

**Országos
SZILÁRD LEÓ
FIZIKAVERSENY
1998-2004**



**Feladatok és megoldások
Paks, 2005**



A címképen a Szilárd Leó Tanári Delfin-díj,
a borítólapon a Verseny névadója, Szilárd Leó,
a hátlap belső oldalán a Marx György Vándordíj és a Szilárd Leó-érem látható, a hátlapon pedig „aranyérmes” támogatónkra emlékezünk.

**Országos
SZILÁRD LEÓ
FIZIKAVERSENY
1998-2004**

Feladatok és megoldások
Paks, 2005

Kiadja:
Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány, Paks

Köszönetet mondunk

a **Paksi Atomerőmű Rt.**-nek és
a paksi **Szilárd Leó Tehetség gondozó Alapítvány**-nak
azért az anyagi és szellemi támogatásért, amely lehetővé tette ezen könyv kiadását

Az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny anyagát sajtó alá rendezte:
Kopcsa József (Debrecen)

Szerkesztő:
Venczel József (Debrecen)

Közreműködött:
Csajági Sándor (Paks)
Sükösd Csaba (Budapest)

Paks, 2005

TARTALOMJEGYZÉK

Tartalomjegyzék.....	1
Előszó.....	3
Bevezetés.....	4
1. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY	7
A) Az 1. forduló feladatai.....	7
B) A döntő feladatai	10
a) Elméleti feladatok	10
b) Mérési feladatok	15
c) Számítógépes feladat	17
C) Az 1. forduló feladatainak megoldása	18
D) A döntő elméleti feladatainak megoldása.....	23
E) Az 1. Verseny döntőjének eredménylistái	29
F) Megjegyzések	31
2. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY	32
A) Az 1. forduló feladatai.....	32
B) A döntő feladatai	33
a) Elméleti feladatok	33
b) Kísérleti feladat.....	35
c) Számítógépes feladat	37
C) Az 1. forduló feladatainak megoldása	39
D) A döntő elméleti feladatainak megoldása.....	44
E) A 2. Verseny döntőjének eredménylistái	50
F) Megjegyzések	52
3. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY	53
A) Az 1. forduló feladatai.....	53
B) A döntő feladatai	55
a) Elméleti feladatok	55
b) Kísérleti feladat.....	58
c) Számítógépes feladat	58
C) Az 1. forduló feladatainak megoldása	59
D) A döntő elméleti feladatainak megoldása.....	66
E) A 3. Verseny döntőjének eredménylistái	69
F) Megjegyzések	71

4. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVÉRSÉNY	72
A) Az 1. forduló feladatai	72
B) A döntő feladatai	73
a) Elméleti feladatok.....	73
b) Kísérleti feladat.....	74
c) Számítógépes feladat.....	75
C) Az 1. forduló feladatainak megoldása	79
D) A döntő elméleti feladatainak megoldása.....	82
E) A 4. Verseny döntőjének eredménylistái	84
F) Megjegyzések.....	86
5. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVÉRSÉNY	88
A) Az 1. forduló feladatai	88
B) A döntő feladatai	89
a) Elméleti feladatok.....	89
b) Kísérleti feladat.....	91
c) Számítógépes feladat.....	92
C) Az 1. forduló feladatainak megoldása	94
D) A döntő elméleti feladatainak megoldása.....	97
E) Az 5. Verseny döntőjének eredménylistái.....	101
F) Megjegyzések.....	103
6. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVÉRSÉNY	104
A) Az 1. forduló feladatai	104
B) A döntő feladatai	106
a) Elméleti feladatok.....	106
b) Kísérleti feladat.....	108
c) Számítógépes feladat.....	110
C) Az 1. forduló feladatainak megoldása	110
D) A döntő elméleti feladatainak megoldása.....	115
E) A 6. Verseny döntőjének eredménylistái	121
F) Megjegyzések.....	123
7. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVÉRSÉNY	124
A) Az 1. forduló feladatai	124
B) A döntő feladatai	126
a) Elméleti feladatok.....	126
b) Kísérleti feladat.....	129
c) Számítógépes feladat.....	129
C) Az 1. forduló feladatainak megoldása	132
D) A döntő elméleti feladatainak megoldása.....	138
E) A 7. Verseny döntőjének eredménylistái	147
F) Megjegyzések.....	149

Előszó

A tehetségek megfelelő szintű gondozása nagyon fontos feladat, hiszen a tehetségek képviselik az ország szürkeállományának legjavát. Tőlük származnak a kreatív, innovatív megoldások, amelyekkel „be lehet törni” a (tudományos és gazdasági) világpiacon, és belőlük lesznek Nobel-díjasok is. Ők azok, akik öregbítik egy ország hírnevét, akiket tisztel, és akikre felnéz a világ. A 20. század első felében Magyarországon jó volt a tehetséggondozás. Ezt bizonyítja az itt született sok Nobel-díjas, és az a sok további tudós is, akik ugyan nem kapták meg ezt a legmagasabb kitüntetést, de akiknek a nevét világszerte ismerik, és akik jelentősen formálták a 20. század világát. Gondoljunk akár a rakéták és sugárhajtású repülőgépek működéséhez nélkülözhetetlen aerodinamikai fejlesztésekre (Kármán Tódor), akár a számítógép (Neumann János) vagy a nukleáris láncreakció (Szilárd Leó) megalkotására. A sort még hosszan lehetne folytatni. Valamennyien nagy szeretettel emlékeztek vissza magyarországi iskolájukra, amely egyszerre oktatta-tanította a nagy tömegeket és gondozta a tehetségeket, és ezzel példaként szolgálhatna a jelen és a következő generációknak.

Marx György professzor (1927-2002) az MTA tagja, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat tiszteletbeli elnöke kezdeményezésére az Eötvös Társulat Tolna megyei szakcsoportja már 1995 tavasza óta szervezett egy Szilárd Leóról elnevezett, megyei hatókörű fizikaversenyt 11-12. osztályos középiskolások számára. A versenyfeladatokat a magfizika és a nukleáris technika témaköréből is válogatták. Marx György javaslatára 1998-ban, Szilárd Leó születésének századik évfordulóján – az országos centenáriumi ünnepekhez kapcsolódóan – ezt a fizikaversenyt országos szintre emelték. Az eredeti elképzelés szerint ez egyszeri, „centenáriumi” verseny lett volna. A verseny sikere láttán azonban az Eötvös Társulat és a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány úgy döntött, hogy ezt a versenyt évről évre megrendezi. (A megyei verseny is megmaradt.) Marx György megkeresésére a tudományegyetemek fizika tanszékei és a Műegyetem felvételi kedvezményeket ajánlottak fel a verseny első öt helyezettjének. Ezzel egyidőben az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny felkerült az Oktatási Minisztérium által is elismert országos versenyek listájára. A versenybizottságba Marx György egyetemi oktatókat és középiskolai fizikatanárokat hívott meg, így biztosítva mind a szakmai, mind pedig a pedagógiai és didaktikai kompetenciát, valamint azt, hogy a feladatok színvonala a középiskolások ismereteinek megfelelő legyen.

Itt kell megemlíteni Csajági Sándor tanár úr munkáját, aki az első perctől kezdve hallatlan munkabírással és lelkesedéssel végezte – és végzi – a verseny szervezési munkáit, teljesítve a Versenybizottság kívánságait, amelyek néha a logisztikai lehetetlenségek határát is súrolják.

Sükösd Csaba
Budapest

BEVEZETÉS

1986-ban a Paksi Atomerőmű Vállalat létrehozta az ország első vállalati fenntartású középiskoláját, a paksi **Energetikai Szakképzési Intézet**-et (az **ESZI**-t). Az iskola feladata volt a Paksi Atomerőmű Vállalat szakember-utánpótlásának biztosítása. Ez igen nagy vonzerőt jelentett a dél-dunántúli tanulók számára. Matematikából és fizikából elért versenyeredményeinkkel hamarosan országosan is elismert iskolává váltunk. Iskolai tehetséggondozó rendszerünk évfolyamonkénti matematika és fizika szakkört, általános iskolai matematika előkészítő szakkört tartalmazott, amelyet a megyei matematika és fizika szakkörben való tanári és tanulói tevékenység egészített ki. Mi, matematika és fizika szakos tanárok úgy éreztük, hogy a semmiből egy új világot teremtettünk!

1998-ban a fizikus világ megemlékezett **Szilárd Leó**-nak, az atomenergia felismerőjének és gyakorlati realizálójának 100. születésnapjáról. Ezzel kapcsolatban kérte fel **Marx György** akadémikus a Paksi Atomerőmű Rt-t és iskolánkat, hogy rendezzék meg a Budapesti ünnepség-sorozathoz kapcsolódva az Országos Szilárd Leó Nukleáris Fizika Emlékversenyt.

Az Emlékverseny szervezésének illetve lebonyolításának első lépése volt a **Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány** létrehozása. Alapítója **Csajági Sándor** volt, első kuratóriumának tagjai pedig **Csajági Sándor** (elnök), **Borbás Tamás** (titkár), **Jurisits József**, **Nagyné Lakos Mária** és **Rósa Géza** voltak. A Versenybizottság az ország magfizikával foglalkozó fizikatanáraiból és a Tudományegyetemek Fizikai Tanszékeinek oktatóiból álltak össze. A legelső Versenybizottság összetétele: **Marx György**, **Csajági Sándor**, **Elblinger Ferenc**, **Gnädig Péter**, **Horváth Ákos**, **Juhász Sándor**, **Jurisits József**, **Kaszás Dezső**, **Kopcsa József**, **Mester András**, **Sebestyén Zoltán**, **Szűcs József** és **Vastagh György**. A helyi szervezők az iskola tanáraiból, informatikusaiból és oktatástechnikusaiból álltak össze. Köszönet illeti — többek között — **Straubingerné Kemler Anikó**, **Tibay László**, **Vizi Margit** és **Kasza Tímea** munkáját.

A Verseny előkészítésének a következők voltak a legfőbb feladatai: szponzorok felkutatása, Versenybizottság megalakítása, az 1. forduló feladatainak összeállítása és javítása. Az 1. forduló feladatmegoldásainak javítását **Csajági Sándor**, **Jurisits József** és **Szűcs József** végezték. A 2. forduló helyi megszervezése mindössze néhány fő — **Csajági Sándor** tanár, **Kasza Tímea** és **Vizi Margit** ügyintézők — feladata volt. Az országos döntő előkészítésének főbb feladatai voltak: Atomerőmű–(Látogatóközpont és Szimulátorközpont)–látogatás megszervezése, mérési feladat előkészítése, feladatsorok összeállítása, oklevelek és díjak beszerzése. A helyi szervezők munkáját az ESZI tanulóiból összeállt csoport is segítette.

Az Emlékverseny első három helyezettje arany, ezüst illetve bronz fokozatú vert érmet kapott és egyszeri pénzjutalomban részesült. Az érem **Fritz Mihály** képzőművész és **Szabó Géza** szegedi ötvösmester alkotása. A további helyezettek könyveket kaptak jutalmul.

Az 1998. évi Szilárd Leó Emlékverseny eredményei szinte kézzelfoghatóak voltak:

- 450 tanuló nevezett a Versenyre mintegy 70 iskolából;

- A nukleáris tudomány és technika iránt érdeklődő tanulókkal és önzetlen felkészítő tanárokkal találkoztunk;
- A Tudományegyetemek fizikus és BME mérnök-fizikus szakjaira az első tíz helyezett felvételi mentességet kapott;
- Összeállt a középiskolai tanárokból és egyetemi oktatókból a Versenybizottság;
- A Verseny anyagi háttérének biztosítására létrejött a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány.

Az Emlékverseny kiemelkedő támogatója a **Paksi Atomerőmű Rt.**, amely részben finanszírozta a felmerült költségeket. További szponzoraink: **DÉDÁSZ Rt.** (Szekszárd), **DÉMÁSZ Rt.** (Szeged), **MVM Rt.** (Budapest), **OVIT Rt.** (Budapest), **Pécsi Hőerőmű Rt.**, a **Paksi Önkormányzat Polgármesteri Hivatala** és a **Tolna Megyei Önkormányzat Közgyűlése**.

Az Emlékverseny sikeres megrendezése után **Marx György** akadémikus javaslatára a következő tanévtől ismét meghirdettük az **Országos Szilárd Leó Fizikaverseny-t**. Ezzel egy új fizikaversennyel bővült a versenyek amúgy is igen széles palettája. A Verseny meghirdetői és szervezői közé bekerült az **Eötvös Loránd Fizikai Társulat** is. Ezzel háromra növekedett az addigi szervezők (**Energetikai Szakközépiskola és Kollégium**, valamint **Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány**) köre. Az Alapítvány titkári teendőinek ellátását **Nagyné Lakos Mária** vállalta. A Versenybizottság jelentősen átalakult: vezetője **Marx György**, tagja **Csajági Sándor**, **Horváth Ákos**, **Juhász Sándor**, **Kopcsa József**, **Radnóti Katalin**, **Sükösd Csaba**, **Szűcs József**, **Ujvári Sándor** és **Vastagh György** lett. Később bekapcsolódott a verseny lebonyolításába **Berta Miklós** és **Czifrus Szabolcs** is.

A paksi szervezőkre a döntő előkészítése és lebonyolítása hárul. Előkészítése és megszervezése **Csajági Sándor** feladata. Segítők **Nagyné Lakos Mária** és **Straubingerné Kemler Anikó** tanárok, **Boczek Katalin** ügyintéző, valamint az informatikai csoportból **Pfeffer Istvánné**, **Tibay László** és kollégáik. Az informatikai csoportunknak köszönhetjük a mérési és a számítógépes feladatok zökkenőmentes megoldását. A szállás, az étkezés és az Atomerőmű-látogatás szervezési feladatai **Boczek Katalin**-ra hárulnak, a különféle díjak odaítélése és a versenyen kívüli programok megszervezése a kuratóriumi tagok feladata.

Az Atomerőmű-látogatás szervezésében segítségünkre van a **PA Rt. Tájékoztatási és Látogató Központ**-ja. Támogatásukkal látogathatják meg a döntők résztvevői a 4-es blokki látogató útvonalat, a **Karbantartó és Gyakorló Központ**-ot, és néhány alkalommal a **Szimulátorközpont**-ot.

A szponzori támogatások az évek során jelentősen átalakultak. Fő támogatónkkal, a **Paksi Atomerőmű Rt.**-vel tartós adományozási szerződést kötöttünk. További támogatást a következőktől kaptunk: **MVM Rt.** (Budapest), **OVIT Rt.** (Budapest), **Paksi Önkormányzat Polgármesteri Hivatala**, **Tolna Megyei Önkormányzat Közgyűlése** és **Magyar Nukleáris Társaság**. Önzetlen támogatásáért külön figyelmet érdemel az **ESZI Intézményfenntartó és Működtető Alapítvány**, mivel az **ESZI Kollégium**-ában térítésmentesen biztosítja a versenyzők és kísérőtanáraik elhelyezését.

Szép és új feladatok minden évben adódtak! Így például az 1999. évi döntőn 20 GM-csőves sugárázsmérő eszközt kellett beszerezni a mérési feladatokhoz. Ezeket azután a következő években is használtuk a versenyeken.

2001-ben a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány **Szilárd Leó Tanári Delfin-díj**-at alapított. A Díj **Farkas Pál** szekszárdi szobrászművész alkotása. A Verseny eredményhirdetésének egyik fénypontja a Díj átadása! (A Díjhoz pénzjutalom is járul.)

2003-ban **Marx György** akadémikus emlékére a **Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány** és az **Eötvös Loránd Fizikai Társulat** a döntőben legjobb eredményt elérő iskola elismerésére a **Marx György Vándordíj**-at hívta életre.

A **Szilárd Leó Tanári Delfin-díj** alapításának nem titkolt célja, hogy a felkészítő tanárok áldozatos munkáját is méltó módon ismerjük el. A mindennapi iskolai életben ezek a tevékenységek nem mindig értéküknek megfelelően kerülnek elismerésre. A jövő generációjának nevelését nagyban meghatározza a tanárok tehetséggondozó tevékenysége. A **Marx György Vándordíj**-jal irányítjuk a figyelmet azokra a szakmai, pedagógiai műhelyekre és iskolákra, ahol jelentős tehetségfejlesztő tevékenység folyik. A tartósan kiemelkedő — vagy akár csak kiugró — eredmények egyaránt egy tanári csoport átlagon felüli munkáját mutatják.

Az **Országos Szilárd Leó Fizikaverseny** szervesen illeszkedik a fizikaversenyek széles spektrumába, annak egyik meghatározó eleme lett. Hiánypótló abban az értelemben, hogy a modern fizika témakörét teljes egészében ez az egyetlen verseny öleli fel! Az **Energetikai Szakközépiskola és Kollégium** — mint a **Paksi Atomerőmű Rt.** alapította iskola — feladatának és küldetésének tartja ezen terület kiemelt gondozását. Az elmúlt években az **Iskola** kiemelkedett a szakközépiskolák köréből versenyeredményeivel. Ezt a '90-es években kialakított tehetséggondozó rendszerének köszönheti. Ezt a rangot megtartani nemes feladat lesz az elkövetkező években!

Köszönetnyilvánítás

Először köszönetemet kívánom kifejezni **Sükösd Csabának**, aki **Marx György** professzor úr örökségét felvállalva az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny versenybizottságának munkáját irányítja.

Köszönetemet fejezem ki **Kopcsa Józsefnek**, akinek fáradhatatlan és hozzáértő részvétele biztosította feladatgyűjteményünk megjelenését. Különösen hálás vagyok **Venczel József** kollégának, aki a könyv szerkesztését vállalta.

Mindazoknak, akik a „Országos Szilárd Leó Fizikaverseny 1998-2004” című könyv kiadását lehetővé tették, abban tevékenyen részt vállaltak, illetve gondozták, a kuratórium és a versenybizottság nevében sok sikert kívánok. A versenyzőknek eredményes felkészülést a felkészítő tanároknak pedig sikeres felkészítést kívánok. A könyv olvasóinak pedig azt kívánom, hogy hasonló örömmel, lelkesedéssel és személyes haszonnal forgassák a könyvet, mint amilyennel mi létrehoztuk.

Csajági Sándor
Paks

1. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY

A) AZ 1. FORDULÓ FELADATAI

Az 1998. március 17-én 14-17 órák között megtartott 1. forduló feladatlapját az alábbiakban adjuk meg.

*„Érdemes célokat tűzz magad elé, de ne firtasd, elérhetők-e; modellnek és példának tekintsd őket, ne határidős feladatnak”
(1939. aug. 4. Szilárd Leó tízparancsolatából)*

Útmutatás: A megoldásokat **A/4** lapokra írjuk balfelső sarokba **K** jellel lássuk el a kérdésekre adott válaszokat, **F** jellel pedig a feladatmegoldásokat! (Lehetőleg minden feladatot külön lapra írjuk!) Minden lap jobb felső sarkában tüntessük fel a **nevet, osztályt, iskolát, helyiséget**. A versenyen csak függvénytáblázat és számológép használható!

Kérdések

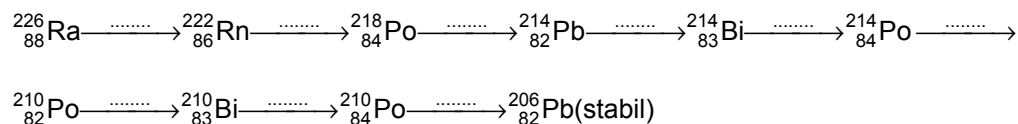
1. Az alábbiakban felsorolt emberiség által használt, földi energiaforrások közül melyek kapcsolatosak nukleáris folyamatokkal? (húzzuk alá a megfelelő – igen vagy nem – választ és nevezzük meg az esetleges nukleáris folyamatot!)

(A táblázatot másoljuk le a megoldási lapra!)

energiaforrás	kapcsolat nukleáris folyamattal	nukleáris folyamat megnevezése
ásványi szén	igen — nem	
kőolaj	igen — nem	
Napenergia	igen — nem	
atomenergia (erőművekben)	igen — nem	
geotermikus energia	igen — nem	

(5 pont)

2. Az alábbi bomlási – sor részleten tanulmányozhatjuk a radioaktív radongáz keletkezését és elbomlását:



- a) Tüntessük fel a nyilak fölötti pontozott helyeken, hogy az egyes magátalakulások milyen radioaktív sugárzással járnak!
- b) A radonos lakásokban megfelelő műszerekkel milyen sugárzás fajtákat mérhetünk? Vajon a szoba levegőjében melyik fajta sugárzásnak nagyobb a fajlagos aktivitása $\left(\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}\right)$ és miért?
- c) Mikor nagyobb és miért egy radonos szobában az ott élők egészségi kockázata: ha poros vagy tiszta a szoba levegője?

(Vegyük figyelembe, hogy a radon nemesgáz és nehezen kötődik meg más anyagokhoz, a leányelemei viszont fémek, amelyek szívesen tapadnak más anyagokhoz, így a levegőben lévő porszemekhez, vagy a szoba falához.)

(8 pont)

3. Két radioaktív anyag – A és B – aktivitása, felezési ideje és az anyagokból távozó részecskék energiája azonos. Az A anyag α -sugárzó, a B anyag pedig β -sugárzó?
- a) Tőlünk azonos távolságban lévő sugárzó anyagok közül melyik és miért veszélyesebb?
 - b) Ha a sugárzó anyagok szervezetünkbe kerülnek – és ott is maradnak -, akkor melyik anyag és miért okozhat nagyobb egészségi károsodást?

(6 pont)

4. Szilárd Leó – 1939-ben értesülvén a német tudósok által történő maghasadás felfedezéséről – megvalósíthatónak vélte a nukleáris láncreakciót.
- a) Vajon miért gondolta Szilárd, hogy a maghasadással a nukleáris láncreakció létrehozható?
 - b) Általában milyen tulajdonságokkal kell rendelkeznie az hasadó atommagoknak, hogy láncreakció jöhessen létre?
 - c) Mikor és hol hozták létre az első láncreakciót. Az eseménynél magyar származású tudósok közül kik működtek közre?

(8 pont)

5. Ma a Földön természetes úton nem indulhat meg nukleáris – láncreakció. A kutatók Közép-Afrikában (Gabon Köztársaságban, Oklóban) gazdag uránlelőhelyek környékén 2 milliárd évvel ezelőtti „ősreaktor” nyomaira bukkantak.
- a) Mik lehettek azok a nyomok, amelyekből valamikori szabályozott nukleáris láncreakcióra lehetett következtetni?
 - b) Vajon milyen feltételek álltak fent 2 milliárd évvel ezelőtt, amelyek lehetővé tették a feltételezett szabályozott láncreakciót?

(6 pont)

6. Földünkön előforduló hélium két stabil izotópjá a ritka ^3He izotóp és a gyakoribb ^4He izotóp. A levegőben a ^3He koncentrációja jóval magasabb, mint a földgázban?

a) Vajon hogyan alakulhatott ki ilyen eltérés?

(Gondoljunk arra, hogy a földgáz a Föld belsejéből ered, ahol nagy a radioaktivitás!)

b) Ha földgázt tartosan a felszínen tároljuk, akkor milyen változást várunk a földgáz ^3He koncentrációjában?

(7 pont)

Feladatok

7. Rutherford és munkatársai a század elején az atom belső szerkezetének megismerése céljából vékony aranyfóliára bocsátottak merőlegesen alfa-sugarakat. A kísérlet során a mérések azt mutatták, hogy az alfa-részek nagy hányada alig eltérülve haladt át az aranylemezen, de ritkán egyes alfa-részek szinte merőlegesen „visszapattantak” (azaz közel 180° -os eltérülést szenvednek) a lemezről.

a) A mérések szerint minden 100 ezer alfa-részből átlagosan 4 pattan vissza a lemezről. Ismerve, hogy a lemez kb. 10 ezer atomi rétegből áll, becsüljük meg, hogy az alfa-részek visszaszóródását okozó aranyatommagok átmérője hányad része az atomok átmérőjének?

b) Az átmérők becsült arányából következtessünk az aranyatommagok sűrűségére, ha tudjuk, hogy az arany sűrűsége 19300 kg/m^3 !

c) Hogyan változna meg a kísérletben a részecskék visszaszóródási aránya, ha eredetileg kb $0,7 \text{ pJ}$ energiájú alfa-részek helyett semleges neutronokkal bombáznánk az aranyfóliát? Mivel magyarázható a változás? Ekkor a magméretre a becsült érték hogyan változna?

(20 pont)

8. A paksi atomerőműben 4 reaktor működik. A reaktorok hőteljesítménye egyenként 1375 MW , villamos teljesítményük pedig 460 MW reaktoronként.

a) Becsüljük meg 1 reaktor üzemanyagtöltetét, ha tudjuk, hogy az üzemanyag kb. 3%-ban tartalmaz jó hasadó U-235 izotópot, és az izotóp koncentrációja (az egész töltetre nézve) évente átlagosan 1,14%-kal csökken! Tegyük fel, hogy a felszabaduló energia nagyrészt az U-235 magok hasadásából ered, ahol egy-egy hasadás alkalmával 32 pJ energia szabadul fel. *(Egy évben átlagosan 330 napot üzemel egy-egy reaktor)*

b) Becsüljük meg meg mennyire melegedhet fel az erőmű hűtésére szolgáló dunacsatorna, ha vízhozama másodpercenként 100 köbméter ?

c) Mekkora lenne a paksi erőművel azonos hőteljesítményű hőerőmű évi üzemanyagszükséglete ha az $24,5 \text{ MJ/kg}$ fűtőértékű szenet használna?

d) Becsüljük meg a szénerőmű által évenként kibocsátott CO_2 gáz térfogatát normál állapotban! Milyen vastagon borítaná be a szén-dioxid gáz Magyarország területét?

(20 pont)

9. Pajzsmirigy vizsgálathoz $8 \cdot 10^{-11}$ g radioaktív $^{131}_{53}\text{I}$ jódizotópot tartalmazó készítményt használnak, amely a pajzsmirigybe épül be, és ott is marad. Az izotóp felezési ideje 8 nap (ez azt jelenti, hogy minden 1 millió jódatommag közül másodpercenként átlagosan 1 bomlik el).
- Mekkora a készítmény kezdeti aktivitása?
 - Mennyi lesz az aktivitásértéke 4 nap elteltével?
 - Mennyi idő múlva lesz az aktivitás értéke biztosan kisebb a kezdeti aktivitás 1%-nál?
 - Becsüljük meg, hogy maximálisan hány mSv dózisegységet kaphat az a 60 kg tömegű vizsgált személy a jód sugárzásától, ha tudjuk, hogy a jód béta-sugárzó és a béta-részecskék átlagos energiája 0,1 pJ! (A dózist az egész testre vonatkoztatjuk, a béta-sugárzásra a minőségi tényezőnek 1-et vegyünk!)

(20 pont)

**A VERSENYBIZOTTSÁG
SZILÁRD LEÓ SZÜLETÉSÉNEK 100-DIK ÉVFORDULÓJA ALKALMÁBÓL
EREDMÉNYES VERSENYZÉST KÍVÁN MINDEN VERSENYZŐNEK!**

B) A DÖNTŐ FELADATAI

a) ELMÉLETI FELADATOK

1998. április 29-én Pakson az alábbi feladatsorokban megadott problémákra és kérdésekre, valamint feladatokra kellett a versenyzőknek válaszolniuk a rendelkezésükre álló 3 óra alatt.

