

Az 1. forduló feladatai[1]

1. feladat

A ^{32}P izotópot az orvosi gyakorlatban is használják radioaktív nyomjelzőként. A vizsgálathoz a kórház $6 \cdot 10^6$ Bq aktivitású ^{32}P-t tartalmazó preparátumot kap.

a) Mennyi ideig használhatják ezt, ha aktivitásának $3{,}7 \cdot 10^5$ Bq-re történő csökkenése esetén már nem alkalmazhatják?

b) A ^{32}P izotópot egy magyar tudós állította elő először. Ki volt ő? Mit tudunk még róla?

A ^{32}P szükséges adatait a Függvénytáblázat tartalmazza.

2. feladat

A fénymikroszkóp felbontóképessége az a legkisebb távolság két pont között (Δx), amit még meg tudunk különböztetni. Ez arányos a mikroszkóphoz használt fény λ hullámhosszával ($\Delta x \sim \lambda$). Felgyorsított elektronokat elektromos és mágneses mezők úgy el tudnak téríteni, mint a fénysugarakat a lencsék. Ezt felhasználva elektronmikroszkópot készíthetünk. Tekintsünk egy olyan elektronmikroszkópot, ahol az elektronokat 10 kV feszültséggel gyorsítjuk.

a) Hányszor kisebb távolságokat lehet ezzel felbontani, mint a 340 nm hullámhosszúságra érzékeny fénymikroszkóppal?

b) Elemezzük, hogy milyen elhanyagolásokkal, feltételezésekkel éltünk a megoldás során!

3. feladat

Egy, a bőrgyógyászatban használt CO_2 lézer 10,6 μm hullámhosszúságú fényt bocsát ki, amely hegesedés nélküli beavatkozások elvégzésére alkalmas. A lézerfényt a bőrön egy 100 μm átmérőjű kör alakú foltra fókuszálva ott 5 GW/m^2 teljesítménysűrűséget kapunk.

Hány foton érkezik másodpercenként a bőrre?

[1] Az első fordulót 2009. március 2-án tartották. Minden feladat helyes megoldása 5 pontot ér. A feladatokat tetszőleges sorrendben lehet megoldani. A megoldáshoz bármilyen segédeszköz használható. Rendelkezésre álló idő: 180 perc.

4. feladat

A Föld természetes uránkészletét 2,2 megatonnára (Mt) becsülik.

Ha ezzel az uránkészlettel termikus atomreaktorokban hő formájában felszabaduló energiát termelnénk, hány m^3 gázolajjal lenne ez egyenértékű, ha csak az ^{235}U uránizotóp hasadásából nyerhető energiával számolunk?

Adatok: Az uránkészlet 0,72 tömegszázaléka ^{235}U. Az ^{235}U hasadásakor felszabaduló energiát vegyük 200 MeV-nak. A gázolaj adatait a Függvénytáblázat tartalmazza.

5. feladat

A müon az elektronnál 207-szer nagyobb tömegű elemi részecske. Vegyünk egy olyan hidrogénatomot, amelyben az elektron helyét müon foglalja el (ez a müónium). A hidrogénatomnak négy színképvonala van (ibolya, kék, zöldeskék, vörös) a látható tartományában (a Balmer-sorozat első négy tagja). Ezek hullámhossza rendre 410,1 nm, 434 nm, 486,1 nm, 656,3 nm.

a) Mekkora a hullámhossza a müónium által kibocsátott, ezeknek megfelelő elektromágneses hullámoknak?

b) Milyen színképtartományba esnek az ilyen hullámhosszúságú színképvonalak?

6. feladat

A CERN új gyorsítójában, a 26,7 km kerületű LHC-ben 7 TeV energiájú protonok keringenek és ütköznek. A teljes kerület mentén 2808 csomagban mozognak a protonok. Egy-egy csomagot $1{,}15 \cdot 10^{11}$ darab proton alkotja.

a) Mekkora egy protoncsomag teljes energiája? Ha egy 150 kg tömegű kismotor ekkora mozgási energiával rendelkezne, mekkora sebességgel mozogna?

b) Mekkora a teljes kerület mentén mozgó protonok energiája? Mekkora tömegű 25 °C hőmérsékletű aranytömböt lehetne megolvasztani ennyi energiával?

Adatok: Az arany móltömege M = 197 g/mol, mólhője: 25,418 J/(K·mol), olvadáspontja: 1337,6 K, olvadáshője: 12 550 J/mol.

7. feladat

Egy elektron mozgási energiája 25 keV.

a) Hány százalékos relatív hibát követünk el az elektron de Broglie-hullámhosszának kiszámításakor, ha a relativisztikus számolás helyett a klasszikus utat választjuk?

b) Hány százalékos a relatív hiba, ha a részecske neutron?

8. feladat

A paksi atomreaktorokban a víz alulról felfelé áramlik keresztül az aktív zónán. A nyitott, „medence” típusú oktató- és kutatóreaktorokban viszont a sugárvédelmi szakemberek javaslatára felülről lefelé keringetik a hűtővizet.

Mi lehet a különböző megoldás oka?

9. feladat

A Nap fő energiatermelő folyamata az úgynevezett p-p ciklus, amelyben (több részfolyamat során) végeredményben négy protonból hélium keletkezik: $4p \to {}^4\mathrm{He} + 2e^+ + 2\nu_e + 26$ MeV. A Nap anyagának összetétele kezdetben 75% (tömegszázalék) hidrogén, 25% hélium volt. A Nap működésének első 7 milliárd évében a kezdeti protontartalom körülbelül 10%-a alakul át a p-p ciklusban. A Nap átlagos sugárzási teljesítménye (luminozitása) $L \approx 3{,}86 \cdot 10^{26}$ W.

a) Becsüljük meg, hogy kezdetben átlagosan hány proton lehetett a Napban!

b) Mekkora lehetett a Nap teljes tömege?

c) Mennyit változik a Nap tömege 7 milliárd év alatt a kisugárzott energia következtében?

(*A proton tömegét vegyük a Függvénytáblázatból!*)

10. feladat

Az úgynevezett „mikrorobbantásos” fúziós berendezésekben nagy, gömb alakú reaktorkamrába egyenként belőtt kicsiny üzemanyag-kapszulákat hevítenek lézerekkel, ily módon indítva be a fúziós reakciót. Egy 1 mm átmérőjű – gömb alakú – üzemanyag-kapszula térfogatának fele 1000 kg/m^3 sűrűségű deutérium-trícium (D-T) keverék, a másik fele egyéb adalékanyagokból áll. Ezek elpárolognak, és egyenletesen lerakódnak a 10 m átmérőjű reaktorkamra falán.

a) Számítsuk ki, hogy egy 1 GW termikus teljesítményű fúziós erőműnél másodpercenként hány kapszulát kell felrobbantani, ha az elégetett üzemanyag aránya 30%. (*Számoljunk csak a fúzióban felszabaduló energiával!*)

b) Milyen korrekciók lennének még az energiamérleghez, ha nem csak a fúziós reakcióban felszabaduló összes energiával számolnánk? (*Nem számszerű eredményt várunk!*)

c) Milyen vastag réteg képződik a reaktorkamra falán az elpárolgott adalékanyagokból egy év alatt?

A D-T (^{2}H+^{3}H) fúziós reakció adatait vegyük a Függvénytáblázatból!

Döntő feladatai[2]

ELMÉLETI FELADATOK[3]

I. kategória

1. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba és Tallián Miklós)
A sötét színű szilíciumlapka az infravörös sugárzásra nézve átlátszó.

a) Mi lehet ennek az anyagszerkezeti magyarázata?

A szilíciumszeletekre egyes esetekben szigetelőréteget (oxid vagy nitrid) növesztenek, ennek vastagsága a néhány nanométertől a néhányszáz nanométerig terjedhet.

b) Látható-e szabad szemmel egy ilyen réteg? *Indokoljuk a választ!*

2. feladat (kitűzte: Kaszás Dezső és Szűcs József)
Egy elképzelt „szupergyorsítóban" – amely az egész Földet körülölelné – protonokat gyorsítanak. Tegyük fel, hogy a „gyorsítógyűrű" éppen a Föld felszínén van, és abban mindenütt a Föld saját mágneses indukciója tartja körpályán a részecskéket.

a) Mekkora energiára lehetne felgyorsítani a protonokat a „szupergyorsítóban"?

b) Mekkora lenne a protonok sebessége?

Adatok: A Föld mágneses indukciójának a pálya síkjára merőleges komponensét vegyük mindenhol 30 μT-nak, a Föld sugarát 6370 km-nek! További adatokat a Függvénytáblázatból vegyük!

3. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)
A Wigner Jenő által tervezett első hanfordi atomreaktor (üzemanyag: fém urán, moderátor: grafit, hűtőközeg: víz) üzemviteli naplója szerint „…a reaktor 1944. szeptember 26-án kedden 23:48 perckor érte el először az üzemi teljesítményt. Valamivel később a teljesítmény fokozatosan csökkenni kezdett, majd a szabályozó rudak teljes kihúzása ellenére a reaktor szerda reggelre leállt. Csütörtökön reggel a reaktor váratlanul ismét elkezdett működni, magától."

Vajon mi lehetett a reaktor furcsa viselkedésének oka?

[2] A döntőt 2009. április 25-én Pakson tartották.

[3] A feladatok megoldásához 180 perc áll rendelkezésre. Minden segédeszköz használható. Minden feladatot külön lapra írjon, s minden lapon legyen rajta a megoldó kódja. A feladatok NEM nehézségi sorrendben vannak. Minden feladat megoldása 5 pontot ér.

4. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

Marie Curie doktori értekezésében található a következő táblázat:

e/m (elektromágneses egységben)	v (cm/s)
$1{,}865 \cdot 10^7$	$0{,}7 \cdot 10^{10}$ katódsugaraknál
1,31 "	$2{,}36 \cdot 10^{10}$ rádiumsugaraknál
1,17 "	$2{,}48 \cdot 10^{10}$
0,97 "	$2{,}59 \cdot 10^{10}$
0,77 "	$2{,}72 \cdot 10^{10}$
0,63 "	$2{,}83 \cdot 10^{10}$

Mi olvasható ki a fenti adatsorból mai tudásunk szerint?

5. feladat (kitűzte: Szűcs József)

1930-ban Bothe és Becker berilliumot sugároztak be alfa-részekkel. A besugárzás hatására nagy áthatolóképességű semleges sugárzás keletkezett. I. Curie és F. Joliot a sugárzás mibenlétének felderítésére a sugárzás útjába paraffinréteget tett. Azt tapasztalták, hogy a sugárzás a paraffinból nagy energiájú protonokat váltott ki. A protonok energiája maximum 5,7 MeV volt. Arra gondoltak, hogy a semleges sugárzás gamma-kvantumokból áll, azok lökik meg frontális ütközéssel a protonokat. Azonban a számítások szerint a gamma-fotonok energiájára szokatlanul nagy érték adódott. Semmilyen természetes és mesterséges magreakció során ilyen nagy energiájú gamma-sugárzást nem észleltek korábban. Ekkor támadt J. Chadwick skót fizikus ötlete: a semleges sugárzást nem gamma-fotonok, hanem semleges részecskék, neutronok alkotják.

a) Legalább mekkora energiájú gamma-fotonok lennének képesek a protonokat úgy meglökni, hogy azok mozgási energiája 5,7 MeV legyen?

b) Mekkora energiájúak lehettek a protonokat meglökő neutronok, ha azok tömege közel azonos a protonok tömegével ($m_n \approx m_p$)?

c) Írjuk fel a kísérletben szereplő magreakció (alfa-sugarak esnek a berilliumra) helyes egyenletét!

6. feladat (kitűzte: Papp Gergely)

A foton effektív tömegére vonatkozó $m_{eff} = (h\nu)/c^2$ összefüggést szeretnénk igazolni a gravitációs vöröseltolódás jelenségének segítségével. Ehhez egy torony tetejére helyezzük detektorunkat, a gamma-sugárforrást pedig alatta, a földre tesszük.

Hány százalékos pontossággal kell mérnünk a detektált γ-fotonok energiáját, ha a sugárforrásunk 1 GBq aktivitású, és a méréshez legalább 1 foton/s beütési gyakoriság szükséges az 1 cm^2 felületű detektoron? (A nehézségi gyorsulás legyen $g = 10$ m/s^2.)

7. feladat (kitűzte: Vastagh György)

Egy vörös óriás csillag, a Földtől $1{,}2 \cdot 10^7$ m/s sebességgel távolodik. Fényének spektrumában a legnagyobb intenzitású sugárzás hullámhossza 780 nm a Földről nézve.

Mekkora a csillag felszínének hőmérséklete?

Tekintsük a csillagot abszolút feketetestnek, amelyre teljesül a Wien-féle eltolódási törvény!

8. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

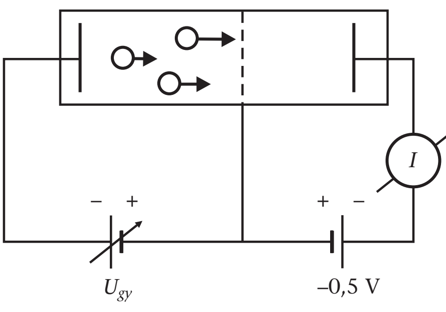
2002-ben Dubnában a Flerov Laboratóriumban (Oroszoroszság) egy orosz–amerikai közös kutatócsoportnak sikerült előállítani a 118 rendszámú szupernehéz elemet – nem túl nagy mennyiségben: 2002 tavaszán egyetlen atomot 2005-ben további két atomot hoztak létre –, amelyet *Ununoctium*-nak neveznek. Az előállítás a következő atommag-reakcióval sikerült.

$$^{249}_{98}\mathrm{Cf} + {}^{48}_{20}\mathrm{Ca} \rightarrow {}^{294}_{118}\mathrm{Uuo} + 3n.$$

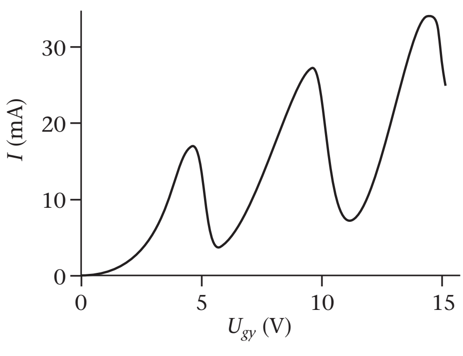
a) Kémiai szempontból milyen lenne az unonoctium, ha sikerülne nagy mennyiségben előállítani? (*Milyen lenne az új elem halmazállapota normál nyomáson és hőmérsékleten, milyen lenne a kémiai reakcióképessége, milyen ismert kémiai elemhez lenne hasonlítható?*)

9. feladat (kitűzte: Szűcs József)

Franck és Hertz Nobel-díjas tudósok 1913-ban – a Bohr-elmélet megszületése után – végezték el a híres elektron-atom ütközéses kísérletüket, amellyel megerősítették N. Bohr feltevését, miszerint az atomok meghatározott energiaszintekkel rendelkeznek. A kísérlet során légritkított csőben (úgynevezett Franck–Hertz-csőben) higany atomokat párologtattak el. A ráccsal



Frank–Hertz-cső elvi vázlata



ellátott elektroncsőben (lásd *ábra*) a katódból kilépő elektronokat gyorsították, amelyek ütköztek a térben lévő Hg atomokkal.

Amikor az U_{gy} gyorsítófeszültség elérte a 4,9 V-ot, a körben lévő anódáram erőssége hirtelen visszaesett. Ez a visszaesés 9,8 V, 14,7 V feszültségértékeknél megismétlődött (lásd *ábra*).

Hogyan magyarázhatók a kísérlet során bekövetkező, egymást követő áramerősség-visszaesések?

10. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)
Az Egyesült Államokban épített NIF (National Ignition Facility) fúziós kísérleti berendezés 192 db hatalmas lézere nemrégen készült el. A lézerek 1 ns hosszúságú impulzusban összesen 1,8 MJ energiát koncentrálnak egy 1 mm sugarú kis gömböcske felszínére, amely 150 mikrogrammnyi 1:1 atomarányú D-T keveréket tartalmaz. A gömböcskében lezajló fúziós reakciók tízszer annyi energiát produkálnak, mint amit a gömböcske fűtésére fordítottak.

Adatok: A trícium felezési ideje 12,33 év, egyetlen D-T fúziós reakcióban felszabaduló energia 17,6 MeV.

a) Mekkora a gömböcske aktivitása?

b) Mekkora a maximális fénynyomás, amit a lézerek ki tudnak fejteni a gömböcskére?

c) Mennyi neutron szabadul fel?

II. Kategória 9–10. feladata[4]

9. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)
Egyesek azt állítják, hogy a biomassza (például tűzifa) elégetése semmivel sem járul hozzá a földi atmoszféra széndioxid-egyensúlyának felborulásához.

Igaz vagy hamis ez az állítás? Indokoljuk meg!

10. feladat (kitűzte: Vastagh György)
Tegyük fel, hogy az atomos hidrogéngáz elektronjai külső gerjesztés hatására legfeljebb a harmadik gerjesztési állapotba kerülnek.

a) Hány vonal jelenik meg a gáz színképében és ezek közül melyek a láthatók?

b) Ha az atomok által kibocsátott legkisebb hullámhosszú látható fénynyel egy fotocella cézium katódját világítjuk meg, akkor mekkora zárófeszültséggel lehet a fotoáramot megszüntetni?

A szükséges adatokat a Függvénytáblázatból vegyük!

[4] 1–8. feladat megegyezik az I. kategória feladataival.

KÍSÉRLETI FELADAT

Galvanizálás hatásfokának meghatározása

Feladat:

• Egy méter hosszú vezetéket rézzel kell bevonni. Ennek érdekében a vezetéket rézszulfát-oldatba helyezzük, és úgy galvanizáljuk rá a rezet.

• Határozzuk meg, hogy a kivált réz hány százaléka tapad meg a vezetőn!

• A mérésről készítsünk jegyzőkönyvet! A jegyzőkönyv tartalmazza:
  – A méréshez használt kapcsolási rajzot.
  – A mérés menetét, a végzett számításokat és a kapott eredményeket.
  – A hibalehetőségek elemzését.

A méréshez használt eszközök:

– 1 m 20 cm hosszú ellenálláshuzal.
– Egyenáramú tápegység, ellenállásmérő, árammérő (vagy egy multiméter).
– Vezetékek, krokodilcsipeszek.
– Tál, rézszalag elektróda.
– Laborállványok, diók.
– Rézszulfát-oldat.

A méréshez felhasználható adatok:

– A réz fajlagos ellenállása: $1{,}695 \cdot 10^{-8}$ Ωm.
– A réz sűrűsége: 8920 kg/m^3.
– A vezeték átmérője: … (*a mérést felügyelő tanár adja meg*).

Galvanizációs mérés kísérleti összeállítása

Tanácsok, javaslatok a mérés elvégzéséhez:

– A galvanizáláshoz maximum 1 A áramot használjunk.

– Körülbelül 10–15 percig végezzük a galvanizálást.

– A vezetőn megtapadt réz mennyiségét a vezető ellenállásának változásából határozzuk meg, miután a vezeték megszáradt.

– A mérés során vegyünk fel áramerősség-idő függvényt, és ebből számítsuk ki az átáramlott töltés mennyiségét.

SZÁMÍTÓGÉPES FELADAT

Szabályozó rúd kalibrációja

Elméleti bevezetés

Az atomreaktorok külső beavatkozással történő szabályozása az aktív zónában elhelyezett neutronelnyelő anyagot tartalmazó úgynevezett szabályozó rúddal valósítható meg. A szabályozó rúd mozgatásával a zónában lévő neutronelnyelő anyag mennyisége módosítható, ezzel változtathatjuk a reaktor neutronsokszorozási tényezőjét, azaz előállítható szubkritikus, kritikus és szuperkritikus reaktorállapot is. A reaktorfizikában a sokszorozási tényező (k_{eff}) helyett gyakran a reaktivitást (ρ) használják a láncreakció jellemzésére, mely definíció szerint.

$$\rho = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}}.$$

A reaktorban a maghasadás és egyéb magreakciók következtében a hasadóanyag mennyisége csökken, ebből következően a működés során csökken a reaktivitás, és szubkritikussá válhat a zóna. A reaktor hosszú távú működéséhez kompenzálni kell ezt a reaktivitáscsökkenést. Emiatt indításkor a reaktorba több hasadóanyagot – s ezzel többletreaktivitást – építenek be, mint amennyi a működéshez éppenhogy csak szükséges. Ezt a többlet reaktivitást nevezik *reaktivitástartaléknak*. A biztonságos működéshez viszont ezt a többletreaktivitást szabályozó rúddal kompenzálni kell, „le kell kötni", különben a reaktor erősen szuperkritikus lenne. A működés során a reaktivitás csökkenése a szabályozó rúd pozíciójának változtatásával korrigálható.