α) I. vagy junior kategória

Problémák, kérdések

- A nehéz atommagok — így a $^{235}_{92}\text{U}$ -mag is — könnyen hasadnak neutronok hatására közepes nehézségű atommagokra. A hasadványok radioaktívak, β^- és γ sugárzást bocsátanak ki.
 - Vajon miért nincs a hasadványok között α - és β^+ -sugárzó?
 - Az uránmag hasadásakor miért nem keletkeznek szabad protonok?

(6 pont)

2. A hidrogénnek három izotópja fordul elő a természetben: a stabil hidrogén és deutérium valamint a 12 év felezési idővel bomló trícium. Bizonyos típusú atomreaktorok működéséhez szükség van nehézvízre (itt a vízmolekulákban egy vagy két atom deutérium, igen ritkán trícium) A nehézvíz gyártás egyik módja elektrolízis. A földi vizek elektrolízisekor nagyobb mértékben válik ki a kisebb tömegű hidrogén gázalakban, mint a kétszer akkora tömegű, lomhább deutérium. Így elektrolízissel a deutérium bedúsítható a visszamaradó vízben.

Az elektrolízishez milyen vizet célszerű használni a nehézvíz gyártására: hólét, esővizet, Duna-vizet, az óceán vizét, esetleg a Holt-tenger vizét?

(Válaszunkat indokoljuk!)

(4 pont)

3. Egy borkereskedő pókhálós palackban lévő — állítólag 300 éves —, a Rákócziak tokaji pincéjéből származó bort kínál jó pénzért eladásra egy gazdag külföldinek. A vásárolni szándékozó úr egy magfizikai laboratóriumba siet, ahol a palack dugójának kihúzása után hamarosan rájönnek a szándékolt csalásra. Nem a bor ízéből.

Vajon milyen magfizikai vizsgálatból állapítható meg, hogy a bor biztosan nem lehet 300 éves, hanem annál jóval fiatalabb?

(5 pont)

Feladatok

4. A paksi atomerőműben használt üzemanyag 4 gramm tömegű, urán-dioxidot tartalmazó pasztillákból tevődik össze.
- a) Mekkora a pasztilla hőteljesítménye a reaktor aktív zónájában normál üzemmódban?
 - b) A pasztillából nyert villamos energiával mekkora teljesítményű elektromos izzót tudnánk folyamatosan üzemeltetni, és ez mennyibe kerülne egy éves folyamatos használat során, ha 1 kWh villamosenergia ára 15 Ft?
 - c) Becsüljük meg, hogy a pasztillában naponta felszabaduló energiát mekkora térfogatú földgáz elégetésével helyettesíthetnénk?

(15 pont)

Felhasználható adatok: Egy reaktor urántöltetének tömege 42 tonna, hőteljesítménye normál üzemmódban 1375 MW, villamos teljesítménye pedig 460 MW.

A földgáz fűtőértéke $34 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$

5. Tegyük fel, hogy a paksi atomerőmű 4 reaktorblokkjának maradék hőjét jég olvasztására használjuk fel!
- a) Becsüljük meg, hogy a Balaton 10 cm vastag jegének megolvasztása mennyi ideig tartana? (A Balaton területét becsléssel állapítsuk meg!)
 - b) Mekkora felületet kellene napelemekkel befedni, olyan naperőmű építésénél, amelynek a villamos csúcsteljesítménye megegyezne a paksi erőmű állandó villamos teljesítményével?

(15 pont)

Felhasználható adatok: a jég sűrűsége 920 kg/m^3 , olvadáshője 335 kJ/kg . A Föld felszínére érkező napsugárzás teljesítménye 600 W/m^2 (derült időben és merőleges beeséskor). A napelemek villamos energia átalakításának hatásfoka 15%?

6. Magyarország lakosságának évi dózisegyenértéke átlagosan 3 mSv személyenként.
- a) Becsüljük meg, hogy Magyarország összes lakóját 1 év alatt ért sugárzás összes energiája hány liter $0 \text{ }^\circ\text{C}$ víz $100 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra történő felmelegítésére elegendő!
- b) Az összlakosságot ért elnyelt évi sugárzási energiát mekkora tömegű sugárzó ^{137}Cs -izotóp tudná biztosítani egy év alatt? (Az izotóp tömeget 10% pontossággal elegendő meghatározni!)

(15 pont)

Felhasználható adatok: A víz fajhője $4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ sűrűsége 1000 kg/m^3 . Magyarország lakóinak száma kb. 10 millió. A személyek átlagtömegét 50 kg -nak vegyük! A sugárzás dózisének nagy része β és γ -sugárzásból ered, ezek minőségi tényezője 1. A cézium β - és γ -sugárzó, a bomlás felezési ideje 30 év (ennek megfelelően másodpercenként minden ezer millió cézium atommagból 733 mag bomlik el). A keletkező elektronok energiája $0,081 \text{ pJ}$, a gamma fotonoké pedig $0,1 \text{ pJ}$.

A Versenybizottság sikeres versenyzést kíván minden versenyzőnek!

β) II. kategória (11. és 12. osztályosok)

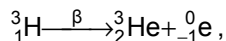
Problémák, kérdések

1. A nehéz atommagok — így a $^{235}_{92}\text{U}$ -mag is — könnyen hasadnak neutronok hatására közepesen nehéz atommagokra. A hasadványok radioaktívak, β^- és γ sugárzást bocsátanak ki.
- a) Vajon miért nincs a hasadványok között α és β^+ -sugárzó?
- b) Az uránmag hasadásakor miért nem keletkeznek szabad protonok?
2. Bizonyos típusú atomreaktorok működéséhez szükség van nehézvízre. A nehézvíz előállításának egyik módja az elektrolízis. A földi vizek elektrolízisekor nagyobb mértékben válik ki a kisebb tömegű hidrogén gázalakban, mint a kétszer akkora tömegű, lomhább deutérium. Így elektrolízissel a deutérium bedúsítható a visszamaradó vízben.

Az elektrolízishez milyen vizet célszerű használni a nehézvíz gyártására: hó-lét, esővizet, Duna-vizet, az óceán vizét, esetleg a Holt-tenger vizét?
(Válaszunkat indokoljuk!)

(4 pont)

3. A ${}^3\text{H}$ -mag kötési energiája 1,334 pJ, a ${}^3\text{He}$ -mag kötési energiája pedig csak 1,214 pJ. Ennek ellenére létrejön az alábbi bomlás:



ahol a keletkező a béta részecske energiája $2,88 \cdot 10^{-15}$ J.

Hogyan lehetséges ez, nem sérül-e az energiamegmaradás elve? (A választ számszerű adatokkal is támasszuk alá!)

(5 pont)

Felhasználható adatok: a neutron tömege: $1,67482 \cdot 10^{-27}$ kg, a proton tömege pedig $1,67252 \cdot 10^{-27}$ kg.

Feladatok

4. Magreakcióval a higanyból arany csinálható (teljesülhet a középkori alkimisták vágya) következőképpen: a ${}^{196}_{80}\text{Hg}$ -izotópot neutronokkal besugározva (neutron-aktiváció) radioaktív ${}^{197}_{80}\text{Hg}$ -izotóp keletkezik. A radioaktív izotóp pozitív béta-bomlása során ${}^{197}_{79}\text{Au}$ -atommag keletkezik. Arany előállításának céljából egy atomreaktorban 100 másodpercig sugároztak be 1 gramm higanyt. A reaktorból kivett minta aktivitása kivételkor 1620 Bq volt.

- A besugárzás során hány radioaktív ${}^{197}_{80}\text{Hg}$ mag keletkezett?
- A mintából maximálisan mekkora tömegű arany nyerhető?
- Mennyi ideig kellene végezni a besugárzást, hogy a higanyból kinyerjük a maximális arany mennyiséget? (Tételezzük fel, hogy a neutronaktiváció üteme mindvégig állandó!)
- Diszkutáljuk, hogy a c) pontbeli feltétel milyen okok miatt nem teljesülhet, és gazdaságos-e az ilyen aranycsinálás?

(15 pont)

Felhasználható adatok: A természetben előforduló higanyban a ${}^{196}_{80}\text{Hg}$ -izotóp aránya 0,15%. A radioaktív ${}^{197}_{80}\text{Hg}$ -izotóp felezési ideje 2,7 nap.

5. A paksi atomerőműben használt üzemanyag 4 gramm tömegű, urán-dioxidot tartalmazó pasztillákból áll.
- Becsüljük meg a friss (a reaktorba még be nem helyezett) pasztilla aktivitását és a sugárzási teljesítményét! (Tegyük fel, hogy a pasztillában csak alfa-bomló uránizotópok vannak!)
 - Mekkora lesz egy pasztilla maghasadásából származó hőteljesítménye, ha azt a reaktorba helyezzük és a reaktor normál üzemmódban dolgozik? Hasonlítsuk össze a hőteljesítményt a sugárzási teljesítménnyel!

- c) Tegyük fel, hogy egy kezdetben friss pasztilla 1 óra időtartamig volt bent a reaktor aktív zónájában normál üzemmód alatt, majd onnan kivéve 30 napot pihentették. Mekkora lesz ekkor az uránpasztilla összaktivitása?

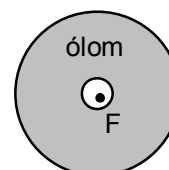
(15 pont)

Felhasználható adatok: A pasztilla 3 %-os dúsításban tartalmazza a ^{235}U izotópot, 97%-ban pedig a ^{238}U izotópot. Az izotópok felezési ideje 710 millió év, illetve 4,5 milliárd év. A kibocsátott alfa-részek energiája 0,67 pJ. Egy reaktor üzemanyagának tömege 42 tonna, hőteljesítménye normál üzemmódban 1375 MW. Egy uránmag hasadásakor felszabadult energia kb. 30 pJ. Az uránmagok hasadásakor keletkező sokféle hasadási termék együttes aktivitását az alábbi empirikus képlettel lehet közelíteni:

$$\frac{A(t)}{N_H} \approx 5,4 \cdot 10^{-6} \frac{1}{t^{1,2}} \text{ Bq},$$

ahol a bal oldalon az egy maghasadásra jutó aktivitás szerepel (N_H a hasadások száma), jobb oldalon t a hasadástól számított eltelt időt jelenti napokban kifejezve.

6. Egy 10 cm külső sugarú, ólomból készült gömb középpontjában lévő 2 cm átmérőjű üregbe helyezünk egy 10^7 Bq aktivitású 53,4 nap felezési idejű γ -sugárzó, pontszerű radioaktív F sugárforrást és egy évig ott tartjuk. Egy személy 7 nap múlva 3 méternyire megközelíti a radioaktív mintát, majd 1 órán keresztül — bizonyos kísérletet végrehajtva — ott tartózkodik.



- a) Becsüljük meg, hogy hány gramm foton éri a személyt a közelben tartózkodás ideje alatt?
- b) Ha a személy munkájából kifolyólag a kísérletet hetente megismétli, akkor mekkora évi sugárdózist kaphat egésztestre vonatkozóan? A kapott sugárdózis hányadrésze (vagy hányszorosa) a lakossági 3 mSv/fő évi dózishoz?

(15 pont)

Felhasználható adatok: Az ólom gamma- sugárzást felező vastagsága 2,5 cm (Az ólomréteg minden 2,5 cm megfelel a sugárzás intenzitásának). Az ember sugárzásra merőleges keresztmetszete kb. $0,5 \text{ m}^2$. A gamma sugárzásra vonatkozó minőségi tényező 1. A gamma-fotonok energiája 0,07 pJ. A levegő gamma-sugárzás elnyelésétől tekintsünk el!

7. A $^{226}_{88}\text{Ra}$ -izotóp alfa-sugárzó. Az atommagokból kirepülő alfa-részek (^4_2He -magok) mozgási energiája — távol a visszamaradó $^{222}_{86}\text{Rn}$ leánymagtól — 0,76 pJ.
- a) Vizsgáljuk meg, hogy a bomlás lehet-e reverzibilis! (Azaz előfordulhat-e, hogy a bomláskor keletkezett alfa-rész behatol egy másik radonmagba és újra rádium atommag keletkezik?)

- b) Döntsük el: használható-e *Rutherford* az első mesterséges magátalakulás létrehozására radioaktív sugárforrásként rádiumot!

Felhasználható adatok: Az atommagok sugarára kapott kísérleti formula:

$$R = R_0 \sqrt[3]{A}, \text{ ahol } R_0 = 1,4 \cdot 10^{-15} \text{ m.}$$

Az első magreakció egyenlete: ${}^4_2\text{He} + {}^{14}_7\text{N} = {}^{16}_8\text{O} + {}^1_1\text{p}$

(15 pont)

A Versenybizottság minden versenyzőnek eredményes versenyzést kíván!

b) MÉRÉSI FELADATOK

1. Feladatlap

Természetes eredetű radioaktív elemek vizsgálata

1.1. Általános tudnivalók

A mérésekhez a következő eszközök állnak rendelkezésre:

- 1 db porszívó
- 1 db GM-csőves sugázmérő detektorral
- 1 db Bunsen állvány fogókkal
- 1 db stopper
- 1 db műanyag írásvetítő fólia
- 1 db léggömb
- 1 tekercs géz
- 1 tekercs szigetelő szalag

1.2. Feladatok

Gyűjts a méréseidhez radont és radon-leányelemeket! Ird le a jegyzőkönyvbe a gyűjtési módszered fontosabb elemeit!

Figyeld meg és jegyzőkönyvben dokumentáld a levegőben lévő, természetes eredetű radioaktív nemesgáz, a radon összegyűjthető leányelemeinek bomlását! Várhatóan mennyi idő alatt fog a mérhető aktivitás a kezdeti aktivitás 32-ed részére csökkenni?

1.3. Mérésekhez a következőket tanácsoljuk:

A radon-leányok összegyűjtése hosszú időt vesz igénybe, ezért ennek elindításával kezd a kísérleti munkát! Amíg a gyűjtés folyik, foglalkozhatsz a második feladat megoldásával.

1.4. GM-csőves sugárásmérő ismertetése

1.4.1. A készülék feladata

A készülék ionizáló radioaktív sugárzások érzékelésére (detektálására) használható. Alkalmas a bejövő ionizáló részecskék megszámlálására. Érzékelni képes mind az alfa-, mind a béta mind pedig a gamma-sugárzást. Az érzékelt impulzusok megjelenítése többféle módon is lehetséges:

- egyes impulzusok beérkezésekor hangjelzést ad (röviden sípol!);
- egy küszöbszint felett a hangjelzés folyamatos sípolásba megy át;
- az impulzusok számát (a hangjelzéstől függetlenül) egy kézzel indítható és
- leállítható LCD kijelzős számlálón vizuálisan jelzi.

1.4.2. A készülék részei:

- a, GM-cső
- b, Központi egység.

A központi egység előlapján található kijelző-, ill. kezelőszervek

- Háromállású kapcsoló „**Be**”, „**Ki**”, „**Be/Halk**” felirattal.
A készülék ki/bekapcsolására szolgál. Középső állásban a készülék ki van kapcsolva. A „Be” állásban a készülék bekapcsolt állapotban van, és az impulzusok beérkezésekor **hangjelzést ad**. A „Be/Halk” állásban a készülék be van kapcsolva, de a hangjelzés le van tiltva.
- Nyomógomb „**Stop**”, „**Start/Reset**” felirattal.
A gomb a beépített számlálóra hat. Megnyomásakor az éppen működő számlálót letiltja, ill. az álló számlálót elindítja. A számláló leállítása után a kijelző folyamatosan mutatja a leállításig megszámlolt impulzusok számát. A számláló indításakor a számláló automatikusan törlődik. A törlésre nincs külön kezelőszerv.
- Folyadékkristályos (LCD) kijelző.
A beépített számláló értékének kijelzésére szolgál. Amikor a számláló be van kapcsolva, a kijelzőn egy pont is látható.
- „Hangjelzés” feliratú lyuk.
A lyuk a benne lévő hangszóró hangját engedi ki a központi egységből.

A központi egység hátlapján található csatlakozók ismerete nem szükséges a mérések elvégzéséhez!

2. Feladatlap

Radioaktív anyag helymeghatározása

2.1. Általános tudnivalók

A mérésekhez a következő eszközök állnak rendelkezésre:

- 1 db „kipreparált” gyertya
- 1 db GM-csőves sugázmérő detektorral
- 1 db kollimátor (ólomlemez réssel)
- 1 db Bunsen állvány fogókkal
- 1 db stopper
- 1 db 30 cm-es vonalzó
- 1 db filctoll

2.2. Feladatok

Az asztalon álló gyertyát határőrök foglalták le, mert megállapították, hogy a belsejében valahol radioaktív anyag van elrejtve. A gyertya megsértése nélkül próbáld minél pontosabban megállapítani, hogy — a gyertyán lévő jelöléshez képest — hol van elrejtve a radioaktív anyag!

2.3. A méréshez a következőket tanácsoljuk:

A „kipreparált” gyertyában elrejtett radioaktív sugárforrás igen kis aktivitású, így aránylag hosszabb időn át figyelj egy-egy pozíciót!

A feladat megoldásakat írd fel a beadandó lapra az általad használt gyertya betűjelét!

Kérünk, hogy a gyertyára semmilyen jelet se tegyél!

c) SZÁMÍTÓGÉPES FELADAT

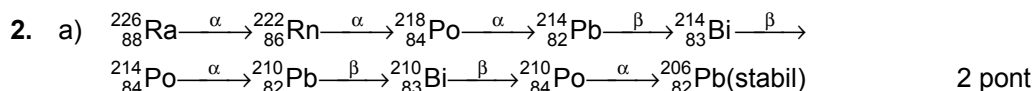
Az 1. Versenyen ilyen típusú feladatot nem kellett a versenyzőknek megoldaniuk.

C) AZ 1. FORDULÓ FELADATAINAK MEGOLDÁSA

1.

Energiaforrás	Kapcsolat nukleáris folyamattal	Nukleáris folyamat megnevezése
Ásványi szén	igen — <u>nem</u>	(Esetleg csillagokban fúzió) 1 pont
Kőolaj	igen — <u>nem</u>	— 1 pont
Napenergia	<u>igen</u> — nem	Hidrogén fúziója 1 pont
Atomenergia (erőművekben)	<u>igen</u> — nem	Nehézmagok maghasadása 1 pont
Geotermikus energia	<u>igen</u> — nem	Radioaktivitás 1 pont

Összesen: 5 pont



b) A fenti bomlási sor alapján láthatjuk, hogy a radon leányelemei közül három alfa-bomló és négy pedig béta-bomló. Így alfa- és béta-sugárzás mérhető megfelelő műszerekkel. Mivel a leányelemek — mint fémek — szívesen tapadnak porszemekhez, falhoz, stb., ezért a szoba levegőjében a **megmaradt radon alfa-sugárzása dominál** (ugyanis a radon nem tapad ki). 3 pont

c) **A radioaktív leányelemek kitapadása (adszorpciója) miatt a poros szobában nagyobb az ott élők egészségi kockázata**, mivel ezeket a porral belélegezhetjük; azok sugározva bent maradnak a szervezetben (a radon természetesen kijön). A por hiányában viszont a tapadóképes leányelemek többsége a falra és egyéb tárgyakra rakódik. Emiatt nagyrészt csak a radont lélegezzük be, ami viszont ki is jön. 3 pont

Összesen: 8 pont

3. a) Ha kívülről ér bennünket a sugárzás, akkor a béta-sugárzó **B** anyag veszélyesebb, mivel a béta-részecske áthatoló képessége nagyobb; szervezetünkbe jutva sugárkárosodást okozhat. Ugyanakkor az alfa-részek könnyen elnyelődnek már a levegőben is (legfeljebb a bőrünk felszíni rétegébe hatolhatnak).

A külső sugárzás esetén a béta-sugárzás veszélyesebb azonos körülmények esetén. 3 pont

b) A **szervezeten belül** (belső sugárzás esetén) **fordított a helyzet!** Az anyagokból származó kétféle sugárzás általában bent marad a testben. (Kivételt képez az az eset, ha a sugárzó anyag éppen a bőr alatt van. Ekkor ugyanis a béta-sugárzás egy része ki tud jönni.) Az alfa-sugárzó **A** anyag azonban veszélyesebb, mivel az alfa-sugárzásnak nagyobb az ionizáló képessége, így egyetlen sejten belül sokkal több iont hoz létre, mint a béta-sugárzás. Ezért az alfa-sugárzás sokkal jobban megzavarja a sejt anyagcseréjét, s ezt a sejt védekező rendszerei általában már nem tudják kivédeni (az érintett sejt elpusztul). 3 pont

Összesen: 6 pont

4. a) Szilárd Leó azért „örült” a maghasadás hírének (Bohrtól értesült róla), mivel tudta, hogy a nehéz atommagok **neutronban gazdagok. Ezért ha kisebbeké hasadnak szét, akkor neutronok „feleslegessé” válnak, s várható, hogy ezek a többlet-neutronok kilépnek.** (Ezt a várákozást a kísérletek igazolták is.) **Ha egyetlen neutronnal kiváltott maghasadásban átlagosan egynél több neutron keletkezik** (ténylegesen kb. 2,5), **akkor a nukleáris láncreakció megvalósíthatóvá válik.** (Tehát Szilárd Leó már az előtt „örült”, hogy a kísérletek igazolták volna a neutronok kilépését.) 3 pont
- b) A láncreakció megvalósulásának feltétele, hogy a **nehézatommag neutronok hatására elhasadjon, és a hasadáskor 1-nél több szabad neutron szabaduljon fel.** Így várható, hogy a láncreakció akár szabályozatlan, akár szabályozott formában beindulhat, megszaladhat, vagy állandósult teljesítménnyel hosszú ideig fennmaradhat. Ilyen tulajdonsággal az uránatommagok és más transzurán elemek (pl. plutónium) magjai is rendelkeznek. 3 pont
- c) Az első szabályozott láncreakciót **1942. december 2-án** valósították meg a **chicagai egyetem** stadionjában **Enrico Fermi** és **Szilárd Leó** vezetésével. Tartósan közreműködő, magyar származású fizikusok **Szilárd Leó** és **Wigner Jenő** voltak. 4 pont
- Összesen: 10 pont**

5. a) Az ősreaktorra utaló nyomok:
- az **uránmagok hasadási termékeinek szokatlan mértékű feldúsulása** a talajban és
 - az **U-235-izotóp koncentrációjának** a szokásosnál (0,7 százalék) **kisebb értéke.** 3 pont
- b) A kedvező feltételek:
- az ott található **kőzet** elegendően **nagy urántartalma** (2 milliárd évvel ezelőtt a mainál nagyobb, kb. 3%-os U-235-koncentráció) és
 - a **könnyűvízes moderálás lehetősége** (pl. esővíz, mint moderátor).

A természetes reaktor szabályozása a következőképpen történt.

Az uránban dús kőzet az esővíz vagy talajvíz hatására átnedvesedett, és az így jelenlévő víz, mint moderátor lehetővé tette az önfenntartó láncreakció létrejöttét. Amikor a teljesítmény egy bizonyos szintet elért, akkor a hőfejlődés hatására a kőzet kiszáradt, a moderátor eltűnt, a láncreakció leállt. Ez a folyamat sokszor megismétlődhetett, de a láncreakció sohasem tudott megszakadni a rendszerbe beépített fenti önszabályozó tulajdonság következtében.

5 pont

Összesen: 8 pont

6. a) **A földgázban** lefékeződnek a Föld belsejének radioaktív sugárzásából származó **alfa-részecskék**, és két elektron felvételével **semleges atommá alakulnak.** Ezért **a He-3-izotóp viszonylagosan kis aránya a gázban tovább csökken a légköri arányhoz képest.** 4 pont
- b) Ha a gáz tartósan a Föld felszínén van, akkor további jelentős alfa-sugárzás már nem éri. Mivel mindkét héliumizotóp stabil, ezért az eredeti koncentráció már nem változik. (Esetleg nagyon kicsi további koncentráció-csökkenés várható, ha a gáz alfa-sugárzó radioaktív radont is tartalmaz.) 4 pont

Összesen: 8 pont

7. a) Ha a fólia egy atomi rétegből állna, akkor a visszapattanási arány 10 ezerszer kisebb lenne. Így felírhatjuk, hogy

$$\frac{\pi d^2}{\pi D^2} = \frac{4}{10^9},$$

ahol d a mag, D pedig az atom átmérője. Ebből az átmérők arányára kapjuk:

$$\frac{d}{D} = 6,32 \cdot 10^{-5},$$

vagyis kb. 6 százvezred része a mag átmérője az atom átmérőjének.

5 pont

Megjegyzés. A becslésnél egyrészt úgy vettük, hogy a lemez felületét már az atomok egy rétege is lefedi, másrészt úgy, hogy 10 ezer atomi réteg esetén is a magok számottevően nem fedik egymást. A kapott eredmények alapján a feltevés jó, mivel a pontosabb megfontolások szerint az atommagok közül mintegy 4 százvezredrész kerül csak fedésbe.

- b) Ha az atomok átlagos sűrűségét azonosnak vesszük a makroszkopikus aransűrűséggel, akkor felírhatjuk a következő arányt (az elektronok tömegét a mag tömegéhez képest elhanyagolva):

$$\frac{\rho_{\text{mag}}}{\rho_{\text{atom}}} = \left(\frac{D}{d}\right)^3 = 3,96 \cdot 10^{12}.$$

Ebből a mag sűrűségére kapjuk:

$$\rho_{\text{mag}} = 3,96 \cdot 10^{12} \cdot 1,93 \cdot 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 7,64 \cdot 10^{16} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}. \quad 5 \text{ pont}$$

Megjegyzés. A magsűrűsége pontosabb értéket kapunk, ha figyelembe vesszük, hogy a gömb alakúnak vett aranyatomok térkitöltése nem teljes. A d átmérőjű gömb és a d élű kocka térfogatának aránya 0,523. Ezért az atomok átlagos sűrűsége a makroszkopikus arany sűrűségének 1,91-szorosa. Így az atommag sűrűségére is ennyiszor nagyobb, azaz $\rho_{\text{mag}} = 1,46 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ becsült sűrűségértéket kapunk.

Ez a megfontolás is azonos (vagyis 5) pontot ér.

- c) Ha vastagabb lemezt alkalmazunk, akkor a kicsi, de sok atommag nagyobb valószínűséggel kerül fedésbe. Így a visszaszóródásnál figyelembe vett határos felület egy kicsit kisebb lesz. Vagyis nem növekszik ezerszeresére, azaz 4000-re a visszaszóródott részecskék száma. Ez pedig **kisebb magméret**-re való következtetést jelent.

5 pont

Összesen: 15 pont

8. a) Először határozzuk meg egy reaktor aktív zónájában naponként elhasadt uránmagok számát:

$$N_U = \frac{8,64 \cdot 10^4 \text{ s} \cdot 1,375 \cdot 10^9 \text{ W}}{3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Ws}} = 3,713 \cdot 10^{24} .$$

A naponként elhasadt urán össztömege pedig:

$$m_U = \frac{3,713 \cdot 10^{24}}{6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}} \cdot 0,235 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} = 1,449 \text{ kg} .$$

Évi 330 üzemnappal számolva, az U-235-izotóp elhasadt tömege évente:
478,1 kg.

A teljes üzemanyagtöltet pedig:

$$m_{\text{töltet}} = \frac{478,1 \text{ kg}}{1,14 \cdot 10^{-2}} = 41940 \text{ kg} \approx 42 \text{ t} . \quad 5 \text{ pont}$$

- b) Ha úgy vesszük, hogy a hőteljesítmény és az elektromos teljesítmény közötti különbség teljes egészében a hűtővíz felmelegítésére fordítódik, akkor írhatjuk:

$$Q_e = 4(1375 \text{ MW} - 460 \text{ MW}) = c_v m_v \cdot \Delta T .$$

Ebből $m_v = 100 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ érték behelyettesítésével: $\Delta T \approx 8 \text{ K}$. 3 pont

- c) A szükséges szén tömege:

$$m_{\text{szén}} = \frac{4 \cdot 1,375 \cdot 10^9 \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 8,64 \cdot 10^4 \frac{\text{s}}{\text{d}} \cdot 330 \text{ d}}{2,45 \cdot 10^7 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 6,401 \cdot 10^9 \text{ kg} . \quad 3 \text{ pont}$$

- d) Ha feltételezzük, hogy a teljes szénmennyiség tökéletesen elég, akkor a szén-atomokból velük megegyező számú szén-dioxid-molekula keletkezik. Ekkor a keletkező gáz anyagmennyisége:

$$n = \frac{6,401 \cdot 10^9 \text{ kg}}{1,2 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} = 5,334 \cdot 10^{11} \text{ mol} .$$

Normálállapotban a CO₂-gáz térfogata:

$$V = 5,334 \cdot 10^{11} \text{ mol} \cdot 2,241 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}} = 1,195 \cdot 10^{10} \text{ m}^3 . \quad 3 \text{ pont}$$

Az ország teljes területét befedő gágréteg vastagsága pedig:

$$h = \frac{1,195 \cdot 10^{10} \text{ m}^3}{9,3033 \cdot 10^{10} \text{ m}^2} = 0,1285 \text{ m} \approx 13 \text{ cm} . \quad 1 \text{ pont}$$

Összesen: 15 pont

9. a) Az aktivitás kiszámításához meg kell határozni a jódatomok N számát:

$$N = \frac{8 \cdot 10^{-14} \text{ kg}}{0,131 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} = 3,768 \cdot 10^{11}.$$

A bomlástörvényből:

$$A_0 = \frac{\ln 2}{8 \cdot 8,64 \cdot 10^4 \text{ s}} \cdot 3,768 \cdot 10^{11} = 3,688 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{s}} \approx 369 \text{ kBq}. \quad 4 \text{ pont}$$

- b) Négy nap múlva az aktivitás:

$$A = 0,5 \cdot 3,688 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{s}} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{4}{8}} = 1,304 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{s}} \approx 130 \text{ kBq} \quad \text{vagy}$$

$$A = 0,5 \cdot 3,688 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{s}} \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{8 \text{ d}} \cdot 4 \text{ d}\right) = 1,304 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{s}} \quad 3 \text{ pont}$$

- c) Mivel $A = \frac{A_0}{100}$, az

$$A = A_0 \cdot 2^{\frac{t}{T}} \quad \text{vagy} \quad A = A_0 \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right)$$

összefüggések valamelyikének segítségével

$$t = 53,15 \text{ d}. \quad 3 \text{ pont}$$

- d) Feltételezve, hogy az összes radioaktív jódot 50%-a a vizsgált személy pajzsmirigyében marad — és ott bomlik —, a felszabaduló összes energia:

$$E = 0,5N \cdot E_0 \quad E = 0,5 \cdot 3,768 \cdot 10^{11} \cdot 10^{-13} \text{ J} = 1,839 \cdot 10^{-2} \text{ J}.$$

Így a kapott elnyelt dózis egész testre vonatkoztatva és egyben a dózisegyenérték is:

$$D = \frac{1,839 \cdot 10^{-2} \text{ J}}{60 \text{ kg}} = 3,065 \cdot 10^{-4} \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$H = D \cdot Q \quad H = 3,065 \cdot 10^{-4} \text{ Sv} = 0,3065 \text{ mSv} \approx 0,3 \text{ mSv} \quad 5 \text{ pont}$$

Összesen: 15 pont

A Versenybizottság a Javítási és értékelési útmutatóban megállapította, hogy

- maximálisan elérhető pontszám a kérdésekből 45 pont
- feladatokból elérhető maximális pontszám 45 pont
- **összesen** **90 pont**

Egyben kérte, hogy a szaktanár javítsa ki a dolgozatokat, és állapítsa meg a versenyzők által elért pontszámot. Azokat a dolgozatokat lehetett továbbküldeni, amelyeknek összpontszáma **70** vagy annál több (a juniorok kategóriájában **35** vagy annál több) volt.

— D) A DÖNTŐ ELMÉLETI FELADATAINAK MEGOLDÁSA —

α) I. vagy junior kategória

- Lásd a II. kategória **1.** elméleti feladatának megoldását!
- Lásd a II. kategória **2.** elméleti feladatának megoldását!
- Meg kell vizsgálni a palackozott bor trícium tartalmát. Ha azt tapasztaljuk, hogy annak trícium-koncentrációja nem sokkal kisebb a közelmúltban palackozott borokra jellemző értéknél, akkor a bor nem lehet nagyon öreg. Ellenkező esetben ugyanis a viszonylag rövid felezési idő miatt a pincében elzárt palackban a trícium 300 év alatt elbomlott.

Összesen: 5 pont

4. a)

$$P = \frac{4 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 1,375 \cdot 10^9 \text{ W}}{4,2 \cdot 10^4 \text{ kg}} = 130,9 \text{ W} \quad 5 \text{ pont}$$

- b)

$$P_{\text{elektromos}} = \frac{4,6 \cdot 10^8 \text{ W}}{1,375 \cdot 10^9 \text{ W}} \cdot 130,9 \text{ W} = 43,79 \text{ W}$$

$$x = \frac{43,79 \text{ W} \cdot 3,156 \cdot 10^7 \text{ s}}{3,6 \cdot 10^6 \frac{\text{Ws}}{\text{kWh}}} \cdot 15 \frac{\text{Ft}}{\text{kWh}} = 5758 \text{ Ft (!)} \quad 5 \text{ pont}$$

- c)

$$W = 130,9 \text{ W} \cdot 8,64 \cdot 10^4 \text{ s} = 1,131 \cdot 10^7 \text{ Ws}$$

$$V = \frac{1,131 \cdot 10^7 \text{ J}}{3,4 \cdot 10^7 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}} = 0,3326 \text{ m}^3 \quad 5 \text{ pont}$$

Összesen: 15 pont

5. Fel kell használni a **4.** feladatban szereplő adatokat.

a)
$$P = 4(1,375 \cdot 10^9 \text{ W} - 4,6 \cdot 10^8 \text{ W}) = 3,66 \cdot 10^9 \text{ W}$$

$$Q = mL \quad Q = Pt \quad m = \rho dA \quad t = \frac{\rho dAL}{P}$$

$$t = \frac{920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,1 \text{m} \cdot 6 \cdot 10^8 \text{m}^2 \cdot 3,35 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}{3,66 \cdot 10^9 \frac{\text{J}}{\text{s}}} = 5,052 \cdot 10^6 \text{ s} = 58,48 \text{ d} \quad 8 \text{ pont}$$

$$b) \quad A = \frac{4 \cdot 4,6 \cdot 10^8 \text{ W}}{0,15 \cdot 600 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 2,044 \cdot 10^7 \text{ m}^2 = 20,44 \text{ km}^2 \quad 7 \text{ pont}$$

Összesen: 15 pont

$$6. a) \quad W = 1 \cdot 10^7 \cdot 50 \text{ kg} \cdot 3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$V = \frac{W}{\rho c \cdot \Delta t} \quad V = \frac{1,5 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot 10^3 \frac{\text{l}}{\text{m}^3}}{1 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,183 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 100 ^\circ\text{C}} = 3,586 \text{ l} \quad 7 \text{ pont}$$

$$b) \quad E = (E_\beta + E_\gamma) \cdot \Delta N$$

$$\Delta N = \frac{1,5 \cdot 10^6 \text{ J}}{(0,08 + 0,1) \cdot 10^{-12} \text{ J}} = 8,287 \cdot 10^{18}$$

$$\Delta N = N_0 - N = N_0 - N_0 \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right) \quad \frac{t}{T_{1/2}} = \frac{1}{30}$$

$$N_0 = \frac{8,287 \cdot 10^{18}}{1 - \exp\left(-\frac{\ln 2}{30}\right)} = 3,628 \cdot 10^{20}$$

$$m = \frac{N_0}{N_A} M \quad m = \frac{3,628 \cdot 10^{20}}{6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}} \cdot 0,137 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} = 8,254 \cdot 10^{-5} \text{ kg} = 82,54 \text{ mg}$$

8 pont

Összesen: 15 pont

β) II. kategória (11. és 12. osztályosok)

1. a) Mivel a közepes atommagokban energetikailag a kisebb neutronarány a kedvezőbb, ezért a magok relatív neutroncsökkenésre törekszenek. Sem a β^+ -sugárzás, sem az alfa-sugárzás esetén ez nem következik be, így ezek a sugárzásfajták nem jönnek létre. 3 pont

- b) Az ok az előzőekkel megegyezik: rögtön a maghasadásnál igyekszik a rendszer a felesleges neutronoktól megszabadulni. Ezért keletkeznek szabad (prompt) neutronok, nem pedig szabad protonok.

3 pont

Összesen: 6 pont

2. A nehéz hidrogénizotópok nem csak az elektrolízis során mozognak lomhábban, hanem a párolgáskor is. Így a jelentős mértékű párolgásnak kitett vizekben nagyobb a deutérium-tartalmú molekulák száma, azaz a nehézvíz aránya. Ezért gazdaságossági megfontolások alapján célszerű az óceán, illetve az erősen párolgó Holt-tenger vizét (mintegy „előelektrolizált” alapanyagot) használni a többszörös elektrolízissel történő nehézvíz előállítására. (Ezzel ugyanis energiát takaríthatunk meg.)

Összesen: 4 pont

3. Figyelembe kell venni a teljes rendszer energiaviszonyát.
Látszólag

$$\Delta E = 1,334 \text{ pJ} - 1,214 \text{ pJ} + 0,00288 \text{ pJ} = 0,12288 \text{ pJ} = 1,2288 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

energia keletkezett a semmiből. Viszont ne felejtkezzünk meg arról, hogy egy neutron protonná alakult át. Így a neutron és a proton közötti tömegkülönbség fedezi egyrészt a keletkező elektron nyugalmi tömegét, másrészt a kötési energiák közötti különbséget, és harmadrészt az elektron mozgási energiáját:

$$\Delta E = c^2 \left[1,67482 \cdot 10^{-27} \text{ kg} - (1,67252 + 0,00091) \cdot 10^{-27} \text{ kg} \right] = 1,251 \cdot 10^{-13} \text{ J}.$$

Ez pedig éppen fedezi a látszólagos energiahianyát.

Összesen: 5 pont

4. a) Az
$$A = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N$$

összefüggésből meghatározhatjuk a keletkezett ${}^{197}_{80}\text{Hg}$ -magok számát:

$$N = \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{1620 \frac{1}{\text{s}} \cdot 2,7 \cdot 8,64 \cdot 10^4 \text{ s}}{\ln 2} = 5,452 \cdot 10^8. \quad 4 \text{ pont}$$

- b) A mintából nyerhető arany tömege jó közelítéssel megegyezik az 1 gramm tömegű higanyban lévő ${}^{196}_{80}\text{Hg}$ -izotóp tömegével, azaz

$$m_{\text{Au}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \text{ g} = 1,5 \text{ mg}. \quad 3 \text{ pont}$$

- c) Az aranymagok aktivációval való keletkezésének üteme:

$$\frac{5,452 \cdot 10^8}{100 \text{ s}} = 5,452 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{s}}.$$

Az arannyá alakítható összes $^{196}_{80}\text{Hg}$ -mag száma:

$$N_{\text{Hg}} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{0,196 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 4,609 \cdot 10^{18} .$$

Így az átalakítás idejére

$$t = \frac{4,609 \cdot 10^{18}}{5,452 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{s}}} = 8,454 \cdot 10^{11} \text{ s} \approx 26800 \text{ y}$$

értéket kapunk.

4 pont

- d) A neutronaktiváció ideje több okból sem lehet időben állandó:
- egyrészt a besugárzott mintában fogy az aktiválandó higanymagok száma, és így csökken a neutronok elnyelésének esélye;
 - másrészt az aranyatomok is aktiválódhatnak neutronok elnyelésével, így azok száma is csökken az idővel (beáll egy telítődési arány); vagyis nem keletkezhet az összes higanyból aranyatom.

Mivel a becsült átalakítási idő rendkívül hosszú, és a keletkezett arany mennyiség pedig ugyancsak csekély, az „aranycsinálás” ilyen módja nem gazdaságos. Emiatt nem is alkalmazzák a gyakorlatban!

4 pont

Összesen: 15 pont

5. a) Az urán-dioxid móltömegének átlagértéke:

$$M = 0,03 \cdot 0,267 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} + 0,97 \cdot 0,270 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} = 0,26991 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \approx 270 \frac{\text{g}}{\text{mol}} ,$$

így a 4 gramm tömegű pasztillában lévő ^{235}U -magok száma:

$$N_{235} = \frac{4 \text{ g}}{270 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} \cdot 0,03 = 2,68 \cdot 10^{20} ,$$

a ^{238}U -magok száma pedig:

$$N_{238} = \frac{4 \text{ g}}{270 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} \cdot 0,97 = 8,65 \cdot 10^{21} .$$

Ezek segítségével az egyes izotópok aktivitása:

$$A_{235} = \frac{\ln 2}{7,1 \cdot 10^8 \cdot 3,156 \cdot 10^7 \text{ s}} \cdot 2,68 \cdot 10^{20} = 8,29 \cdot 10^3 \frac{1}{\text{s}} = 8,29 \text{ kBq} \quad \text{és}$$

$$A_{238} = \frac{\ln 2}{4,5 \cdot 10^9 \cdot 3,156 \cdot 10^7 \text{ s}} \cdot 8,65 \cdot 10^{21} = 4,22 \cdot 10^4 \frac{1}{\text{s}} = 42,2 \text{ kBq} .$$

A teljes aktivitás pedig: 50,5 kBq.

A sugárzási teljesítmény: $P = A \cdot E_0$

$$P = 5,05 \cdot 10^4 \frac{1}{s} \cdot 0,67 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 3,38 \cdot 10^{-8} \frac{\text{J}}{\text{s}} = 33,8 \text{ nW} . \quad 5 \text{ pont}$$

b) Az üzemanyag-pasztilla hasadási teljesítménye:

$$P_H = \frac{4 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{4,2 \cdot 10^4 \text{ kg}} \cdot 1,375 \cdot 10^9 \text{ W} = 131,0 \text{ W} .$$

Ez az érték közel 4 milliárdszorosa (3,88) a sugárzási teljesítménynek.

Ennek az oka kettős:

- egyfelől hasadásonként mintegy 50-szer annyi energia szabadul fel, mint az alfa-bomláskor;
- másfelől pedig a másodpercenkénti hasadások (4,36 billió) száma 87 milliószorosa az együttes aktivitásnak. 5 pont

c) A pasztillában óránként elhasadt uránmagok száma

$$N_H = \frac{131 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s}}{3 \cdot 10^{-11} \text{ Ws}} = 1,572 \cdot 10^{16} .$$

A megadott formula alapján a hasadványokból származó összaktivitás 30 nap múlva:

$$A(30) = 1,572 \cdot 10^{16} \cdot 5,4 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{30^{1,2}} \text{ Bq} = 1,433 \cdot 10^9 \text{ Bq} .$$

Ez a kezdeti aktivitásnak kb. 30 ezerszerese. Emiatt az uránizotópok kezdeti aktivitásától eltekinthetünk. 5 pont

Összesen: 15 pont

6. a) Először határozzuk meg, hogy kezdetben az ólmgömbből másodpercenként mennyi foton távozik, vagyis mennyi aktivitás jön ki a gömbből:

$$A_{ki}(0) = A(0) \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{9 \text{ cm}}{2,5 \text{ cm}}} = 0,8247 A(0) = 8,247 \cdot 10^5 \text{ Bq} .$$

7 nap elteltével pedig a kijövő aktivitás:

$$A_{ki}(7) = A_{ki}(0) \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{7 \text{ d}}{53,4 \text{ d}}} = 0,9131 \cdot A_{ki}(0) = 7,531 \cdot 10^5 \text{ Bq} \quad \text{vagy}$$

$$A_{ki}(7) = A_{ki}(0) \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{53,4 \text{ d}} \cdot 7 \text{ d}\right) = 7,531 \cdot 10^5 \text{ Bq} .$$

A kijövő fotonok a gömbfelületen egyenletesen oszlanak el, így a kísérletező személyt ért fotonok száma 1 óra alatt (változatlan aktivitást feltételezve):

$$N_f = \frac{7,531 \cdot 10^5 \frac{1}{s} \cdot 3,6 \cdot 10^3 \text{ s} \cdot 0,5 \text{ m}^2}{4\pi \cdot 3^2 \text{ m}^2} = 1,200 \cdot 10^7 . \quad 8 \text{ pont}$$

- b) A hetenként kísérletező személyt óránként ért fotonok száma csökkenő mérési sorozatot alkot, melynek hányadosa:

$$q = 0,9131,$$

első eleme pedig:

$$N_1 = 1,2 \cdot 10^7.$$

A tagok száma: 52. Így a személyt 1 év alatt

$$N_0 = N_1 \frac{0,9131^{52} - 1}{0,9131 - 1} = 11,41 N_1 = 1,369 \cdot 10^8$$

foton éri. A maximálisan kapható dózis pedig (ha minden foton a testben marad):

$$H = \frac{1,369 \cdot 10^8 \cdot 7 \cdot 10^{-14} \text{ J}}{70 \text{ kg}} = 1,369 \cdot 10^{-7} \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 0,1369 \mu\text{Sv}. \quad 7 \text{ pont}$$

Összesen: 15 pont

7. a) Határozzuk meg először a kísérleti formula segítségével a radonmag sugarát:

$$R = 1,4 \cdot 10^{-15} \text{ m} \cdot \sqrt[3]{222} = 8,477 \cdot 10^{-15} \text{ m}.$$

Ezt követően számítsuk ki, hogy az alfa-részecske mennyire tudja megközelíteni a radonmagot:

$$r_{\min} = k_0 \frac{Z_1 Z_2 e^2}{E_\alpha} \quad r_{\min} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Vm}}{\text{C}} \cdot \frac{2 \cdot 86 \cdot (1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{7,6 \cdot 10^{-13} \text{ VAs}} = 5,227 \cdot 10^{-14} \text{ m}.$$

Vagyis az alfa-részecske nem tud visszamenni az atommagba; az alfa-bomlás nem reverzibilis folyamat! 6 pont

- b) A nitrogénmag sugara:

$$R_N = 1,4 \cdot 10^{-15} \text{ m} \cdot \sqrt[3]{14} = 3,374 \cdot 10^{-15} \text{ m} \approx 3,4 \cdot 10^{-15} \text{ m},$$

a hélium atommagjéé pedig:

$$R_{\text{He}} = 1,4 \cdot 10^{-15} \text{ m} \cdot \sqrt[3]{4} = 2,222 \cdot 10^{-15} \text{ m} \approx 2,22 \cdot 10^{-15} \text{ m}.$$

Az alfa-részecske legkisebb távolsága most:

$$r_{\min} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Vm}}{\text{C}} \cdot \frac{2 \cdot 7 \cdot (1,602 \cdot 10^{-19})^2}{7,6 \cdot 10^{-13} \text{ VAs}} = 4,255 \cdot 10^{-15} \text{ m} \approx 4,26 \cdot 10^{-15} \text{ m}.$$

Látható, hogy $r_{\min} \leq R_N + R_{\text{He}}$ ($4,26 < 5,62$). Vagyis az alfa-részecske képes behatolni a nitrogénmagba; Rutherford használhatta a rádiumot alfa-forrásként! 6 pont

Meg kell azt is vizsgálni, hogy ha a nitrogénmag mozog, az alfa-részecske akkor is behatol?

A két részecske között akkor legkisebb a távolság, amikor sebességük meg-
egyezik. Ebben az esetben a nitrogénmag mozgási energiája az impulzus(len-
dület)megmaradás törvényének felhasználásával:

$$E_m = \frac{m_\alpha}{m_\alpha + m_N} E_\alpha = \frac{4}{18} E_\alpha.$$

A rendszer potenciális energiája pedig: $E_p = \frac{14}{18} E_\alpha.$

Így a magok közötti legkisebb távolság:

$$r_{\min} = \frac{18}{14} \cdot 4,255 \cdot 10^{-15} \text{ m} = 5,471 \cdot 10^{-15} \text{ m}.$$

Most is teljesül az $r_{\min} \leq R_{\text{He}} + R_{\text{N}}$ feltétel, vagyis az alfa-részecske behatol a
mozgó nitrogénmagba centrális megközelítés esetén. Természetesen ennek
valószínűsége igen kicsi; emiatt kb. csak minden milliomodik alfa-részecske
hoz létre magreakciót.

3 pont

Összesen: 15 pont

— E) AZ 1. VERSENY DÖNTŐJÉNEK EREDMÉNYLISTÁI —

JUNIOR KATEGÓRIA

1.	BÁLINT PÉTER	Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged Kovács László	71 pont
2.	HEGEDŰS RAMÓN	Bolyai J. Gimn., Szombathely Kovács László	60 pont
3.	VARGA GERGELY	Bolyai J. Gimn., Szombathely Kovács László	59 pont
4.	CSENDES ÁRON	Ságvári E. Gyakorló Gimn., Szeged Kovács László	54 pont
5.	RÉVÉSZ VIKTOR	Kitaibel P. Általános Iskola, Harkány Hambalkó Katalin	41 pont

11-12. OSZTÁLY

1.	TÓTH ÁDÁM	Fazekas M. Gyak. Gimn., Budapest Horváth Gábor	84 pont
----	-----------	---	---------

2.	CSÁSZÁR BALÁZS	Premontrei Rendi Gimn., Szombathely Heigl Istvánné	79 pont
3.	KÖHALMI DÓRA	Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg Pálovics Róbert	74 pont
	SOMOGYI GÁBOR	Tóth Á. Gimn., Debrecen Kovács Miklós	74 pont
	VÁRY MÁTYÁS	Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg Pálovics Róbert	74 pont
6.	SZIGETI MARCELL	Apáczai Csere J. Gyak. Gimn., Budapest Holics László	71 pont
7.	IMREH GERGELY	Avasi Gimn., Miskolc Révffy Dezső	70 pont
8.	POGÁNY ÁDÁM	Fazekas M. Gyak. Gimn., Budapest Horváth Gábor	67 pont
9.	SZALAI-DOBOS ANDRÁS	Garay J. Gimn., Szekszárd Jurisits József	63 pont
10.	MOGYORÓDI MÁRK	Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg Pálovics Róbert	61 pont
	STEIB ROLAND	Garay J. Gimn., Szekszárd Jurisits József	61 pont
12.	MACH TIVADAR	Babits M. Gyak. Gimn., Pécs Koncz Károly	59 pont
	MAKAI LÁSZLÓ	Nagy L- Gimn., Pécs Kromek Sándor	59 pont
14.	PAPP DÉNES MIHÁLY	Gábor D. Elektronikai MK, Debrecen Gyebnárné Nagy Andrea	58 pont
	SZIGETI ÁRON	Piarista Gimn., Kecskemét Futó Béla és Zajác Lajos	58 pont
16.	KORMOS MÁRTON	KLTE Kossuth L. Gyak. Gimn., Debrecen Farkas József és Szegedi Ervin	54 pont
	PURGER NORBERT	Katona J. Gimn., Kecskemét	54 pont
18.	VADAI MIHÁLY	Garay J. Gimn., Szekszárd Jurisits József	51 pont
19.	GYŐR FERENC	Babits M. Gyak. Gimn., Pécs Koncz Károly	50 pont
	SZANYÓ ALBERT	Babits M. Gyak. Gimn., Pécs Vörös József	50 pont

F) MEGJEGYZÉSEK

A Fizikai Szemle 1997. évi szeptemberi számában Marx György tollából az alábbi felhívás jelent meg:

„Száz esztendeje, 1898. február 11-én született Szilárd Leó, aki megnyerte a matematikai és fizikai Eötvös Versenyt, felismerte a neutron-láncreakció lehetőségét, megkapta az atomreaktor szabadalmát és elsőként (még Hiroshima előtt) kezdeményezte az atomfegyver használatának tiltását. Az "emberiség lelkiismereteként" tartják számon, centenáriumára világszerte — így hazánkban is — készülnek.

A centenárium alkalmából az Eötvös Loránd Fizikai Társulat a Művelődési és Közoktatási Minisztérium, a Paksi Atomerőmű Rt és az Energetikai Szakképzési Intézet egy alkalomra meghirdeti az Országos Szilárd Leó Emlékversenyt. A verseny a NAT teljes 10. osztályos magfizika tananyagának alkalmazásszintű tudását tételezi fel.

A verseny kétfordulós. Az iskolák a versenyre 1997. december 18-ig jelentkezhetnek a paksi Energetikai Szakképzési Intézet igazgatóságánál. (Nevezési díj nincs.) Hálásak lennénk, ha — a szervezés megkönnyítése érdekében, tájékozódás érdekében — az iskolák már korábban jeleznék az indítandó versenyzők hozzávetőleges számát. Az első forduló időpontja 1998. március 3. (kedd) 14 - 17 óra. A Versenybizottság a feladatlapokat a javítókulccsal együtt megküldi a benevező iskoláknak a Megyei (ill. Budapesti) Pedagógiai Intézeteken keresztül. A dolgozatokat az iskolák szaktanárai javítják, majd azokat az iskolák közvetlenül elküldik a Szervezőbizottságnak (Energetikai Szakképzési Intézet, 7031 Paks, Pf. 104. Dózsa György utca 95., telefon 75/311022 vagy 311658, fax 75/314282.) A Versenybizottság a dolgozatokat ellenőrzi, az első forduló eredményét 1998. március 23-ig elküldi a Pedagógiai Intézeteknek. A döntőbe jutottak iskoláit közvetlenül is értesíti.

A döntő időpontja 1998. április 17-18. Helyszíne az Energetikai Szakképzési Intézet, Paks. Az országos döntőben a legjobb 20 versenyző vesz részt. A döntőben a versenyzők és tanáraik útiköltségét iskolájuk, az elhelyezés és ellátás költségeit a szervezők fedezik. A versenyzők elméleti és kísérleti feladatot kapnak. A legeredményesebb versenyzők oklevelet és jutalmat nyernek.”

Hasonló szellemű pályázati felhívás jelent meg az 1997. évi Művelődési Közlöny 3116. oldalán. Ezek mellett a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány körlevelet juttatott el az ország számos középiskolájába.

A felhívásokból az derül ki, hogy egy „egyszeri” megrendezésű „emlékverseny” megrendezésére fog sor kerülni.

A Versenyre az ország 69 középiskolájából 471 tanuló jelentkezett. Az 1. fordulóban egy 8. és négy 9., valamint 10. osztályos versenyző ért el legalább 40 százalékos teljesítményt (ők alkották a döntő I. kategóriáját). A 11. és 12. osztályosok között 75 ért el legalább 50 százalékos eredményt (a legjobb 20 került a döntő II. kategóriájába). A döntőben szerepelt versenyzők 16 iskolát képviseltek.

2. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY

A) AZ 1. FORDULÓ FELADATAI

Az 1999. március 19-én megrendezett 1. fordulóban az alábbi 10 feladat megoldásával foglalkozhattak a versenyzők.