Üzemeltetés szempontjából kulcsfontosságú tényező annak ismerete, hogy a szabályozó rúd hosszegységenként mekkora reaktivitást köt le a zóna reaktivitástartalékából. A szimulációs feladat egy szabályozó rúd reaktivitáslekötésének meghatározása.

A feladat elvégzéséhez szubkritikus reaktorállapotra van szükség, ekkor az effektív sokszorozási tényező $k_{eff} < 1$, illetve az ebből származtatott reaktivitás $\rho < 0$.

Az önfenntartó láncreakció ebben az esetben nem valósul meg, a magára hagyott reaktor magától leáll. Azonban, ha külső forrást helyezünk az aktív zónába, a neutronok száma állandósult állapotba kerül, a kialakuló neutronszám (N) és a zóna reaktivitása között a következő összefüggés áll fenn:

$$\rho = -\frac{A}{N},$$

ahol A egy konstans arányossági tényező. Amennyiben változtatjuk a szabályozó rúd pozícióját (z), megváltozik a reaktivitás, és ezzel együtt a kialakuló állandósult neutronszám is, azaz

$$\rho(z) = -\frac{A}{N(z)}.$$

Az A együttható meghatározásának egyik módja a fenti képletből adódik: szubkritikus zónában két különböző rúdpozícióban (z_1 és z_2) meghatározzuk a reaktivitást (ρ_1 és ρ_2) és az állandósult neutronszámot a detektoron (N_1 és N_2), majd a fenti képlet alapján

$$\rho_1 - \rho_2 = \frac{1}{N_1} - \frac{1}{N_2}$$

összefüggésből kifejezhető A. Ez az eljárás a gyakorlatban is használatos a szabályozó rúd kalibrációs görbéjének meghatározásához. Az eljárás neve $1/N$ módszer (arra utal, hogy a reaktivitás arányos az $1/N$-nel).

Feladat:

A szimuláció alkalmazásával határozzuk meg a szabályozó rúd kalibrációjához szükséges A együtthatót, valamint határozzuk meg a rúd 1%-os elmozdulásához tartozó reaktivitáslekötést két különböző rúdpozícióban!

Lépések:

1. Építsünk kritikus, szabályozó rúddal szabályozható reaktorzónát!

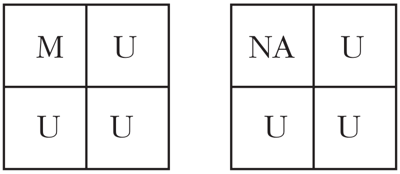
– A kritikus rendszer összeállításához olyan 4 pálcából álló kötegeket használjunk alapegységnek, melyek 3 urán-, illetve 1 moderátorpálcát tartalmaznak (lásd *1. ábra*).

– A szabályozhatóságot egy olyan 4-es köteggel valósítsuk meg, ahol a moderátorpálca helyett neutronelnyelő pálca (szabályozó rúd) van, ezt az elemet a zóna közepére helyezzük el.

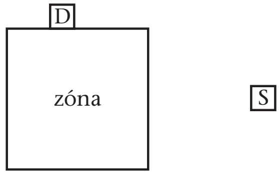
– A szimulációkor minden esetben kapcsoljuk ki a hőmérsékleti visszacsatolásokat!

– Moderátorként használjunk nehézvizet, üzemanyag gyanánt dúsított uránt.

– Az önfenntartó nukleáris láncreakció beindításához mindenképpen szükség van egy neutronforrásra, ezért helyezzünk el egy forrást a zónától távol (*2. ábra*).



1. ábra. A zóna felépítéséhez használatos alapelemek, jelölés: U – urán; M – moderátor; NA – neutronelnyelő.



2. ábra. Az alapelemekből felépített zóna, a méréshez szükséges neutrondetektor (D), illetve a forrás (S) ajánlott elrendezése.

– A kritikus reaktorállapotot a szabályozó rúd pozíciójának változtatásával állítsuk be úgy, hogy – miután a neutronsokszorozás elindult – a forrást cseréljük ki egy üres elemmel.

– A neutronok számának időbeli változását egy detektorral vizsgáljuk, amelyet közvetlenül az aktív zóna mellé helyezzünk (*2. ábra*)!

– A neutronforrás nélkül reaktorunk akkor van kritikus állapotban, ha a detektor által érzékelt neutronok száma időben nem változik.

2. A kritikus állapot elérése után állítsuk le a szimulációt, és helyezzünk el egy forrást az elrendezéstől távol (a forrás sor-oszlop koordinátáját jegyezzük fel, mert a további feladatok során azonos pozícióba kell majd visszahelyezni).

– Majd a szabályozó rúd pozícióját növeljük meg 5%-kal (toljuk beljebb a rudat a reaktorba, és ezzel hozzuk szubkritikus állapotba a rendszert) és indítsuk újra a szimulációt!

– Vizsgáljuk meg a detektoron mért neutronok számának időbeli változását!

– Magyarázzuk meg a karakterisztikát, majd az állandósult állapot beállta után jegyezzük fel a detektoron mért neutronok számát és állítsuk le a szimulációt!

– Vegyük ki a forrást a rendszerből és folytassuk (ne indítsuk újra!) a szimulációt, majd jegyezzük fel a detektor adataiból számított sokszorozási tényezőt (ez az utolsó két értékében egy átlag körül ingadozó mennyiség lesz, ezért célszerű egyes időlépésenként feljegyezni pár tipikus értéket és azokból átlagot számolni).

– Végül állítsuk le a szimulációt!

3. A 2. feladat elvégzése után helyezzük vissza a forrást az adott pozícióba, és ismét növeljük a szabályozó rúd pozícióját 5%-kal, majd indítsuk újra a szimulációt!

– Ismételjük meg a 2. feladat lépéseit az új rúdállás mellett is!

4. A 2. és 3. feladatban felvett detektorjelek, illetve sokszorozási tényezők felhasználásával határozzuk meg a fenti összefüggések alapján a rúd kalibrációjához szükséges *A* együtthatót, valamint határozzuk meg a rúd 1%-os elmozdulásához tartozó reaktivitáslekötést!

5. A szabályozó rudat (nem az egész elemet) cseréljük meg egy, a zóna szélétől három pálcára lévő moderátorelemmel! Ismételjük meg a 2., 3. és 4. feladatot, és hasonlítsuk össze a két pozíció mellett végzett szimulációk eredményeit!

Magyarázzuk meg a tapasztalatokat!

Az 1. forduló feladatainak megoldása

1. feladat megoldása

a) Az aktivitásra a bomlási törvényt alkalmazva (az izotóp felezési ideje 14,2 nap):

$$3{,}7 \cdot 10^5 = 6 \cdot 10^6 \cdot 2^{-\frac{t}{14{,}2}},$$

azaz

$$16{,}22 = 2^{\frac{t}{14{,}2}}.$$

Ebből, mindkét oldal logaritmusát véve, megkapjuk az izotóp megengedett használati idejét:

$$t = 14{,}2 \cdot \frac{\lg 16{,}22}{\lg 2} = 57 \text{ nap.}$$

b) A ^{32}P első előállítója Hevesy György (1885–1966), aki 1943-ban kapott Nobel-díjat a radioaktív nyomjelzéses vizsgálatok felfedezéséért.

2. feladat megoldása

a) Számítsuk ki az elektronmikroszkóp gyorsítófeszültsége által felgyorsított elektronok hullámhosszát. A de Broglie-összefüggés:

$$\lambda = \frac{h}{p}. \tag{1}$$

Az elektron p impulzusát a klasszikusan kinetikus energiaformából kapjuk

$$\frac{p^2}{2m} = eU \rightarrow p = \sqrt{2meU}.$$

(1)-be visszahelyettesítve kapjuk:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}}.$$

Behelyettesítve a megfelelő értékeket, az elektron hullámhossza

$$\lambda = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{Js}}{\sqrt{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C} \cdot 9{,}11 \cdot 10^{-31}\ \mathrm{kg} \cdot 10^{4}\ \mathrm{V}}} = 1{,}23 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{m}.$$

A feladat szövege szerint a felbontóképesség egyenesen arányos a hullámhosszal, tehát a felbontóképességek aránya:

$$\frac{340 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{m}}{1{,}23 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{m}} = 27\,642.$$

b) Az egyik elhanyagolás az volt, hogy az elektronok lendületét nem relativisztikusan számítottuk ki. (Ekkora gyorsító feszültségnél ez nem okoz nagy hibát.) Másrészt feltételeztük, hogy az elektronmikroszkópra ugyanaz az arányossági tényező a hullámhossz és a felbontóképesség között, mint a fénymikroszkópnál. Ez nem feltétlenül van így.

3. feladat megoldása

A bőrre a lézerfényből másodpercenként érkező energia (teljesítmény):

$$P = IA = 5 \cdot 10^{9} \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2} \cdot 7{,}85 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{m}^2 = 39{,}25\ \mathrm{W},$$

ahol $I = 5\ \mathrm{GW/m^2}$ a lézersugár teljesítménysűrűsége, $A = r^2\pi = (5 \cdot 10^{-5})^2\pi = 7{,}85 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{m}$ a bőrre eső fényfolt területe. A lézerforrás által kibocsátott fotonok energiája:

$$E_0 = h\frac{c}{\lambda} = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{Js} \cdot \frac{3 \cdot 10^{8}\ \mathrm{m/s}}{10{,}6 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{m}} = 1{,}876 \cdot 10^{-20}\ \mathrm{J}.$$

Így a bőrfelületre másodpercenként érkező fotonok száma:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{39{,}25\ \mathrm{W}}{1{,}876 \cdot 10^{-20}\ \mathrm{J}} = 2{,}092 \cdot 10^{21}\ \frac{1}{\mathrm{s}}.$$

4. feladat megoldása

a) Először meghatározzuk a becsült uránkészletben lévő ^{235}U izotópatomok számát:

$$N_1 = \frac{7{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot 2{,}2 \cdot 10^{12}\ \mathrm{g}}{235\ \dfrac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} \cdot 6 \cdot 10^{23}\ \frac{1}{\mathrm{mol}} = 4 \cdot 10^{31}.$$

Így az ^{235}U magok elhasításakor felszabaduló energia

$$Q_1 = 4 \cdot 10^{31} \cdot 200 \text{ MeV} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-13} \frac{\text{J}}{\text{MeV}} = 1{,}28 \cdot 10^{21} \text{ J}.$$

Ezzel azonos energiát biztosító olajmennyiség tömege:

$$m_2 = \frac{Q_1}{L_f} = \frac{12{,}8 \cdot 10^{20}}{4{,}35 \cdot 10^{7}} = 2{,}94 \cdot 10^{13} \text{ kg},$$

illetve térfogata:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{2{,}94 \cdot 10^{13} \text{ kg}}{840 \text{ kg/m}^3} = 3{,}5 \cdot 10^{10} \text{ m}^3 = 35 \text{ km}^3.$$

5. feladat megoldása

a) Az atomban lévő elektron kvantált energiája a következő képlettel adható meg:

$$E_n = -\frac{m e^4 Z^2}{8\varepsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2}.$$

Ebből látszik, hogy az atomba bezárt részecske (negatív) energiája az m tömeggel egyenesen arányos. Valamely ($n \to k$) átmenet során kibocsátott fotonok energiája:

$$h f = E_n - E_m = m\left[\frac{e^4 Z^2}{8\varepsilon_0^2 h^2}\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right)\right],$$

illetve hullámhossza:

$$\lambda = \frac{1}{m} \frac{h c}{\dfrac{e^4 Z^2}{8\varepsilon_0^2 h^2}\left(\dfrac{1}{k^2} - \dfrac{1}{n^2}\right)}.$$

Mivel a müónium „Balmer-sorozatának” hullámhosszait keressük, ezért a képletben egyedül a tömeg különbözik, minden más paraméter ugyanaz marad. Így a második törtet összefoglalhatjuk egy K konstansba:

$$\lambda = \frac{1}{m} K.$$

Ennek alapján tehát a kibocsátott fotonok hullámhossza annyiszor kisebb lesz, ahányszor nagyobb tömeget kell ebbe a képletbe helyettesíteni.

A müontömeg az elektrontömeg 207-szerese, tehát a kibocsátott fotonok hullámhossza 207-szor kisebb, azaz

$$\frac{410,1}{207} = 1,98 \text{ nm}, \qquad \frac{434,0}{207} = 2,1 \text{ nm},$$

$$\frac{486,1}{207} = 2,35 \text{ nm}, \qquad \frac{656,3}{207} = 3,17 \text{ nm}.$$

b) Ezek a színképvonalak már a közeliröntgen-tartományba esnek.

Megjegyzések: 1. Az atomi kötött állapot energiaképletéből közvetlenül – további képletek felírása nélkül – is következethetünk a müónium atom megfelelő színképvonalainak hullámhosszára: ugyanis az energiaformulából látszik, hogy a „kövér" atom energiaszintje annyiszorosára nőnek (lefelé) ahányszor nagyobb tömegű a müon az elektronnál, azaz 207-szer. Így a színképvonalaknak megfelelő energiaszint-különbségek is ennyiszer nagyobbak lesznek. Vagyis a kibocsátott fotonok energiája és frekvenciája is 207-szer akkorára nőnek, a hullámhosszak pedig fordított arányban 207-szer kisebbek lesznek.

2. Bár nem követelmény, de kiemelendő, ha a versenyző tanuló rájön arra, hogy a müóniumnál már figyelembe kell venni azt, hogy a proton és a müon tömege között nincs olyan nagy különbség, mint az elektron és a proton tömege között, ezért a fenti képletbe nem a müon tömegét, hanem a müon-proton rendszer redukált tömegét kell behelyettesíteni. Itt is célszerű a redukált tömeg és az elektrontömeg arányát kiszámítani (sőt, még pontosabb számításnál a müon redukált tömegének és az elektron redukált tömegének arányát):

$$m_{r\mu} = \frac{m_p m_\mu}{m_p + m_\mu}, \quad m_{re} = \frac{m_p m_e}{m_p + m_e},$$

tehát

$$\frac{m_{r\mu}}{m_{re}} = \frac{m_\mu}{m_e} \frac{m_p + m_e}{m_p + m_\mu} = \frac{207}{1} \cdot \frac{1836 + 1}{1836 + 207} = 186,13.$$

Vagyis pontosabb értéket kapunk, ha 207 helyett ezzel az értékkel osztunk, azaz

$$\frac{410,1}{186,13} = 2,20 \text{ nm}, \qquad \frac{434,0}{186,13} = 2,33 \text{ nm},$$

$$\frac{486,1}{186,13} = 2,61 \text{ nm}, \qquad \frac{656,3}{186,13} = 3,53 \text{ nm}.$$

6. feladat megoldása

a) 7 TeV = $7 \cdot 10^{12} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J = $1{,}12 \cdot 10^{-6}$ J egy darab részecske energiája. Egy részecskecsomag energiája:

$$E = 1{,}12 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{J} \cdot 1{,}15 \cdot 10^{11} = 1{,}29 \cdot 10^{5}\ \mathrm{J}.$$

Ekkora mozgási energiával rendelkező kismotor sebessége

$$v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = \sqrt{\frac{2{,}58 \cdot 10^{5}\ \mathrm{J}}{150\ \mathrm{kg}}} = 41{,}5\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \approx 149\ \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}.$$

b) A gyorsító teljes kerülete mentén mozgó összes proton energiája:

$$E_{össz} = 2808 \cdot 1{,}29 \cdot 10^{5}\ \mathrm{J} = 362{,}2\ \mathrm{MJ}.$$

Az arany megolvasztásához szükséges Q hőmennyiségre felírhatjuk:

$$Q = c\,m\,\Delta T + L\,m.$$

Ebből $Q = E_{össz}$ helyettesítéssel az arany mólnyi mennyisége kifejezhető:

$$n = \frac{E_{össz}}{c\,\Delta T + L} = \frac{3{,}622 \cdot 10^{8}\ \mathrm{J}}{25{,}418\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K\,mol}} \cdot (1337{,}6 - 298)\ \mathrm{K} + 12550\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol}}} =$$

$$= 9293\ \mathrm{mol}.$$

A megolvasztott arany tömege:

$$m = n\,M = 9293\ \mathrm{mol} \cdot 0{,}197\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{mol}} = 1830{,}7\ \mathrm{kg}.$$

7. feladat megoldása

A $\lambda = h/p$ de Broglie-hullámhossz meghatározásánál a klasszikus mechanika, illetve relativisztikus mechanika szerint számolt hullámhosszak annyiban térnek el, hogy az egyiknél a lendületet klasszikusan, a másiknál relativisztikusan kell meghatározni a részecske mozgási energiájából

$$E_m = 25\ \mathrm{keV} = 25 \cdot 10^{3} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{J} = 40 \cdot 10^{-16}\ \mathrm{J} = 4 \cdot 10^{-15}\ \mathrm{J}.$$

Klasszikus esetben:

$$p_k = \sqrt{2 m_0 E_m},$$

ahol E_m a részecske mozgási energiája, m_0 pedig a (nyugalmi) tömege. Innen

$$\lambda_k = \frac{h}{\sqrt{2 m_0 E_m}}.$$

Relativisztikus esetben

$$E_m = \sqrt{p^2 c^2 + \left(m_0 c^2\right)^2} - m_0 c^2,$$

amiből a lendület relativisztikus kifejezése:

$$p_r = \frac{1}{c}\sqrt{E_m\left(E_m + 2m_0 c^2\right)}\ .$$

Ennek alapján a de Broglie-hullámhossz:

$$\lambda_r = \frac{h\,c}{\sqrt{E_m\left(E_m + 2m_0 c^2\right)}}.$$

Így a hullámhosszra kapott két kifejezés relatív eltérése:

$$s = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_r} = \frac{\lambda_k - \lambda_r}{\lambda_r} = \frac{\lambda_k}{\lambda_r} - 1 = \frac{\sqrt{E_m\left(E_m + 2m_0 c^2\right)}}{\sqrt{2m_0 c^2 E_m}} - 1 = \sqrt{1 + \frac{E_m}{2m_0 c^2}} - 1.$$

Ennek értéke elektron esetében:

$$\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)_e = \sqrt{1 + \frac{4\cdot 10^{-15}}{2\cdot 9\cdot 10^{-31}\cdot 9\cdot 10^{16}}} - 1 = 0{,}0123 = 1{,}23\%.$$

Neutron esetében pedig:

$$\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)_n = \sqrt{1 + \frac{4\cdot 10^{-15}}{2\cdot 1{,}67\cdot 10^{-27}\cdot 9\cdot 10^{16}}} - 1 = 6{,}7\cdot 10^{-6} = 0{,}00067\%.$$

Megjegyzés: Kis eltérések esetén, ha $E_m \ll 2m_0c^2$ alkalmazhatjuk a

$$\sqrt{1 + \frac{E_m}{2m_0 c^2}} - 1 \approx 1 + \frac{1}{4}\frac{E_m}{m_0 c^2} - 1 = \frac{E}{4m_0 c^2}$$

közelítést, amelyből kiolvashatjuk, hogy a relatív eltérés a részecske mozgási és nyugalmi energiája hányadosának 1/4-e.

8. feladat megoldása

A reaktor belsejében keletkezhetnek radioaktív izotópok (aktivációs termékek), amelyek a hűtővízbe kerülhetnek. Ha lefelé kering a hűtővíz, akkor mire a víz körbeér, és ismét a felszínre kerül, addigra a rövid felezési idejű aktivációs termékek elbomlanak, így a környezetet érő sugárterhelés csökkenthető. Az energiatermelő reaktorokban a hűtővíz hermetikusan el van zárva a környezettől, így ez nem tervezési szempont.