A feladatok megoldásához 120 perc áll rendelkezésre. Minden segédeszköz használható. Minden feladatot külön lapra írjon, s minden lapon legyen rajta a megoldó neve és iskolája.

1. Hofstädter nagy energiájú elektronokkal mérte meg az atommagokban a töltések eloszlását. Legalább mekkora energiájú elektronokra volt ehhez szükség?

(5 pont)

Adatok: az elektron tömege $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$ kg, az atommag átmérőjét vegyük 10^{-14} m-nek.

2. Hevesy György 1923-ban egy urántartalmú kőzet életkorát annak alapján határozta meg, hogy a benne lévő ^{238}U és ^{206}Pb atomok aránya 2:3 volt. Hány évesnek találta ezt a kőzetet?

(5 pont)

Adatok: az ^{238}U felezési ideje $4,51 \cdot 10^9$ év.

3. Határozzuk meg, hogy a következő, két részecskét tartalmazó rendszerek közül melyik a legalacsonyabb energiájú! Proton-proton, proton-neutron, vagy a neutron-neutron? Indokoljuk meg a választ!

(5 pont)

Adatok: A proton tömege: $1,672614 \cdot 10^{-27}$ kg, a neutron tömege $1,674920 \cdot 10^{-27}$ kg, a magerők hatótávolságát vegyük 10^{-15} m-nek.

4. A Földről a nemesgázok javarészt megszöktek, amikor a Föld meleg volt. De a légkör egy százaléka ^{40}Ar . Hevesy György mutatta ki, hogy ez a természetes ^{40}K bomlásából keletkezett, amely 11%-ban elektronbefogással ^{40}Ar -ra bomlik. Adjunk ennek alapján egy becslést a Föld életkorára!

(5 pont)

Adatok: a ^{40}K felezési ideje $1,26 \cdot 10^9$ év. Az $^{40}\text{Ar}/^{40}\text{K}$ előfordulási aránya: 0,9

5. Egy 40 m^3 térfogatú szellőztetlen szobában, amelyből a Rn nem áramlik ki, a levegő aktivitás-koncentrációja 600 Bq/m^3 . Mennyi Rn áramlik be a padlón keresztül óránként a szobába?

(5 pont)

6. Ha egy atommagban túl sok a proton, ettől proton-neutron átalakulással szabadul meg. Ez történhet elektronbefogással, vagy pozitron kisugárással. Vajon elektronbefogó, vagy pozitronemittáló izotóp van-e több? **(5 pont)**
7. A ^{14}N kötési energiája 16,19 pJ, a ^{14}C kötési energiája 16,37 pJ. Melyik atommag bomlik a másikra és miért? **(5 pont)**
8. Természetes dúsítatlan uránt használó reaktor szén neutronlassítóval működik. Hűtésre H_2O , D_2O (nehésvíz), He (gáz), CO_2 (gáz), vagy folyékony fém (pl. Na, Bi, Pb) használható. Hasonlítsuk össze az ilyen hűtésű reaktorok viselkedését túlhevüléskor. Mely hűtőközeggel (hűtőközegekkel) lesz a reaktor instabil és mely hűtőközegek közömbösek a stabilitás szempontjából? **(5 pont)**
9. Télen egy földszintes ház hideg vagy fűtött szobájában várható-e magasabb radonkoncentráció? Indokoljuk meg a választ! **(5 pont)**
10. Miért radioaktívak az urán hasadási termékei? **(5 pont)**

—— B) A DÖNTŐ FELADATAI (Paks, 1999. április 29.) ——

a) ELMÉLETI FELADATOK

A feladatok megoldásához 180 perc áll rendelkezésre. Minden segédeszköz használható. Minden feladatot külön lapra írjon, s minden lapon legyen rajta a megoldó neve, iskolája, valamint az, hogy hányadik osztályba jár. Minden feladat helyes megoldása 5 pontot ér.

1. feladat Egy orvosi vizsgálathoz tríciumot használnak, eközben 10^4 Bq aktivitású injekciót adnak be a betegnek. Mennyi idő múlva csökken le a testben lévő trícium-többség aktivitása 5 Bq-re? A trícium fizikai felezési ideje 12,3 év, a biológiai felezési idő pedig 10 nap. (Biológiai felezési idő: a szervezet hidrogénatomjainak fele az anyagcsere folyamán 10 nap alatt lecserélődik)

2. feladat A Paksról származó kisaktivitású (reaktoron kívülről begyűjtött) radioaktív hulladék átlagos aktivitáskoncentrációja 10^8 Bq/kg. Az aktivitás főleg a kb. 30 év felezési idejű ^{90}Sr és ^{137}Cs izotóptól származik, amelyek veszélyesek az élő szervezetekre. A hatóság 600 éves biztonságos mélységi tárolást ír elő.

- a.) Miért éppen ezek az izotópok a különösen veszélyesek?
- b.) Mekkora lesz 600 év múlva a hulladék aktivitáskoncentrációja?
- c.) Hány év múlva lesz az aktivitáskoncentráció akkora, mint az emberi testé (100 Bq/kg)?

3. feladat Milyen anyagból készült és milyen vastag fallal védekezni az alfa, a béta, a gamma, és a neutronsugárzás ellen? Mindegyik sugárzás külön-külön és tisztán érteendő. Indokold meg válaszodat!

4. feladat A természetes urán 0,7%-a ^{235}U , ez hasad termikus neutronok hatására. A ^{238}U elnyeli a neutronokat. Ezért természetes vizet használva lassítóanyagként, legalább 2%-ra dúsított uránban lehet csak láncreakciót indítani. A franciák Középfrikában fölfedezték, hogy az ott található uránban 0,7%-nál kevesebb ^{235}U van. Ebből arra következtettek, hogy ott a geológiai múltban természetes atomreaktor működött. Hogyan lehet ez, és mikor működhetett?

5. feladat Egy szoba levegőjének radon-aktivitáskoncentrációja 100 Bq/m^3 . Egy ebben a szobában lévő ember 5 s-ként vesz lélegzetet, s egy lélegzetvételnél kb. 3 liter levegőt szív be a tüdejébe. Hány radon-atommag bomlik el a tüdejében egy óra alatt?

6. feladat Hasonlítsd össze stabilitás (megszaladás elleni védettség) szempontjából a paksi és a csernobili atomreaktorokat!

7. feladat Egy neutroncsillag tömege kb. akkora, mint a Napé ($2 \cdot 10^{30}\text{ kg}$), sűrűsége, mint az atommagé.

- Mekkora a neutroncsillag sugara?
- Mekkora a felszínén a nehézségi gyorsulás?

8. feladat Szilárd Leó és Walter Zinn megmérte, hogy az ^{235}U -ból hasadásonként átlagosan 2,5 neutron keletkezik. Tekintsünk egy képzeletbeli reaktorban 100 db maghasadást. Az ezekből létrejött neutronok közül 10 kiszökik a reaktorból, 8 elnyelődik a hűtővízben, 40 befogódik az ^{238}U -ban, valamennyit elnyelnek a szabályozórudak, a többi pedig ismét hasít. A neutronok hány százalékát kell elnyelnie a szabályozórudaknak, hogy a neutronok száma időben ne változzék?

9. feladat Az atommagfúzió folyamata során az egyik reakció két deutérium atommag egyesülése héliummá. A fúzió során (elég magas hőmérséklet és nyomás esetén) a $^2\text{H}+^2\text{H}\rightarrow^3\text{He}+n$ folyamat végbemegy. A $^2\text{H}+^2\text{H}\rightarrow^4\text{He}$ folyamat egyáltalán nem megy végbe, a $^2\text{H}+^2\text{H}\rightarrow^4\text{He}+\gamma$ folyamat pedig csak roppant kis valószínűséggel megy végbe.

- Mennyi energia szabadul fel ezekben a folyamatokban?
- Mi lehet az oka a bekövetkezési valószínűségekben megfigyelt különbségnek?

10. feladat Múmiából származó anyagdarabkát gondosan ellenőrzött körülmények között elégettünk, és a keletkezett széndioxid gázt felfogtuk. A felfogott gázt, amelynek tömege 220 mg, egy gáztöltésű számlálóba vezettük, amely a radiokarbon bomlását detektálja. Előzetesen megmértük, hogy 20 óra alatt 1600 "háttérbeütést" érzékelt a számláló. A széndioxid gáz betöltése után a számláló 20 óra alatt 2500 beütést számolt.

- Milyen régi lehet a múmia, ha feltesszük, hogy a detektálás hatásfoka 100%, azaz nincs veszteség.
- Mekkora lehet a kormeghatározás bizonytalansága?

c) Hogyan lehetne még pontosabban megmérni a múmia korát?

A feladatokhoz szükséges adatok a függvénytáblázatban vannak, néhányat azonban kiemelünk:

A ^{235}U felezési ideje 0,7 milliárd év, a ^{238}U felezési ideje 4,5 milliárd év, ^{222}Rn felezési ideje 3,8 nap. A $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ egyensúlyi arány a levegőben $2 \cdot 10^{-12}$, a ^{14}C felezési ideje 5568 év. A proton tömege $1,67264864 \cdot 10^{-27}$ kg, a neutron tömege $1,67495440 \cdot 10^{-27}$ kg, a ^2H tömege $3,34368113 \cdot 10^{-27}$ kg, a ^4He tömege $6,64529112 \cdot 10^{-27}$ kg, a ^3He tömege $5,00661411 \cdot 10^{-27}$ kg.

b) KÍSÉRLETI FELADAT

Porkeverék kálium-klorid (KCl) tartalmának meghatározása

A rendelkezésre álló idő (**120 perc**) alatt határozd meg minél pontosabban egy porkeverék KCl koncentrációját.

A mérésekhez a következő anyagok állnak rendelkezésre:

Az 1-5-ig számozott tálcákon porkeverékek vannak, amelyek KCl koncentrációja (tömegszázalékban megadva) és tömege a következő:

tiszta (100%) KCl tömege 100 g

50 tömeg%-os KCl tömege 100 g

25 tömeg%-os KCl tömege 100 g

ismeretlen minta tömege 100 g

ismeretlen minta tömege 200 g (koncentrációja ugyanaz, mint az előzőé)

Sajnos az előkészítés során elveszett az a papír, amelyre fel volt írva, hogy melyik tálcán melyik anyag van. Tömegmérés alapján egyedül azt lehetett utólag megállapítani, hogy az 5 számú tálcán a 200 g tömegű, ismeretlen koncentrációjú minta van.

A zsűri nemcsak az ismeretlen koncentrációt és annak becsült hibáját várja Tőled, hanem a mérés menetéről, s a következtetésekről (pl. helyes sorrend) készített feljegyzéseidet is értékeli!

A feladat végrehajtásához rendelkezésre áll: 1 db Autocont típusú mérőműszer

FONTOS megjegyzések:

- 1) Kérjük, hogy a tálcákon lévő **porkeverékekhez ne nyúlj hozzá**, azokat ne tapogasd, és ne keverd össze a tálcák tartalmát.
- 2) A műszer használatakor a mellékelt használati útmutatóban leírtak szerint járj el!
- 3) Külön felhívjuk a figyelmet arra, hogy a használati útmutató névleges értékeket tüntet fel, a tényleges értékek ettől kissé eltérőek is lehetnek. Ezért pl. mindig gondosan várd ki a **tényleges beállási időt**, amely a Te műszeredre jellemző.

Az Autocont Modell PCM 86 típusú műszer ismertetése

1. A készülék feladata

A készülék radioaktív felületi szennyezések felderítésére, ill. a szennyezés mértékének mérésére szolgál. A készülék nagy mérőfelülete, egyszerű kezelhetősége révén a sugárvédelem, az ipari mérés technika az egészségügy számos területén alkalmazható.

2. Műszaki adatok

Méréshatár: 1 – 10 000 cps
4 nagyságrendben:
x1, x10, x100, x1000

Kijelzés: analóg
lineáris 0- 10 cps tartományban
(cps= impulzus/sec)

Beállási idő: (a méréstartomány végértékéhez tartozó egyensúlyi állapot beállításához tartozó idő)

1	-	10 cps	23 s
10	-	100 cps	9,3 s
100	-	1000 cps	9,3 s
1000	-	10000 cps	9,3 s

Detektor: 2 db SZBT 10 GM cső
(végablak vastagság: 2,5 mg/m²)

3. Használati utasítás

A készülék egyetlen kezelőszerv, az **ON** nyomókapcsoló lenyomásával működtethető. **A mérés időtartama alatt a kapcsolót folyamatosan lenyomva kell tartani.** Bekapcsolás után kb. 2 s-ig az analóg műszer a telepfeszültséget jelzi. A telepfeszültség ellenőrzésekor a jelzésnek a skála BATT sávjában kell lennie. Ugyanezen idő alatt a nagyságrendet jelző LED-ek mindegyike világít.

A telepfeszültség ellenőrzése után a készülék automatikusan átkapcsol a **mérő üzemmódra**. A mérés eredményét a műszeren leolvasott skálaérték és a nagyságrendek (világító LED) szorzata adja. A méréshatár, a mérési állandó váltása automatikus.

A nyomógomb elengedése után a készülék kikapcsol.

c) SZÁMÍTÓGÉPES FELADAT

Reaktor-szimulációs számítógépes feladat

A PAX nevű ikonra kattintva elindíthatsz egy olyan programot, amelyik egy képzeletbeli atomerőmű működését szimulálja.

Cél:

Feladatod egy (kb. 300 napos, esetleg hosszabb) kampány eredményes lebonyolítása. A kampány végét a számítógép jelzi azzal, hogy automatikusan belép az értékelő menübe. Minél több energiát kell termelned úgy, hogy ne történjen semmi műszaki probléma, és ne következzen be automatikus vészleállítás. Ha valamilyen üzemzavar mégis bekövetkezne, ne add fel, hanem folytasd a versenyt, hiszen lehet, hogy versenytársaidnál is volt hasonló esemény. (Üzemzavar bekövetkezése önmagában csak „rossz pontot” jelent, nem jelenti a versenyből való kiesést.) Az értékelésnél elsődlegesen a megtermelt energia számít (=átlagos teljesítmény * napok száma), de figyeljük azt is, hogy milyen egyenletes a teljesítményed a kampány során, volt-e üzemzavar, és ha igen, milyen fokú, stb.

Ismerkedés

A programmal az „éles” indulás előtt fél órát játszhatsz. Ez alatt megismerkedhetsz a program használatával, a kijelzett reaktorparaméterek jelentésével, és a reaktor viselkedésével. Javasoljuk, hogy ne csak a „blokkvezénylő” képernyőjét nézd az ismerkedés során, hanem az **R,P,S** betűk lenyomásával nézd meg rendre a reaktor, a primerkör, és a szekunder kör vázlatrajzát is. A **V** betű lenyomásával a Vezérlőteremhez térhetsz vissza.

Az **ESC** gomb lenyomása Vészleállást okoz, ez **ENTER** billentyű a (kampány befejezésénél automatikusan is megjelenő) értékelő menübe vezet, a **SPACE** billentyű lenyomása pedig szünetelteti az idő múlását (pause), amelyet a **SPACE** ismételt lenyomásával oldhatsz fel..

Verseny

Az ismerkedés után 30 perc áll rendelkezésedre a kampány lebonyolításához.

(Egy kampánynak akkor van vége, ha az üzemanyag kiégése legalább 100 egység, a neutronfluxus nulla, a vízhőmérsékletek 100 C alatt vannak, a pumpákat kikapcsoltad és a xenonmérgezés kisebb, mint 4%). Az „éles” verseny megkezdésekor **indítsd újra a programot**, de utána többé már ne lépj ki belőle, még a verseny végén sem! A szimuláció befejezését jelezd a zsűri jelenlevő tagjának, aki kimentí a teljesítményed értékeléséhez szükséges adatokat a számítógépből.

Segítségedre lesz a program elején megjelenő ismertetés mellékelt kinyomtatott szövege

FONTOS FIGYELMEZTETÉS

A tényleges verseny megkezdése után soha ne lépj ki a programból sem a verseny során, sem pedig a szimuláció befejeztével, mert adataid elvesznek és addigi teljesítményedet a zsűri nem tudja majd értékelni !

PAX REAKTOR

Ez a reaktorszimulációs program egy 1375 MW termikus (440 MW villamos) teljesítményű reaktorblokkot és a hozzá tartozó primer és szekunderköri elemeket modellezi. A reaktor un. nyomottvizes, tehát a neutronok lassítására és az zónában keletkezett hő elszállítására ugyanaz a víz szolgál. A reaktor fűtőanyaga urán 235-ös izotóp, betöltéskor (a kb. 10 hónapos kampány elején) 2-3% dúsítású, összömege 40 tonna körüli. A zónán áthaladó víz kilépéskor (100%-os teljesítményen) 295 C-os, a hőmérsékletemelkedése ekkor 28 C. Ugyancsak 100%-os teljesítményen a neutronfluxus kb. $2 \cdot 10^{13}$ 1/cm²s, a programban ez 100 egységre (e.) normált. Az üzemanyag kiégése 28000 MWnap/tonna, itt a teljes kampány alatt 100 egység.

Habár a valóságban létezhetnek hasonló fizikai paraméterekkel rendelkező erőművi reaktorok, minden hasonlóság csakis a véletlen műve. Ez a program csak a főbb folyamatok bemutatására, nem pedig létező reaktorok szimulálására szolgál.

A feladat, hogy egy kampányt teljesen befejezzünk, ha lehet 300 napon belül. Egy kampánynak akkor van vége, ha a fűtőanyag kiégése legalább 100 egység, a neutronfluxus 0 és a xenonmérgezés kisebb mint 4%.

A rudakat nem szabad hirtelen kihúzni, mert a zóna vagy egyéb elemek túlterhelődnek, s a reaktor tönkremegy. Visszadobni sem érdemes túl gyorsan őket, mert nagyon megnő a xenonkoncentráció, ami hátrányos.

A program vezérlése:

Használd a pirossal jelölt gombokat a vezérlésre. A szóköz (SPACE) gomb megállítja (majd újra indítja) az idő múlását. Az ENTER gomb végetvet a szimulációnak (ekkor kirajzolhatók a fontosabb fizikai paraméterek mint az idő függvényei, sőt még folytatható is a szimuláció).

Az R,P,S és V gombok lenyomására megjelenik a Reaktorzóna, a Primer kör, a Szekunder kör és a vezérlőterem ábrája.

A játékos teljesítménye akkor értékelhető, ha megoldotta a feladatot (befejezte a kampányt és a xenonszint is kisebb, mint 4 %). A játékos teljesítménye attól függ, hogy mekkora átlagos teljesítményt adott le az erőmű a kampány alatt. 350 MW már nagyon jó eredménynek számít!

— C) AZ 1. FORDULÓ FELADATAINAK MEGOLDÁSA —

1. A de Broglie összefüggés szerint minden p impulzusú(lendületű) részecskének hullámtulajdonsága is van. A λ hullámhossz és az impulzus(lendület) kapcsolata:

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

Egy mikroszkóp feloldóképességét a felhasznált fény hullámhossza szabja meg. Csak olyan objektumokat lehet a mikroszkóppal „meglátni”, amelyeknek mérete nem kisebb a hullámhossznál (pontosabban: nagyobb, mint $0,61\lambda$). Ez most azt jelenti, hogy csak olyan hullámhosszúságú részecskékkel lehet észrevenni a kb. 10^{-14} méter méretű atommagot, amelynek a hullámhosszára

$$0,61\lambda = 0,61 \frac{h}{p} < 10^{-14} \text{ m}.$$

Ezzel

$$p > \frac{0,61h}{10^{-14} \text{ m}} = 4,042 \cdot 10^{-20} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}.$$

A p impulzusú(lendületű) részecske mozgási energiája:

$$E = \frac{p^2}{2m},$$

amiből — felhasználva, hogy az elektron nyugalmi tömege $9,11 \cdot 10^{-31}$ kg — az elektronokra

$$E = 8,966 \cdot 10^{-10} \text{ J} \approx 9 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

adódik.

Megjegyzés. Teljes értékű megoldásnak lehetett elfogadni azt is, ha valaki nem használta a 0,61-os szorzót a felbontóképesség felírásakor.

Ebben az esetben $p > 6,626 \cdot 10^{-20} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$ és $E = 2,410 \cdot 10^{-9}$ J a helyes eredmény.

2. „Kezdetben” nyilván több urán volt, mint most, hiszen az urán egy része már ólomra bomlott. Azaz a kezdeti urán mennyisége megegyezik a most meglévő urán mennyiségének és az ólom mennyiségének az összegével. Ezért a jelenlegi urán mennyisége a „kezdeti” urán mennyiségének

$$\frac{2}{2+3} = 0,4$$

része. — A keresett t idő a következőképpen számítható:

$$0,4N_0 = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} \quad \text{vagy} \quad 0,4N_0 = N_0 \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right),$$

ahol t az ásvány keletkezése óta eltelt idő, $T_{1/2}$ az urán-238-izotóp felezési ideje, N_0 pedig az uránmagok száma kezdetben. A keresett t idő az előbbi egyenletből meghatározható:

$$\lg 0,4 = \frac{t}{T_{1/2}} \cdot \lg \frac{1}{2} \quad \text{vagy} \quad \ln 0,4 = -\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t.$$

Az ismert értékek behelyettesítésével

$$t = 5,962 \cdot 10^9 \text{ y}$$

időeredményt kapunk. Vagyis Hevesy György kb. 6 milliárd évet becsült.

Diszkusszió. A megoldás során a következőket feltételeztük:

- a) A kőzetben talált stabil ólomizotóp teljes egészében az urán bomlásából keletkezett.
- b) Az elbomlott urán teljes egészében ólom formájában van jelen (azaz elhanyagoljuk azokat az uránmagokat, amelyek már elbomlottak, de még nem jutottak el az ólomig, minthogy valahol a bomlási sor „közepén” tartanak).
- c) A kőzetből a keletkezés óta semmi sem távozott el (pl. a bomlások során keletkezett légnemű leányelem stb.).

Hevesy György azért kapott a tényleges életkornál (kb. 4 milliárd év) valamivel nagyobb értéket, mert nem helytálló az a feltételezés, hogy a kőzetben talált ólomizotóp teljes egészében az urán bomlási sorából származik.

3. A proton-neutron rendszer a legalacsonyabb energiájú!

A magerők nem tesznek különbséget a proton és a neutron között, ezért a magerők szempontjából mindhárom rendszer egyenértékű.

A neutron-neutron rendszert úgy kapjuk a proton-neutron rendszerből, hogy a protont neutronra cseréljük. Mivel mindkét részecske elektromosan semleges, Coulomb-kölcsönhatás nem játszik szerepet. Ennek a rendszernek azonban azért magasabb az energiája, mert a neutron nyugalmi tömege nagyobb, mint a protoné (tehát a neutron protonná bomlása közben energia szabadul fel).

A proton-proton rendszert úgy kapjuk, a neutron-proton rendszerből, hogy a neutront protonra cseréljük. Ezzel a nyugalmi tömeget

$$m_n - m_p = 2,306 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

értékkel csökkentjük, aminek az Einstein-összefüggés szerint

$$E = (m_n - m_p)c^2 = 2,075 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

energiacsökkenés felel meg. Amiatt azonban, hogy most két protonnak kell egymáshoz nagyon közel lennie, a Coulomb-energia jelentősen megnövekszik. Ennek becsült értéke:

$$E_C = k_0 \frac{e^2}{r}$$

Az összefüggésben r a két proton távolsága, amelynek kisebbnek kell lennie a magerők hatótávolságánál, vagyis

$$r < 10^{-15} \text{ m}.$$

Behelyettesítés után

$$E_C > 2,3 \cdot 10^{-13} \text{ J}.$$

A Coulomb-energia növekedése tehát meghaladja a tömegcsökkenés miatti energiacsökkenés abszolút értékét. Végeredményben tehát ismét nagyobb energiájú rendszert kapunk.

4. Tegyük fel, hogy kezdetben N_0 számú ^{40}K -atommag volt a Földön. A bomlás miatt mára csak

$$N_K = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} \quad \text{vagy} \quad N_K = N_0 \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right)$$

számú maradt. Az összefüggésekben $T_{1/2}$ a ^{40}K -izotóp felezési ideje, t pedig a Föld keresett életkora.

Az ^{40}Ar -atommagok száma a már elbomlott ^{40}K -atommagok számának (tehát az eredeti és a jelenleg meglévők különbségének) 11 százaléka. Ezért

$$N_{\text{Ar}} = 0,11 \cdot \left[N_0 - N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} \right] \quad \text{vagy} \quad N_{\text{Ar}} = 0,11 \cdot \left[N_0 - N_0 \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right) \right].$$

Használjuk fel az ismert

$$\frac{^{40}\text{Ar}}{^{40}\text{K}} = 0,9$$

arányt, és egyszerűsítsünk N_0 -lal:

$$0,9 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} = 0,11 \cdot \left[1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} \right] \quad 1,01 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} = 0,11$$

$$\frac{t}{T_{1/2}} \cdot \lg 0,5 = \lg \frac{0,11}{1,01} \quad \frac{t}{T_{1/2}} = 3,1988 \quad t = 3,1988 T_{1/2} = 4,030 \cdot 10^9 \text{ y}$$

vagy

$$\frac{0,9}{0,11} \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right) = 1 - \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right) \quad 9,1818 \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right) = 1$$

$$\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t = 2,217 \quad t = \frac{2,217}{\ln 2} \cdot 1,26 \cdot 10^9 \text{ y} = 4,030 \cdot 10^9 \text{ y}$$

5. A radongáz egyensúlyban van, vagyis időegység alatt ugyanannyi bomlik el, mint amennyi a padlózatán keresztül pótlódik.

A 40 m^3 térfogatú szobában óránként

$$60 \cdot 600 \cdot 3600 = 8,64 \cdot 10^7$$

atommag bomlik el. A szobába ugyanennyi radon-atommagnak kell beáramlania, hogy a bent radonmagok száma ne változzon. Normál állapotban 22,41 liter gázban $6,022 \cdot 10^{23}$ részecske van. Ezért a $8,64 \cdot 10^7$ részecskéből álló gáz térfogata:

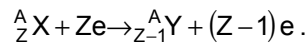
$$\frac{8,64 \cdot 10^7 \cdot 22,41 \frac{\text{l}}{\text{mol}}}{6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}} = 3,215 \cdot 10^{-15} \text{ l} \quad (!!!).$$

Mivel a radon móltömege $222 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$, ezért az adott számú atomot tartalmazó gázmennyiségnek a tömege:

$$\frac{8,64 \cdot 10^7 \cdot 0,222 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}} = 3,185 \cdot 10^{-14} \text{ kg}.$$

Mivel a feladat nem írta elő, hogy milyen formában kell megadni a beáramló radongáz mennyiségét, jó megoldásnak kellett elfogadni bármelyik kiszámított, helyes (atomszám, térfogat vagy tömeg) értéket!

6. Elektronbefogáskor

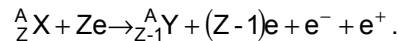


A bal oldalon Z elektron van (mint ahogyan egy semleges Z rendszámú atomban lennie is kell), a jobb oldalon pedig $Z-1$ elektron (hiszen ott az atommag rendszáma is eggyel kisebb). Az egyenletből látszik, hogy **ez a folyamat** nem jár új részecske keltésével, ezért **mindig végbemehet**, ha

$$E(Z, A) > E(Z-1, A).$$

Itt $E(Z, A)$ a Z rendszámú, A tömegszámú semleges atom teljes energiáját jelöli (atommag+ Z elektron), a nyugalmi tömegnek megfelelő energiát is beleértve.