9. feladat megoldása

a) Első lépésben meghatározzuk, hogy a Napban az adott energiatermelési szakaszban összesen hány p-p ciklus zajlott le. Ehhez a kisugárzott teljes energia és a ciklus nettó energiájának hányadosát kell venni:

$$N_{pp} = \frac{tL}{\Delta E} = \frac{7\cdot 10^9 \cdot 365\cdot 24\cdot 3600\ \mathrm{s}\ \cdot\ 3{,}86\cdot 10^{26}\ \mathrm{W}}{1{,}602\cdot 10^{-19}\cdot 26\cdot 10^6\ \mathrm{J}} = 2{,}046\cdot 10^{55}.$$

Egy p-p ciklusban 4 proton vesz rész, ezért a folyamat során összesen $4\cdot N_{pp} = 8{,}183\cdot 10^{55}$ proton fogyott el. Mivel a Nap kezdeti protontartalmának mindössze 10%-a vett részt az energiatermelésben, a kezdeti teljes protonszám:

$$N = \frac{8{,}183\cdot 10^{55}}{0{,}1} = 8{,}183\cdot 10^{56}.$$

b) A protonok teljes tömege:

$$M_p = 8{,}183\cdot 10^{56}\cdot 1{,}672\cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg} = 1{,}37\cdot 10^{30}\ \mathrm{kg}.$$

Mivel a protonok a Nap tömegének csak 75%-át tették ki, ezért a Nap kezdeti tömege:

$$M_N = \frac{1{,}37\cdot 10^{30}\ \mathrm{kg}}{0{,}75} = 1{,}82\cdot 10^{30}\ \mathrm{kg}.$$

c) 7 milliárd év alatt kisugárzott teljes energia:

$$N_{pp}\cdot 26\ \mathrm{MeV} = 2{,}046\cdot 10^{55}\cdot 1{,}602\cdot 10^{-19}\cdot 26\cdot 10^6\ \mathrm{J} = 8{,}5\cdot 10^{43}\ \mathrm{J}.$$

Ennek megfelelő tömeg:

$$\Delta M = \frac{E}{c^2} = \frac{8{,}522\cdot 10^{43}\ \mathrm{J}}{9\cdot 10^{16}\ \mathrm{m^2/s^2}} = 9{,}47\cdot 10^{26}\ \mathrm{kg}.$$

Megjegyzések: 1. Ez ugyan óriási tömeg (körülbelül százötvenszer akkora, mint a Föld tömege), de a Nap kezdeti tömegének mindössze 0,05%-a.

2. Az irodalomban megtalálható (Particle Physics Booklet, 2004) naptömeg: $1{,}98844(30)\cdot 10^{30}$ kg. Látható, hogy ezzel az egyszerű gondolatmenettel is már nagyságrendileg jó eredményt kapunk.

10. feladat megoldása

a) Egy kapszula térfogata:

$$V = \frac{4r^3\pi}{3} = \frac{4\cdot\left(5\cdot 10^{-4}\ \mathrm{m}\right)^3\cdot\pi}{3} = 5{,}2\cdot 10^{-10}\ \mathrm{m}^3.$$

Ennek fele D-T keverék. A kapszulában lévő D-T tömege:

$$m = \rho\, V = 1000\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2{,}6 \cdot 10^{-10}\ \text{m}^3 = 2{,}6 \cdot 10^{-7}\ \text{kg}.$$

Ennek 30%-a vesz részt a reakcióban, ezért a reakcióban résztvevő tömeg: $7{,}8 \cdot 10^{-8}$ kg. Egy D-T „pár” moláris tömege 5 g/mol ezért

$$N = \frac{7{,}8 \cdot 10^{-5}\ \text{g}}{5\ \dfrac{\text{g}}{\text{mol}}} \cdot 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} = 9{,}36 \cdot 10^{18}$$

részecskepár van egy üzemanyag-golyócskában. Így egyetlen kapszulából felszabaduló energia:

$$E = 9{,}36 \cdot 10^{18} \cdot 17{,}62\ \text{MeV} = 26{,}4\ \text{MJ}.$$

Innen a „mikrorobbanások” gyakorisága:

$$f = \frac{10^9\ \dfrac{\text{J}}{\text{s}}}{26{,}4 \cdot 10^6\ \text{J}} = 38\ \text{Hz}.$$

b) A fúzióban felszabaduló energia jelentős részét (körülbelül 80%-át) a neutronok viszik el. Bár a neutronok nagy részét a reaktort körülvevő köpenyben befogják, egy részük mégis kiszökhet a reaktorból. Az ezek által elvitt energia nyilván nem hasznosítható, csökkenti az energiamérleget. Másrészt azonban a köpenyben befogott neutronok nemcsak a mozgási energiájukat adják le, hanem további magreakciókat is létrehozhatnak, amelyek további (esetleg hasznosítható) energiaforrást jelenthetnek. Ez viszont növelheti a megtermelt energiát.

c) A rektorkamra falán egy év alatt képződő lerakódás vastagságának kiszámításához először határozzuk meg az 1 éves folyamatos üzemelésnél létrejött robbanások számát:

$$N_r = 38\ 1/\text{s} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365\ \text{s} = 1{,}2 \cdot 10^9.$$

Mivel a kapszulák térfogatának fele rakódik le az R = 5 m sugarú, gömb alakú reaktortartály felszínére, ezért felírhatjuk:

$$d\, 4\pi\, R^2 = 1{,}2 \cdot 10^9 \cdot \frac{V}{2} = 1{,}2 \cdot 10^9 \cdot 2{,}6 \cdot 10^{-10}\ \text{m}^3 = 0{,}312\ \text{m}^3.$$

Ebből

$$d = \frac{0{,}312\ \text{m}^3}{4\pi \cdot 5^2\ \text{m}^2} \approx 10^{-3}\ \text{m} = 1\ \text{mm}.$$

A döntő feladatainak megoldása

ELMÉLETI FELADATOK MEGOLDÁSA

I. kategória

1. feladat megoldása

a) A szilícium félvezető szilárdtest, így elektronjainak energiája sávokba rendeződik. A vegyértéksáv telítve van, és a vezetési sávban lévő első üres állapot eléréséhez legalább 0,18 aJ ($1{,}8 \cdot 10^{-19}$ J) energia befektetése szükséges. A látható fény fotonjainak energiája ennél nagyobb, ezért a szilícium el tudja nyelni a látható fényt, azaz sötét színű. Az infravörös fotonok energiája azonban kisebb, megközelítőleg $2 \cdot 10^{-22}$ J és $8 \cdot 10^{-20}$ J között van. Így ezen fotonok az energiája nem elég a szilícium vegyértéksávjában lévő elektronok gerjesztéséhez. Emiatt az infravörös fény számára a szilícium átlátszó.

b) A szigetelőréteg maga nem látható, de mérete (vastagsága) összemérhető a látható fény hullámhosszúságával. Így a réteg tetejéről és aljáról visszaverődő hullámok egymással interferálnak, és attól függően, hogy milyen irányból tekintünk a rétegre, más-más színt láthatunk, amelyet az adott irányban érvényes erősítés hoz létre.

2. feladat megoldása

A körpályán mozgó protonok számára a centripetális erőt a mágneses Lorentz-erő szolgáltatja:

$$\frac{m v^2}{R} = B Q v,$$

ebből a protonok $p = m v$ impulzusára kapjuk

$$p = B Q R.$$

Az E relativisztikus teljes energiájuk pedig:

$$E = \sqrt{p^2 c^2 + \left(m_0 c^2\right)^2}.$$

A kifejezésbe p fenti alakját belyettesítve kapjuk, hogy

$$E = \sqrt{(B Q R)^2 c^2 + \left(m_0 c^2\right)^2} = m_0 c^2 \sqrt{\left(\frac{B Q R}{m_0 c}\right)^2 + 1}.$$

A mozgási energia kifejezése pedig:

$$E_{kin} = E - m_0 c^2 = m_0 c^2 \left[\sqrt{\left(\frac{B\,Q\,R}{m_0\,c} \right)^2 + 1} - 1 \right].$$

Az adatokat behelyettesítve megkapjuk a mozgási energia keresett értékét:

$$E_{kin} = E_0 \left(\sqrt{\frac{3 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{Vsm^{-2}} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C} \cdot 6{,}37 \cdot 10^{6}\ \mathrm{m}}{1{,}6 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg} \cdot 3 \cdot 10^{8}\ \mathrm{ms^{-1}}} + 1} - 1 \right) =$$

$$= 9{,}02 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{J} = 56{,}4\ \mathrm{GeV}.$$

ahol $E_0 = m_0 c^2 = 1{,}6 \cdot 10^{-27}$ kg $\cdot\ 9 \cdot 10^{16}$ (m/s)^2 $= 1{,}44 \cdot 10^{-10}$ J a proton nyugalmi energiája.

A sebességet pedig az

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m_0 c^2 \sqrt{\left(\frac{B\,Q\,R}{m_0\,c} \right)^2 + 1}$$

összefüggésből kaphatjuk meg. Átrendezve

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{B\,Q\,R}{m_0\,c} \right)^2},$$

amiből

$$v = c \sqrt{1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{B\,Q\,R}{m_0\,c} \right)^2}}.$$

Behelyettesítve és $3 \cdot 10^8$ m/s fénysebességet használva, a felgyorsított protonok sebessége

$$v = 2{,}99963 \cdot 10^{8}\ \mathrm{m/s}.$$

3. feladat megoldása

A reaktor „xenonmérgezést” szenvedett. A reaktorban hasadási termékként sokféle izotóp, köztük ^{135}Xe (xenon) és ^{135}I (jód) is keletkezik. A xenon más úton is szaporodik, mert a ^{135}I izotóp is xenonná alakul körülbelül 6 és fél órás felezési idővel. A következő bomlási folyamatok mennek végbe:

$$^{135}\mathrm{Te} \rightarrow {}^{135}\mathrm{I} \rightarrow {}^{135}\mathrm{Xe} \rightarrow {}^{135}\mathrm{Cs} \rightarrow {}^{135}\mathrm{Ba}.$$

A xenon nagyon jó neutronelnyelő anyag, mivel egy neutron elnyelésével mágikus neutronszám alakul ki benne (a neutronok száma ugyanis 135 – 54 = 81 és a 82 mágikus szám).

A felszaporodott, jó neutronelnyelő ^{135}Xe a reaktorban elnyeli a neutronokat („lemérgezi" a reaktort). Így a reaktor leáll, ha a tervezéskor nem veszik figyelembe ezt az effektust, és nem eleve olyanra tervezik, hogy a szabályozó rudakkal ezt ki lehessen kompenzálni. A leállt reaktorban a ^{135}I-ból egy ideig több ^{135}Xe keletkezik, mint amennyi a 9,2 órás felezési idővel történő radioaktív bomlása miatt fogy, így a ^{135}Xe mennyisége egy ideig tovább nő. Néhány óra múlva azonban a jódizotóp már eléggé elfogy ahhoz, hogy kevesebb ^{135}Xe keletkezzen belőle, mint amennyi a ^{135}Xe radioaktív bomlása miatt fogy. Emiatt a ^{135}Xe mennyisége is csökkenni kezd, és egy idő után már annyira lecsökken (a „mérgezés" megszűnik), hogy a reaktor spontán újra tud indulni. Ilyenkor az újraindulás veszélyes folyamat is lehet, hiszen az újra elindult reaktor a neutronok révén elkezdi fogyasztani a ^{135}Xe-t ($^{135}\mathrm{Xe}+n \rightarrow {}^{136}\mathrm{Xe}$), s ez tovább segíti az induló láncreakciót (pozitív visszacsatolás).

4. feladat megoldása

A relativisztikus tömegnövekedés első „bizonyítéka". Ezt Einstein csak 1905-ben fedezte fel, cikke 1905. szeptember 27-én érkezett az *Annalen der Physik* szerkesztőségébe. A megjelenés dátuma: 1906.

5. feladat megoldása

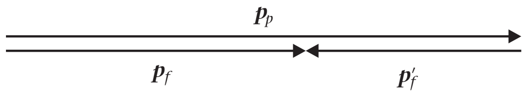
A fotonok frontális ütközés során adják le a legnagyobb energiát a paraffinban állónak tekintett protonoknak. Az ütközés lendület- és energiamegmaradás egyenletei (lásd az *ábrát!*):

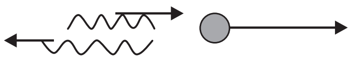
$$\frac{h}{\lambda} = p_p - \frac{h}{\lambda'}, \tag{1}$$

$$\frac{h\,c}{\lambda} = E_p + \frac{h\,c}{\lambda'}, \tag{2}$$

ahol p_p és E_p a meglökött proton lendülete, illetve mozgási energiája. A λ és λ' pedig a beérkező, illetve visszapattanó foton hullámhossza. Az (1) egyenletet c-vel beszorozva, majd az (1), (2) egyenletet összeadva kapjuk:

$$2\,\frac{h\,c}{\lambda} = c\,p_p + E_p.$$





A proton lendülete:

$$p_p = \sqrt{2 m_p E_p}\,,$$

így a gamma-foton energiája

$$E_f = \frac{1}{2}\left(c\sqrt{2 m_p E_p} + E_p\right) = \frac{1}{2}\left(\sqrt{2 m_p c^2 E_p} + E_p\right) =$$

$$= \frac{1}{2}\left(\sqrt{2 \cdot 938 \text{ MeV} \cdot 5{,}7 \text{ MeV}} + 5{,}7 \text{ MeV}\right) = 54{,}5 \text{ MeV}.$$

Megjegyzés: A kinetikus energiára jogosan alkalmazhatjuk a klasszikus formulát, mivel értéke kisebb a proton nyugalmi energiájának 1%-nál, így a tömegnövekedést a hibahatáron belül elhanyagolhatjuk.

b) Mivel a neutronok tömege közel akkora, mint a protonoké, ezért rugalmas, egyenes ütközéskor a teljes mozgási energiájukat át tudják adni, azaz a neutronok energiája is 5,7 MeV.

c) A magreakció egyenlete:

$${}^{4}_{2}\text{He} + {}^{9}_{4}\text{Be} \rightarrow {}^{12}_{6}\text{C} + n.$$

6. feladat megoldása

Legyen a detektált foton relatív energiacsökkenése

$$x = \frac{\Delta E_{grav}}{E_\gamma},$$

effektív tömege

$$m_{eff} = \frac{E}{c^2}.$$

A gravitációs vöröseltolódást felhasználhatjuk, ha függőlegesen d távolságra tesszük egymástól a forrást és a detektort. Ekkor a foton energiacsökkenése

$$\Delta E_{grav} = m_{eff}\, g\, d.$$

A relatív energiacsökkenés pedig:

$$x = \frac{m_{eff}\, g\, d}{m_{eff}\, c^2} = \frac{g\, d}{c^2}.$$

A $g = 10$ m/s^2 és $c = 3 \cdot 10^8$ m/s értékeket behelyettesítve kapjuk:

$$x = \frac{1}{9} \cdot 10^{-15} \cdot d \, \frac{1}{\mathrm{m}}.$$

Vagyis a relatív energiacsökkenés egyenesen arányos a *d* magasságkülönbséggel. Minél nagyobb a *d,* annál könnyebb lesz a megfelelő pontosságot elérni. A lehetséges legnagyobb *d* távolságot a megadott legkisebb beütésszámból kaphatjuk meg, felhasználva az $1/r^2$-tel való arányosságot:

$$\frac{1 \, \frac{1}{\mathrm{s}}}{10^9 \, \frac{1}{\mathrm{s}}} = \frac{1 \ \mathrm{cm}^2}{4\pi \, d_{\max}^2}.$$

Ebből tehát

$$d_{\max} = \sqrt{\frac{10^9}{4\pi}} \ \mathrm{cm} = 8920 \ \mathrm{cm} = 89{,}2 \ \mathrm{m}.$$

Így a szükséges mérési pontosság:

$$x = \frac{89{,}2 \ \mathrm{m}}{9} \cdot 10^{-15} \, \frac{1}{\mathrm{m}} = 9{,}91 \cdot 10^{-15} \approx 10^{-12}\%.$$

Megjegyzés: Ez igen nagy mérési pontosságot jelent. Például MeV nagyságrendű fotonenergia esetén 0,01 μeV mérési pontosság a követelmény.

7. feladat megoldása

A vöröseltolódás (mint Doppler-effektus) alapján a távolodás sebességét a következő összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c},$$

ahol v a távolodás sebessége, c a fénysebesség, λ_0 a kibocsátott fény hullámhossza, $\Delta\lambda$ a hullámhossz eltolódása $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$, ahol λ a Földön mért hullámhossz. Adatokat a fenti összefüggésbe helyettesítve kapjuk:

$$\frac{780 \ \mathrm{nm} - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{1{,}2 \cdot 10^7 \ \mathrm{m/s}}{3 \cdot 10^8 \ \mathrm{m/s}} = 0{,}04.$$

Ebből a csillag felszínén a maximális intenzitáshoz tartozó hullámhossz-érték $\lambda_{max} = \lambda_0$ =750 nm. A Wien-féle eltolódási törvény szerint:

$$\lambda_{max} T = 2{,}89 \cdot 10^6 \text{ nm K}.$$

Ebből a távoldó csillag felszíni hőmérséklete:

$$T = \frac{2{,}89 \cdot 10^6}{7{,}5 \cdot 10^2} \approx 3853 \text{ K}.$$

8. feladat megoldása

A természetben található utolsó „befejezett” periódus (a hatodik periódus) a 86 rendszámú radonnal ér véget. A periódus kezdete, $_{55}$Cs és a vége, $_{86}$Rn között $86 - 55 + 1 = 32$ hely van (azért kell +1-et venni, mert az első és az utolsó elem is benne van a periódusban). Ez a következőképpen töltődik be elektronokkal:

s-mező	2 elektron
f-mező (lantanoidák)	14 elektron
d-mező	10 elektron
p-mező	6 elektron

A hetedik periódus a $_{87}$Fr-mal kezdődik. A lantanoidák helyére itt az aktinoidák lépnek. A 92 rendszámú urán az aktinoidák egyik tagja. Ha az elektronpályák ugyanolyan sorrendben töltődnek fel, mint az előző periódusban, akkor ennek a periódusnak a végén éppen a $87 + 32 - 1 = 118$ rendszámú elem áll. Az unonoctium tehát kémiai szempontból nemesgáz lenne. Normál állapotban valószínűleg gáz halmazállapotú, és kémiai szempontból nem reakcióképes. Kémiai viselkedésében a radonhoz hasonlítana leginkább.

9. feladat megoldása

A katódból kilépő elektronok gyorsulnak a csőben, eközben ütköznek a Hg atomokkal. Amíg a Hg atomok nem gerjesztődnek, addig az ütközések rugalmasak. Ekkor az elektronok lényegében nem veszítenek energiát (mivel a Hg atomok körülbelül 400 ezerszer nagyobb tömegűek, így azokról az elektronok energiaveszteség nélkül „pattanak le”). Amikor azonban a gyorsító feszültség növelésével az elektronok mozgási energiája eléri a Hg atomok gerjesztési energiáját, akkor az ütközések hirtelen rugalmatlanná válnak: ekkor a Hg atomok energiát vesznek fel, az elektronok pedig az ütközés során energiájuk nagy részét elveszítik. Ez először 4,9 V gyorsító feszültségnél, a rács közelében (a gyorsító tér végén) következik be. Az energiájukat veszített elektronok már nem tudnak áthaladni a 0,5 V-os „fékező" téren, emiatt az anódáram jelentősen visszaesik.