Pozitronbomláskor



A bal oldalon egy semleges Z rendszámú atom szerepel, a jobb oldalon egy semleges $Z-1$ rendszámú atom és egy pozitron-elektron pár. Ez utóbbit a bomlás során kell létrehozni.

Az előbbieket miatt pozitronbomlás csak akkor játszódik le, ha a rendelkezésre álló energia elegendő egy pozitron-elektron pár létrehozásához, azaz

$$E(Z, A) - E(Z-1, A) > 2m_e c^2 = 1,638 \cdot 10^{-13} \text{ J}.$$

Itt m_e az elektron (és pozitron) nyugalmi tömege, c pedig a fénysebesség.

Válasz: Ha egy atommag pozitronbomló, akkor elektronbefogással is tud bomlani. Fordítva viszont ez nem mindig igaz. Ezért **az elektronbefogással bomló atommagok vannak többségben**.

7. A szén-atommag bomlik nitrogén-magra annak ellenére, hogy az előbbi az erősebben kötött. Ugyanis a szénmag egy neutronjának protonná alakulásakor a neutron-proton tömegkülönbségnek megfelelő energia is felszabadul. Ez több, mint a kötési energiából származó növekmény. A neutron-proton tömegkülönbségből származó energia

$$E = (m_n - m_p)c^2 = 2,072 \cdot 10^{-13} \text{ J.}$$

A kötési energiák különbsége pedig csak $1,8 \cdot 10^{-13} \text{ J}$.

8. Minden (nem hasadó) anyag, ami a reaktorban van, kétféle folyamattal befolyásolhatja a láncreakciót: egyrészt szórás révén lassítja a neutronokat, másrészt elnyeli őket. Lényeges, hogy — a feladat szerint — a neutronlassítási feladatot a szén-neutronlassító teljesen megoldja. Ezért a hűtőközeg a láncreakcióra elsősorban a **neutronelnyelés**-en keresztül hat.

A túlhevülés vizsgálatakor a másik szempont: hogyan reagálnak a különböző halmazállapotú anyagok a túlhevülésre? A folyékony fémek és a gázok sűrűsége csökken, de ugyanakkor fázisátalakulás nem következik be. A víz és a nehézvíz viszont egy meghatározott hőmérsékleten elforr (fázisátalakulás következik be), és emiatt jelentősen megváltozik egy adott térfogatban a mennyiségük.

Ezek alapján a feladatban kért hűtőközegek hatása túlhevüléskor a következő.

- A H_2O (víz) instabilitáshoz vezet, mert eléggé jó neutronelnyelő és elforr. Ezért túlhevüléskor csökken a reaktorban lévő abszorbens mennyisége, s ez a láncreakciót még inkább erősíti (pozitív visszacsatolás).
 - A D_2O (nehézvíz) sokkal kevésbé okoz instabilitást, mert rossz neutronelnyelő. Ezért elforrásakor sokkal kisebb mértékben csökken a neutronelnyelés.
 - A He (hélium) és a CO_2 (szén-dioxid) gázok rossz neutronelnyelők, és túlhevüléskor nem következik be fázisátalakulás. Így nincs hirtelen térfogatváltozás sem. Ezért a reaktor stabilitására való hatásuk várhatóan nem jelentős.
 - A folyékony fémek — bár halmazállapotuk különbözik a gázokétól — ilyen szempontból a gázokhoz hasonlítanak. Mivel túlhevüléskor nincs ugrás-szerű és jelentős sűrűségváltozásuk, nem okoznak hirtelen változásokat. Így a reaktor stabilitására való hatásuk sem jelentős.
9. A fűtött szobában a levegő sűrűsége kisebb, mint a kinti hidegebb levegőé. Ezért a szoba melegebb levegője a kéményeken, az ablakok résein, a szoba esetleges tömítetlenségein keresztül kifelé, a szabadba áramlik. Ennek következtében a szobában kissé lecsökken a nyomás, amely a talajból szinte „kiszívja” az ott található gázokat, így a radont is. Ezért a fűtött szobában nagyobb radonkoncentráció lesz, mint a nem fűtöttben.
10. A nehéz stabil atommagokban — így az uránban is — a neutron/proton arány nagyobb, mint a közepesekben vagy a könnyűekben. Ha az urán két közepes méretű atommagra hasad, azok szükségszerűen jelentős neutronfelesleggel jönnek

létre. Ettől kétféle módon szabadulhatnak meg: vagy közvetlen neutron-kibocsátással (ami néhány neutron kibocsátása után energetikailag már nem lesz lehetséges), vagy pedig negatív béta-bomlással. Ez utóbbi mindaddig ismétlődik, amíg az adott tömegszámhoz tartozó optimális neutron/proton arány be nem áll. Ezek alapján tehát az urán hasadási termékei szükségszerűen negatív béta-bomlók, azaz radioaktívak.

— D) A DÖNTŐ ELMÉLETI FELADATAINAK MEGOLDÁSA —

1. A trícium atomok száma két ok miatt változik az idő függvényében:

- a radioaktív bomlás és
- a szervezetből való kiürülés

következtében. Ha a fizikai felezési időt T_f -fel, a biológiai felezési időt pedig T_b -vel jelöljük, akkor a bomlástörvény a következőképpen írható fel:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\left(\frac{1}{T_f} + \frac{1}{T_b}\right)t} \quad \text{vagy} \quad N = N_0 \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_f}t - \frac{\ln 2}{T_b}t\right).$$

Mivel az aktivitás a jelenlévő atommagok számával egyenesen arányos, így

$$\frac{A}{A_0} = \frac{N}{N_0} = \frac{5}{10^4} = 2^{-\left(\frac{1}{T_f} + \frac{1}{T_b}\right)t} \quad \frac{5}{10^4} = \exp\left(-t \frac{T_b + T_f}{T_b \cdot T_f} \cdot \ln 2\right)$$

$$\lg \frac{5}{10^4} = -\lg 2 \cdot \left(\frac{1}{T_b} + \frac{1}{T_f}\right)t \quad t = \frac{T_b \cdot T_f}{T_b + T_f} \cdot \frac{\ln 5 \cdot 10^{-4}}{\ln 2}$$

$$t = -\frac{12,3 \cdot 365,25 \text{ d} \cdot 10 \text{ d}}{12,3 \cdot 365,25 \text{ d} + 10 \text{ d}} \cdot \frac{\lg 5 \cdot 10^{-4}}{\lg 2} = 109,4 \text{ d} \quad \frac{\ln 5 \cdot 10^{-4}}{\ln 2} = \frac{\lg 5 \cdot 10^{-4}}{\lg 2} !$$

Tehát az aktivitás-csökkenéshez 109,4 napra van szükség.

2. a) A stroncium és a cézium kémiaiilag hasonló a kalciumhoz és a káliumhoz. Emiatt beépülhetnek azok helyébe az élő szervezetben, és azután ott bomlanak.
- b) 1 kg hulladékra számolva:

$$A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \quad \text{vagy} \quad A = A_0 \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}}t\right)$$

Az ismert mennyiségekkel:

$$A = 10^8 \frac{1}{\text{kg} \cdot \text{s}} \cdot 2^{-\frac{600 \text{ y}}{30 \text{ y}}} = 95,3 \frac{1}{\text{kg} \cdot \text{s}} \left(\frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \right) \quad A = 10^8 \frac{1}{\text{kg} \cdot \text{s}} \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{30 \text{ y}} \cdot 600 \text{ y}\right)$$

c) 1 kg hulladékra számítva:

$$t = \frac{T_{1/2}(\lg A - \lg A_0)}{\lg 2} = \frac{T_{1/2}(\ln A - \ln A_0)}{\ln 2} = 597,9 \text{ y}.$$

(Megjegyeztük, hogy ez az eredmény már a **b**) pont alapján is megadható a szokásos 1%-os eltérésen belül. Ezért, ha a versenyző arra hivatkozott, azt is teljes értékű megoldásként kellett elfogadni.)

3. Az **alfa-részecskét** már egy vékony fémfólia vagy papírlap is képes megállítani, a normál állapotú levegőben pedig néhány (2...3) cm távolságon elnyelődnek. Ezért a távolságtartás nagy védelmet jelent. Inkorporálva veszélyes éppen azért, mert kis távolságon leadja energiáját.

A **béta-sugárzást** vékony fémlemezzel el lehet nyeletni. Viszont nem minden fém alkalmas védekezésre, mert pl. nehézfémek alkalmazása esetén fékezési röntgensugárzás keletkezhet. Könnyű atommagokból álló anyaggal (pl. 2...3 cm vastagságú plexilemezzel) szokás árnyékolni.

A **gamma-sugárzást** csak gyengíteni lehet, teljesen nem lehet elnyeletni. Mivel pontszerű forrástól távolodva elnyelő anyagok nélkül, a sugárzás intenzitása a távolság négyzetével fordítottan arányos, a távolságtartás az egyik legalapvetőbb védekezés. Emiatt mindig csak csipesszel nyúlunk egy gamma-sugárzó radioaktív preparátumhoz. Nagy rendszámú elemek alkalmasak az elnyeletésre. Ha nagy a gamma-sugárzás energiája, akkor a Compton-szórás során adnak le energiát a gamma-fotonok. Vastag ólomlemez alkalmas a védekezésre.

A **neutron-sugárzás** elleni védekezés két lépésből áll:

- az első lépésben könnyű atommagokból álló anyaggal (pl. vízzel, paraffinnal stb.) az esetleges nagy energiájú neutronokat termikus energiájúra lassítjuk,
- a második lépésben pedig ezeket a termikus neutronokat elnyeletjük olyan anyagokkal, amelyek különösen nagy valószínűséggel nyelik el ezeket. Ilyen pl. a bór vagy a kadmium.

Bórozott paraffin, különleges adalékanyagokkal ellátott beton, bórsavas víz alkalmas a védelemre. A nagy energiájú neutronok esetén nagy sűrűségű baritbetont szoktak használni.

4. A természetes reaktor a valóságban 3%-os dúsítással működött. A 2% tehát azt adja meg, hogy mikor ért véget a működés, mely időpontnál korábban jöhetett létre a reakció. Ezt jelöljük $t = 0$ -val. t -vel pedig az azóta eltelt időt jelöljük.

Jelentse T_1 a 235, T_2 a 238 tömegszámú uránizotóp felezési idejét.

Ma

$$\frac{N_{235}}{N_{238}} = 0,007 = \frac{N_{235,0} \cdot 2^{-\frac{t}{T_1}}}{N_{238,0} \cdot 2^{-\frac{t}{T_2}}} \quad \text{vagy} \quad 0,007 = \frac{N_{235,0} \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_1} t\right)}{N_{238,0} \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_2} t\right)}$$

Természetesen

$$\frac{N_{235,0}}{N_{238,0}} = 0,02,$$

így

$$0,007 = 0,02 \cdot 2^{-t\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)} \quad 0,007 = 0,02 \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_1} + \frac{\ln 2}{T_2}\right)t$$

adódik. Innen az adatok behelyettesítésével kapjuk:

$$t = -8,289 \cdot 10^8 \cdot \frac{\lg 0,35}{\lg 2} = 1,256 \cdot 10^9 \text{ y} \quad \text{vagy}$$

$$t = -\frac{\ln 0,35}{\ln 2} \cdot \frac{7 \cdot 10^8 \text{ y} \cdot 4,5 \cdot 10^9 \text{ y}}{7 \cdot 10^8 \text{ y} - 4,5 \cdot 10^9 \text{ y}} = 1,256 \cdot 10^9 \text{ y}.$$

5. A tüdő a szoba részének tekinthető, mivel a radon — nemesgáz lévén — nem kötődik benne. A $100 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$ aktivitáskoncentráció azt jelenti, hogy 1 másodperc alatt 100 bomlás történik 1m^3 szobaterfogatban. Ezért 3 liter térfogatban $100 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \cdot 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 3\text{Bq}$, azaz 3 bomlás 1 másodperc alatt, 1 óra alatt pedig 3600-szor annyi, vagyis 10800 bomlás. Mivel nincs megadva, hogy az 5 másodpercből mennyi ideig van levegő a tüdőben, és mennyi ideig nincs, erre vonatkozóan is tehetünk becslést. Ha pl. úgy vesszük, hogy egy hosszabb időt tekintve fele ideig van, és fele ideig nincs, akkor óránként 5400 bomlással számolhatunk. Ez az érték a tüdő levegővel teltségének időaránya szerint pontosítható.
6. A csernobili atomreaktor megszaladásának (az emberi hibákon túlmenően) több konstrukciós oka is volt. Ezek közül Pakson egyik sem áll fenn!
- A csernobili atomreaktor felülmoderált, a paksi alulmoderált.
 - A csernobili atomreaktorban a moderátor szerepét grafit látta el, a víz hűtőközegként szerepelt. Ezért a víz neutronelnyelése volt a döntő. A víz elforrásakor neutronelnyelő távozott, a láncreakció ezért még inkább megszaladt. Pakson a víz a fő moderátor, tehát elforrásakor a moderátor (is) eltűnik. Ezáltal a láncreakció leáll.
 - A csernobili szabályozórúd — hibás konstrukciója miatt — teljesen kihúzott állapot után először egy darabig segíti a láncreakciót, és csak ezután fékezi azt. Ezért amikor a csernobili operátorok már le akarták

állítani a reaktort a (szabálytalanul) teljesen kihúzott rudak betolásával, még jobban megszaladt a reaktor. A paksi szabályozórudaknak nincs olyan tartománya, ahol ilyen fordított hatás fellépne.

7. a) A tömeg a feladatban adott ($2 \cdot 10^{30}$ kg). Az atommag sűrűsége a rendszámától nagyjából független és kb. $10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ értékű. Ezen adatokból a neutroncsillag sugara a következőképpen számolható:

$$V = \frac{m}{\rho} \rightarrow \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{m}{\rho} \rightarrow r = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 10^{30} \text{ kg}}{4\pi \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 1,684 \cdot 10^4 \text{ m}.$$

- b) A nehézségi gyorsulás értéke az általános tömegvonzás összefüggéséből nyerhető:

$$g = \gamma \frac{M}{r^2} \quad g = 6,672 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \cdot \frac{2 \cdot 10^{30} \text{ kg}}{(1,684 \cdot 10^4 \text{ m})^2} = 4,705 \cdot 10^{11} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

A nehézségi gyorsulás ugyan nagy, de a szökési sebesség még nem éri el a fénysebességet:

$$v_1 = \sqrt{\gamma \frac{M}{r}} = 8,907 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{és} \quad v_{\text{II}} = \sqrt{2} v_1 = 1,260 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

8. A feladat adatai szerint 100 maghasadásból 250 neutron keletkezik. Jelöljük x -szel a szabályozórudakban elnyelt neutronok számát. Az újabb maghasadást létrehozó neutronok száma tehát

$$250 - 10 - 8 - 40 - x = 192 - x.$$

Ennyi maghasadásból $(192 - x) \cdot 2,5$ neutron keletkezik az újabb generációban. Ahhoz, hogy a neutronok száma ne változzék, az kell, hogy az újabb generációban is 250 neutron legyen, azaz

$$(192 - x) \cdot 2,5 = 250.$$

Ebből $x = 92$. Vagyis a szabályozórudaknak a 250-ből 92 neutront, vagy a neutronok

$$\frac{92}{250} = 0,368$$

részét (36,8 százalékát) kell elnyelniük.

(Hamarább is célbaérhetünk, ha rögtön kihasználjuk, hogy az újabb maghasadást létrehozó neutronoknak 100 maghasadást kell okozniuk: $192 - x = 100$, amiből $x = 92$).

9. a) Az energiefelszabadulások a tömeghiány alapján számíthatók. A ${}^2\text{H} + {}^2\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + n$ folyamatra:

$$Q = [M(^2\text{H}) + M(^2\text{H}) - M(\text{n}) - M(^3\text{He})] \cdot c^2 = 5,214375 \cdot 10^{-13} \text{ J} \quad \text{és}$$

a $^2\text{H} + ^2\text{H} \rightarrow ^4\text{He}$ folyamatra:

$$Q = [M(^2\text{H}) + M(^2\text{H}) - M(^4\text{He})] \cdot c^2 = 3,7864 \cdot 10^{-12} \text{ J}.$$

- b) A $^2\text{H} + ^2\text{H} \rightarrow ^4\text{He}$ folyamat végállapotában egyetlen részecske (a ^4He) lenne, és ennek kellene elvinnie a folyamatban felszabaduló energiát mozgási energia formájában. Tömegközépponti rendszerben egyszerűen belátható, hogy ez nem lehetséges. Hiszen a két érkező deuteron együttes impulzusa (lendülete) nulla (ezért tömegközépponti a rendszer!), és ennek a nulla lendület (impulzus) értéknek kell megmaradnia. Ezért a keletkezett ^4He -nek nulla impulzust (lendületet) és nagy mozgási energiát kellene elvinnie, ami nem lehetséges. Az előzőek alapján azonban olyan folyamatok elvileg végbemehetnek, ahol a végállapotban is két részecske van (pl. $^4\text{He} + \gamma$ vagy $^3\text{He} + \text{n}$), hiszen a két részecske mind az impulzus (lendület) megmaradást, mind pedig az energia-megmaradást teljesíteni tudja. Az energiaviszonyok ismeretében különösen meglepő, hogy mégis a kisebb energiaszabadulással járó $^3\text{He} + \text{n}$ végállapot valósul meg gyakrabban.

Képzeljük el úgy ezeket a reakciókat, hogy a deuteronok fúziójakor a ^4He egy nagyon magasan gerjesztett állapotban jön létre, amelyből vagy neutron-kibocsátással, vagy gamma-kibocsátással bomlik el. Mivel a gamma-kibocsátás elektromágneses kölcsönhatással történik, a neutron-kibocsátás pedig a jóval erősebb erős kölcsönhatással, ezért a neutron-kibocsátás sokkal gyorsabb folyamat. A gerjesztett He-4-mag tehát az esetek legnagyobb részében neutron-kibocsátással elbomlik, mielőtt még a gamma-foton kibocsátására sor kerülhetne.

10. a) Először a minta aktivitását határozzuk meg.

A háttér levonása után 20 óra alatt 900 beütést detektáltunk, ezért a minta

$$\text{aktivitása: } A = \frac{900}{20 \text{ h}} = \frac{900}{20 \cdot 3600 \text{ s}} = 1,25 \cdot 10^{-2} \frac{1}{\text{s}} \text{ (Bq)}.$$

Ismeretes, hogy az A aktivitás, a $T_{1/2}$ felezési idő és a mintában található radioaktív magok N száma között a következő összefüggést írhatjuk fel:

$$A = N \cdot \frac{\ln 2}{T_{1/2}}.$$

Az aktivitás és a felezési idő ismeretében a radioaktív magok száma meghatározható:

$$N = A \cdot \frac{T_{1/2}}{\ln 2} = 1,25 \cdot 10^{-2} \frac{1}{\text{s}} \cdot \frac{5568 \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}}{\ln 2} = 3,169 \cdot 10^9.$$

A szénatomok összes száma a szén-dioxid-gáz tömegéből határozható meg.

A szén-dioxid móltömege $44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$, ezért 220 mg szén-dioxidban

$$\frac{0,22 \text{ g}}{44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} = 3,011 \cdot 10^{21}$$

molekula van. Mivel minden CO₂-molekula egyetlen szénatomot tartalmaz, a szén-atommagok teljes száma is ennyi.

A ¹⁴C/¹²C arány az előbbi adatokból:

$$n = \frac{3,169 \cdot 10^9}{3,011 \cdot 10^{21}} = 1,052 \cdot 10^{-12}.$$

Ez az arány a ¹⁴C-izotóp radioaktív bomlása miatt kevesebb, mint a ¹⁴C egyensúlyi aránya ($n_0 = 2 \cdot 10^{-12}$)

$$n = n_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \quad \text{vagy} \quad n = n_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_{1/2}}}.$$

$T_{1/2}$ a ¹⁴C-izotóp felezési ideje, t pedig a múmia készítése óta eltelt idő.

Ezekből:

$$t = -T_{1/2} \cdot \frac{\lg \frac{n}{n_0}}{\lg 2} \quad \text{vagy} \quad t = -T_{1/2} \cdot \frac{\ln \frac{n}{n_0}}{\ln 2}.$$

A számértékek behelyettesítése után az időre 5176 év adódik.

- b)** A kormeghatározás bizonytalansága több tényezőből is összetevődik. Itt mi csak a beütésszámok statisztikus ingadozásából eredő bizonytalansággal foglalkozunk.

A mért jel+háttér = 2500 beütésszám ingadozása: $\sqrt{2500} = 50$. (Ha a mérést többször megismételtük volna, nagy valószínűséggel 2450 és 2550 közé eső beütésszámokat kaptunk volna.) Hasonlóan, a háttér beütésszámának ingadozása 40, azaz nagy valószínűséggel a háttér 1560 és 1640 közé esik. Mivel a minta beütésszámát az együttesen mért beütésszám és a háttér beütésszámának különbségeként kapjuk, a két szélső eset: $2450 - 1640 = 810$ valamint $2550 - 1560 = 990$. A mintából származó beütésszám tehát

$$900 \pm 90 \quad (\text{azaz } \pm 10\%).$$

Ezért a minta aktivitása:

$$(1,25 \pm 0,13) \cdot 10^{-2} \text{ Bq}.$$

Mivel a radiokarbon felezési idejét pontosan ismertnek tételezzük fel, ezért ugyanekkora bizonytalanság lesz az ebből számolt arányban is. Azaz

$$n = (1,05 \pm 0,1) \cdot 10^{-12}.$$

Végül a múmia korát a szélső értékek, vagyis

$$n = 0,95 \cdot 10^{-12} \quad \text{és} \quad n = 1,15 \cdot 10^{-12}$$

behelyettesítésével kapjuk:

$$t = 5980 \text{ y} \quad \text{és} \quad t = 4445 \text{ y} .$$

A múmia kora tehát

$$5212 \pm 767 \text{ év} .$$

(Látható, hogy a logaritmálás miatt a korábbi 10 százalékos ingadozás majdnem 15 százalékra megnövekedett.)

- c) A mérés pontosságát a mérési idő növelésével lehet(ne) javítani. Százszoros mérési idők (2000 óra = 83 nap!) esetén a mért értékek százszorosra, de statisztikus ingadozásuk csak a tízszeresére növekednek. Emiatt végeredményben a pontosság növekszik. Más kérdés, hogy ilyen hosszú mérési idők alatt (a háttérrel is ennyi ideig kellene mérni!) már a mérőberendezés instabilitása nagyobb hibát eredményezne, mint a mért értékek statisztikus ingadozása.

— E) A 2. VERSENY DÖNTŐJÉNEK EREDMÉNYLISTÁI —

I. KATEGÓRIA

1.	NOVÁK ZOLTÁN	Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg Vadvári Tibor	47 pont
2.	BÖRZSÖNY ÁDÁM	Bethlen G. Gimn., Hódmezővásárhely Berecz János és Nagy Tibor	46 pont
	RAFFAI PÉTER	Leöwey K. Gimn., Pécs Simon Péter	46 pont
4.	KOCSIS ZOLTÁN	Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged Kovács László	45 pont
5.	BÁLINT PÉTER	Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged Kovács László	40 pont
6.	BOGATIN GYÖRGY	Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg Vadvári Tibor	38 pont
7.	CSENDES ÁRON	Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged Kovács László	37 pont
8.	FIGURA BALÁZS	Építőipari Szakközépiskola, Kaposvár Guethné Nyári Éva	33 pont
9.	MASA GABRIELLA	Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged Kovács László	31 pont
10.	NAGY DÓRA	Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged Kovács László	21 pont

II. KATEGÓRIA

1.	TÓTH BÁLINT	Fazekas M. Gyak. Gimn., Budapest Horváth Gábor	71 pont
2.	MIHAJLIK GÁBOR	Boronkay Gy. MK, Vác Arany Tóth László	64 pont
	TERPAI TAMÁS	Fazekas M. Gyak. Gimn., Budapest Horváth Gábor	64 pont
4.	NÉMETH RÓBERT	Bolyai J. Gimn., Kecskemét Svihrán Éva	60 pont
	SZANYÓ ALBERT	Babits M. Gyak. Gimn., Pécs Koncz Károly és Stöckler Nándor	60 pont
6.	CZIEGLER ISTVÁN	Lauder Javne Iskola, Budapest Tóth Eszter	56 pont
	DZSUDZSÁK GERGELY	Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg Juhász Tibor	56 pont
8.	CSORBA KRISTÓF	Tóth Á. Gimn., Debrecen Kovács Miklós	54 pont
	LUKÁCS ÁRPÁD	Fazekas M. Gyak. Gimn., Budapest Horváth Gábor	54 pont
10.	KENYERES PÉTER	Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg Pálovics Róbert	53 pont
11.	LENK SÁNDOR	Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg Pálovics Róbert	51 pont
	PSZOTA ANIKÓ	Madách I. Gimn., Vác Horváth Edit	51 pont
	VÉGH ZOLTÁN	Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged Győri István	51 pont
14.	PATAY GERGELY	Tóth Á. Gimn., Debrecen Kovács Miklós	49 pont
	VARGA GERGELY	Bolyai J. Gimn., Szombathely Pájer Szabolcs	49 pont
16.	TÓDOR BALÁZS	Tóth Á. Gimn., Debrecen Kovács Miklós	47 pont
17.	HEGEDŰS RAMON	Bolyai J. Gimn., Szombathely Pájer Szabolcs	46 pont
	MIKLÁN ZSANETT	Bolyai J. Gimn., Kecskemét Svihrán Éva	46 pont
19.	CZELLER MIKLÓS	Energetikai Szakképzési Intézet, Paks Csajági Sándor	43 pont
20.	TÓTH ATTILA	Apáczai Csere J. Gyak. Gimn., Budapest	34 pont

F) MEGJEGYZÉSEK

Az 1998-ban megrendezett Emlékverseny kedvező tapasztalatait követően Marx György az alábbi körlevelet juttatta el az ország középiskoláiba:

„1998-ban az egész világ megemlékezett Szilárd Leónak, az atomenergia felismerőjének és gyakorlati realizálójának 100. születésnapjáról. Az ünnepségek középpontja Budapesten a Parlamentben volt. Szilárd Leó Budapesten járt iskolába, megnyerte az Eötvös Loránd Tanulmányi Versenyt. Tudományos karrierjét berlini egyetemi évek után Amerikában futotta be.

A centenárium alkalmából az Eötvös Loránd Fizikai Társulat a Művelődési Minisztérium és a Paksi Atomerőmű támogatásával 1998-ban Országos Magfizikai Tanulmányi Versenyt rendezett. Azon közel 500 középiskolás és néhány általános iskolás vett részt. A 10 legjobb versenyző egészen kiváló teljesítményt mutatott, őket a magyar tudományegyetemek, műszaki egyetemek és tanárképző főiskolák fizikához kapcsolódó szakjaira felvételi vizsga nélkül örömmel felvették.