Ahogy tovább növeljük a gyorsító feszültséget, az elektronok a rácstól egyre távolabb (katódhoz közelebb) érik el gerjesztéshez szükséges a 4,9 eV energiát, így az energiaveszteséggel járó gerjesztések helye a katód felé tolódik el. Ez lehetővé teszi, hogy az elektronok a gyorsítótérben a rácsig ismét felgyorsuljanak és leküzdjék az ellenteret (ekkor az anódáram erőssége nő). Amikor a gyorsító feszültség $2 \cdot 4{,}9\ \mathrm{V} = 9{,}8\ \mathrm{V}$ lesz, az elektronok másodszor is elérik a 4,9 eV-os energiát (a rács közelében), és emiatt az anódáram ismét visszaesik. Ugyanez ismétlődik meg $3 \cdot 4{,}9\mathrm{V} = 14{,}7\ \mathrm{V}$ gyorsítófeszültségnél.

10. feladat megoldása

a) A gömböcskében lévő trícium atommagok tömegaránya: 3/5. azaz a trícium tömege 90 μg. Ebben a trícium atommagok száma

$$\frac{90 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{g}}{3\ \dfrac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} \cdot 6 \cdot 10^{23}\ \frac{1}{\mathrm{mol}} = 18 \cdot 10^{18}.$$

A trícium felezési ideje:

$$T = 12{,}33 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600\ \mathrm{s} \approx 3{,}9 \cdot 10^{8}\ \mathrm{s}.$$

Így az üzemanyag-gömböcske aktivitása:

$$A = N\frac{\ln 2}{T} = \frac{18 \cdot 10^{18} \cdot 0{,}693}{3{,}9 \cdot 10^{8}\ \mathrm{s}} = 3{,}2 \cdot 10^{10}\ \frac{1}{\mathrm{s}} = 32\ \mathrm{GBq}.$$

b) A nyomás: $p = F/A$, a kifejtett erő viszont az időegység alatt átadott lendületből számítható. Akkor kapunk maximális fénynyomást, ha minden foton visszaverődik a felületről, mert ekkor minden foton $2q$ lendületet ad át (itt q egyetlen foton lendülete). Mivel minden foton lendületének abszolút értéke $= E/c$, ezért a teljes nyaláb lendülete is így számítható, csak itt E a teljes nyaláb energiája. Ennek kétszerese adódik át $\Delta t = 1$ ns alatt, tehát a gömböcske felszínére ható erő:

$$F = \frac{2E}{c\,\Delta t} = \frac{3{,}6 \cdot 10^{6}\ \mathrm{J}}{3 \cdot 10^{8}\ \dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \cdot 1 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{s}} = 1{,}2 \cdot 10^{7}\ \mathrm{N}.$$

A gömböcske felszíne:

$$A = 4\pi R^2 = 12{,}56 \cdot \left(10^{-3}\right)^2 = 1{,}26 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{m}^2.$$

Így a maximális fénynyomás:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{1{,}2 \cdot 10^{7}\ \text{N}}{1{,}26 \cdot 10^{-5}\ \text{m}^2} \approx 10^{12}\ \text{Pa} = 10^{7}\ \text{bar}.$$

c) A fúziós reakció: ${}^{2}_{1}\text{H} + {}^{3}_{1}\text{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\text{He} + n,$ azaz minden reakcióban egy neutron keletkezik. Mivel a fúziós reakciókban 18 MJ energia szabadul fel, emiatt

$$N = \frac{18 \cdot 10^{6}\ \text{J}}{17{,}6 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-13}\ \text{J}} = 6{,}4 \cdot 10^{18}$$

neutron keletkezik.

II. kategória 9–10. feladatának megoldása

9. feladat megoldása

Az állítás igaz, legalábbis közép és hosszú távon, amíg a biomassza felhasználása ésszerű korlátok között marad. A biomassza ugyanis a növények által rövid távon megkötött széndioxidot juttatja vissza a légkörbe, szemben a fosszilis tüzelőanyagok által visszajuttatott széndioxiddal, amely évmilliók során gyűlt össze. Természetesen, ha ezt is túlzásba vinnénk (például az összes erdőt és növényt eltüzelnénk), akkor felborulna az egyensúly, mert megszűnne a légkörből a széndioxid kivonása, és az egyensúlyi mennyiségnél jóval több széndioxidot juttatnánk vissza, ha az egész növényzetet (vagy annak nagy részét) hirtelen elégetnénk.

10. feladat megoldása

a) A H-atom energiaszintjeit az *ábra* mutatja. Az energiaszintek közötti elektronátmeneteknek megfelelően hat vonal jelenik meg a színképben. A fotonok energiái:

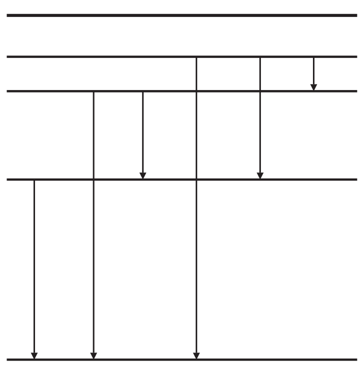
$$E_{mn} = E_m - E_n = \left|E_0\right| \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

ahol $E_0 = -2{,}2$ aJ a H-atom alapállapoti energiája. Ebből a kibocsátott fotonok energiái:

$$E_{10} = 1{,}65\ \text{aJ}, \quad E_{20} = 1{,}94\ \text{aJ}, \quad E_{21} = 0{,}29\ \text{aJ},$$

$$E_{30} = 2{,}06\ \text{aJ}, \quad E_{31} = 0{,}4125\ \text{aJ}, \quad E_{32} = 0{,}1225\ \text{aJ}.$$

Mivel a látható fény tartományába eső fotonok energiája: 0,22–0,48 aJ, ezért ebbe a tartományba két vonal esik: $E_{21} = 0{,}29$ aJ és a $E_{31} = 0{,}4125$ aJ energiájú fotonok színképvonala.



b) Az E_{31} energiájú foton által kiváltott fotoeffektus egyenlete:

$$h f = W_{ki} + \frac{1}{2} m v^2,$$

másrészt

$$\frac{1}{2} m v^2 = e U_z,$$

ahol U_z a zárófeszültség és W_{ki} = 0,3 aJ a kilépési munka.

$$U_z = \frac{h f - W_{ki}}{e} = \frac{1{,}125 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{J}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C}} \approx 0{,}7\ \mathrm{V}.$$

A 12. verseny döntőjének eredménye

I. kategória (11–12. évfolyam)

1. helyezést ért el ***Lovas Lia Izabella,*** a Leőwey Klára Gimnázium, Pécs tanulója, felkészítő tanára Simon Péter, 83 pontos eredménnyel,
2. ***Balogh Máté*** (Fazekas M. Főv. Gyak. Gimn., Budapest, Horváth Gábor, 75),
3. ***Lajtai Gergő*** (Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg, Pálovics Róbert, 74),
4. *Deák Zsolt* (Verseghy F. Gimn., Szolnok, Szécsiné Festő-Hegedűs Margit, Veres Dénes, 73),
5. *Molnár Imre* (Batthány K. Gimn., Szigetszentmiklós, Bülgözdi László, 69),
6. *Almády Balázs* (Eötvös J. Gimn., Tata, Szeideman Ákos, 68),
6. *Kovács Máté* (SZTE Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged, Dr. Kovács László, 68),
8. *Siska Veronika* (ELTE Trefort Á. Gyak. Isk., Budapest, Chikán Éva, 65),
9. *Kramer Zsolt* (Leőwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter, 60),
9. *Tiborcz Lívia* (Eötvös J. Gimn., Tata, Szeideman Ákos, 60),
11. *Pásztor Ádám* (Verseghy F. Gimn., Szolnok, Pécsi István, 54),

11. *Simon Károly András* (SZTE Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged, Dr. Kovács László, 54),
13. *Farkas Márton* (Fazekas M. Főv. Gyak. Gimn., Budapest, Horváth Gábor, 53),
14. *Török Csaba* (Berze Nagy J. Gimn., Gyöngyös, Kiss Miklós, 46),
14. *Zsolczai Viktor* (Verseghy F. Gimn., Szolnok, Pécsi István, 46),
16. *Harstein Máté* (Leőwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter, 45),
17. *Gilicze Barnabás* (Bethlen G. Református Gimn., Hódmezővásárhely, Nagy Tibor, 44),
18. *Eszes Dávid* (Batthány K. Gimn., Szigetszentmiklós, Bülgözdi László, 43),
19. *Német Nikolett* (Eötvös J. Gimn., Tata, Szeideman Ákos, 40).

II. kategória (9–10. évfolyam)

1. helyezést ért el ***Varga Ádám,*** SZTE Ságvári Endre Gyakorló Gimnázium, Szeged tanulója, felkészítő tanára Kovács László, 76 pontos eredménnyel,
2. ***Budai Ádám*** (Földes F. Gimn., Miskolc, Bíró István, 47),
2. ***Garaguly Gergő*** (Verseghy F. Gimn., Szolnok, Pécsi István, 47),
4. *Vécsey Máté* (Verseghy F. Gimn., Szolnok, Pécsi István, 38),
5. *Kovács Márk* (Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg, Pálovics Róbert, 34),
6. *Balogh Beáta* (Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg, Kovács Tibor, 33),
7. *Kovács Benjamin* (Leőwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter, 32),
8. *Weiner Zoltán* (Batthány K. Gimn., Szigetszentmiklós, Bülgözdi László, 27),
9. *Tamási Mátyás* (Vajda J. Gimn., Keszthely, Farkas László, 23),
10. *Katona Attila* (Batthány K. Gimn., Szigetszentmiklós, Bülgözdi László, 22).

13. Országos Szilárd Leó Fizikaverseny, 2010

Az 1. forduló feladatai[1]

1. feladat
Szilárd Leó életrajzi totó.

	kérdés	1	2	X
1	Hányadik lett 18 éves korában az Eötvös Loránd Matematikai Tanulmányi Versenyen?	első	második	harmadik
2	Mikor hagyta el Európát?	1933	1938	1939
3	Mi volt Einsteinnel közös szabadalma?	mágneses hűtőszekrény	kemosztát	ciklotron elv
4	A hidegháború idején, 1947-ben, a megegyezés érdekében híressé vált levelet írt egy ország háborús vezetőjének. Kinek?	Truman	Churchill	Sztálin
5	Küzdött egy európai- és egy Közel-keleti atomfegyvermentes övezet létrehozásáért. Ezért mondta rá Klein György:	„…maga volt a világ lelkiismerete…”	„…minden elismerést megérdemel…”	„…nincs nála erre alkalmasabb ember…”

2. feladat
Ernest Rutherford 1911-ben alkotta meg az atomok Naprendszer-modelljét.

a) Miért helyes, illetve miért helytelen úgy elképzelni, hogy az elektronok az atommag körül ahhoz hasonlóan keringenek, mint a bolygók a Nap körül?

b) Milyen jelenségeket lehet jól leírni a modellel, és melyeket nem?

3. feladat
A gadolínium ezüstös színű, lágy nehézfém. Egyes izotópjai nagyon jó neutronelnyelők, így ha atomreaktorba kerül, akkor – a xenonhoz hason-

[1] Az első fordulót 2010. március 1-jén tartották. Minden feladat helyes megoldása 5 pontot ér. A feladatokat tetszőleges sorrendben lehet megoldani. A megoldáshoz bármilyen segédeszköz használható. Rendelkezésre álló idő: 180 perc.

lóan – reaktorméreg. Mivel a ^{157}Gd atommagok neutronfelvétel után olyan izotóppá alakulnak, amelyek már nem nagyon jó neutronelnyelők, ezért egy idő után elfogynak a neutronelnyelésre alkalmas atommagok. Emiatt a gadolíniumot *kiégő méregnek* nevezik. Abban viszont különbözik a xenontól, hogy a reaktor leállása után nem szaporodik. Az atomreaktorok teljesítménynövelése és az üzemanyagciklus meghosszabbítása érdekében az eddigi 3,82%-os dúsítású kazetták közé 4,2%-os dúsításúakat is helyeznek.

Miért célszerű ilyenkor a reaktorba gadolíniumot is juttatni?

4. feladat

Az újságokban a következő hír jelent meg:

„Az ELTE és a KFKI RMKI három kutatóját érte az a megtiszteltetés, hogy először publikálhattak 2,36 teraelektronvolton történt ütközéseket. A rekord energiaszintet a CERN gyorsítójában, az LHC-ben állították elő, ahol még magasabb energián fogják keresni a rejtélyes Higgs-bozont. A részecskevadászatban jól jönnek majd a magyarok mérései.”

A három magyar tudós név szerint: Siklér Ferenc, Veres Gábor és Krajczár Krisztián.

A nyugalmi tömegük hányszorosára nőtt az ütközésben résztvevő, felgyorsított protonok tömege?

5. feladat

Becsüljük meg Magyarország összes lakásában lévő radongáz tömegét! Mekkora lenne e gázmennyiség térfogata normálállapotban?

Adatok: A ^{222}Rn felezési ideje T_f = 3,8 nap. A lakások légterének átlagos (radonból származó) aktivitása 50 Bq/m^3. A lakások számát vegyük 4 milliónak, az átlagos térfogatot pedig V = 60 m^2 · 3 m = 180 m^3-nek.

6. feladat

A Nap $3{,}92 \cdot 10^{26}$ W teljesítménnyel sugároz.

a) Mekkora tömeget veszít másodpercenként a sugárzása következtében?

b) Egy átlagos emberi élet 75 év. Tömegének hányad részét veszíti el ez alatt a Nap?

c) Hova lesz a Nap tömegvesztesége?

7. feladat

A Balatonon idén a jég átlagosan 14 cm vastagságúra „hízott”.

a) Mennyi idő alatt tudja ezt a Nap megolvasztani, ha a Nap változó sugárzási intenzitását úgy közelítjük, mintha naponta 6 órán keresztül 30°-kal járna a horizont felett, és a sugárzás 90%-a visszaverődik a jégről?

b) Becsüljük meg, hogy mekkora tömegű hidrogén fúziója szolgáltatna ennyi energiát a Napban végbemenő fúziós folyamat során!

Adatok: a Balaton területe 595 km^2, a jég hőmérsékletét vegyük mindenütt 0 °C-nak. A Föld felszínére érkező napsugár teljesítménye derült időben, merőleges beesésnél: 600 W/m^2. Az energiatermelő magfúziós folyamat (több közbeeső lépcsőn keresztül): $4\,{}^1_1\mathrm{H} \rightarrow {}^4_2\mathrm{He}$. $m_\mathrm{H} = 1{,}673 \cdot 10^{-27}$ kg, $m_\mathrm{He} = 6{,}647 \cdot 10^{-27}$ kg.

8. feladat

Egy 500 nm hullámhosszúságú monokromatikus fényt a tér minden irányába egyenletesen kibocsátó, pontszerűnek tekinthető fényforrás teljesítménye 20 mW.

a) Hány foton érkezhet be ebből a 2 km távolságban álló megfigyelő – 2 mm átmérőjű pupilláján át – szemébe?

b) Szabad szemmel legfeljebb milyen messziről lehet ezt a fényforrást még éppen észlelni, ha tudjuk, hogy egy sötéthez szoktatott szem retinája már képes érzékelni a másodpercenként körülbelül 30 foton beesését?

9. feladat

Egy kobalt-60 γ-forrás aktivitása 925 kBq. A Geiger–Müller-számlálóval másodpercenként 160 darab beütést tudunk regisztrálni, amikor a forrás és a számláló közé 3,2 mm vastag ólomlemezt helyeznek. A lemez eltávolításakor a beütésszám 280-ra nő másodpercenként.

a) Milyen messze van a 4 cm átmérőjű GM-cső a forrástól, ha a cső a ráeső fotonok 10%-át érzékeli?

b) Milyen vastag ólomlemezt kellene alkalmazni, ha azt szeretnénk, hogy 50%-kal csökkentse a sugárzás intenzitását?

10. feladat

1945. augusztus 6-án Hirosimára 64 kg töltetű atombombát dobtak le.

a) Mi volt az atombomba robbanóanyaga?

b) Megközelítőleg az anyag hány százaléka lépett reakcióba a 15 kt erejű robbanásban?

c) Vajon miért nem hasadt el a teljes robbanóanyag?

d) Adjunk egyszerű magyarázatot arra, hogy miért van szükség egy bizonyos kritikus tömegre az önfenntartó láncreakció létrejöttéhez!

Adatok: 1 kt tömegű hagyományos robbanóanyagból $4{,}184 \cdot 10^{12}$ J energia szabadul fel, az ${}^{235}\mathrm{U}$ atommag neutronokkal kiváltott hasadásakor felszabaduló energia 32 pJ.

Döntő feladatai[2]

ELMÉLETI FELADATOK[3]

I. kategória

1. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

Egy speciális füstérzékelő berendezés a mellékelt *ábrán* látható felépítésű. Az egymástól *d* távolságra helyezett radioaktív forrás és az alfa-detektor közé áramlik be a külső levegő.

a) Vajon ez a berendezés ugyanúgy viselkedik Nápolyban (Olaszország, tengerszint) és La Pazban (Bolívia, 3631 m tengerszint felett)?

b) Ha igen, miért? Ha nem, akkor hogyan korrigálhatjuk a berendezés eltérő viselkedését?

2. feladat (kitűzte: Papp Gergely)

A paksi reaktorok primerköri vízében oldott bórsav található.

a) Mi ennek az oka?

b) Miért tilos a reaktort egy adott értéknél nagyobb bórsav-koncentráció mellett üzemeltetni?

3. feladat (kitűzte: Czifrus Szabolcs)

Egy átlagos ház tömege 100 tonna körül van, az építőanyagokban 10^{-4} tömegszázalék urán található.

a) Becsüljük meg, hogy egy átlagos családi ház falaiban, alapjában, szerkezeteiben összesen mekkora tömegű urán található és ennek mekkora az aktivitása!

b) Van-e ennek valamilyen hatása a bent élő emberekre?

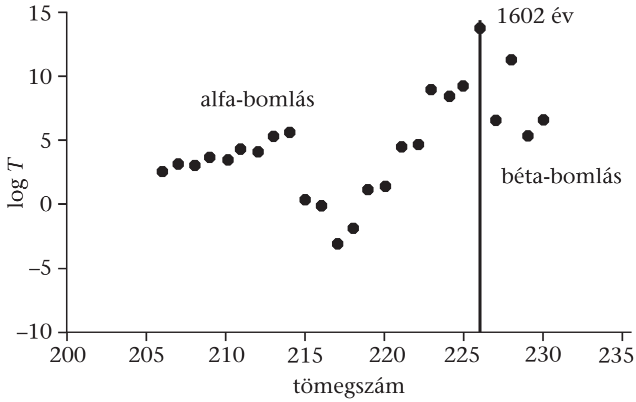
Útmutatás: Elegendő az ^{238}U izotóp aktivitásával számolni, amelynek felezési ideje 4,5 milliárd év.

4. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

A rádium-izotópok felezési időit és domináns bomlás módjaikat az alábbi *ábra* mutatja. (A függőleges tengelyen a ms-ban kifejezett felezési idők logaritmusát ábrázoltuk!) Az *ábrán* látható függőleges vonaltól (A = 226)

[2] A döntőt 2010. április 24-én Pakson tartották.

[3] A feladatok megoldásához 180 perc áll rendelkezésre. Minden segédeszköz használható. Minden feladatot külön lapra írjon, s minden lapon legyen rajta a megoldó kódja. A feladatok NEM nehézségi sorrendben vannak.



jobbra a bomlások leggyakrabban béta-bomlással történnek, a függőleges vonaltól balra pedig alfa-bomlással.

Adjunk magyarázatot a megfigyelhető bomlási módokra, valamint minél több, a felezési időkben megfigyelhető viselkedésre!

5. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

a) Mekkora annak a fotonnak a hullámhossza, amelyiknek energiája egyenlő az elektron nyugalmi energiájával?

Egy ilyen foton nyugvónak tekinthető elektronnal ütközik úgy, hogy az ütközés után eredeti terjedési irányával éppen ellenkező irányban fog mozogni.

b) Mekkora lesz a meglökött elektron sebessége?

c) Hányszorosára nő az elektron tömege?

6. feladat (kitűzte: Kis Dániel)

A neutroncsillagok a legsűrűbb makroszkopikus anyagi objektumok az Univerzumban, felépítésük hasonlatos az atommagéhoz, azonban nagy tömegük miatt – a magerők helyett – a gravitáció tartja egyben az objektumot.

a) Számítsuk ki mekkora az a minimális tömegszám, amelyre éppen kialakulhat kötött állapot, ha feltételezzük, hogy a neutroncsillag csak neutronból áll ($Z = 0$), és nagy tömegszám esetén a felületi tag elhanyagolható!

b) Mekkora az objektum minimális tömege?

Útmutatás: Bővítsük a Weizsäcker-féle energiaformulát egy, az objektum gravitációs energiáját figyelembe vevő taggal:

$$E_g = \frac{3}{5}\gamma\frac{M^2}{R},$$

ahol M az objektum tömege, R a sugara, és γ a gravitációs állandó. A neutron tömegét, a gravitációs állandó értékét, valamint a Weizsäcker-formula együtthatóit vegyük a Függvénytáblázatból!

7. feladat (kitűzte: Kis Dániel)

A speciális relativitáselmélet igazolása kapcsán gyakran hivatkoznak arra a kísérletre, hogy a Föld felszínén is mérhetőek a müonok. Az érvelés úgy szól, hogy az idődilatáció hatása nélkül a $T = 2{,}2 \cdot 10^{-6}$ s felezési idejű részecskék elbomlanának mielőtt a légkörön áthaladnak, tehát nem mérhetnénk őket a felszínen. Vizsgáljuk meg az állítás helyességét! Mérések alapján (1963, Frisch és Smith) tudjuk, hogy a müonok átlagos sebessége $v = 0{,}993c$ ($c = 299\,793$ km/s). Egy másik kísérletnél egy ballonban elhelyezett detektorral 10 000 m magasságban átlagosan 1448 müont mértek egy óra alatt.

a) Mennyi müont mérhetnénk ugyanezzel a detektorral óránként a tengerszinten, ha (i) relativisztikusan, vagy (ii) nem-relativisztikusan kezeljük a problémát?

b) Milyen következtetést vonhatunk le a számítási eredményekből? Hogyan kellene pontosítani a relativitáselmélet igazolására vonatkozó állítást?

8. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

Egy proton-antiproton párt szeretnénk kelteni (az ütköző protonokon kívül), egy felgyorsított proton álló protonba történő ütközésével.

a) Határozzuk meg azt a küszöbenergiát, amely ehhez szükséges!

b) Vajon, ha mindkét protont felgyorsítjuk azonos sebességre, és egymással szemben ütköznek úgy, hogy párt tudjanak kelteni, akkor a felgyorsított protonok összes energiája nagyobb vagy kisebb kell legyen, mint az előző esetben? Indokoljuk meg állításunkat!

9. feladat (kitűzte: Kis Dániel)

Egy ütközőnyalábos gyorsítóban a következő reakció játszódik le: ${}^{2}\mathrm{H} + \mathrm{H} \rightarrow {}^{3}\mathrm{He} + \gamma$. Az ütköző részecskék teljes lendülete nulla (laboratóriumi rendszerben), összes mozgási energiájuk 0,1 MeV, a felszabaduló reakcióenergia pedig 5,5 MeV.

Mekkora a reakcióban keletkezett hélium atommag mozgási energiája, ha a tömege $m({}^{3}\mathrm{He}) = 3{,}016029\ \mathrm{m_u}$.

Az $\mathrm{m_u}$ atomi tömegegység értékét vegyük a Függvénytáblázatból!

10. feladat (kitűzte: Szűcs József)

A ${}^{14}\mathrm{C}$ szénizotóp béta-bomlásánál ${}^{14}\mathrm{C} \rightarrow {}^{14}\mathrm{N} + \beta^{-} + \bar{\nu}$ a kirepülő β-részecske (elektron) energiája $0 \le E_\beta \le 0{,}155$ MeV intervallumba eső értékeket vehet fel, mivel a bomlásnál felszabaduló energián a végállapotban lévő három részecske (a visszalökődő ${}^{14}\mathrm{N}$ mag, a kirepülő elektron és az antineutrínó) véletlenszerűen osztozik.

a) Mekkora a visszalökődő ${}^{14}\mathrm{N}$ mag sebessége és mozgási energiája, ha a β-részecske mozgási energiája maximális?

b) Mekkora sebességgel lökődik vissza a mag akkor, ha a β-részecske energiája nulla?

Adatok: Az antineutrínó nyugalmi tömegét vegyük nullának. A ^{14}N atommag tömegét vegyük kereken 14 m_u atomi tömegegységnek, a többi adatot vegyük a Függvénytáblázatból!

II. kategória 8–10. feladata[4]

8. feladat (kitűzte: Vastagh György)

Tegyük fel, hogy van 5 db atomunk olyan anyagból, amelynek a felezési ideje 3 perc.

Mi a valószínűsége annak, hogy a következő 3 percben az öt atom egyike sem bomlik el?

9. feladat (kitűzte: Mester András)

Radioaktív izotóppal gyilkolták meg 2006-ban A. Litvinyenko orosz ügynököt. Halálát (vélhetően az italával elfogyasztott) radioaktív polónium-210 okozta. Az izotóp igen aktív alfa-bomló, felezési ideje 139 nap. A földkéregben csak radioaktív bomlásból származó ^{210}Po van, amely az ^{238}U bomlási sor tagja.

a) Kinek a nevéhez fűződik az elem felfedezése?

b) Milyen körülmények között veszélyes a $^{210}_{84}$Po, és miért mondják, hogy ellenőrzés esetén szinte lehetetlen kimutatni?

c) Mekkora tömegű ^{238}U aktivitása egyezik meg 1 mg tömegű ^{210}Po aktivitásával?

d) Hány eV egy alfa-részecske energiája, ha 1 g tömegű ^{210}Po 140 W teljesítményű?

Adat: az ^{238}U felezési ideje $4{,}5 \cdot 10^9$ év.

10. feladat (kitűzte: Kis Dániel)

Tekintsük a következő fúziós reakciókat: $^2\mathrm{H} + {}^2\mathrm{H} \rightarrow n + {}^3\mathrm{He}$ és $^2\mathrm{H} + {}^2\mathrm{H} \rightarrow p + {}^3\mathrm{H}$, ezek röviden jelölése $d(d,n)^3$He, illetve $d(d,p)^3$H.

a) Melyik reakció termel több energiát?

b) A második reakcióban nem keletkezik radioaktivitást okozó neutron, ezért ha ezt használnánk, a termonukleáris erőmű alkatrészei nem aktiválódnának fel. Vajon mégis miért a $^2\mathrm{H} + {}^3\mathrm{H} \rightarrow {}^4\mathrm{He} + n$, reakciót (D-T reakciót) kívánják az ITER-ben használni?

Adatok: $m(^1\mathrm{H}) = 1{,}007825\ m_u$, $m(^2\mathrm{H}) = 2{,}014102\ m_u$, $m(^3\mathrm{H}) = 3{,}016049\ m_u$, $m(^3\mathrm{He}) = 3{,}016029\ m_u$, $m(n) = 1{,}008665\ m_u$, $m(^4\mathrm{He}) = 4{,}0026\ m_u$, az m_u atomi tömegegység értékét vegyük a Függvénytáblázatból!

[4] 1–7. feladat megegyezik az I. kategória feladataival.

KÍSÉRLETI FELADAT

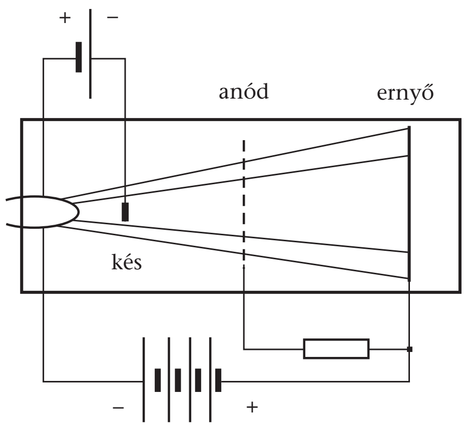
Az elektron fajlagos töltésének meghatározása „varázsszem” (EM4 elektroncső) segítségével.

A mérési elrendezés leírása:

A méréshez használt elektroncsövet a régi, csöves rádiókban arra használták, hogy jelezze, hogy a rádió mennyire pontosan hangolódott rá egy adott állomásra.

A varázsszem zölden világító kijelzője azt használja ki, hogy vannak olyan festékek, amelyek elektronok becsapódásakor fényt bocsátanak ki (lumineszkálnak). A gyorsan becsapódó elektronok folyamatos világítás érzetét keltik.

A cső közepén hosszában húzódó fűtött katód szolgáltatja az elektronokat, ezeket az anódfeszültség (maximális értéke 250 V) gyorsítja. Az anód kiképzése olyan, hogy a felgyorsult elektronok egy része tovább tud haladni – immár állandó sebességgel – míg végül becsapódik az ernyőbe, ami a már említett festékkel van bevonva. Ahhoz, hogy az anód és az ernyő között ne változzon az elektronok sebessége, az ernyőnek az anóddal azonos potenciálon kell lennie.



A csőben van még két eltérítő elektróda (ezeket késnek hívják), amelyek a keletkezett világító kép („legyezők”) szélességét határozzák meg. Ha az eltérítő elektródákra negatív feszültség jut, akkor taszítják a mellettük elhaladó elektronokat, megnő az árnyék területe. Ha kis feszültség kerül az eltérítő elektródákra, akkor nagy lesz a világító terület, kicsi az árnyék (a késfeszültség értéke 0 és –16 V között lehet).

Az elektroncső „kiterített”, lineárissá transzformált rajzát a mellékelt *ábra* mutatja.

Az elektroncső adatai:

fűtő feszültség: 6,3 V,
anód feszültség: maximum 250 V,
ernyő feszültség: maximum 250 V.

Rendelkezésre álló eszközök:

– EM4 típusú elektroncső,
– tápfeszültség,
– volt- és ampermérő,

Varázsszem elektroncső és kapcsolása

Varázsszem működés közben

– 200 menetes tekercs,
– mérést segítő számítógépes program (Program2010).

Mérésünknél az elektronsugarat rá merőleges, homogén mágneses mezővel térítjük el. A mágneses mezőt 200 menetes, 3 cm hosszú, 3 cm belső átmérőjű tekerccsel állítjuk elő. Ezt a tekercset az elektroncsőre húzzuk úgy, hogy lehetőleg közös tengelyű legyen a tekercs és a cső.

A tekercsben szabályozni és mérni tudjuk az átfolyó áramot, így a létrejött mágneses mező indukcióját meg tudjuk határozni. A mágneses mezőben az elektronsugár körpályára kényszerül. A körpálya sugarát megmérve határozhatjuk meg az elektron fajlagos töltését.

Feladat:

Mérjük a tekercsben folyó áram erősségét – több értéket vegyünk fel, az áramerősségek értéke ne legyen nagyobb 2 A-nél nagyobb –, mérjünk több anódfeszültség-értéket is (maximum 250 V). Mérjük meg az összetartozó áramerősség-feszültségértékeknél az elektronsugár pályagörbületét, és ebből adjunk becslést az elektron fajlagos töltésére!

Foglaljuk táblázatba a mért eredményeket és értékeljük ki azokat. Térjünk ki a mérési hibákra, becsüljük meg azok nagyságát!

Útmutatás:

A méréshez használja a Program2010-et. A webkamera segítségével felvételeket készíthet, és a programmal rögzítheti és kiértékelheti a kapott képeket. Célszerű egy képet készíteni világosban az elrendezésről, ezt fel lehet használni a méretek kalibrálásához. A kalibrálás után magát a mérést feketével letakart csőről készített képeken célszerű elvégezni. Így a zavaró tükröződések kiküszöbölhetők.

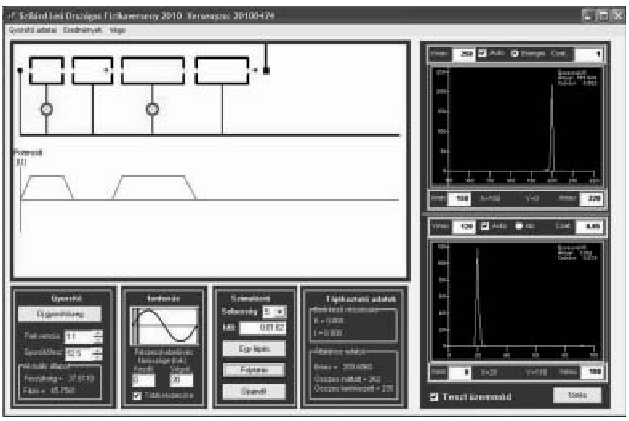
SZÁMÍTÓGÉPES FELADAT

Felgyorsított részecskenyaláb előállítása

A részecskegyorsítók egyik fontos típusa a lineáris részecskegyorsító. Ebben egy ionforrásból származó ionokat elektromos mezővel gyorsítjuk. A részecskegyorsítók egyik egyszerű típusában a fémből készült, üreges gyorsító-elektródok (gyorsítóüregek) belsejében az elektromos térerősség nulla, a gyorsítás az elektródok közötti térben zajlik (vannak más elven működő lineáris gyorsítók is). Természetesen az egész gyorsítócsőben vákuum van, hogy a részecskék ne szóródjanak szét a levegő molekuláin. A gyorsítóüregekre periodikusan váltakozó feszültséget kapcsolunk. A gyorsítóüregek méretét, a közöttük lévő távolságot, a gyorsítófeszültség amplitúdóját és frekvenciáját úgy kell összehangolnunk, hogy az egyre gyorsuló részecskék az egymást követő gyorsítóüregek közé mindig megfelelő időpontban érkezzenek ahhoz, hogy ott tovább tudjanak gyorsulni.

Fontos az is, hogy az ionforrásból csak a gyorsítófeszültség meghatározott időtartományában engedjünk be részecskéket a gyorsítóba. A „rossz" időpillanatokban beengedett részecskék össze-vissza bolyonganak a gyorsítóban, egyesek még visszafelé is tudnak gyorsulni.

A lineáris gyorsítóból gyakran egy másik gyorsítóba „lövik be" a részecskéket (ez történik például a CERN-ben is). Ezért nagyon fontos, hogy az előállított részecskenyaláb energiája minél pontosabban a megadott értékű és minél kisebb szórású legyen, valamint az is, hogy a nyaláb időbeli szórása is kicsi legyen, azaz a nyalábban lévő részecskék a gyorsítási periódus jól meghatározott időpillanatában lépjenek ki a gyorsítóból.



A szimulációs feladatban egy lineáris gyorsítót fogunk vizsgálni. A szimulált gyorsítón a fent említett valamennyi paramétert változtatni lehet, és azok hatását meg lehet figyelni.

A feladat egy lineáris gyorsító beállítása lesz, méghozzá úgy, hogy a felhasználók „igényeinek" megfelelő részecskenyalábokat állítsa elő. A szimulációban szereplő lineáris gyorsító egy „képzelt" berendezés, nincs a valóságban ilyen paraméterekkel rendelkező gyorsító. A kijelzett értékek a program saját egységrendszerében vannak, ne keressük ezeknek a szokásos SI egységekben a megfelelőjét. A program használati útmutatóját mellékeltük.

Feladat:

Állítsunk elő körülbelül 200 egységnyi energiájú részecskenyalábot 5 percen keresztül!

Annál magasabb pontszámot kap a feladat elvégzésére a versenyző, minél

- pontosabban megközelíti a 200 egységnyi energiát a nyaláb átlagértéke,
- kisebb lesz a nyaláb energiájának a szórása,
- kisebb lesz a nyaláb időbeli szórása,
- nagyobb hányada jut a kibocsátott részecskéknek a céltárgyra,
- több részecske érkezik a céltárgyra addig, amíg le nem jár a rendelkezésre álló idő.

Az 1. forduló feladatainak megoldása

1. feladat megoldása

A helyes tipposzlop: 2, 2, 1, X, 1.

Megjegyzés: Az első kérdéssel kapcsolatban: az 1916-os Eötvös Matematikai Versenyt Koródi Albert nyerte, a 18 éves Szilárd Leó akkor a második volt (a fizikaversenyt megnyerte). Mivel azonban a megadott szakirodalom közül egyesekben csak annyi szerepelt, hogy Szilárd Leó megnyerte mind a matematikai, mind a fizikai Eötvös Versenyt, ezért a Versenybizottság úgy döntött, hogy azokra a megoldásokra is ad egy pontot, akik az első kérdésre 1-sel válaszoltak.

2. feladat megoldása

A modell által jól leírt jelenségek:

– az atom tömegének legnagyobb része egy igen kis térrészre összpontosul,

– az atomban lévő pozitív töltések egy igen kis térrészre összpontosulnak (Rutherford-kísérlet),

– a Coulomb-erő képes a különböző elektromos töltésű részeket ugyanúgy pályán tartani, ahogyan a gravitációs erő a bolygókat, mivel mindkettő a távolság négyzetével fordítottan arányos.

A modell hibái:

– A keringő elektronok gyorsuló mozgást végeznek, tehát sugározniuk kellene. Emiatt bele kellene zuhanniuk a magba.

– A bolygók keringési távolsága széles határok között bármi lehet. Az elektronok energiája – és ezáltal a keringési távolságuk – csak meghatározott értékeket vehet fel. Ezt a modell nem magyarázza, pedig ez biztosítja az atomok stabilitását.

– A keringés velejárója a perdület. A kvantummechanika és a kísérletek szerint azonban a hidrogénatom alapállapotában az elektron pályamomentuma nulla.

3. feladat megoldása

A reaktor teljesítményét – kissé leegyszerűsítve – az aktív zónában lévő hasadóanyag mennyisége és az átlagos neutronfluxus nagysága határozza meg. Az energiatermelési kampány elején még sok a hasadóanyag, ezért kisebb neutronfluxus kell az előírt teljesítmény eléréséhez, mint a kampány végén, amikor már az üzemanyag fogyóban van. A neutronfluxus növekedését a kiégő mérgek – például gadolínium – alkalmazásával is el lehet érni. Ha a gadolínium kezdetben megfelelő arányban van jelen, akkor elérhető, hogy a gadolínium kiégése miatt növekvő neutronfluxus éppen kompenzálja a hasadóanyag fogyásából eredő hatást, és a reaktor teljesítménye akár további szabályozó elemek nélkül is – szinte automatikusan – állandó szinten marad.

Különösen fontos a kiégő mérgek alkalmazása teljesítménynöveléskor, és/vagy kampányidő-hosszabbításkor. Ezekben az esetekben több energiát akarunk termelni egy kampány alatt, ezért több hasadóanyagot is kell bevinni a reaktorba. Ezt magasabb dúsítású kazettákkal érik el. Nem biztos azonban az, hogy az eredetileg tervezett szabályozó elemek elegendőek arra, hogy az így bevitt többletreaktivitást az előírt biztonsági szinten le tudják kötni a kampány elején. Kiégő mérgek – például gadolínium – alkalmazásával azonban kompenzálni lehet a bevitt többlet hasadóanyag hatását.

4. feladat megoldása

Miután a protonok egymással szembe ütköztek, a 2,36 TeV-es ütközési energiát két, egyenként 1,18 TeV = $1{,}88\cdot10^{-7}$ J mozgási energiájú proton hozta létre. A protonok nyugalmi tömege $1{,}672\cdot10^{-27}$ kg. A mozgási energiát az

$$E = mc^2 - m_0c^2$$

képlettel lehet megadni, ebből

$$m = \frac{E + m_0c^2}{c^2} = \frac{1{,}88\cdot10^{-7}\ \mathrm{J} + 1{,}672\cdot10^{-27}\ \mathrm{kg}\cdot 9\cdot10^{16}\ \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}}{9\cdot10^{16}\ \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}} =$$

$$= 2{,}09\cdot10^{-24}\ \mathrm{kg}.$$

Ez a proton nyugalmi tömegének 1250-szerese.