A verseny iránt mutatott nagy érdeklődés, magas színvonal láttán a középiskolai tanárok kérték, hogy a versenyt évente rendezzük meg. Ezért az Eötvös Loránd Fizikai Társulat a Paksi Atomerőmű egyetértésével úgy határozott, hogy a Szilárd Leó Országos Tanulmányi Versenyt magfizikai-magtechnikai-sugárvédelmi témakörből 1999 tavaszán is megrendezi. Tematikája a NAT tanterv e tárgykörbe eső fejezeteinek alkalmazásszintű tudása. A válogató-versenyek március elején az iskolákban, a 20 fős elméleti és kísérleti döntő április második felében az ELTE által kiválasztott helyen lesz, külön az érettségizők, külön a fiatalabbak és általános iskolások kategóriájában. A 10 legjobbat az érdekelt egyetemek most is felveszik. A versenybizottság tagjai: Csikai Gyula prof. KLTE, Horváth Ákos ELTE, Kemenes László PART Tájékoztatási Iroda, Kiss Dezső prof. KFKI, Marx György prof. ELFT elnök, Sükösd Csaba prof. BME, Szűcs József JPTE, Ujvári Sándor titkár ELFT főtitkárhelyettese, Csajági Sándor ELFT Tolna megye.

Kérjük, hogy iskolája részvételi szándékát, a versenyzők hozzávetőleges számát osztályok szerint januárban írásban közölje az Eötvös Társulat szervezőtitkárával, Nagy Margóval. (Bp. 1027 Fő utca 68. fax 12018682).”

Ez a versenyfelhívás és a Fizikai Szemle 1998. évi 9. számában a 41. Középiskolai Fizikatanári Ankét és Eszközkiállítással kapcsolatban megjelent cikk a Tolna megyei fizikatanárok nemtetszését eredményezte. Többszöri levél-váltás és korrekciók után tisztázódott:

- az ELFT Tolna megyei Csoportja szervezésében továbbra is évente megrendezik az 1995-ben indított megyei Szilárd Leó Fizikaversenyt;
- az ELFT és az Energetikai Szakképzési Intézet Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítványa közösen hirdeti meg azt az Országos Szilárd Leó Fizikaversenyt, amely évente a paksi döntővel zárul.

3. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY

A) AZ 1. FORDULÓ FELADATAI

A 2000. március 6-án megtartott 1. fordulóban az alábbi 10 feladat megoldásával foglalkozhattak a versenyzők.

A feladatok megoldásához 180 perc áll rendelkezésre. Minden segédeszköz használható. Minden feladatot külön lapra írjon, s minden lapon legyen rajta a megoldó neve és iskolája.

1. feladat

Milyen folyamatok mehetnek végbe a ^3He , ^4He atommagoknak termikus neutronokkal történő reakciója során? Indokold is meg a választ! **(5 pont)**

Adatok: ld. táblázat

2. feladat

A környezet- és egészségvédelmi előírások szabályozzák, hogy mikor lehet radioaktív hulladékot a csatornarendszerbe kiönteni. Például ^{32}P izotópból csak olyan önthető ki, amelynek aktivitáskoncentrációja legfeljebb 20 MBq/m^3 . Mennyi ideig kell tárolni a literenként $8 \cdot 10^7 \text{ Bq}$ aktivitású hulladékot a kiöntés előtt? A ^{32}P felezési ideje 14,3 nap.

(5 pont)

3. feladat

Biológiailag az azonos energiájú és intenzitású neutron- vagy α -sugárzás a veszélyesebb? Indokold meg a választ! **(5 pont)**

4. feladat

Az 5 cm^3 normál állapotú levegőt tartalmazó töltőtoll-doziméter kapacitása legyen 1 pF , és töltsük fel 1000 V -ra. Mennyi az elnyelt dózis, ha a besugárzás után a feszültsége 900 V -ra csökkent? **(5 pont)**

Adatok: A levegő átlagos ionizációs energiája $6,88 \text{ aJ}$, sűrűségét vegyük $1,3 \text{ kg/m}^3$ -nek.

5. feladat

A Nagy Egyesítés elmélete szerint a proton sem teljesen stabil, hanem nagyon hosszú felezési idővel π^0 -mezonra és pozitronra bomlik. Egy kísérletben 3300 tonna vizet 1 évig vizsgáltak, de nem tapasztaltak egyetlen protonbomlásra utaló eseményt sem. Milyen felső határt ad ez a kísérlet a vízmolekulában lévő proton felezési idejére?

(5 pont)

6. feladat

Az 1986-os csernobili atomerőműbaleset következtében hazánkat is érő radioaktív légköri szennyeződés során az országban a levegő aktivitás-koncentrációja átlagosan 1 Bq/m^3 -el nőtt, legnagyobb részt a 8 nap felezési idejű ^{131}I izotóp következtében.

- a) Összesen hány gramm jódtól származott a jódérzékeny hazánk légterébe ?
b) Összesen hány gramm radioaktív jód szabadulhatott ki a csernobili sérült reaktorblokkból, ha a kiszabadult összaktivitás 10^{18} Bq volt ? Tegyük fel, hogy ennek kb. 90%-a a jódtól származott. **(5 pont)**

Adatok: a szennyezett légkör magasságát vegyük 5 km-nek, hazánk területét pedig 10^5 km^2 -nek

7. feladat

Háromszorosan ionizált UF_6 molekulákat gyorsítunk 5 kV feszültséggel, majd egy piciny nyíláson 1 T indukciójú mágneses mezőbe vezetjük őket. Az indukció vektora merőleges a sebességre.

- a) Milyen pályán mozognak az ionok ? Adjuk meg a 238-as ill. a 235-ös uránizotópot tartalmazó ionpályák jellemző paramétereit.
b) Ezen a módon szét lehet választani a 235-ös és a 238-as izotópokat egymástól. A II. világháború alatt az USA-ban rendelkezésre álló ionforrások 1 mA-es ionáramot tudtak előállítani. Mennyi ideig tartott volna 1 kg teljesen tiszta 235-ös urán előállításával ezzel a módszerrel? **(5 pont)**

8. feladat

Tudjuk, hogy rendszámnövelő ill. rendszámcsökkentő béta-bomlások az atommagok energiavölgyének két különböző oldalán lévő atommagoknál jönnek létre. Ezért azt várnánk, hogy nincs olyan atommag, amely egyszerre lenne negatív béta-bomló (rendszámnövelő) és elektronbefogó (rendszámcsökkentő). A ^{40}K izotóp azonban 88%-os valószínűséggel negatív béta-bomló. 12%-os valószínűséggel pedig elektronbefogással bomlik. (Nemcsak a ^{40}K ilyen, vannak még más ilyen atommagok is). Hogyan lehetséges ez? **(5 pont)**

9. feladat

Egy lézer 20 J energiájú impulzust bocsát ki $0,5 \mu\text{s}$ időtartamig 580 nm hullámhosszon. Ezt a fényt céziumlapra ejtjük $12 \mu\text{m}$ átmérőjű körre fókuszálva. A fény 90%-a elnyelődik. 10%-a visszaverődik.

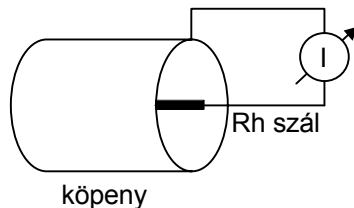
- a) Hány foton éri a fémlapot ebben az impulzusban ?
b) Mekkora nyomást kelt a fénysugár ?
c) Mekkora maximális sebességgel hagyják el a céziumlapot a fény által kiváltott elektronok ?

Adatok: Az elektronok kilépési munkája a cézium fémből 0,3 eV. **(5 pont)**

10. feladat

Atomerőművekben a neutronfluxus mérésének egyik módja az úgynevezett elektronemissziós (SPND) detektorokkal történő mérés. Egy ilyen detektor 3 mm átmérőjű rozsdamentes acél hengerbe helyezték, 20 cm hosszú, 1 mm átmérőjű, ^{103}Rh -ből készült szálból áll. A szál és a henger egymástól elektromosan el van szigetelve (ld. ábra). A neutronsugárzás hatására a szálból béta-bomló ^{104}Rh keletkezik, amelyből kilépő nagy energiájú béta-részecskék áthatolnak a szál és a köpeny közötti szigetelésen, és elnyelődnek a köpenyben. Ezáltal a szál és köpeny közé kapcsolt árammérővel áram mérhető. (Vegyük észre, hogy ezeknek a detektoroknak az üzemeltetéséhez nem kell külön áramforrás, ezért ezeket öntápláló detektoroknak is hívják.)

- a) Mekkora az Rh-szál aktivitása, ha az árammérő $0,1 \mu\text{A}$ áramot jelez ?
 b) Hogyan lehetséges, hogy az árammérő hosszú időn keresztül állandó áramot mér, pedig radioaktív anyagok aktivitásának a felező időnek megfelelően csökkenni kellene?
 c) Az a) feladatnak megfelelő teljesítményen hány év alatt alakul(na) át Rh-szálban eredetileg meglévő ^{103}Rh atommagok 5%-a ? **(5 pont)**
Adatok: A ^{104}Rh felezési ideje $42,3 \text{ s}$. A ródium fém sűrűsége 12400 kg/m^3



TÁBLÁZAT

Az alábbi táblázat néhány könnyű atommag tömegét tartalmazza.
 A nem-stabil atommagoknál feltüntettük a felezési időt és a bomlás módját is.

A tömeg-energia átalakításhoz használjuk: $c^2 = 8,987551787 \cdot 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2$

Atommag	tömeg (10^{-27} kg)	Felezési idő	Bomlás módja
neutron	1,6749543	1000 s	β^-
^1H	1,6726485	stabil	
^2H	3,342727844	stabil	
^3H	5,005622512	12,33 év	β^-
^3He	5,005589319	stabil	
^4He	6,64296669	stabil	
^5He	8,318722076	$2 \cdot 10^{-21} \text{ s}$	$\alpha + n$

B) A DÖNTŐ FELADATAI (Paks, 2000. április 27.)

a) ELMÉLETI FELADATOK

A feladatok megoldásához 180 perc áll rendelkezésre. Minden segédeszköz használható. Minden feladatot külön lapra írjon, s minden lapon legyen rajta a kód.

1. feladat

Milyen lenne a világ, ha a neutron tömege egy ezrelékkal kisebb lenne (a jelenlegi tömeg 0,999-szerese) ? Jelenleg a neutron tömege $1,6749543 \cdot 10^{-27}$ kg. **(5 pont)**

Adatok: A proton tömege $1,6726486 \cdot 10^{-27}$ kg, az elektron tömege pedig $0,9109534 \cdot 10^{-30}$ kg.

2. feladat

A japán Tokai-Mura kémiai gyárban uránoxidot tisztítanak atomreaktor-fűtőelemek céljára. A kémiailag megtisztított uránoxidot egy tartályban vizes oldatból kémiailag kiválasztják, s az csapadék formájában a tartály aljára ülepedik. A kémiai átalakulás során fejlődött hő elvezetésére a tartályt vízburok veszi körül. A vízköpenyben hűtővíz áramlik: hidegen kintről csövön jön be, a fölmelegedett fűtővíz csövön kifolyik. 1999 őszén az történt, hogy a szokásos 3% dúsítású urán oxidja helyett (magashőmérsékletű reaktorok részére) 18%-ra dúsított urán oxidját tisztították, de — a szabályokat megszegve — ugyanakkora anyagmennyiségekkel dolgoztak. Így esett, hogy a leülepedett uránoxid elérte a kritikus mennyiséget, benne hasadási láncreakció indult meg. A spontán létrejött reaktor önmagát szabályozta és 17 órán keresztül állandósulva működött. Mivel a kémiai üzemben láncreakcióra nem számítottak, a helységben sugázmérők, és szabályozó-beavatkozó automatika nem volt. A váratlanul kialakult magas neutronszint miatt nem is lehetett belépni a helyiségbe. 17 óra után külső beavatkozással sikerült a láncreakciót leállítani.

- Milyen folyamatok kaphattak szerepet a hasadási láncreakció önszabályozásában?
- Milyen külső beavatkozás volt képes a zárt tartályban folyó láncreakciót leállítani?

(5 pont)

3. feladat

A Napban (több lépésen át) $^1\text{H} \rightarrow ^4\text{He}$ magfúzió termeli az energiát, ami a napfényt táplálja.

- Milyen lett volna a Nap sorsa, ha a ^2He atommag stabilan létezne ?
- Milyen lett volna a Nap sorsa, ha a ^2He izotóp nem létezne?

(5 pont)

4. feladat

Környezetvédelmi-környezettisztasági szempontból hasonlítsd össze az (azonos teljesítményű) szénerőművet, gázerőművet, atomerőművet !

(5 poont)

5. feladat

A csernobili baleset után Lengyelországban megmérték a lehullott radioaktív szennyezésben a $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ arányt (a két izotóp különböző energiájú gammasugárzást bocsát ki, s így meg lehet őket különböztetni). A mérések eredményéből meg lehetett állapítani, hogy a fűtőelemek már hosszú ideje a reaktorban voltak.

- Miért lehet ebből arra következtetni, hogy a reaktor nem atomfegyver-alapanyagot termelt ?
- Nem sokkal később Észak-Olaszországban egy gombafajtában is megmérték a $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ arányt, s azt találták, hogy a gomba csaknem kizárólag ^{137}Cs -ot tartalmazott. Azt jelenti-e ez, hogy a gomba különbséget tud tenni ugyanazon elem különböző izotópjai között ?

(5 pont)

Adatok: A ^{134}Cs felezési ideje 2 év, a ^{137}Cs felezési ideje 30 év.

6. feladat

A vörös óriás csillagokban ${}^4\text{He}$ -ből fúzióval épülnek fel a magasabb rendszámú elemek. Ennek a fúziós folyamatláncnak nehéz az indulás, mert a ${}^4\text{He}+{}^4\text{He}\rightarrow{}^8\text{Be}$ atommagreakció végterméke nem stabil, hanem szinte rögtön szétesik. Fred Hoyle feltételezte, hogy elegendően nagy sűrűség esetén az is előfordulhat, hogy a ${}^8\text{Be}$ igen rövid élettartama alatt egy harmadik ${}^4\text{He}$ atommaggal találkozik, s akkor a ${}^8\text{Be}+{}^4\text{He}\rightarrow{}^{12}\text{C}$ folyamatban ${}^{12}\text{C}$ atommag keletkezhet. Miután ehhez 3 db α -részecske igen rövid időn belül való találkozására van szükség, ezt a folyamatot 3α folyamatnak nevezik. Hoyle számításai szerint azonban ennek is csak akkor lehet számottevő szerepe, ha a ${}^{12}\text{C}$ atommagban van olyan gerjesztett állapot, amely a 3 db α -részecskéből könnyen létrejöhethet, s amely azután γ -foton kibocsátásával alapállapotba bomlik. Hoyle jóslatát követve a Fowler, a California Institute of Technology munkatársa hamarosan kísérletileg is megtalálta ezt a gerjesztett állapotot a ${}^{12}\text{C}$ atommagban.

Vajon mekkora gerjesztési energia közelében kellett Fowlernek ezt az állapotot keresnie a ${}^{12}\text{C}$ atommagban? **(5 pont)**

Adatok: A ${}^4\text{He}$ atommag tömege $6,64296669 \cdot 10^{-27}$ kg, a ${}^{12}\text{C}$ atommag tömege pedig: $19,91593977 \cdot 10^{-27}$ kg, s tegyük fel, hogy az alfa-részecskének 4 fm-re meg kell közelíteniök egymást, hogy az összeolvadás létrejöhessen.

7. feladat

Bizonyítsuk be, hogy egy ${}^2\text{H}+{}^2\text{H}\rightarrow{}^3\text{He}+n$ fúzióval működő állandó hőmérsékletű plazmában a fúziós teljesítménysűrűség a plazma sűrűségének négyzetével arányos.

(5 pont)

8. feladat

Egy plutónium-tárolóban azonos méretű, plutóniumból készült fémgömbök vannak egymástól biztonságos távolságra elzárva. Vannak gömbök, amelyek tiszta ${}^{239}\text{Pu}$ -ból készültek, mások pedig tiszta ${}^{240}\text{Pu}$ -ból. Sajnos az azonosító felirat elmosódott rajtuk. Adj módszereket a szétválogatásukra.

(5 pont)

Adatok: A ${}^{239}\text{Pu}$ felezési ideje 24100 év, a ${}^{240}\text{Pu}$ felezési ideje pedig 6560 év.

9. feladat

Képzeld el, hogy a Szabadalmi Hivatalban dolgozol. Szabadalmi beadvány érkezik, amely azt javasolja, hogy az urán dúsítására eddig használt urán hexafluorid (UF_6) gáz helyett urán-hexakloridot (UCl_6) használjanak. Azzal érvel, hogy ez a vegyület sokkal kevésbé mérgető és korrozív, mint az UF_6 , s ezért a dúsítóberendezések sokkal olcsóbb anyagokból is felépíthetők lennének. Az UCl_6 kémiai tulajdonságait nem ismered. Tudsz-e mégis véleményt mondani erről a javaslatról? **(5 pont)**

10. feladat

Hogyan alakult volna a világ sorsa, ha az ${}^{235}\text{U}$ felezési ideje 2,25 milliárd év lenne?

(5 pont)

b) KÍSÉRLETI FELADAT

1. Feladat

Vizsgáld meg a kiadott ásványi por radioaktivitását! Milyen típusú sugárzásokat lehet detektálni? Határozd meg ezek mérhető intenzitásainak arányait! Erre a feladatra összesen 80 perc áll rendelkezésre. A pomintára tett fóliát nem szabad eltávolítani.

2. Feladat

Határozd meg minél pontosabban a kiadott fecskendőből kivonható — oldatban lévő — radioaktív anyag felezési idejét (perc nagyságrendű). Erre a feladatra 40 perc áll rendelkezésre, utána a fecskendőt tovább kell adnod egy másik versenyzőnek.

Mérőkészülék

A mérésekhez rendelkezésre áll egy végablakos GM-csőves sugázmérő készülék. A készülék használható önállóan is, vagy számítógéphez csatlakoztatva.

Önálló esetben a mérést a Start/Törlés-Stop gombbal lehet elindítani (ez a mérés megkezdése előtt automatikusan törli is a számláló állását), és a gomb másodszori megnyomására a mérés megáll. A készülék önálló időzítéssel nem rendelkezik.

Számítógéphez csatlakoztatás esetén a **C:\Szilárd** könyvtárban lévő **Start.bat** fájlt kell elindítani, és a bejelentkező képernyő (Qbasic) után a mérőprogram a Shift/F5 megnyomására indul. Ekkor a számítógépen megadható a mérési időintervallum másodpercben. A képernyőre a mérési idő letelte után a gép kiírja az időt és a mért beütésszámot, és a mérést azonnal újraindítja. Az ESC lenyomásával visszatérsz a mérési idő megadásához. A program megáll, ha 0 s mérési időt adsz meg. (Ezek a programok csak DOS környezetben futnak)

Az odát elkészítése

A fehér színű anyagot tartalmazó fecskendőt állítsd be a kiadott kis hosszúságú műanyag edénybe, s a másik fecskendő segítségével tölts rá kb. 1 ml oldatot. Az átsurgott folyadékkal megkezdheted a mérést. Takarékoskodj az oldattal, ugyanazt az oldatot a lebomlás után ismét felhasználhatod! Az elhasznált oldatot a teremben lévő gyűjtőedénybe öntsd.

c) SZÁMÍTÓGÉPES FELADAT

Ez a program alapvetően a nukleáris láncreakció *nagyon leegyszerűsített formában* történő modellezésére szolgál.

Néhány előre megadott háromszög alakú elemből, mint különböző dúsítású (természetes, 5%-os, illetve 100%-os) uránrúdból, különböző (könnyűvíz, nehézvíz, grafit) moderátorból, szabályozó rudakból és neutronforrásból lehet összeállítani különböző elrendezéseket, majd vizsgálni, hogy kialakul-e a szabályozott nukleáris láncreakció, illetve miként lehet azt szabályozottá tenni. Az urándúsítást és a moderátort a *Beállítások* menüpontban lehet megadni.

A program működése:

Az egyes cellákban lévő neutronok két csoportba sorolhatók: gyors, ill. lassú neutronok. Ezeknek a számát a cellákba különböző színekkel írt számok mutatják. Az

idő múlását „órajel” modellezik. Minden órajelre a cellákban lévő neutronokkal a következő dolgok történhetnek (különböző valószínűségekkel):

- Keletkezés (gyors neutronként, urán rudakban, ill. neutronforrásban)
- elnyelődés (kivéve az „üres” cellákat)
- hasítás (csak urán rudakban)
- lelassulás (csak a gyors neutronok)
- átlépés a szomszéd cellába.

Az alsó sorban megjelenő „szorozási tényezőt” a program a következő módon számolja: a nem-üres cellákban lévő neutronok számát elosztja az előző generációban ugyanezen cellákban meglévő neutronok számával. (Mivel a neutronok száma statisztikusan ingadozik, ezért az így kiszámolt szorozási tényező is ingadozik).

Feladatok:

1. Állítson elő természetes urán felhasználásával minél kevesebb elemből olyan elrendezést, amely éppen kritikus! Hány urán rudat (uránháromszöget) kellett felhasználni?
2. Vizsgálja meg, hogy legalább hány db. 5%-osan dúsított uránrúd szükséges egy kritikus rendszer összeállításához víz, nehézvíz, illetve grafit moderátor felhasználásával!
3. Miért célszerű a hőmérsékleti visszacsatolást kikapcsolni, amikor a kritikus tömeget keresi ?

A feladatok megoldását részletesen írja le. Írja fel a szükséges adatokat, készíthet grafikonokat, rajzokat az elrendezésről stb.

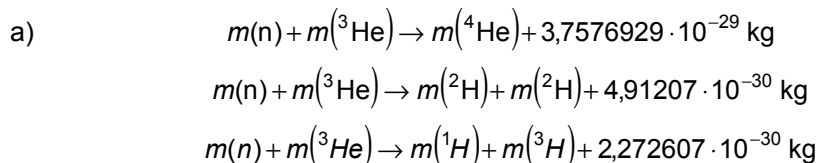
Néhány tanács:

- Az önfenntartó nukleáris láncreakció beindításához minden esetben szükség van neutronforrásra. Ezért *a különböző elrendezések során helyezzen el neutronforrást is, és néhány generáción keresztül ezzel működtesse, majd cserélje ki másik elemre!* A programban a neutronok száma a neutronforrásban generációnként összegződik, csak kevés „diffundál” ki belőle, ezért egy idő után feltétlenül vegye ki a neutronforrást!
- A kritikus tömeg megállapításához célszerű a hőmérsékleti visszacsatolást kikapcsolni a Beállítás/Hőmérséklet menüvel. (ld. 3. Feladat)
- A program lehetőséget ad arra, hogy egy adott elrendezést, „működés” közben módosítson. (Szünet/Pause gomb, majd módosítás után a szimuláció folytatható).
- A grafikonok egyes részletei a Shift gomb lenyomása mellett az egérrel kijelölhetők és nagyíthatók. Az eredeti méretre való visszaállítás a Shift gomb lenyomása mellett az egérrel a grafikonra kattintással történik.

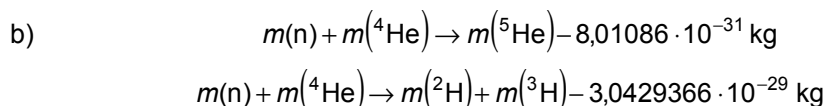
— C) AZ 1. FORDULÓ FELADATAINAK MEGOLDÁSA —

1. A termikus neutronok mozgási energiája elhanyagolhatóan kicsi az atommagreakciók energiáihoz képest, ezért a folyamatok energiamérlegének meghatározásakor elegendő csak a kötési energiákat figyelembe venni. Ezeket a tömegek-

ből lehet számolni. Az alábbiak összefoglalják az egyes folyamatok tömegmérle-gét (ha c^2 -tel beszoroznánk mindkét oldalt, az energiamérleget kapnánk):



Láthatóan a második folyamat energetikailag nem lehetséges. Az első folya-mat energetikailag lehetségesnek tűnik, de az energia- és az impulzus(lendü-let)megmaradás egyszerre nem teljesíthető. Ennek belátására vizsgáljuk a folyamatot tömegközépponti rendszerben, ahol az összes lendület (impulzus) nulla (a két részecske termikus energiával lassan közelít egymás felé). A végállapotban egyetlen részecske (He-4-izotóp) jön létre, a lendület(impul-zus)megmaradás miatt sebességének nullának kellene lennie. A tömegkü-lönbségnek megfelelő energia tehát mozgási energia formájában nem szabadulhat fel. Gamam-bomlás ugyancsak nem jöhet létre, hiszen a ${}^4\text{He}$ -nek nincsen gerjesztett állapota, amiből lebomolhatna. Ezért ez a folyamat az energia- és az impulzus(lendület)megmaradás miatt nem jöhet létre. **Egyedül a harmadik folyamat valósulhat meg!**



Látható, hogy itt már — az alfa-részecske különösen nagy kötési energiája miatt — **egyik folyamat sem jöhet létre**. Az első folyamatot a termikusnál nagyobb energiával (0,072 pJ) haladó neutronok létre tudják ugyan hozni, ám a létrejött ${}^5\text{He}$ szinte azonnal lebomlik ${}^4\text{He}$ -re és neutronra.

2. Az aktivitás exponenciálisan változik:

$$A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \quad \text{vagy} \quad A = A_0 \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right).$$

Ezekből

$$t = 14,3 \text{ d} \cdot \frac{\lg 8 \cdot 10^{10} - \lg 2 \cdot 10^7}{\lg 2} = \frac{\ln 8 \cdot 10^{10} - \ln 2 \cdot 10^7}{\ln 2} \cdot 14,3 \text{ d} \approx 171 \text{ d}.$$

3. A kétféle sugárzás sugárzási faktora (régebben: sugárzási tényezője) nagyjából megegyezik. Mégis különbség van a két sugárzás veszélyessége között! Külső sugárzás esetén az α -sugárzás már a bőrben elnyelődik, ugyanakkor a neutronsugárzás belső szerveket is elér és károsít. **Külső sugárzás esetén a neutronsugárzás a veszélyesebb.** Abban az esetben, ha a sugárforrás bekerül a szervezetbe (légzés, étel stb. által), akkor az α -sugárzás a veszélyesebb. Ez ugyanis a teljes energiáját a szervezetben (sőt általában egy sejten belül) adja le. Ugyanakkor a neutronok egy része ki is léphet a szervezetből. Ezek miatt a **belső sugárzás esetén az α -sugárzás a veszélyesebb.**

4. A kondenzátorra felvitt elektromos ösztöltés:

$$Q = 1000 \text{ V} \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{V}} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ C}.$$

Az ionizáció következtében ez lecsökken $9 \cdot 10^{-9}$ coulombra, azaz $1 \cdot 10^{-10}$ coulomb elektromos töltést „közömbösítettek” a gáztérben keletkezett ionok és elektronok. Ehhez az elemi töltés ismeretében

$$\frac{1 \cdot 10^{-10} \text{ C}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 6,242 \cdot 10^8$$

ion-elektron pár keletkezésére volt szükség. Mivel egyetlen ion-elektron pár létrehozásához $6,88 \cdot 10^{-18}$ joule energia kell, ezért a teljes elnyelt energia:

$$6,242 \cdot 10^8 \cdot 6,88 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 4,295 \cdot 10^{-9} \text{ J}.$$

Ez az energia 5 cm^3 térfogatú, vagyis $5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot 1,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 6,5 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$ tömegű normál állapotú levegőben nyelődött el, így

$$D = \frac{4,295 \cdot 10^{-9} \text{ J}}{6,5 \cdot 10^{-6} \text{ kg}} = 6,607 \cdot 10^{-4} \frac{\text{J}}{\text{kg}}.$$

Tehát az elnyelt dózis 0,661 mGy.

5. 18 gramm vízben $2 \cdot 6,022 \cdot 10^{23}$ proton van, 3 300 000 kg vízben ennél $1,833 \cdot 10^8$ -szor több, vagyis $N = 2,208 \cdot 10^{32}$. Mivel 1 év alatt protonbomlást nem tapasztaltak, ezért N proton aktivitása: $A < 1 \frac{\text{bomlás}}{\text{y}}$.

A $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ és $A = \lambda N$ összefüggések felhasználásával:

$$T_{1/2} > 2,208 \cdot 10^{32} \cdot 1 \text{ y} \cdot \ln 2 = 1,530 \cdot 10^{32} \text{ y}.$$

Tehát a protonok felezési ideje legalább $1,53 \cdot 10^{32}$ év.

6. a) Hazánk légterének becsült aktivitása:

$$A = 1 \cdot 10^{11} \text{ m}^2 \cdot 5 \cdot 10^3 \text{ m} \cdot 1 \frac{1}{\text{s} \cdot \text{m}^3} = 5 \cdot 10^{14} \frac{1}{\text{s}}.$$

A radioaktív jódatomok száma:

$$N = \frac{A}{\lambda} \quad N = 5 \cdot 10^{14} \frac{1}{\text{s}} \cdot \frac{8 \cdot 86400 \text{ s}}{\ln 2} = 4,986 \cdot 10^{20}.$$

Így a jód össztömege:

$$m = \frac{4,986 \cdot 10^{20}}{6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}} \cdot 0,131 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} = 1,085 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \approx 0,11 \text{ g}.$$

- b) A kiszabadult összaktivitás és az országot ért aktivitás arányából következtethetünk a sérült reaktorból kiszabadult jódtömegére:

$$m_{\text{összes}} = \frac{0,9 \cdot 10^{18} \frac{1}{\text{s}}}{5 \cdot 10^{14} \frac{1}{\text{s}}} \cdot 0,11 \text{ g} = 198 \text{ g} \approx 200 \text{ g}.$$

7. Az ^{235}U -öt tartalmazó urán-hexafluorid móltömege $349 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$, az ^{238}U -at tartalmazó vegyületé pedig $352 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$.

- a) Egyetlen $^{235}\text{UF}_6$ molekula tömege:

$$m_{235} = \frac{0,349 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}} = 5,795 \cdot 10^{-25} \text{ kg},$$

- egyetlen $^{238}\text{UF}_6$ molekula tömege pedig:

$$m_{238} = \frac{0,352 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}} = 5,845 \cdot 10^{-25} \text{ kg}.$$

Az elektrosztatikus mező gyorsítja az ionokat, így a mozgási energiájuk az $\frac{1}{2}mv^2 = ZeU$ összefüggéssel számítható ki. Mivel az ionokat a mágneses mezőt jellemző mágneses indukcióra merőlegesen löjük be, a Lorentz-erő merőleges az ionok sebességére. Emiatt az ionok körpályára kényszerülnek. A körpálya sugarát abból lehet meghatározni, hogy a Lorentz-erő biztosítja a körpályán tartáshoz szükséges centripetális erőt, azaz $\frac{m \cdot v^2}{r} = ZevB$. A felírt

összefüggésekből: $r^2 = \frac{2mU}{eZB^2}$.

- Az ^{235}U -öt tartalmazó részecske pályasugara:

$$r = \sqrt{\frac{2 \cdot 5,795 \cdot 10^{-25} \text{ kg} \cdot 5 \cdot 10^3 \text{ V}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 3 \cdot 1 \left(\frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}\right)^2}} = 3,472 \text{ m}.$$

- Az ^{238}U -at tartalmazó ion pályasugara pedig:

$$r_{238} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5,845 \cdot 10^{-25} \text{ kg} \cdot 5 \cdot 10^3 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{A} \cdot \text{s}^3}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ A} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 1 \frac{\text{kg}^2}{\text{A}^2 \cdot \text{s}^4}}} = 3,487 \text{ m}.$$

Egy félkör megtétele után tehát a különböző tömegszámú ionok pályája elválík egymástól. Ez teszi lehetővé a szétválasztásukat!

- b) Az 1 mA áramerősség azt jelenti, hogy a nyalámban 0,001 coulomb elektromos töltés áramlik át 1 másodperc alatt. Mivel egyetlen háromszorosan ionizált részecske töltése $3 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}$ coulomb, ezért 1 másodperc alatt

$$\frac{0,001 \text{ As}}{3 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}} = 2,081 \cdot 10^{15}$$

ion áramlik. A természetes uránban az ^{235}U aránya 0,7%, ezért másodpercenként

$$2,081 \cdot 10^{15} \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 1,457 \cdot 10^{13}$$

$^{235}\text{UF}_6$ -részecske csapódik be. Ebben az ^{235}U -magok száma is ugyanennyi, így 1 kg tiszta ^{235}U -izotóp összegyűjtéséhez

$$\frac{1 \text{ kg}}{0,235 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} = 2,563 \cdot 10^{24}$$

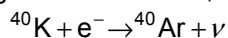
részecskét kellene összegyűjteni. Ez a fentiek alapján

$$\frac{2,563 \cdot 10^{24}}{1,457 \cdot 10^{13} \frac{1}{\text{s}}} = 1,759 \cdot 10^{11} \text{ s} = 5574 \text{ y (!!!)}$$

alatt következne be.

8. Megoldásként a következők közül bármelyiket teljes értékűnek lehet elfogadni.

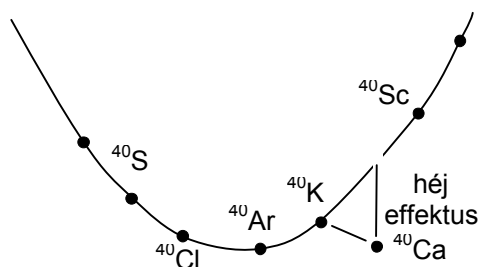
- a) A magyarázat a **héjeffektus**. Héjeffektus nélkül az $A=40$ tömegszámú izobárok közül az ^{40}Ar lenne a legerősebben kötött, azaz a



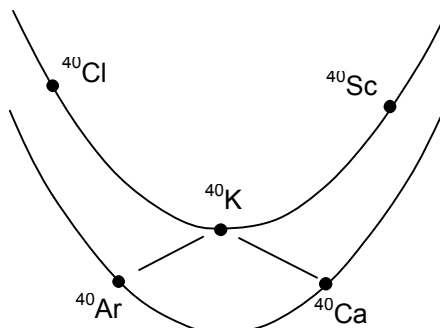
elektronbefogás energetikailag végbemehetne. Mivel azonban a ^{40}Ca -mag kétszeresen mágikus, ezért ez erősebben kötött lesz, mint a szomszédja, a ^{40}K . Ez az oka, hogy a



negatív béta-bomlás is lejátszódik. Ezeket a viszonyokat tünteti fel a következő ábra.



- b) Az atommagok erősebben kötöttek, ha a nukleonok párokba tudnak kapcsolódni. Emiatt az atommagok energiafelületének metszete páros tömegszámok



esetén nem egyetlen, hanem két parabola. Hiszen a páros lehet akkor is, ha az atommag páros-páros, és akkor is, ha az atommag páratlan-páratlan (ld. ábra).

A két parabola egymáshoz képest eltolódik a párenergia miatt. Mivel a ${}^{40}_{19}\text{K}_{21}$ páratlan-páratlan atommag, ezért a magasabb energiájú parabolán helyezkedik el, az ${}^{40}_{18}\text{Ar}_{22}$ és a ${}^{40}_{20}\text{Ca}_{20}$ pedig az alacsonyabban. Emiatt a ${}^{40}\text{K}$ mindkét irányba tud bomlani. Ez útmutatást ad arra vonatkozóan is, hogy mely egyéb atommagok között lehet hasonló tulajdonságokat találni.

9. Egyetlen foton energiája:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad E = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 2,997 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5,8 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 3,424 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

- a) A fotonok száma:

$$N = \frac{20 \text{ J}}{3,424 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 5,841 \cdot 10^{19}$$

- b) A fotonok összes lendülete(impulzusa) kezdetben:

$$I_0 = 5,841 \cdot 10^{19} \cdot \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}}{5,8 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 6,673 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

A lendület(impulzus)-változás két részből áll, mert az elnyelt fotonok más impulzust(lendületet) adnak át, mint a visszavertek. Ezért

$$\Delta I = 0,9 \cdot I_0 + 0,1 \cdot 2I_0 = 1,1I_0 \quad \Delta I = 1,1 \cdot 6,673 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} = 7,340 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

A nyomóerő:

$$F = \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad F = \frac{7,340 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}}{5 \cdot 10^{-7} \text{ s}} = 0,1468 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} (\text{N})$$

A nyomás pedig:

$$p = \frac{0,1468 \text{ N}}{\pi \cdot 3,6 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2} = 1,300 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} (\text{Pa}) \quad (!!!)$$

c) A lemezből kilépő elektronokra:

$$\frac{1}{2}mv^2 = E - W_{\text{ki}}.$$

Ebből

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot (3,424 \cdot 10^{-19} - 3 \cdot 10^{-19}) \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}}{9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 3,051 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

10. a) A 0,1 μA áramerősség azt jelenti, hogy 1 másodperc alatt 0,1 μC töltést gyűjt össze a köpeny. 1 másodperc alatt

$$\frac{1 \cdot 10^{-7} \text{ C}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 6,242 \cdot 10^{11}$$

elektron repül ki a szálból. Mivel minden béta-bomlás egyetlen elektron kibocsátásával jár, ezért a szál aktivitása $6,242 \cdot 10^{11} \frac{1}{\text{s}}$ (624,2 GBq). Itt feltételeztük, hogy egyrészt a szálból kilépett valamennyi elektron a köpenyben nyelődött el, másrészt, hogy a szálnak egyéb aktivitása nincs.

b) A radioaktív anyagok aktivitása azért csökken, mert a bomlás révén fogy az anyagmennyiség. Ha itt az áramerősség (és ezáltal a szál aktivitása) állandó, ez azt jelenti, hogy az elbomlott anyag pótlódik. Ebből pedig az következik, hogy időegység alatt ugyanannyi Rh-104-atommag keletkezik a ^{103}Rh -ból neutronbefogás hatására, mint amennyi elbomlik.

c) A ródiumszál térfogata:

$$V = \pi \cdot 0,2 \text{ m} \left(\frac{0,001 \text{ m}}{2} \right)^2 = 1,570 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3.$$

A szál tömege: $m = 1,24 \cdot 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,57 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 = 1,947 \cdot 10^{-3} \text{ kg}.$

A szálaban található Rh-103-magok száma kezdetben:

$$N = \frac{1,947 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{0,103 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} = 1,138 \cdot 10^{22}.$$

A magok 5 százaléka

$$\frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot 1,138 \cdot 10^{22}}{6,242 \cdot 10^{11} \frac{1}{\text{s}}} = 9,116 \cdot 10^8 \text{ s} = 28,89 \text{ y} \approx 29 \text{ y}$$

idő alatt alakul(na) át.

— D) A DÖNTŐ ELMÉLETI FELADATAINAK MEGOLDÁSA —

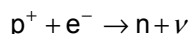
1. A rendelkezésre álló adatokkal:

- a neutron új tömege $1,67327935 \cdot 10^{-27}$ kg és

- a proton-elektron együttes tömege pedig

$$(1672,6486 + 0,91095) \cdot 10^{-30} \text{ kg} = 1,67355935 \cdot 10^{-27} \text{ kg}.$$

Vagyis a neutron tömege kisebb, mint a proton-elektron rendszer együttes tömege! Ezért a



elektronbefogás energetikailag kedvező, azaz végbemegy. Emiatt nem létezne pl. hidrogénatom. Ez az Univerzum fejlődése során ahhoz vezetne, hogy még a csillagok kialakulása előtt a proton-elektron rendszerek végállapota a stabil neutron lenne. Neutroncsillagok alakulnának ki, az élet lehetősége megszűnne.

Megjegyzés. Javítási-értékelési javaslat volt a következő:

- Tömegkülönbség kiszámítása valamilyen módszerrel 1 pont
- A bomlás lehetőségének mérlegelése, barionszám megmaradása, leptontöltés megmaradása 2 pont
- A lehetséges következmények felsorolása, indoklása 2 pont

2. A javítás alapja a Fizikai Szemle egyik cikke volt.

Lassító és hűtő közeg a hűtővíz, üzemanyag a leülepedett urán-oxid.

Szabályozási mechanizmusok.

Az üledék felkavarodása (a víz konvekciója), a víz hőtágulása okozta sűrűségváltozás, a víz radiolízisekor keletkezett buborék. — Mindegyik negatív visszacsatolást jelent. 3 pont

A leállítási lehetséges módjai. A lassítóközeg eltávolítása. A víz kifűtésének szükségessége a feladatból nem derül ki. Azt is el kell fogadni, ha csak le akarja eresztetni a vizet. Ha valaki a gázzal történő kifűtést is tudja, pluszként értékelhető. 2 pont

3. A javítás alapja az „Atommagközelben” című kiadvány.

a) A hidrogén fúziója sokkal gyorsabb lenne, a Nap fényesebb és magasabb hőmérsékletű lenne, és üzemanyaga sokkal hamarabb elfogyott volna. Nem jöhetett volna létre az élet. 2 pont

b) Ha nincs ^2H , a fúzió valószínűsége nagyon kicsi lesz, a Világegyetem hidrogénfelhőkből állna. Nem jött volna létre a Nap. 2 pont

Az ötödik pontot pluszinformációért, más magyarázatért lehetett adni.

4. A pontozást a versenyző által felvett szempontok száma szerint kellett végezni.

A bányászat környezetterhelő hatásai; egységnyi energia termeléséhez szükséges üzemanyag mennyisége; a rendeltetésszerű használat közbeni környezet-

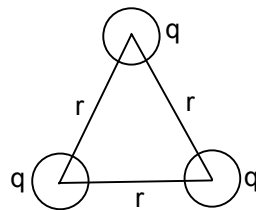
terhelés mértékének értékelése (kibocsátott anyagok mennyisége, minősége); a keletkezett hulladék mennyisége, környezetkárosító hatása, elhelyezésének lehetőségei, az ellenőrzés szigorúsága. (Salak radioaktivitása!) A felmelegedés lehetősége és a megelőzés nukleáris alternatívája. 5 pont

5. a) A plutóniumbombához ^{239}Pu kell. Ez a ^{238}U -ból neutronbefogással keletkezik. Viszont ha az üzemanyag hosszú ideig benn van a reaktorban, további neutronelnyelés miatt megnövekszik a ^{240}Pu koncentrációja, ami a bomba szempontjából szennyező elem. Ezért, ha fegyvergyártásra használjuk a reaktort, a fűtőelemeket csak rövid ideig (kb. két héten át) lehet a reaktorban hagyni. 3 pont
- b) Az olasz cézium nem a csernobili balesetből származik, hanem a 60-as években végrehajtott légköri nukleáris kísérletek maradéka. Ugyanis a rövid felezési idejű Cs-134-izotóp azóta már elbomlott. 2 pont

6. A tömegdefektus $1,29603 \cdot 10^{-29}$ kg. A többlet a C-12-atommag belső gerjesztési energiájaként jelenik meg. Ebből

$$c^2 \cdot \Delta m = 1,166427 \cdot 10^{-12} \text{ J}.$$

Természetesen a 3 alfa-részecskének meg is kell közelítenie egymást; ez pedig elég nagy Coulomb-energiát jelent. A létrejött „képződmény” elektrosztatikus energiáját az alábbi ábra alapján becsülhetjük meg.



Eszerint

$$E = 3k_0 \cdot \frac{q^2}{r} \quad E = 3 \cdot 9 \cdot 10^9 \text{ J} \cdot \text{m} \frac{(2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{\text{C}^2 4 \cdot 10^{-15} \text{ m}} = 6,929 \cdot 10^{-13} \text{ J}.$$

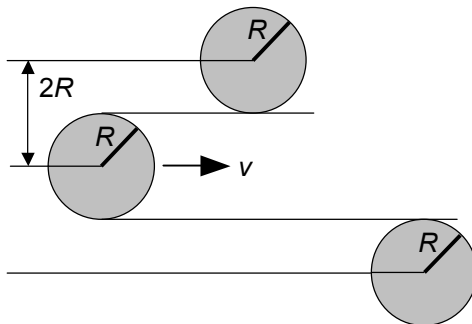
Tehát a gerjesztési energia összesen 1,859356 pJ.

7. A felszabaduló energia arányos lesz a térfogategységben időegységenként bekövetkező ütközések számával; hiszen minden egyes ütközéskor adott (átlagos) valószínűséggel következik be a fúzió. A bizonyítandó állítást szemléletesen egyszerűen elképzelhetjük: egyetlen kiszemelt részecske annál több részecskével fog ütközni adott idő alatt, minél több van a környezetében, azaz minél nagyobb a gáz sűrűsége. Egyrészt tehát emiatt függ a sűrűségtől az ütközések száma.

Másrészt viszont adott térfogatban annál több „kiszemelt egyetlen” részecske lehet, minél nagyobb a gáz sűrűsége. Emiatt tehát ismétellen függ a sűrűségtől! Végeredményben tehát a sűrűség négyzetétől függ, azzal arányos.

Kvantitatív megoldás.

Tekintsünk egyetlen részecskét, amelynek sugara R . Ha a részecske átlagosan v sebességgel mozog, akkor dt idő alatt átlagosan $ds = v \cdot dt$ utat tesz meg. Kiszemelt részecskénk mindazokkal a részecskékkel ütközik, amelyeknek középpontja beleesik egy $2R$ sugarú, ds magasságú hengerbe. Ennek a hengernek a térfogata: $V = ds \cdot \pi \cdot (2R)^2$ (ld. ábra).



Ebbe a hengerbe ρV részecske fér be (ρ a gáz sűrűsége). Azt kapjuk tehát, hogy minden egyes részecske a plazmában dt idő alatt $\rho \cdot V$ részecskével ütközik. Térfogategységenként pedig éppen ρ részecske van! Vagyis a térfogategységenként bekövetkező ütközések összes száma éppen ρ -szor ennyi. (Illetve még kettővel is osztani kell, mert minden ütközésben két részecske szerepel.) Így azután a térfogategységenként dt idő alatt bekövetkező ütközések száma:

$$\frac{\rho \cdot \rho \cdot V}{2} = \frac{\rho^2 \cdot \pi \cdot (2R)^2 \cdot v \cdot dt}{2}$$

Az összefüggésben szereplő v a részecskék átlagsebessége, amely a hőmérséklet függvénye.

A $\pi \cdot (2R)^2$ -tel közelített mennyiséget a szakirodalom **hatáskeresztmetszet**-nek nevezi. Rendszerint ez is függ a hőmérséklettől.

Ezek után beláthatjuk, hogy a plazmában felszabaduló fúziós energia valóban a plazma sűrűségének négyzetével arányos. Az arányossági tényező pedig a hőmérséklet függvénye.

8. Két módszerre gondolhatunk:

- az aktivitás mérése vagy
- a hőmérséklet mérése.

A Pu-240-izotóp „aktívabb” és melegebb is.

9. Az urán-hexaklorid azért kevésbé alkalmas, mert a klór a 75,4 mólszázalékban jelenlévő 35 tömegszámú és a 24,6 mólszázalékban jelenlévő 37 tömegszámú izotóp elegye. Így azután a tömegspektrométerrel történő szétválasztás esetén nem csak az uránatommagok tömegkülönbsége dönt, hanem a klóratomoké is. Gyakorlatilag

a $235 + 6 \cdot 35 = 445$ és

a $238 + 6 \cdot 37 = 460$

tömegszámmal jellemzett molekulák között sokféle más tömegszámú molekula is előfordulhat.

10. Az urán-atomok

kb. 25 százaléka 235 tömegszámú és

kb. 75 százaléka 238 tömegszámú

lenne a bányászott fémekben. Vagyis erősen dúsított uránércet bányásznak. Emiatt talán korábban használhattuk volna a magenergiát, és működnének a gabonához hasonló természetes reaktorok. Könnyebben létre lehetett volna hozni akár atomfegyvert is.

— E) A 3. VERSENY DÖNTŐJÉNEK EREDMÉNYLISTÁI —

I. KATEGÓRIA

1.	FARKAS ÁGNES	SZTE Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged Kovács László	72 pont
2.	DOMOKOS GÁBOR	Bolyai J. Gimn., Kecskemét Svihrán Éva	58 pont
3.	GERESDI ATTILA	Árpád Fejedelem Gimn., Pécs Gyórpál Elemérné	56 pont
4.	ÁBEL DÁNIEL	Németh L. Gimn., Budapest Zsigri Ferenc	52 pont
5.	NAGY ÁGNES	SZTE Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged Kovács László	48 pont
6.	BARTA ZSOLT	Berze Nagy J. Gimn., Gyöngyös Kiss Miklós	46 pont
7.	VIRÁG PÉTER	Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg Pálovics Róbert	45 pont

II. KATEGÓRIA

1.	CZIEGLER ISTVÁN	Lauder Javne Iskola, Budapest Tóth Eszter	74 pont
	PATAY GERGELY	Tóth Á. Gimn., Debrecen Kovács Miklós és Szegedi Ervin	74 pont
3.	BALOGH ZOLTÁN	Bolyai J. Gimn., Salgótarján	71 pont

		Deák Norbert	
4.	JUNG JÁNOS	Petőfi S. Evangélikus Gimn., Bonyhád Erdélyesi János	66 pont
5.	BOGATIN GYÖRGY	Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg Vadvári Tibor	64 pont
6.	IVÁN SZABOLCS	Bolyai J. Gimn., Kecskemét Varga József	63 pont
	RAFFAI PÉTER	Leőwey K. Gimn., Pécs Simon Péter	63 pont
8.	HAMAR GÁBOR	Fazekas M. Gyak. Gimn., Budapest Horváth Gábor	60 pont
9.	KISS GERGELY	Fazekas M. Gyak. Gimn., Budapest Horváth Gábor	56 pont
10.	BÖRZSÖNYI ÁDÁM	Bethlen G. Református Gimn., Hódmezővásárhely Berecz János	54 pont
	PERESZLÉNYI ATTILA	Varga K. Gimn., Szolnok Nagy Tibor	54 pont
12.	GYENES ZOLTÁN	Apáczai Csere J. Gyak Gimn., Budapest Holics László és Zsigri Ferenc	52 pont
13.	ZÁGONI CSABA	Széchenyi I. Gimn., Dunaújváros Kobzos Ferenc	49 pont
14.	BURUZS ÁDÁM	Radnóti M. Kísérleti Gimn., Szeged Hilbert Margit és Mike János	45 pont
15.	MÁTHÉ ANDRÁS	Apáczai Csere J. Gyak. Gimn., Budapest Flórik György	43 pont
	TIHANYI JÁNOS	Boronkay Gy. Műszaki Középiskola, Vác Jendrék Miklós	43 pont
17.	KOVÁCS ZSOLT	Energetikai Szakképzési Intézet, Paks Csajági Sándor	38 pont
18.	FIGURA BALÁZS	Építőipari, Faipari Szki., Kaposvár Guethné Nyári Éva	34 pont
	IVASKÓ GYÖRGY	III. Béla Gimn., Baja Hilbert Margit és Szkladányi András	34 pont

F) MEGJEGYZÉSEK

A Verseny 3. döntőjének időszakára kialakult az a program, amely a későbbiekben is hozzájárult ahhoz, hogy a versenyzők és kísérőik kellemes emlékként őrizzék meg emlékezetükben Paksot.

2000-ben a következő programot valósította meg a paksi Energetikai Szakképzési Intézet (ESZI):

2000. április 26. 13⁰⁰ - 15⁰⁰ Regisztráció az Energetikai Szakképzési Intézetben
Paks, Dózsa Gy. u. 95. Tel.: 75/311-022
Fax: 75/314-282
- 15⁰⁰ - 17³⁰ Atomerőmű megtekintése: Tájékoztató és Látogató
Központ, 4. blokki látogató útvonal
- 18³⁰ - Vacsora
- 17⁰⁰ - Regisztráció a kollégiumban a később érkezőknek ESZI
Kollégium, Paks, Gagarin u. 2.
- április 27. 7³⁰ - Reggeli
- 8⁰⁰ - 11⁰⁰ Elméleti feladatok megoldása
- 11³⁰ - 12⁰⁰ Ebéd
- 12¹⁵ - 14¹⁵ Mérési feladatok az **A** csoportnak
- 12¹⁵ - 13¹⁵ Számítógépes feladat a **B** csoportnak
- 14²⁰ - 16²⁰ Mérési feladat a **B** csoportnak
- 14²⁰ - 15²⁰ Számítógépes feladat az **A** csoportnak
- 17³⁰ - 18³⁰ Hogyan kellett megoldani? (feladatok megoldásának is-
mertetése)
- 18³⁰ - Vacsora
- 19³⁰ - Disco az ESZI-ben (ismerkedés az ESZI diákjaival)
- április 28. 7³⁰ - Reggeli
- 8³⁰ - 11³⁰ Látogatás a PA Rt. Karbantartó és Gyakorló Központ-
ban
- 12⁰⁰ - Eredményhirdetés (Főiskola 214. sz. előadó)
- 12⁴⁵ - Ebéd

Tanári különprogram:

április 27. du.: Környezetellenőrző Labor megtekintése

4. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY

A) AZ 1. FORDULÓ FELADATAI

A 2001. március 5-én megtartott 1. fordulóban az alábbi feladással foglalkozhattak a versenyzők.

A feladatok megoldásához 180 perc áll rendelkezésre. Minden segédeszköz használható. Minden feladatot külön lapra írjon, s minden lapon legyen rajta a megoldó neve és iskolája.