5. feladat megoldása

Első megoldás:

A lakások összaktivitása:

$$A_{ö} = 4\cdot10^6\cdot1{,}8\cdot10^2\ \mathrm{m}^3\cdot 50\ \frac{\mathrm{Bq}}{\mathrm{m}^3} = 3{,}6\cdot10^{10}\ \mathrm{Bq}.$$

A radonatomok száma:

$$A = \frac{\ln 2}{T_f} N \rightarrow$$

$$N = \frac{A}{\ln 2} T_f = \frac{3{,}6 \cdot 10^{10} \ \frac{1}{\mathrm{s}}}{\ln 2} \cdot 3{,}8 \cdot 8{,}64 \cdot 10^4 \ \mathrm{s} = 170{,}51 \cdot 10^{14} \approx 1{,}7 \cdot 10^{16}.$$

Az atomok össztömege:

$$m = \frac{1{,}7 \cdot 10^{16}}{6 \cdot 10^{23}} \cdot 222 \ \mathrm{g} = 62{,}9 \cdot 10^{-7} \ \mathrm{g} \approx 6{,}3 \ \mu\mathrm{g}.$$

A radongáz normál térfogata:

$$V \approx \frac{1{,}7 \cdot 10^{16}}{6 \cdot 10^{23}} \cdot 22410 \ \mathrm{cm}^3 = 6{,}35 \cdot 10^{-4} \ \mathrm{cm}^3 \approx 0{,}6 \ \mathrm{mm}^3.$$

Második megoldás:
Alkalmazzuk az egyetemes gáztörvényt:

$$V = \frac{mRT}{Mp} = \frac{6{,}3 \cdot 10^{-6} \ \mathrm{g} \cdot 8{,}314 \ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K\,mol}} \cdot 273 \ \mathrm{K}}{222 \ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}} \cdot 10^5 \ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}} = 64 \cdot 10^{-11} \ \mathrm{m}^3 \approx 0{,}6 \ \mathrm{mm}^3.$$

6. feladat megoldása
a) A másodpercenkénti energiaveszteség $\Delta E = 3{,}92 \cdot 10^{26}$ J/s. A relativitáselmélet szerint $\Delta E = \Delta m c^2$, ahonnan

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} \approx 4{,}36 \cdot 10^9 \ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}}$$

a másodpercenkénti tömegveszteség.

b) 75 év alatt a tömegveszteség:

$$\Delta M \approx 75 \cdot 3{,}15 \cdot 10^7 \ \mathrm{s} \cdot 4{,}36 \cdot 10^9 \ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}} \approx 10^{19} \ \mathrm{kg}.$$

Ez a földi légkör tömegének körülbelül kétszerese, de a Nap tömegének mindössze

$$\frac{1{,}0 \cdot 10^{19} \ \mathrm{kg}}{1{,}99 \cdot 10^{30} \ \mathrm{kg}} \approx 5 \cdot 10^{-12}\text{-ed része.}$$

c) A Nap sugárzás miatt bekövetkező tömegveszteségének legnagyobb része sugárzás formájában ma is az Univerzumban van. Igen kis része beleütközött csillagokba, bolygókba (például Föld). Ám a Föld (vagy egyéb bolygók) által elnyelt sugárzás nagy része ismét kisugárzódott, bár jóval alacsonyabb hőmérsékleti sugárzás formájában.

7. feladat megoldása

a) Elegendő 1 m^2 területű jégtáblára elvégezni a számítást. A jégtábla térfogata

$$V = 1\ \mathrm{m}^2 \cdot 0{,}14\ \mathrm{m} = 0{,}14\ \mathrm{m}^3,$$

tömege

$$m_j = \rho\, V = 920\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \cdot 0{,}14\ \mathrm{m}^3 = 128{,}8\ \mathrm{kg}.$$

Megolvasztásához szükséges hőmennyiség:

$$Q = L_0 m = 3{,}35 \cdot 10^5\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}} \cdot 128{,}8\ \mathrm{kg} = 4{,}3 \cdot 10^7\ \mathrm{J}.$$

A jégre 30°-os szögben eső napsugárzásból másodpercenként elnyelődő energia (10%-os elnyelődés mellett):

$$P_{elnyelt} = 600\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2} \cdot 1\ \mathrm{m}^2 \cdot \sin 30° \cdot 0{,}1 = 30\ \mathrm{W}.$$

Az 1 m^2 területű jégtábla megolvasztásához tehát

$$t = \frac{4{,}3 \cdot 10^7\ \mathrm{J}}{30\ \mathrm{W}} = 1{,}43 \cdot 10^6\ \mathrm{s} = 397\ \mathrm{h}$$

szükséges.

Ehhez kereken 66 napra van szükség. Mivel minden egyes négyzetméterre ugyanakkora energia esik, ezért a teljes jégmennyiség felolvasztása is ugyanennyi időbe telik.

b) A teljes jégfelület megolvasztásához

$$Q = 4{,}3 \cdot 10^7\ \frac{J}{m^2} \cdot 595 \cdot 10^6\ \mathrm{m}^2 = 2{,}56 \cdot 10^{16}\ \mathrm{J}$$

energia szükséges.

A $4\,{}^1_1\mathrm{H} \rightarrow {}^4_2\mathrm{He}$ fúziós magreakcióban felszabaduló energiát a tömeghiányból számolhatjuk:

$$q = \left(4\, m_{\mathrm{H}} - m_{\mathrm{He}}\right) c^2 = 4{,}1 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{J}.$$

Ezért a Balaton jegének felolvasztásához szükséges energia előállításához

$$N = \frac{Q}{q} = 6,2 \cdot 10^{27}$$

számú magreakció kell. Mivel minden magreakcióban 4 hidrogén vesz részt, az „elhasznált” H-atommagok száma: $2,5 \cdot 10^{28}$. Így a kívánt energiát szolgáltató magfúzióban felhasznált hidrogénmagok tömege:

$$m_H = 1,67 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} \cdot 2,5 \cdot 10^{28} \approx 42\ \text{kg}.$$

A Napban 66 nap alatt természetesen ennél sokkal több hidrogén fuzionál, hiszen a Nap által kibocsátott energiának csak igen kis része fordítódik a balatoni jég megolvasztására.

8. feladat megoldása

a) Az 500 nm hullámhosszúságú foton energiája: $E = hf = hc/\lambda = 4 \cdot 10^{-19}$ J. A fényforrás által másodpercenként kibocsátott fotonok száma:

$$N = \frac{20\ \text{mW}}{4 \cdot 10^{-19}\ \text{J}} = 5 \cdot 10^{16}.$$

A szembe érkező fotonok számát megkapjuk, ha az összes kibocsátott foton számát elosztjuk a 2 km sugarú gömb felszínével, és azt megszorozzuk a 2 mm átmérőjű pupilla területével:

$$n = 5 \cdot 10^{16} \cdot \frac{\left(1 \cdot 10^{-3}\ \text{m}\right)^2 \cdot \pi}{4\pi \cdot \left(2 \cdot 10^{3}\ \text{m}\right)^2} = 3,1 \cdot 10^{3}\ \frac{1}{\text{s}}.$$

b) A szem érzékenységének alsó határa – 30 foton/s – a fenti értéknek kereken századrésze. Mivel az intenzitás a távolság négyzetével fordítottan arányos, ezért legfeljebb tízszer olyan messzire lehet elmenni ahhoz, hogy még éppen észleljük a fényforrást. Vagyis a keresett maximális távolság körülbelül 20 km.

Ez az eredmény természetesen csak akkor igaz, ha a levegő fényelnyelésétől és fényszórásától eltekintünk. A gyakorlatban 20 km távolságban ezeknek már jelentős szerepe van.

9. feladat megoldása

a) A cső által másodpercenként érzékelt gamma-fotonok száma:

$$N = \eta\, \frac{\pi \left(\dfrac{d}{2}\right)^2}{4\pi\, r^2}\, A,$$

ahol a törtkifejezés számlálójában a detektor hatásos felszíne, nevezőjében a forrásdetektor r távolságával, mint sugárral rajzolt gömb felszíne szerepel. Az η a detektor kvantumhatásfoka (10%), A a forrás aktivitása. Ebből:

$$r = \frac{d}{4}\sqrt{\eta\,\frac{A}{N}} = \frac{4\ \mathrm{cm}}{4}\cdot\sqrt{0{,}1\cdot\frac{9{,}25\cdot 10^5\ 1/\mathrm{s}}{2{,}8\cdot 10^2\ 1/\mathrm{s}}} = 18{,}1\ \mathrm{cm}.$$

b) Az ólomlemez a sugárzást az

$$I(x) = I_0\,2^{-\frac{x}{L}}$$

exponenciális törvény szerint gyengíti, ahol L a felezési rétegvastagság. A feladatban éppen ezt keressük, hiszen ez az a vastagság, amely az intenzitást a felére csökkenti. Az adatokból tudjuk, hogy

$$\frac{I(3{,}2\ \mathrm{mm})}{I_0} = \frac{160}{280} = 0{,}571.$$

Ezt a fenti képletbe helyettesítve kapjuk, hogy

$$0{,}571 = 2^{-\frac{3{,}2\ \mathrm{mm}}{L\ \mathrm{mm}}} \rightarrow \lg 0{,}571 = -\frac{3{,}2}{L}\lg 2,$$

amiből

$$L = -3{,}2\cdot\frac{\lg 2}{\lg 0{,}571} = 3{,}96\ \mathrm{mm}.$$

10. feladat megoldása

a) A hirosimai atombomba robbanóanyaga igen magas (> 90%) dúsítású ^{235}U volt.

b) Tudjuk, hogy egy uránatommag hasadásában megközelítőleg $32\cdot 10^{-12}$ J energia szabadul fel. A reakcióba lépett magok száma tehát

$$N = \frac{15\cdot 4{,}184\cdot 10^{12}\ \mathrm{J}}{32\ \mathrm{pJ}} = 1{,}96\cdot 10^{24} \approx 3{,}27\ \mathrm{mol}.$$

A bomba hasadóanyaga zömében 235-os tömegszámú urán. A láncreakcióban résztvevő urán tömege tehát m = 3,27 mol · 235 g/mol = 768 g, ami a bombában lévő hasadóanyag tömegének körülbelül 1,2%-a.

c) Az anyagnak azért csak ilyen kis hányada lépett reakcióba, mert a felszabaduló hatalmas energia elpárologtatta a bomba többi részét, mielőtt a láncreakció kiterjedhetett volna arra is.

d) A kritikus tömeg – a legegyszerűbb magyarázat szerint – azért létezik, mert a láncreakcióban keletkező neutronok száma a térfogattal arányos, míg a bomba felületén kilépő, a láncreakció számára elvesző neutronok száma a felülettel. Az önfenntartás érdekében el kell érni egy kritikus arányt a keletkező/elvesző neutronok között. Ez az arány:

$$\frac{\text{térfogat}}{\text{felület}} \sim \frac{R^3}{R^2} \sim R.$$

Innen látható, hogy a bomba sugarának növelésével ez az arány javítható, és megfelelő hasadóanyag esetén van olyan méret, amikor ez az arány eléri az önfenntartó láncreakcióhoz szükséges értéket.

A döntő feladatainak megoldása

ELMÉLETI FELADATOK MEGOLDÁSA

I. kategória

1. feladat megoldása

A feladat *ábráján* (152. oldal) látható füstérzékelő berendezés működése az alfa-részecskék levegőben mért hatótávolságának mérésén alapul. A levegőréteg d vastagságát úgy kell megválasztani, hogy az alfa-részecskék még éppen elérjék a detektort. Ha füst is keveredik a levegőbe, akkor a füstrészecskék miatt a levegő-füst keverékben lecsökken az alfa-részecskék átlagos hatótávolsága, kevesebb alfa-részecske éri el a detektort, lecsökken a beütésszám, és a készülék riaszt.

a) La Pazban a nagy tengerszint feletti magasság miatt a levegő sokkal ritkább, mint Nápolyban, ezért az alfa-részecskék hatótávolsága is nagyobb. Emiatt nagyobb füstkoncentráció kell La Pazban ahhoz, hogy a készülék riasszon, mint Nápolyban.

b) Ezt természetesen ki lehet küszöbölni azzal, hogy a berendezést a helyi viszonyokhoz kalibrálják, azaz megváltoztatják a detektor-forrás távolságot.

2. feladat megoldása

A bórsavat a reaktivitás szabályozására használják, mivel a bór igen jó neutronelnyelő. A paksi reaktorok nyomottvizesek, itt a moderálást a hűtővíz végzi. Normális esetben, ha a reaktor teljesítménye nő, a víz hőmérséklete is nő, a víz kitágul. Ezáltal csökken az egységnyi térfogatban lévő hidrogénmagok száma, ami miatt a moderálás csökken. Így a reaktivitás – s ezzel a teljesítmény – csökken, a víz hőmérséklete csökken, újra besűrűsödik stb. Ezt negatív visszacsatolásnak hívják, és biztonsági-szabályozási szempontból nagy jelentősége van. A víz tágulásával azonban a bór mennyisége is csökken térfogategységenként, ezáltal az egységnyi térfogat neutronelnyelő-képessége is, ami a reaktivitást növeli, és így pozitív visszacsatolást okoz. Ha a bórsav koncentrációja túl magas, akkor ez ellensúlyozhatja, vagy át is lépheti a moderátor tágulása által okozott szabályozó hatást, és a reaktorban pozitív visszacsatolás jelentkezik. Ez önmagában még nem végzetes, mert sok, független visszacsatolás létezik még ezen kívül is. A reaktorokat viszont csak úgy szabad üzemeltetni, ha minden visszacsatolás negatív.

3. feladat megoldása

a) Az épületben található urán mennyiség tömege $m_U = 10^5$ kg $\cdot 10^{-6} = 10^{-1}$ kg. Az uránatomok száma:

$$N_U = \frac{m}{M} N_A = \frac{100 \text{ g}}{238 \text{ g/mol}} \cdot 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} = 2{,}52 \cdot 10^{23}.$$

Az urán aktivitása:

$$A = N \frac{\ln 2}{T} = 2{,}52 \cdot 10^{23} \cdot \frac{0{,}693}{1{,}42 \cdot 10^{17}} = 1{,}23 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{s}} \approx 1{,}2 \text{ MBq},$$

ahol az urán felezési ideje $T = 4{,}5 \cdot 10^9$ év $= 4{,}5 \cdot 10^9 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600$ s $= 1{,}42 \cdot 10^{17}$ s.

b) Az urán bomlási sorában lévő elemek alfa- és béta-bomlásokkal bomlanak. A bomláskor keletkező részecskék azonban – elektromosan töltöttek lévén – nagyon hamar elnyelődnek, ezért nem lépnek ki az építőanyagokból (vagy, ha ki is lépnek a vakolat felső, vékony rétegéből, a levegőben nagyon kis út megtétele után elnyelődnek). Tehát ezek nem jelentenek veszélyt a bent élő emberekre. Az emberekre két forrásból származhat sugárterhelés: az alfa- és béta-bomlásokat kísérő gamma-sugárzás egy része kiléphet a falból, és ez külső sugárterhelést okozhat. Másrészt az urán bomlási sorában lévő radon egy része kidiffundálhat a falból, mielőtt tovább bomlana, mivel nemesgáz. A radon és bomlástermékei a levegővel együtt bekerülhetnek a tüdőbe, és ott belső sugárterhelést okozhatnak.

4. feladat megoldása

Mivel mindegyik izotóp rádium, ezért $Z = 88$, azaz állandó. A megfigyelt változások tehát csak a neutronszám változására vezethetők vissza.

a) Az első megfigyelés az, hogy a legstabilabb rádium-izotóp a ^{226}Ra. Ennek felezési ideje 1602 év. Itt van az energiavölgy mélypontja. Az ennél neutrondúsabb izotópok rendszámnövelő negatív béta-bomlásra hajlamosak, a neutronszegényebb izotópok pedig rendszámcsökkentő bomlásokat (például alfa-bomlás) mutatnak. És valóban, valamennyi $A > 226$ izotóp domináns bomlási módja béta-bomlás.

b) A következő megfigyelés az, hogy a rendszámcsökkentő (függőleges vonaltól balra eső) oldalon alfa-bomlásokat találunk, és nem pozitív béta-bomlásokat. Ennek oka az, hogy az alfa-bomlás – ha energetikailag lehetséges – általában nagyobb valószínűséggel zajlik le, mint a pozitív béta-bomlás, hiszen a pozitív béta-bomlásban a gyenge kölcsönhatás játszik szerepet, míg az alfa-bomlásban az erős kölcsönhatás.

c) Egy további megfigyelés az, hogy – egy érdekes kivételtől eltekintve, amelyre lentebb még visszatérünk – minél távolabb megyünk az energia-völgy mélypontjától, annál rövidebbek a mért felezési idők. Ez azzal magyarázható, hogy minél távolabb vagyunk a mélyponttól, annál meredekebb a „Pauli-lejtő", és ez egyre instabilabb atommagokat jelent.

d) A negyedik megfigyelés a völgy mélypontja közelében a felezési idők „váltakozása". Egy hosszú felezési időt egy rövid követ, majd megint egy hosszabbat találunk. Például a 226, 228, 230 izotópok felezési idői hosszabbak, mint a 227, 229 izotópoké, de hasonló váltakozást figyelhetünk meg a másik irányban is. Ennek oka a párenergiában keresendő. Mivel $Z = 88$, a protonszám páros. Emiatt páros tömegszám (A) esetén a neutronszám is páros, és ez stabilabb magot jelent. E nagyobb stabilitás megnyilvánulását látjuk a páros tömegszámú izotópok hosszabb felezési idejében.

e) Végül meg kell magyarázzuk azt, hogy $A = 214$ környékén miért találunk stabilabb magokat megint. Az $A = 214$ tömegszámú rádium atommagjában éppen $N = 126$ mágikus számú neutron található. Ez stabilizálja az ebben a tartományban lévő atommagokat, ezért emelkedik meg ismét a felezési idő az energiavölgy mélypontjától eléggé távol.

5. feladat megoldása

a) Relativisztikusan kell számolni, mivel a végeredményből látszik, hogy a meglökött elektron sebessége megközelíti a c fénysebességet és a tömegnövekedés is jelentős.

$$m_0 c^2 = hf = \frac{hc}{\lambda},$$

$$\text{innen } \lambda_c = \frac{h}{m_0} c \approx 2{,}43 \cdot 10^{-12} \text{ m} = 2{,}43 \text{ pm}.$$

Ezt az elektron Compton-hullámhosszának szokás nevezni, mivel a Compton-szórás képletében szerepel.

b) A foton-elektron kölcsönhatást rugalmas golyók ütközéseként kezelhetjük, amelyre az energia- és lendületmegmaradás törvénye érvényes. A lendület megmaradása:

$$p_f = -p_f' + p_e,$$

ahol

$$p_f = \frac{hf}{c} = \frac{m_0 c^2}{c} = m_0 c$$

a beérkező foton lendülete. Energia megmaradása:

$$p_f c + m_0 c^2 = p'_f c + m c^2.$$

Alkalmazzuk elektronra az alábbi relativisztikus összefüggést:

$$E = m c^2 = \sqrt{(p_e c)^2 + (m_0 c^2)^2}\ .$$

Akkor a fenti megmaradási egyenletekből kapjuk, hogy

$$2 m_0 c^2 = p'_f c + \sqrt{(m_0 c + p'_f)^2 c^2 + (m_0 c^2)^2}\ .$$

Az egyenletet c-vel végigosztva, rendezve, majd négyzetre emelve nyerjük:

$$(2 m_0 c - p'_f)^2 = (m_0 c + p'_f)^2 + (m_0 c)^2.$$

A négyzetre emelések után kapott elsőfokú egyenletből:

$$p'_f = \frac{m_0 c}{3}.$$

Így az elektron lendülete, sebessége, illetve tömege:

$$p_e = \frac{4}{3} m_0 c = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \rightarrow v = \frac{4}{5} c \rightarrow m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{4}{5}\right)^2}} = \frac{5}{3} m_0.$$

Teljes értékű megoldásnak fogadható el az is, ha valaki a Compton-szórás hullámhosszváltozásra vonatkozó képletét (levezetés nélkül) használja, és ebből következtet a visszaszóródott foton lendületére és energiájára, majd ebből az elektron sebességére és tömegnövekedésére.

6. feladat megoldása

a) Egészítsük ki a kötési energiára vonatkozó félempirikus energiaformulát egy gravitációs energiataggal, ahol

$$E_g = -\frac{3}{5}\gamma \frac{M^2}{R} = -\left(\frac{3}{5}\gamma \frac{m_n^2}{r_0}\right)\frac{A^2}{A^{1/3}} = -b_G A^{5/3}.$$

Az ismert konstansokat beírva az energiatag együtthatójára kapjuk:

$$b_G \sim 9{,}3 \cdot 10^{-50}\ \mathrm{J}.$$

Ezután írjuk fel a bővített Weiszäcker-formulát:

$$E(Z,A) = -b_V A + b_F A^{2/3} + b_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} + b_A \frac{(N-Z)^2}{A} - b_G A^{5/3}.$$

Használjuk ki a feladatban említett közelítéseket (Z = 0, és a felületi tag elhagyható), és ekkor a képlet leegyszerűsödik:

$$E(0,A) \approx -b_V A + b_A A - b_G A^{5/3}.$$

A függvénytáblázat szerint $b_A = 3{,}80 \cdot 10^{-12}$ J, $b_V = 2{,}52 \cdot 10^{-12}$ J. A kötött állapot kialakulásának feltétele $E \le 0$, ebből a tömegszámra kapunk egy alsó határt:

$$-b_V A + b_A A - b_G A^{5/3} \le 0,$$

azaz

$$A \ge \left(\frac{b_A - b_V}{b_G}\right)^{3/2} = \left[\frac{(3{,}8 - 2{,}52) \cdot 10^{-12}}{9{,}3 \cdot 10^{-50}}\right]^{3/2} = \left(0{,}14 \cdot 10^{38}\right)^{3/2} = 5{,}2 \cdot 10^{55}.$$

b) Így a neutroncsillag minimális tömege is megbecsülhető:

$$M_N \ge A \cdot m_n = 5{,}2 \cdot 10^{55} \cdot 1{,}672 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg} = 8{,}7 \cdot 10^{28}\ \mathrm{kg}.$$

Ez körülbelül egytizede a Nap tömegének.

7. feladat megoldása

a) A bomlás statisztikai folyamat, tehát a bomlási törvényből kell kiindulni:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-(\ln 2)\frac{t}{T}},$$

ahol N_0 = 1448 beütés/h a 10 000 m magasan mért óránkénti müonszám és $T = 2{,}2 \cdot 10–6$ s a felezési idő.

Az (i) esetben relativisztikusan kell számolnunk, azaz a t repülési idő helyére a müon $\tau = t/\gamma$ sajátidejét kell írnunk, ahol

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0{,}993^2}} = 8{,}4.$$

A repülési idő Földhöz rögzített koordinátarendszerben

$$t = \frac{H}{v} = \frac{10000}{0{,}993 \cdot 2{,}99793} \cdot 10^{-8}\ \text{s} = 33{,}6 \cdot 10^{-6}\ \text{s}.$$

A sajátidő pedig:

$$\tau = \frac{t}{8{,}4} = 3{,}99 \cdot 10^{-6}\ \text{s}.$$

A tengerszinten mérhető beütésszám:

$$N^{rel} = N_0 e^{-(\ln 2)\frac{\tau}{T}} = 1448\,\frac{b}{h}\,e^{-(\ln 2)\frac{3{,}99}{2{,}2}} = 412\ \frac{\text{beütés}}{\text{h}}.$$

Az (ii) esetben a klasszikus számításhoz nem kell relativisztikus korrekció, így a lent várható beütésszám:

$$N^{kl} = N_0 e^{-(\ln 2)\frac{t}{T}} = 1448\,\frac{b}{h}\,e^{-(\ln 2)\frac{33{,}6}{2{,}2}} = 3{,}66 \cdot 10^{-2}\ \frac{\text{beütés}}{\text{h}}.$$

Az eredményekből látható, abból a tényből, hogy detektálhatunk müont a tengerszinten, nem következik a relativitáselmélet igazolása. Hiszen a bomlás statisztikus jellege miatt idődilatáció nélkül is észlelhetünk müont, igaz átlagosan 27,3 óránként csak egyet-egyet! A pontos megfogalmazás az lenne, hogy a müon különböző magassági pontokban mért beütésszámai és az elméleti bomlásgörbe klasszikusan eltérnek egymástól, míg az idődilatációt figyelembe véve jól illeszkednek egymáshoz. Ez igazolja a relativitáselmélet helyességét.

8. feladat megoldása

A proton-antiproton párt keltő részecskeütközés reakcióegyenlete:

$$p_1 + p_2 \rightarrow p_1 + p_2 + p_3 + \bar{p},$$

ahol $\bar{p}$ az antiprotont jelöli.

a) Legyen a mozgó proton lendülete $\boldsymbol{p}$. Ekkor az ütközés után a négy részecske, mint tömegpontrendszer összes lendülete is $\boldsymbol{p}$ lesz a lendületmegmaradás miatt. Mivel azt az esetet keressük, amikor a proton-antiproton pár „éppen keletkezik”, ezért a végállapotban lévő négy részecske egymáshoz képest nem mozog. Ezért az egyes részecskék lendülete $\boldsymbol{p}/4$.

Alkalmazzuk a részecskekeltő ütközésre az energiamegmaradás törvényét (relativisztikus összefüggést használva)!

$$\sqrt{(p\,c)^2 + E_0^2} + E_0 = 4\sqrt{\left(\frac{p}{4}c\right)^2 + E_0^2}.$$

Az egyenlet jobb oldalát rendezve, bevezetve a $pc = X$ jelölést, kapjuk:

$$\sqrt{X^2 + E_0^2} + E_0 = \sqrt{X^2 + 16E_0^2}\,.$$

Az egyenlet mindkét oldalának négyzetre emelése után az egyenletet rendezve adódik:

$$\sqrt{X^2 + E_0^2} = 7E_0.$$

Ezt ismét négyzetre emelve X-re kapjuk:

$$X = pc = \sqrt{48E_0}\,.$$

Így ütközés előtt a mozgó proton teljes energiája:

$$E = \sqrt{48E_0^2 + E_0^2} = 7E_0.$$

Így a szükséges minimális mozgási energia: $E - E_0 = 6E_0$, azaz a proton nyugalmi energiájának hatszorosa.

b) Ha mindkét proton szemben ütközik azonos p lendülettel, akkor az összes lendület zérus, így az ütközés után is az marad. Vagyis mind a négy részecske áll. Az összes energia nyilván $4m_0c^2$. Ezért az ütközés előtt az ütköző protonok

$$m_0c^2 + m_0c^2 = 2m_0c^2 = 2E_0$$

mozgási energiával kell, hogy rendelkezzenek a párkeltéshez. (Ez éppen harmada az előző esetben szereplő minimális mozgási energiának.)

9. feladat megoldása

Mivel a reakcióban a lendület megmaradó mennyiség, ezért a keletkezett részecskék teljes lendülete szintén nulla, azaz $\boldsymbol{p}_{He} + \boldsymbol{p}_\gamma = 0$, így $p_{He} = p_\gamma = p$. A végállapotban a termékek mozgási energiájának összege megegyezik az ütköző részecskék mozgási energiájának és a reakcióenergia összegével, azaz $E_{összes} = 5{,}6$ MeV. A foton energiája $E_\gamma = pc$, a hélium atommag mozgási energiája

$$E_{He} = \frac{p^2}{2m_{He}},$$

ahol m_{He} a héliummag nyugalmi energiája és feltételezzük, hogy a tömegnövekedés elhanyagolható. Így az energiamegmaradás szerint:

$$pc + \frac{p^2}{2m} = E_{összes}.$$

Az egyenlet bal oldalán szereplő törtet bővítsük c^2-tel ekkor

$$p\,c + \frac{(p\,c)^2}{2m_{\mathrm{He}}\,c^2} = E_{összes},$$

amely az $x = p\,c$ szorzatra egy másodfokú egyenletet ad:

$$x^2 + 2m_{\mathrm{He}}\,c^2\,x - 2m_{\mathrm{He}}\,c^2\,E_{összes} = 0,$$

ahol$m_{\mathrm{He}}c^2$ = 2813 MeV a héliummag nyugalmi energiája. Az egyenlet megoldása:

$$x = \frac{-2m_{\mathrm{He}}\,c^2 + \sqrt{4\left(m_{\mathrm{He}}\,c^2\right)^2 + 4\cdot 2\,m_{\mathrm{He}}\,c^2\,E_{összes}}}{2} = m_{\mathrm{He}}\,c^2\left(\sqrt{1 + \frac{2E_{összes}}{m_{\mathrm{He}}\,c^2}} - 1\right).$$

A behelyettesítést elvégezve

$$x = m_{\mathrm{He}}\,c^2\left(\sqrt{1{,}004} - 1\right) = m_{\mathrm{He}}\,c^2\,1{,}99\cdot 10^{-3} = 5{,}596\ \mathrm{MeV}.$$

Az $x = p\,c$ szorzat ismeretében a keresett mozgási energia:

$$E_{\mathrm{He}} = \frac{(p\,c)^2}{2m_e\,c^2} = 5{,}566\ \mathrm{keV}.$$

Vagyis a végállapotban rendelkezésre álló mozgási energiának valamivel kevesebb, mint egy ezredrésze jut a hélium atommagra. Az energia legnagyobb részét a gamma-foton viszi el.

A héliummag tömegnövekedésének aránya:

$$\frac{\Delta m}{m_{\mathrm{He}}} = \frac{E_{\mathrm{He}}}{m_{\mathrm{He}}\,c^2} = \frac{5{,}6\ \mathrm{keV}}{2813\ \mathrm{MeV}} \approx 2\cdot 10^{-6},$$

vagyis a klasszikus mozgásienergia-képlet használata jogos volt.

10. feladat megoldása

a) Amikor béta-bomláskor keletkező elektron energiája maximális, akkor az antineutrínó sem energiát, sem lendületet nem visz el. Ekkor a lendületmegmaradás miatt a visszalökődő ^{14}N mag lendülete megegyezik a nyugvónak tekintett ^{14}C magból kirepülő elektron lendületével: $p_e = p_{\mathrm{N}}$.

Fejezzük ki az elektron lendületét az alábbi relativisztikus összefüggésből:

$$E_0 + E_\beta = \sqrt{\left(p_e\,c\right)^2 + E_0^2}\ .$$

Ebből az elektron lendülete

$$p_e = \frac{1}{c}\sqrt{\left(E_0 + E_\beta\right)^2 - E_0^2} = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-13}\ \mathrm{J}}{3 \cdot 10^8\ \dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}\sqrt{(0{,}511 + 0{,}155)^2 - 0{,}511^2} \approx$$

$$\approx 2{,}3 \cdot 10^{-22}\ \mathrm{kg}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}.$$

Így a ^{14}N mag visszalökődési sebessége:

$$v = \frac{p}{m_\mathrm{N}} = \frac{2{,}3 \cdot 10^{-22}\ \mathrm{kg}\,\dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{14 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg}} = 9{,}89 \cdot 10^3\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 9{,}89\ \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}.$$

A mag mozgási energiája pedig

$$E_\mathrm{N} = \frac{1}{2} m_\mathrm{N} v^2 = \frac{1}{2} \cdot 14 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg} \cdot \left(9{,}89 \cdot 10^3\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2 =$$

$$= 1{,}14 \cdot 10^{-18}\ \mathrm{J} \approx 7\ \mathrm{eV}.$$

Megjegyzés: A mag mozgási energiája körülbelül $4{,}5 \cdot 10^{-5}$-ed része az elektronénak, ezért úgy vehető, hogy a teljes bomlási energiát az elektron viszi el.

b) Amikor a β-rész (elektron) mozgási energiája zérus, akkor lendülete is az, így jó közelítéssel a teljes felszabaduló energiát a keletkező antineutrínó viszi el ($E_{\bar{\nu}} \approx E_ö$), és a lendületmegmaradás miatt a visszalökődő nitrogénmag és az antineutrínó lendülete is azonos nagyságú: $p_\mathrm{N} = p_{\bar{\nu}}$.

Mivel a részecske nyugalmi tömegét zérusnak vehetjük, ezért az antineutrínó lendülete

$$p'_\mathrm{N} = p_{\bar{\nu}} = \frac{E_{\bar{\nu}}}{c} = \frac{0{,}155 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-13}\ \mathrm{J}}{3 \cdot 10^8\ \dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}} = 0{,}83 \cdot 10^{-22}\ \mathrm{kg}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}.$$

Ebből a visszalökődő ^{14}N mag sebessége

$$v' = \frac{p'_\mathrm{N}}{m_\mathrm{N}} = \frac{0{,}83 \cdot 10^{-22}\ \mathrm{kg}\,\dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{14 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg}} = 3{,}57 \cdot 10^3\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}.$$

Megjegyzés: Látható, hogy ekkor a mag sebessége körülbelül harmada az elektronon való visszalökődési sebességnek, így a mozgási energia még kisebb lesz (körülbelül 1/9-e a korábbinak), tehát jogos volt a közelítés, hogy a teljes energia az antineutrínóra jut.

II. kategória 8–10. feladatának megoldása

8. feladat megoldása

A felezési idő alatt éppen ½ a valószínűsége annak, hogy egy atom elbomlik, és ugyancsak ½ a valószínűsége annak, hogy nem bomlik el. Az atomok egymástól függetlenül bomlanak (illetve nem bomlanak).

Ezért annak valószínűsége, hogy az 5 atomból egy se bomoljon el:

$$\left(\frac{1}{2}\right)^5 = \frac{1}{32} \sim 3\%.$$

9. feladat megoldása

A polóniumot Maria Sklodowska és férje, Pierre Curie fedezték fel 1898-ban. Alfa-sugárzó lévén az elem csak a szervezetbe bejutva jelent veszélyt. A ^{210}Po a bomlási sor utolsó előtti eleme, nincsenek további radioaktív bomlástermékek. A ^{210}Po csak alfa-sugarakat bocsát ki, amelyek a szervezetből nem jönnek ki. Ezért sem a bomlástermékei révén, sem pedig a saját sugárzása révén nem árulja el magát, és így nagyon nehéz kimutatni.

Ha a két radioaktív elem azonos aktivitású (ezt nevezzük radioaktív egyensúlynak, a fogalmat anya-, leányelem viszonylatban használjuk), akkor a bomlási törvény alapján felírhatjuk a következő egyenlőséget:

$$\frac{\ln 2}{T_1} N_1 = \frac{\ln 2}{T_2} N_2, \quad \text{tehát} \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

A magok számarányát kifejezhetjük az elemek tömegarányával is:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{m_1}{m_2} \frac{A_{r2}}{A_{r1}},$$

ahol A_{r1} és A_{r2} az elemek relatív atomtömegeit jelenti. Így a fenti arány alapján a polóniummal megegyező aktivitású ^{238}U elem tömege:

$$m_{\mathrm{U}} = \frac{T_f^{\mathrm{U}}}{T_f^{\mathrm{Po}}} \frac{A_{r\mathrm{U}}}{A_{r\mathrm{Po}}} m_{\mathrm{Po}} = \frac{4{,}5 \cdot 10^9 \text{ év}}{139/365 \text{ év}} \frac{238}{210} 10^{-6} \text{ kg} =$$

$$= 13{,}39 \cdot 10^3 \text{ kg} \approx 13{,}4 \text{ tonna}.$$

d) 1 g tömegű ^{210}Po aktivitása:

$$A = \frac{\ln 2}{T_f} N = \frac{0{,}69}{139 \cdot 8{,}64 \cdot 10^4 \text{ s}} \cdot \frac{1 \text{ g}}{210 \text{ g}} \cdot 6 \cdot 10^{23} = 1{,}64 \cdot 10^{14} \frac{1}{\text{s}}.$$

A $P = A E_\alpha$ teljesítményéből pedig egyetlen alfa-részecske energiája is kiszámítható:

$$E_\alpha = \frac{P}{A} = \frac{140\ \mathrm{W}}{1{,}64 \cdot 10^{14}\ \frac{1}{\mathrm{s}}} = 8{,}54 \cdot 10^{-13}\ \mathrm{J} = 5{,}3\ \mathrm{MeV}.$$

Egy α-részecske energiája tehát 5,3 MeV.

10. feladat megoldása

a) A felszabaduló (vagy elnyelődő) reakcióenergia a kezdeti és végállapotbeli magok nyugalmi energiakülönbségeként határozható meg:

$$Q_{\mathrm{He}} = \left[2m(^2\mathrm{H}) - m(^3\mathrm{He}) - m(n)\right]c^2 = (0{,}00351\ \mathrm{m_u}) \cdot c^2 =$$

$$= 0{,}00351 \cdot 1{,}66054 \cdot 9 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{J} = 5{,}2456 \cdot 10^{-13}\ \mathrm{J} = 3{,}2744\ \mathrm{MeV}$$

és

$$Q_{\mathrm{H}} = \left[2m(^2\mathrm{H}) - m(^3\mathrm{H}) - m(\mathrm{H})\right]c^2 = (0{,}00433\ \mathrm{m_u}) \cdot c^2 =$$

$$= 0{,}00433 \cdot 1{,}66054 \cdot 9 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{J} = 6{,}4711 \cdot 10^{-13}\ \mathrm{J} = 4{,}0394\ \mathrm{MeV}.$$

Az eredményekből következik, hogy mindkét reakció exoterm (energiatermelő), így a nagyobb reakcióenergiájú folyamat, azaz a $d(d,p)^3\mathrm{H}$ reakció termel több energiát.

b) Két oka is van a D-T reakció használatának. Egyrészt a D-T reakció több energiát termel. Kiszámítva:

$$Q_{\mathrm{D\text{-}T}} = \left[m(^2\mathrm{H}) + m(^3\mathrm{H}) - m(^4\mathrm{He}) - m(n)\right]c^2 = (0{,}01895\ \mathrm{m_u}) \cdot c^2 =$$

$$= 0{,}01889 \cdot 1{,}66054 \cdot 9 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{J} = 2{,}822 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{J} = 17{,}6\ \mathrm{MeV}.$$

Másrészt pedig a $d(d,p)^3\mathrm{H}$ reakció nem választható külön a $d(d,n)^3\mathrm{He}$ reakciótól, mindkettő végbemenne bizonyos valószínűséggel. Tehát hiába alkalmaznánk tiszta deutériumból álló plazmát, a neutronoktól – és így az általuk létrehozott felaktiválódástól – így sem szabadulnánk meg.

A 13. verseny döntőjének eredménye

11–12. évfolyam (I. kategória)

1. helyezést ért el ***Hartstein Máté,*** a Leőwey Klára Gimnázium, Pécs tanulója, felkészítő tanára Simon Péter, 80 pontos eredménnyel és
1. helyezést ért el ***Varga Ádám,*** a SZTE Ságvári Endre Gyakorló Gimnázium, Szeged tanulója, felkészítő tanára Tóth Károly, 80 pontos eredménnyel,

3. ***Kaposvári István*** (Hermann O. Gimn., Miskolc, Dudás Imre, Dezsőfi György, 70),
4. *Kovács Benjamin* (Leőwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter, 68),
5. *Garaguly Gergő* (Verseghy F. Gimn., Szolnok, Pécsi István, 67),
6. *Kungl Ákos* (Lovassy L. Gimn., Veszprém, Varga Vince, 65),
7. *Weiner Zoltán* (Batthyány K. Gimn., Szigetszentmiklós, Bülgözdi László, 61),
8. *Eszes Dávid* (Batthyány K. Gimn., Szigetszentmiklós, Bülgözdi László, 58),
8. *Fonai Dániel* (Táncsics M. Gimn., Kaposvár, Drankovics József, 58),
10. *Jéhn Zoltán* (PTE Babits M. Gyak. Gimn., Pécs, Koncz Károly, Kotek László, 55),
11. *Mayer Martin János* (Ciszterci Rend Nagy L. Gimn., Pécs, dr. Orovicza Márkné, 52),
12. *Havlik Tamás* (Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg, Pálovics Róbert, 50),
13. *Csábi József Dávid* (Energetikai Szakközépisk. és Koll., Paks, Faragó Zoltán, Nagyné Lakos Mária, 45),
14. *Janosov Milán* (Lovassy L. Gimn., Veszprém, Varga Vince, 44),
14. *Kukucska Gergő* (Szerb A. Gimn., Budapest, Szemes Balázs, 44),
16. *Pölöskei Tamás* (Batthyány K. Gimn., Szigetszentmiklós, Juhász Róbert, 42),
17. *Bodó Kinga Sára* (ELTE Trefort Á. Gyak. Gimn., Budapest, Chikán Éva, 35),
18. *Katona Attila* (Batthány K. Gimn., Szigetszentmiklós, Bülgözdi László, 23).

9–10. évfolyam (II. kategória)

1. helyezést ért el ***Szabó Attila,*** a Leőwey Klára Gimnázium, Pécs tanulója, felkészítő tanára Simon Péter, 93 pontos eredménnyel,
2. ***Pölöskei Péter*** (Batthyány K. Gimn., Szigetszentmiklós, Bülgözdi László, 48),
3. ***Bolgár Dániel*** (Leőwey K. Gimn., Pécs, Simon Péter, 48),
4. *Galgóczi Gábor* (ELTE Apáczai Csere J. Gyak. Gimn., Budapest, Zsigri Ferenc, 44),
4. *Sápi András* (Bethlen G. Ref. Gimn., Hódmezővásárhely, Nagy Tibor, 44),
6. *Farkas Martin* (Vajda J. Gimn., Keszthely, Farkas László, 43).

2005–2010. évi döntők feladatainak kitűzői és összeállítói

Elméleti feladatok kitűzői

(zárójelben a kitűzött feladatok sorszáma szerepel)

2005. év

Berta Miklós (7.)
Kopcsa József (1.)
Radnóti Katalin (2., 3.)
Sükösd Csaba (4., 5., 6.)
Szűcs József (9., 10.)
Ujvári Sándor (10.^{II})
Vastagh György (8., 9.^{II})

2006. év

Radnóti Katalin (2., 3., 5., 6.)
Sükösd Csaba (1., 4., 7., 9.)
Szűcs József (10.)
Ujvári Sándor (8.)
Vastagh György (9.^{II}, 10.^{II})

2007. év

Kaszás Dezső (10.^{II})
Kopcsa József(7., 8.)
Radnóti Katalin (1.)
Sükösd Csaba (2., 3., 4., 9.)
Szűcs József (10.)
Tallián Miklós (5., 6.)
Ujvári Sándor (9.^{II})

2008. év

Czifrus Szabolcs (3.)
Kopcsa József (7.)
Mester András (9.)
Papp Gergely (4., 5.)
Radnóti Katalin (1., 8.)
Sükösd Csaba (2., 6.)
Szűcs József (10.)
Ujvári Sándor (9.^{II})
Vastagh György (10.^{II})

2009. év

Kaszás Dezső (2.)
Papp Gergely (6.)
Radnóti Katalin (4.)
Sükösd Csaba (1., 3., 8., 9.^{II}, 10.)
Szűcs József (2., 5., 9.)
Tallián Miklós (1.)
Vastagh György (7., 10.^{II})

2010. év

Czifrus Szabolcs (3.)
Kis Dániel (6., 7., 9., 10.^{II})
Mester András (9.^{II})
Papp Gergely (2.)

Radnóti Katalin (5., 8.)
Sükösd Csaba (1., 4.)
Szűcs József (10.)
Vastag György (8.$^{\mathrm{II}}$)

Kísérleti feladatok összeállítói

2005–2010. évi döntők kísérleti feladatait Csajági Sándor és Ujvári Sándor állította össze.
2005. év: Planck-állandó meghatározása LED diódákkal
2006. év: Természetes eredetű radioaktív elemek vizsgálata
2007. év: Béta-sugárzás energiájának nagyságrendi becslése
2008. év: Mérések az elektromágneses keringető szivattyú modelljével
2009. év: Galvanizálás hatásfokának meghatározása
2010. év: Az elektron fajlagos töltésének meghatározása „varázsszem” segítségével.

Számítógépes feladatok összeállítója

A döntők számítógépes feladatait Sükösd Csaba készítette.
2005. év: Atomreaktor aktív zónájának vizsgálata
2006. év: Atommagok gerjesztett állapotainak vizsgálata
2007. év: Gamma-detektor effektív homlokfelületének helyzetmeghatározása
2008. év: Diffúziós urándúsító szimulációja
2009. év: Atomrektor szabályozó rúdjának kalibrációja
2010. év: Részecskegyorsító szimulációval gyorsított részecskenyaláb előállítása

A verseny rövid története, szabályai és értékelése

Az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny rövid története

1997-ben Marx György Professzor Úr javaslatára iskolánkban úgy döntöttünk, hogy 1998-ban Szilárd Leó születésének 100. évfordulóján országos fizikaversenyt rendezünk Országos Szilárd Leó Fizikaverseny néven. Minden várakozásunkat felülmúlta a nagyszámú jelentkező: 440 középiskolás tanuló jelentkezett versenyünkre, amelynek témaköre a nukleáris fizikát ölelte fel. Fő támogatónk Paksi Atomerőmű Zrt. lett, amelynek vezetése úgy döntött, hogy hosszú távú adományozási szerződéssel segíti a verseny szervezését, fennmaradását.

1998-ban a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány és az Energetikai Szakközépiskola (elődje az Energetikai Szakképzési Intézet) önállóan, míg a következő évtől az Eötvös Loránd Fizikai Társulattal (ELFT) karöltve rendezzük meg az Országos Szilárd Leó Fizikaversenyt. A versenyen évenként 65-90 középiskola 300-450 tanulója méri össze tudását. A 2005/2006-os tanévtől határon túli iskolák diákjai is részt vesznek versenyünkön.

A Tudományegyetemek 2004-ig az első öt, illetve tíz helyezett tanulót felvételi mentességben részesítették fizikus, fizikatanári szakokra, míg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem a mérnök-fizikus szakára felvételi kedvezményt adott. A Művelődési Minisztérium felvette az Országos Szilárd Leó Fizikaversenyt a szakmailag támogatott versenyek listájára, 2004-től már a kiemelt versenyek között szerepel, továbbá a versenyeredmények alapján az iskolákat minősítő mutatók közé is bekerült versenyünk. Célunk, hogy a legjobb versenyzők az új érettségi rendszerben többletpontokat kapjanak a versenyeredményükért. Jelenleg ez még nem realizálódott.

A verseny kétfordulós. Az első fordulóban a Versenybizottság által kitűzött tíz elméleti feladatot kell a versenyzőknek 180 perc alatt megoldaniuk. Ezt a fordulót a versenyre jelentkező tanulók iskolái szervezik, és a tanulók által beadott dolgozatokat fizikatanáraik pontozzák a Versenybizottság által küldött javítási útmutató alapján.

A második az országos döntő, amely minden év áprilisában Pakson az Energetikai Szakközépiskola és Kollégium intézetben kerül megrendezésre. A döntő – amely egész napos verseny – a tanulók számára három részből áll. Az első részben tíz elméleti feladatot kell megoldaniuk 180 perc alatt. Délután, a második részben a kísérleti, míg a harmadik részben számítógépes szimulációs feladattal kell megbirkózniuk 90–90 perc alatt. A három részre kapott pontszámok összege alapján alakul ki a verseny végső sorrendje. Maximálisan elérhető pontszám: 50+25+25 = 100 pont.

A versenybizottság

A versenybizottság elnöke *Dr. Sükösd Csaba,* BME Nukleáris Technika Tanszék tanszékvezető egyetemi docense, Budapestről.

A versenybizottság tagjai

Csajági Sándor igazgatóhelyettes, Energetikai Szakközépiskola és Kollégium, Paks,
Dr. Czifrus Szabolcs egyetemi docens, BME Nukleáris Technika Tanszék, Budapest,
Kaszás Dezső nyugalmazott tanár, Tamási,
Kiss Dániel tudományos segédmunkatárs, BME Nukleáris Technikai Intézet, Budapest,
Dr. Kopcsa József nyugalmazott tanár, Debrecen,
Mester András tanár, Diósgyőri Gimnázium, Miskolc, az MNT Tanártagozatának elnöke,
Papp Gergely PhD egyetemi hallgató, BME Természettudományi Kar, Budapest,
Dr. Radnóti Katalin főiskolai tanár, ELTE TTK Fizikai Intézet, Budapest,
Dr. Szűcs József nyugalmazott egyetemi oktató, PTE Fizikai Intézet, Pécs,
Dr. Ujvári Sándor tanár, Lánczos Kornél Reálgimnázium, Székesfehérvár,
Vastagh György nyugalmazott tanár, Balatonfüred.

A verseny szervezői

A döntő főszervezője a paksi Energetikai Szakképzési Intézetben *Csajági Sándor* igazgatóhelyettes, fő segítői *Nagyné Lakos Mária* matematika-fizika szakos tanárnő, *Csapó János* oktatástechnikus és az informatikus kollégák, munkájukat további 5-6 kolléga segíti.

A verseny díjai

A döntőbe jutott tanulókat könyvjutalomban részesítjük, ezen kívül az első három helyezett – az egyszeri tanulmányi ösztöndíj mellett – arany-, ezüst-, illetve bronzfokozatú Szilárd Leó vert érmet is átvehet.

2001-ben alapítványunk „Szilárd Leó Tanári Delfin-díj”-at alapított, amellyel a nukleáris oktatás területén kimagasló tevékenységet végző tanártársaink munkáját szeretnénk elismerni. A szobor Farkas Pál szekszárdi szobrászművész alkotása.

2003 tavaszán Marx György Professzor Úrra emlékezve az alapítvány kuratóriuma úgy döntött, hogy „Marx György Vándordíj"-at alapít az Országos Szilárd Leó Fizikaversenyen legjobb eredményt elérő iskolák részére.

Az Országos Szilárd Leó fizikaverseny versenyszabályzata

A résztvevők jogai, kötelességei

A jelentkezés és a részvétel feltételei
A versenyre minden magyarországi és határon túli tanuló jelentkezhet a korosztályának megfelelő kategóriában. A verseny anyanyelve magyar. Nevezési díj nincs.

A versenyre

I. kategóriában a versenykiírás tanévében a rendes érettségi vizsgát tevő évfolyam vagy az azt közvetlenül megelőző évfolyam tanulói,

II. kategóriában az általános és középiskolák 7–10. osztályos tanulói vagy a 13. évfolyammal befejeződő középiskolai képzésben a 11. évfolyamos tanulók nevezhetnek.

A versenyen való részvétel kizáró okai

- A versenykiírásban kiírt kategóriától eltérő kategóriában való indulás;
- nem megengedett segédeszköz használata.

A résztvevők jogai, kötelességei
Minden induló versenyző joga, hogy megismerhesse elért eredményét. Kötelessége a versenykiírás feltételeinek megfelelően részt venni a versenyen. A versenyfeltételek be nem tartása a versenyből való kizárást eredményezheti.

A verseny szervezői, lebonyolítói (kizáró okok)

A versenybizottság tagjai az egyetemek, tudományegyetemek nukleáris technikai és fizika tanszékeinek (volt) oktatói, illetve a középiskolai fizika szakos tanárok. A versenybizottság munkájából, illetve a helyi szervezők közül felfüggesztési ok: közeli hozzátartozó vagy saját tanítvány részvétele a verseny adott évében.

Az egyes fordulók lebonyolítása

Az *első forduló* a nevező iskolákban kerül lebonyolításra. A dolgozatokat a felkészítő tanár – a megküldött javítókulcs alapján – kijavítja, majd a versenybizottság címére beküldi az alábbi ponthatárokat elért dolgozatokat.

Ponthatárok: I. kategória: a maximális pontszám 60%-a, II. kategória: a maximális pontszám 40%-a.

A versenybizottság a beküldött dolgozatokat ellenőrzi, *szükség esetén a pontszámokat felüljavítja.* A második fordulóba jutott tanulók – I. kategóriából maximum 20 fő, II. kategóriából maximum 10 fő – iskoláit a versenyfelhívásban rögzített határidőig az Eötvös Loránd Fizikai Társulaton keresztül értesíti.

A *második forduló* (döntő) elméleti, mérési és számítógépes feladatokból áll, pontértékek 50% – 25% – 25%. Az elméleti feladatsor megoldására 3 óra, míg a mérési és számítógépes feladat megoldására 1,5–1,5 óra áll a versenyzők rendelkezésére. A végeredménybe csak a második fordulóban elért pont számít.

Az egyes fordulók feladattípusai

Az *első forduló* csak elméleti feladatokat tartalmaz a modern fizika témaköréből, kiemelten kezelve a magfizikát és a környezetvédelmet. Az elméleti feladatsorok 10 feladatot tartalmaznak egységesen az I. és II. kategóriás versenyzők részére. A döntő elméleti feladatsorában 7-8 feladat közös az I–II. kategóriában, és 2-3 feladatban tér el a két kategória egymástól.

A *második forduló* (döntő) elméleti feladatokból, mérési feladatokból és számítógépes feladatból áll. Az utóbbi két feladattípus mindkét versenyzői kategóriában azonos feladatokat tartalmaz.

Értékelési eljárások, díjazás

– A verseny *első és a második fordulójában* minden elméleti feladat teljes megoldásáért egységesen öt-öt pont jár, az összpontszám így 50. A javítási útmutató részletes leírást ad a tanulók munkájának értékeléséhez.

A mérési feladat és a számítógépes feladat teljes megoldásáért 25–25 pont jár. Az elbírálási szempontokat a Versenybizottság minden verseny előtt egyezteti.

A döntőn a három feladattípusban maximálisan összesen 100 pontot lehet elérni.

– Az országos döntőbe bejutott tanulók könyvjutalomban részesülnek. Kategóriánként az 1–3. helyezettet a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány egyszeri ösztöndíjban részesíti.

A legeredményesebb felkészítő tanár – a verseny honlapján megtekinthető pontverseny alapján – *Szilárd Leó Tanári Delfin-díjban* részesül.

A *Marx György Vándordíj* a versenyen a legjobb eredményt elért iskolához kerül egy évig. A Vándordíj alapító okiratában meghatározott feltételek esetén egy iskola meg is őrizheti a Marx György Vándordíjat.

Csajági Sándor
Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány
kuratóriumának elnöke

A verseny tematikája, felkészüléshez felhasználható szakirodalom

A verseny a középiskolás tananyag modern fizikai – elsősorban magfizikai-sugárvédelmi – fejezeteinek alkalmazás szintű tudását és környezetvédelmi alapismereteket kér számon.

A versenyre kijelölt témakörök

- Mikrorészecskék leírásának alapjai, az anyag kettős természete
- Hőmérsékleti sugárzás törvényei
- Fotonok, fényelektromos jelenség, Compton-jelenség
- Speciális relativitáselmélet alapjai: idődilatáció, hosszúságkontrakció, tömeg-energia egyenértékűség, relativisztikus tömeg, impulzus
- de Broglie-összefüggés, elektronok interferenciája
- Heisenberg-féle határozatlansági összefüggés
- Az elektron bezárt állapotai, a hidrogénatom hullámmodellje
- A kvantumszámok szemléletes jelentése: *s, p,* és *d* állapotok
- Az elemek periódusos rendszerének atomszerkezeti magyarázata
- Az atommag és szerkezete: proton, neutron
- Rendszám és tömegszám. Magerők és kötési energia
- Radioaktivitás: felezési idő, gamma-, béta- és alfabomlás
- Maghasadás, neutron-láncreakció, atombomba, atomreaktor, atomerőmű
- Atomenergia felhasználásának lehetőségei, szükségessége és kockázata
- Sugárvédelmi alapismeretek
- Magfúzió, a Nap energiatermelése
- Hevesy György (radioaktív nyomjelzés), Szilárd Leó (szabadalma), Wigner Jenő (atomreaktor) munkássága
- Részecskegyorsítók működési elvei
- Környezetvédelmi alapismeretek: például CO_2 és az üvegházhatás, ózonlyuk, radonprobléma, radioaktív hulladék elhelyezése

Szakirodalom

- *Országos Szilárd Leó Fizikaverseny 1998–2004. Feladatok és megoldások.* Szilárd Leó Tehetséggondozó Alalpítvány, Paks, 2005.
- *Országos Szilárd Leó Fizikaverseny 2005–2010. Feladatok és megoldások.* Szilárd Leó Tehetséggondozó Alalpítvány, Paks, 2011.

– Marx György: *Atommagközelben.* Mozaik Kiadó, Szeged, 1996.
– Marx György: *Életrevaló atomok.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1978.
– Tóth Eszter – Holics László – Marx György: *Atomközelben.* Gondolat Kiadó, Budapest, 1981.
– Radnóti Katalin (szerk.): *Így oldunk meg atomfizikai feladatokat.* Mozaik Kiadó, Szeged, 1996.
– Radnóti Katalin (szerk.): *Modern fizika CD.* KOMA, Budapest, 2001.
– Kiss Dezső – Horváth Ákos – Kiss Ádám: *Kísérleti atomfizika.* ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 1998.
– William Lanouette: *Szilárd Leó. Zseni árnyékban.* Magyar Világ Kiadó, Budapest, 1997.
– K. N. Muhin: *Magfizika mindenkinek.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975.
– Marx György: *Wigner Jenő.* A múlt magyar tudósai sorozat, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2002.
– Marx György: *Szilárd Leó.* A múlt magyar tudósai sorozat, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1997.
– J. Norwood: *Századunk fizikája.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.

1998–2010. versenyek díjazott tanárai és iskolái

Szilárd Leó Tanári Delfin-díjasok

2001. *Marx György,* ELTE (a versenybizottság elnöke), Budapest és
2001. *Pálovics Róbert,* Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg
2002. *Horváth Gábor,* Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Gimnázium, Budapest és
2002. *Tóth Eszter,* Lauder Javne Iskola, Budapest
2003. *Kovács László,* JATE Ságvári Endre Gyakorló Gimnázium, Szeged
2004. *Simon Péter,* Leőwey Klára Gimnázium, Pécs
2005. *Pálovics Róbert,* Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg
2006. *Csajági Sándor,* Energetikai Szakközépiskola és Kollégium, Paks és
2006. *Nagy Tibor,* Bethlen Gábor Református Gimnázium, Hódmezővásárhely
2007. *Dr. Sükösd Csaba,* BME Nukleáris Technikai Intézet (a versenybizottság elnöke), Budapest és
2007. *Zsigri Ferenc,* ELTE Apáczai Csere János Gyakorló Gimnázium, Budapest
2008. *Simon Péter,* Leőwey Klára Gimnázium, Pécs
2009. *Dr. Jurisits József,* Garay János Gimnázium, Szekszárd és
2009. *Pálovics Róbert,* Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg
2010. *Pécsi István,* Verseghy Ferenc Gimnázium, Szolnok

Marx György Vándordíj nyertesei

2003. Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg
2004. Boronkay György Műszaki Szakközépiskola, Vác
2005. Bethlen Gábor Református Gimnázium, Hódmezővásárhely
2006. Verseghy Ferenc Gimnázium, Szolnok
2007. Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg
2008. Leőwey Klára Gimnázium, Pécs
2009. Verseghy Ferenc Gimnázium, Szolnok
2010. Leőwey Klára Gimnázium, Pécs

Szilárd Leó az egyik legnagyobb, legeredetibb magyar tudós. Egyike azoknak a múlt század elején hazánkból elvándorolt „marslakók”-nak, akik addig soha nem látott mértékben hatottak a 20. század tudományára. Közülük hatnak – Hevesy Györgynek, Kármán Tódornak, Neumann Jánosnak, Szilárd Leónak, Teller Edének és Wigner Jenőnek – állít méltó emléket a Paksi Atomerőmű Látogatóközpontja előtti Paksi Disputa.

Szilárd Leó születésének centenáriumán, 1998-ban – Marx György kezdeményezésére – indult útjára, és azóta is az alapító, illetve a névadó szellemében él tovább a modern fizika és a nukleáris ismeretek hazai legrangosabb középiskolai versenye, az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny.

Az olvasó e versenyek krónikájának második kötetét tartja kezében. Reméljük, az érdekes, gondolkodtató feladatok és megoldások sok hívet szereznek a modern fizikának, amely oly kedves a verseny szervezői és a kötet készítői számára.

Forgassák örömmel, élvezzék a versengő diákok számára készített feladatok szellemi kihívását!

ISBN 963 081215-0
9789630812153