1. feladat Milyen szabadalmi voltak Szilárd Leónak az energiatermeléssel kapcsolatban? **5 pont**

2. feladat Mit gondol, lehet-e a 232-es tömegszámú és 90-es rendszámú tórium bomlási sorának végterméke a 207-es tömegszámú és 82-es rendszámú ólomizotóp? Kérjük, indokolja választát! **5 pont**

3. feladat Az α -bomlást gyakran kíséri β^- -bomlás, de β^+ -bomlás és elektronbefogás nem. Mit gondol, mi lehet ennek az oka? **5 pont**

4. feladat Mit gondol, mely korban élhettek az emberek magasabb radon koncentrációban: a jégkorszakban, az ókorban, száz éve vagy napjainkban? Kérjük, indokolja választását! **5 pont**

5. feladat A természetben a klórnak két izotópja létezik: $^{35}_{17}\text{Cl}$ és $^{37}_{17}\text{Cl}$. Mit gondol, miért nincs a klórnak 36-os tömegszámú izotópja? **5 pont**

6. feladat A szabad neutron nem stabil részecske, 614,8 s felezési idővel bomlik. Mit gondol, miért nem bomlanak el az atommagban előforduló neutronok? **5 pont**

7. feladat Az 1942-ben megépült reaktor aktív zónáját Enrico Fermi homogén urán-grafit rendszernek gondolta, amelyben az urán és a grafit por alakban egyenletesen el lenne keverve. Szilárd Leó viszont inhomogén elrendezést javasolt. Ennek alapján gömböket készítettek fém uránból, amelyeket grafit téglákkal vettek körül. Minden azóta épült atomreaktor inhomogén elrendezésű. Miért? **5 pont**

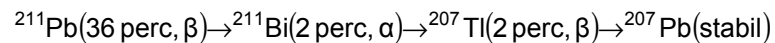
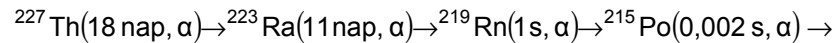
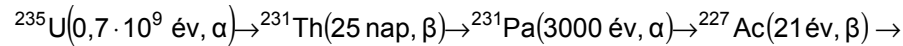
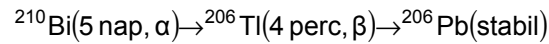
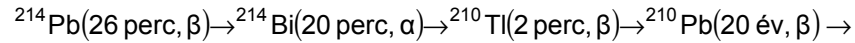
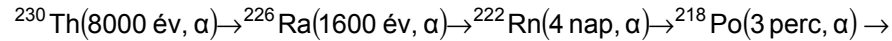
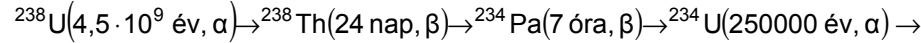
8. feladat Egy diák nyomdetektorral megméri hálósobájában a radon aktivitás koncentrációját, és 100 Bq/m^3 értéket kap. Mit tegyen? Egy másik diák 1000 Bq/m^3 értéket kap. Mit tegyen? **5 pont**

9. feladat Rövid felezési idejű, β^+ aktív izotóp pozitront bocsát ki. Mi történik a pozitronnal az anyagban történt lelassulása után? Mit tud mondani az így keletkezett termékek energiájáról és lendületéről? Ha egy biokémiailag megfelelő elem rövid felezési idejű pozitron-bomló izotópját beviszik a szervezetbe, az a készítmény

kiválóan alkalmas arra, hogy meghatározzák lerakódási pontjának pontos helyét. Hogyan? Mi az előnye a rövid élettartamnak? **5 pont**

10. feladat Egy, a Balkánon használt „szegényített” uránlővedékben 99,8% a ^{238}U izotóp, és 0,2% ^{235}U . Vajon miért dúsították fel költségesen a ^{238}U izotópot? Becsapódáskor a lővedék szétporlik. Becsülje meg, mekkora lehet 1 mg-os uránszemcse aktivitása! **5 pont**

Bomlási adatok:



B) A DÖNTŐ FELADATAI (Paks, 2001. április 28.)

a) ELMÉLETI FELADATOK

*(Ha jó a gondolatmenet, hozzávetőleges numerikus becsléseket is értékelünk.)
(Feladatonként maximálisan 5 pont kapható)*

1. Niels Bohr után másodikként miért kapta meg Hevesy György az Egyesült Nemzetek "Atom a békéért" díját? Hol van eltemetve Hevesy György? Miért kapta meg Szilárd Leó harmadikként az Egyesült Nemzetek "Atom a békéért" díját? Hol van eltemetve Szilárd Leó? (Melyik magyar fizikus kapta meg a negyedik "Atom a békéért" díjat?)

2. ^{238}U bomlássorozatának stabil végterméke ^{206}Pb . Hány α - és hány β -bomlás történik a bomlássorozatban?

3. Egyes csillagokban észlelték a californium ($Z = 98$) transzurán elemet is, de a Földön ez az elem nem található. Hogyan lehet ez?

4. Milyen lenne a Föld, ha nem volna benne urán, tórium, ^{40}K ?

5. A Föld mélyén 1-2 km mélyen ma is élnek mikroorganizmusok teljes sötétségben, 120°C hőmérsékletű talajvízben. Hogyan lehetséges ez? Miből táplálkozhatnak?

6. A légkör szén-dioxid tartalma jelenleg évi 1%-kal emelkedik. Ez üvegház-hatás révén emeli a légkör átlaghőmérsékletét, 1999 és 2000 hőmérsékleti rekordokat döntött meg. Hogyan fér ez össze azzal, hogy a tavalyi és idei tavaszunk hűvös, felhős, esős, sok helyen árvizek vannak?

7. A KÁLIUM-R tableta dobozában a következő figyelmeztetés olvasható: "Hasi röntgenvizsgálat esetén a kálium-tabletta szedéséről az orvost tájékoztatni kell, ugyanis a bevett tablettamaradvány 8 órán belül röntgenárnyékot ad." Miért?

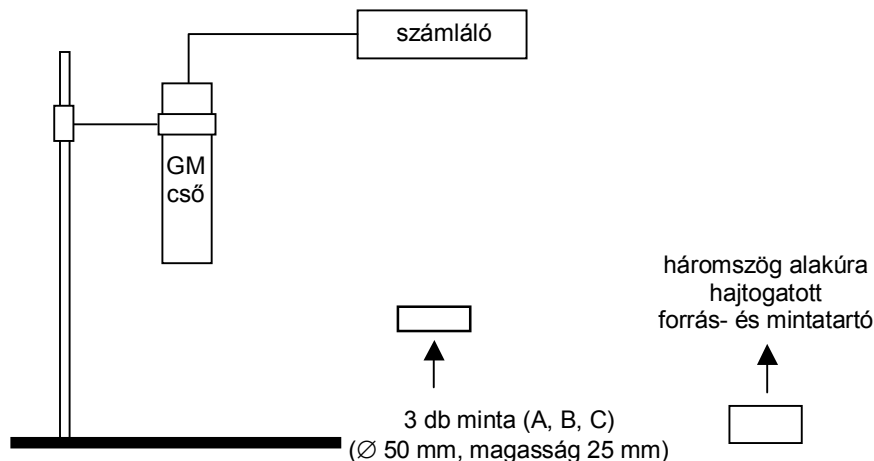
8. Hevesy György először az uránérc U/Pb arányából határozta meg a földkéreg életkorát. Hogyan? Később azonban, a ritkaföldfém szamárium 15%-át kitevő $^{147}\text{Sm} \rightarrow ^{143}\text{Nd}$ 100 milliárd éves felezési idejű α -bomlásának fölfedezése után a két ritkaföldfém-izotóp arányát használta, és ezt használják mindmáig a kéreg kormeghatározására. Vajon miért?

9. A földkéreg átlagos urántartalma 4 g/tonna. A kőszén átlagos urántartalma 120 g/tonna. (Néha a 800 g/tonna értéket is eléri.) Évente $0,4 \cdot 10^{12}$ tonna kőszént égetnek el. Ebből mennyi a bioszférába kerülő termékek (salak, hamu, füst) aktivitása? Becsüld meg, vajon a földkéreg uránjának Rn-emissziója (a felső 1-2 m-ből) vagy a szénégetésből bioszférába jutó termékek aktivitása lehet nagyobb? A kohósalakból épült házak fala bocsát-e ki radont? (A természetes uránban mért ^{235}U , ^{238}U izotóparány 0,7%, 99,3%. A ^{235}U felezési ideje 0,7 milliárd év, a ^{238}U felezési ideje 4,5 milliárd év.)

10. A ^{210}Po polónium α -sugárzó. A bomláskor keletkező α -részecskék a fémpolóniumban rövid úton lefékeződnek, leadott mozgási energiájuk megnöveli a fém belső energiáját, ezért a polóniumgolyó fölmelegszik. Polóniumgolyót gyakran használnak mesterséges holdak energiaforrásként. Számítsd ki, mennyi watt/cm³ a polóniumfém fajlagos hőteljesítménye. Becsüljük meg, mekkora sugarú polóniumgolyó marad szilárd halmazállapotban? Tételezzük fel, hogy a polóniumgolyó az energiát hőszugárzás révén adja le, és a színe fekete. (A polónium sűrűsége 9,2 g/cm³, felezési ideje 138 nap, a kibocsátott α -részecske energiája pedig 0,8 pJ. Egységnyi fekete felület sugárzási teljesítményét T abszolút hőmérsékleten a $P = \sigma T^4$ Stefan-Boltzmann-törvény írja le, ahol $\sigma = 5,76 \cdot 10^{-8}$ watt/m²K⁴ állandó. T hőmérsékletű fém belső energiája az ekvipartíció tétele szerint $E = 3NkT$, ahol $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ joule/kelvin, N pedig a fémgolyót alkotó atomok száma.)

b) KÍSÉRLETI FELADAT

Határozd meg a különböző anyagi összetételű (A, B, C jelű), azonos vastagságú minták γ -abszorpció (gyengülési) együtthatóit, a rendelkezésedre álló γ -forrás és mérő detektor segítségével. A három minta egyike, a másik két minta anyagából készült lapokból lett összeragasztva úgy, hogy az együttes vastagságuk megegyezik a másik két minta vastagságával. A mért γ -abszorpció együtthatók felhasználásával állapítsd meg, hogy melyik az összetett minta és ez, a másik két minta hány cm-es darabjaiból lett összeillesztve. A mérések elvégzéséhez az alábbi ábrán látható eszközök állnak rendelkezésre.



A GM-csőes sugázmérő készülék

A γ -fotonok számlálása egy véglablakos GM-csőes sugázmérő készülékkel történik, amely használható önállóan is, vagy számítógéphez csatlakoztatva.

Önálló esetben a mérést a Start-törlés/Stop gombbal lehet indítani ill. leállítani (indításkor, a mérés megkezdése előtt, törli a számláló állását). A készülék önálló időzítéssel nem rendelkezik.

Számítógéphez csatlakoztatás esetén a **C:\Szilard** könyvtárban lévő **Start.bat** fájlt kell elindítani és a bejelentkező képernyő (Qbasic) után a mérőprogram a Shift/F5 megnyomásra indul. Ekkor a számítógépen megadható a mérési időintervallum másodpercben. A képernyőre a mérési idő letelte után a gép kiírja az időt és a mért beütésszámot, ezután a mérést azonnal újraindítja. Az ESC lenyomásával visszatérhetsz a mérési idő megadásához. A program megáll, ha 0 mérési időt adsz meg.

c) SZÁMÍTÓGÉPES FELADAT

Bevezetés

1931-ben Szilárd Leó szabadalmi kérelmet nyújtott be egy olyan részecskegyorsítóra vonatkozóan, amelyben a részecskék körpályán mozognak. A részecskéket homogén mágneses mező tartja körpályán, s általában egyenletes körmozgást végeznek. Amikor azonban áthaladnak a „gyorsítórésen” – a kör egyik átmérőjén –, az állandó mágneses mezőn kívül még pályairányú elektromos mező is hat rájuk, amelynek hatására a sebességük abszolút értéke – s ezzel az energiájuk is – nő. Mivel a körpályán haladó részecskék időről időre ismételtlen áthaladnak a gyorsítórésen, ezért ugyanazzal a feszültséggel sokszor lehet őket gyorsítani, feltéve hogy a gyorsítórésben a feszültség a körpályán való mozgásnak megfelelő ütemben váltakozik, s így „szinkronban” marad a keringő részecskékkel.

Ez annak a berendezésnek az alapelve, amit ma ciklotron néven ismerünk, s amelynek megalkotásáért E. Lawrence amerikai fizikus 1939-ben Nobel-díjat kapott.

A ciklotron beállításához szükséges összefüggések a **Függelékben** vannak. A Feladat pontos értelmezéséhez olvasd el a **Szimulációs program leírása** c. részt.

Feladat

Állíts elő kb. 20 MeV energiájú protonnyalábot a szimulációs programban szereplő, 200 cm sugarú ciklotronnal.

Annál több pontot kapsz,

- ...minél pontosabban megközelíted a 20 MeV energiát a nyaláb energiájának átlagértékével;
- ...minél kisebb lesz a nyaláb energiájának a szórása;
- ...minél nagyobb hányadát tudod a kibocsátott részecskéknek a céltárgyra irányítani;
- ...minél több részecske érkezik a céltárgyra addig, amíg le nem jár a rendelkezésre álló idő;
- ...minél kisebb lesz a blende és a ciklotron-fal radioaktivitása (a céltárgyra bérkezett részecskék számára normálva).

FONTOS !!!

Az **Értékelés** menüponttal előhívható ablakban van a **Mentés** feliratú gomb. Befejzés előtt okvetlenül mentsd el a munkádat. A fájl nevének add meg az azonosító kódodat (a kiterjesztés legyen **.ckl**). A kimentett állományon túl beadhatsz egy rövid „jegyzőkönyvet” is a munkádról, amelyben minden olyan gondolat, ötlet szerepelhet, amelyet fontosnak tartasz közölni. A ciklotron paraméterek és az Értékelés ablak adatai az elmentett fájlban már benne vannak, azokat felesleges újra leírni.

Függelék

Az alábbi összefüggések segítségedre lehetnek a ciklotron paramétereinek beállításánál. Valamennyi összefüggés az SI egységrendszerben használható.

1) **B** indukciójú mágneses mezőben a **B** vektorra merőleges **v** sebességgel mozgó, *q* töltésű részecskére erő hat, amelynek abszolút értéke: $F = qvB$. Az erő iránya merőleges mind a **B** vektorra, mind pedig a **v** sebességvektorra. Ezt az erőt Lorentz-erőnek hívjuk, s ez szolgáltatja a körpályán való mozgáshoz a centripetális erőt, azaz

$$\frac{mv^2}{R} = qvB.$$

Itt *m* a részecske tömege, *R* pedig a körpálya sugara. Ennek alapján a mágneses mezőben mozgó töltött részecske körfrekvenciája könnyen meghatározható:

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{qB}{m}.$$

A fenti egyenletből R sugarú pályán haladó részecske sebességének abszolút értéke:

$$v = \frac{qB}{m} R, \text{ s ezért mozgási energiája: } E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{qB}{m}R\right)^2 = \frac{q^2B^2}{2m}R^2.$$

2) Ha egy q töltésű részecske U potenciálkülönbségen halad át, energiája megváltozik. Az energiaváltozás nagysága: $\Delta E = qU$. Ennek alapján változik meg a ciklotron gyorsítórésén áthaladó részecskék energiája is. Természetesen itt U helyébe azt az $U(t)$ pillanatnyi értéket kell írni, amekkora a feszültség volt abban a pillanatban, amikor a részecske odaért a réshez!

(Itt azt feltételeztük, hogy a részecske pillanatszerűen halad át a gyorsítórésen, azaz az áthaladás közben a feszültség nem változik. Nagyon lassan „bolyongó” részecskék esetén ez a közelítés már nem érvényes, s ilyen részecskéknél a szimuláció sem ad a valóságnak megfelelő eredményt).

3) A szimulációban a gyorsító feszültség a következőképpen függ az időtől:

$$U = U_0 \cos(2\pi ft + \varphi)$$

Itt f a frekvencia, U_0 az amplitúdó, φ pedig a kezdeti fázis. Látható, hogy $\varphi = 0$ mellett a gyorsító feszültség a kezdeti időpontban éppen maximális.

A szimulációs program leírása

A szimulációban szereplő ciklotron egy „képzelt” berendezés, nincs a valóságban ilyen paraméterekkel rendelkező gyorsító.

A bejelentkezés után a képernyő nagyobbik részén egy ciklotron rajza látható. A kicsinyítés mértéke akkora, hogy a „valóságban” a ciklotron sugara 200 cm.

A képernyő jobb oldalán látható beviteli mezőkkel az egyes üzemi paraméterek állíthatók be. Most ezeket vesszük sorra.

Mágneses mező

A ciklotron rajzán fekete színű az a terület, ahol a képernyő síkjára merőleges állandó **mágneses mező** hat a részecskékre. A mágneses mező maximális értéke 0,5 T.

Az ábra felső részén lévő világoskék téglalap olyan tartomány, ami még a ciklotron vákuumkamrájához tartozik, de ahol a mágneses mező 0. Az ide bekerülő részecskék egyenes vonalban „balról jobbra” mozognak.

Gyorsító feszültség

A függőleges fehér vonal jelöli ki a gyorsítórést. Itt a részecskékre gyorsító elektromos mező hat. A gyorsítórés két oldalán van a két féltéke (ezeket a szakemberek „D”-nek hívják). A gyorsítómezőt a két féltéke adott periodikusan váltakozó feszültséggel állítják elő. A gyorsítómező a rajzon „vízszintes” irányú. A gyorsító feszültség **frekvenciáját, amplitudóját** és a szimuláció kezdőpillanatában felvett **fázisát** a beviteli mezőkben lehet megadni. A váltakozó feszültség pillanatnyi értékét a beviteli mezők között található periodikusan jobbra-balra mozgó pont jelzi. Fontos tudni, hogy nem lehet akármekkora frekvenciát választani. Ennek egyrészt a ciklotron oszcillátora

az oka, másrészt pedig az, hogy a ciklotron gyorsító elektródái „üregrezonátorként” is működnek. A megengedett frekvenciatartomány ebben a szimulációban: 3 MHz-től 10 MHz-ig. Hasonlóképpen, a váltakozó feszültséget előállító oszcillátor legfeljebb 100 kV amplitúdójú feszültséget tud előállítani (ezek az értékek egy valóságos ciklotronnál mások).

Részecskék

Ebben a beviteli részben található a részecskékre vonatkozó információk. Az **összes** feliratú mező mutatja, hogy eddig összesen hány részecske hagyta el az ionforrást (ld. később). Az alatta levő két mező a ciklotronban keringő legnagyobb energiájú részecske (ez általában sárga színű) pillanatnyi energiáját mutatja MeV-ben, ill. azt az energiát, amelyet akkor nyert ez a részecske, amikor legutóbb áthaladt a gyorsítórésen (a függőleges fehér vonalon). Ezek az értékek információk, s nem változtathatók meg. A **Bővebb** feliratú gombbal új mezők válnak láthatóvá, s ott meg lehet adni a részecskék tömegét (atomi tömegegységben), a részecske töltését (elemi töltés egységekben), ill. azt, hogy a részecske rajzolja-e ki a pályát a képernyőre. Sok részecske indítása esetén a pályarajzolást tanácsos kikapcsolni, különben a képernyő hamarosan megtelik a pályákkal...

Ionforrás, blende, ciklotronfal, radioaktivitás

A gyorsítandó részecskék **ionforrásból** jönnek. Az ionforrás helyét egy kis fehér négyzet jelzi valahol a ciklotron közepe táján. A **blende** pedig tulajdonképpen egy fémlap, amely a ráeső részecskéket elnyeli, s ezzel megakadályozza őket a további mozgásukban. A blende helyét egy kék színű kis téglalap jelzi a rajzon. Az **ionforrás és blende** gombra kattintva megadhatjuk az ionforrás X és Y koordinátáját. Az origó a ciklotron középpontjában van. Mechanikai okok miatt az ionforrás középpontja az origótól Y irányban csak a [0, -40 cm] intervallumban, X irányban pedig a [-4 cm, +4 cm] intervallumban lehet. Megadhatjuk a blende középpontjának koordinátáit is, valamint a blende hosszúságát (Y-irányú kiterjedés) és szélességét (X-irányú kiterjedés). A blendét a ciklotron belsejében akárhol elhelyezhetjük. Az ionforrást és a blendét az egérrel is mozgathatjuk (fogd és vidd).

A **ciklotronfal** fémből készült (ugyancsak kék színnel jelzett), és abban hasonlít a blendéhez, hogy a ráeső részecskéket elnyeli. Fontos tudni, hogy minden 0,45 MeV-nél nagyobb energiájú részecske, amely a blendére vagy a falra esik, magreakciók révén **radioaktivitást** hoz létre. Mégpedig a létrehozott aktivitás a becsapódott részecske tömegegységre eső energiájának (energia/tömeg) monoton növekedő (de nem lineáris) függvénye. A **feladat értékelésekor az egyik szempont** az, hogy az előírt nyalábot a lehető legkisebb radioaktivitás létrehozásával kell megvalósítani.

Szimulációs beállítások

Erre a gombra kattintva a megjelenő ablakban megadhatjuk, hogy milyen szimulációs módot kívánunk. Kérhetjük azt, hogy a program csak **egyetlen részecskét** indítson el (ezt az üzemmódot célszerű használni a „beállítások” ideje alatt), de kérhetjük azt is, hogy a program véletlenszerű időkből **folyamatosan** indítson újabb részecskéket (ezt az üzemmódot kell választani, amikor „nyalábot” kell előállítani).

Ugyanebben a beviteli ablakban adhatjuk meg azt az **időlépést** is (microsecundumokban, μ s), amellyel a program számolja a részecskék mozgását. Túl nagy időlépést választva a szimuláció felgyorsulna ugyan, de a számolás pontatlan lenne. Emiatt, ha túl nagy időlépést adnánk meg, a program automatikusan korigálja kisebbre. Túl kis időlépést választva a program futása lassul le nagyon. Az **Időzítő** nevű mező csak a megjelenítést befolyásolja, a számolást nem. Ha valamilyen oknál fogva - pl. beállítás-

kor - le akarjuk lassítani a szimulációt, hogy jobban megfigyelhessük, hogy mi történik, adjunk meg ide nagyobb értéket. Egy bizonyos értéknél kisebbet megadva a program futása már nem gyorsul tovább, mert elértük a processzor sebességének határát.

Értékelés

Erre a menüpontra kattintva a szimuláció futása felfüggesztődik, s egy teljesen új ablak nyílik meg. Ennek azonban csak akkor van értelme, ha a szimulációt **flyama-tos** üzemmódban futtattuk, s már érkeztek részecskék a céltárgyra. Az ablak jobb oldalán látjuk, hogy hány részecskét nyelt el a **céltárgy**, a **blende** és a **ciklotronfal**, de itt látjuk azt is, hogy a blende és a ciklotronfal mennyire lett radioaktív az elnyelt részecskék következtében. (A radioaktivitást jellemző számok önkényes egységekben vannak.) Természetesen a számunkra hasznos részecskék a „céltárgy” oszlopban vannak.

Az ablak bal oldalán két grafikon van, mindkettő a céltárgyra megérkezett, „hasznos” részecskékre ad információt. A felső a részecskék energia (MeV) szerinti, az alsó pedig az idő szerinti (másodperc) eloszlását mutatja.

A tengelyek szélső értékeit a program automatikusan meghatározza, de az ábrára kétszer kattintva mi is megadhatjuk. (A visszatéréshez és a változtatások érvénybe lépéséhez ismét kétszer kell kattintani). Figyeljünk arra, hogy külön meg kell adni a nagyságrendet is!

Az értékelő rész további szolgáltatása, hogy meghatározza **az ábrán látható rész** középértékét és szórását. A felhasználók számára fontos, hogy a szolgáltatott nyalábban repülő részecskék energiája ne nagyon térjen el a megadott értéktől. Az lenne a legjobb, ha mindegyik részecskének pontosan ugyanakkora energiája lenne. Az ábráról olvasható le, hogy ezt mennyire sikerült megvalósítani.

— C) AZ 1. FORDULÓ FELADATAINAK MEGOLDÁSA —

1. A neutron-láncreakció szabadalma, London 1934. Fermivel az atomreaktor szabadalma (beadták az USA-ban 1945-ben, és ott kapták meg 1955-ben).
2. Nem.
Alfa-bomlás során 4-gyel csökken a tömegszám, béta-bomláskor pedig nem változik. Ezért páros tömegszámú magból nem keletkezhet páratlan tömegszámú.
3. Alfa-bomlás a periódusos rendszer végén fordul elő, ahol az $\frac{N}{Z}$ elég nagy, azaz $N > Z$. Az alfa-bomlások az N neutronszámot és a Z protonszámot 2-vel csökkentik, ami a keletkezett mag $\frac{N}{Z}$ arányát még inkább növeli: $\frac{N-2}{Z-2} > \frac{N}{Z}$, ha $N > Z$.
Kisebb tömegszámú magokban azonban a legkedvezőbb $\frac{N}{Z}$ arány kisebb, mint a periódusos rendszer végén. A kisebb arányt a mag negatív béta-bomlással, egy magbéli neutronnak protonná történő átalakulásával be tudja állítani. Pozitív béta-

bomlás vagy elektronbefogás a neutron-proton arány további növekedéséhez vezetne, így azok nem következhetnek be.

4. A jégkorszakban a fázós ember barlangokban élt, ott, ahol könnyen összegyűlhetett a talajból származó radon. 1970 után viszont a tüzelőanyag drágulása miatt jobban hőszigetelik a lakásokat, ami ismét hozzájárul a talajból szivárgó radongáz koncentrációjának növekedéséhez.
5. A klór-36-atommagban a protonok száma is és a neutronok száma is páratlan (17 proton és 19 neutron). A 35 és 37 tömegszámú klórizotópokban Z páratlan, de N páros. Béta-bomlással a 36 tömegszámú klórizotóp páros protonszámot és páros neutronszámot állíthat be. A protonpárok és a neutronpárok pedig azonos energiaszinten lévő részecskékből állnak, és erősebben kötöttek.
6. Az atommagban a kötési energia által okozott tömeghiány nagyobb lehet, mint a neutron-proton tömegkülönbség szabad állapotban. Emiatt már nem történhet meg a neutron \rightarrow proton átalakulás. Sőt, vannak olyan atommagok is, amelyekben az ellenkező irányú folyamat indul meg: egy „proton alakul át neutronná” (pozitív béta-bomlás vagy elektronbefogás). Emiatt ezeket az átalakulásokat helyesebb úgy kezelni, hogy egy (Z,N) összetételű atommag alakul át (Z+1,N-1) vagy (Z-1,N-1) összetételű atommaggá (negatív béta-bomlás és pozitív béta-bomlás vagy elektronbefogás). Hogy azután a bomlás végbemegy-e vagy sem, azt a kezdeti és a végállapotok energiáinak a különbsége határozza meg.
7. A maghasadásban nagy sebességű („gyors”) neutronok születnek. Mivel az ^{235}U -magok csak lassú neutronok hatására hasadnak el nagy valószínűséggel, ezért a neutronokat le kell lassítani. A még nem teljesen lelassult, közepes energiájú neutronokat azonban az ^{238}U -mag nagy valószínűséggel elnyeli (rezonanciabefogás). Ezért jobb, ha a gyors neutron kilép az urántömbből, és azon kívül lassul le ütközések következtében. Ezt követően azután már csak lassú neutronként, hőmozgás révén kerül vissza az urántömbbe. Ezáltal elkerülhető a rezonanciabefogás.
8. $100 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$ aktivitáskoncentráció gyakorlatilag nem veszélyes. $1000 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$ érték elértekor azonban már védekezni kell. Ennek lehetőségei:
 - gyakori szellőztetés (elsősorban lefekvés előtt);
 - még inkább a padlózat elszigetelése a talajtól kátrány, üvegbeton, olajfesték stb. alkalmazásával (hogy a radon ne diffundálhasson be).
9. A pozitron lelassul. Mivel a kis sebességű pozitron lassan halad át az atomon, ezért az atomi elektronnal nagyobb valószínűséggel szétsugárzódik. A lassú pozitron és a lassú elektron impulzusa(lendülete) gyakorlatilag nulla. Egy fotonra történő szétsugárzódás a foton impulzusa(lendülete) miatt sértené a lendület(impulzus) megmaradását. Ez az oka annak, hogy két foton egymással 180 fokos szöveget alkotva repül ki; így ugyanis eredő lendületük(impulzusuk) lehet nulla.

A betegnek beadott radioaktív izotóp valahol biológiailag összegyűlik. Itt a pozitronok eltérő időben keletkeznek. A testet gamma-detektorokkal veszik körül. Minden pozitron-bomlásnál két szemközti detektor egyidőben jelez fotont. Ezeket az átellenes pontokat összekötő egyenesek metszéspontjában halmozódott fel a pozitronkeltő izotóp. A hely és az összegyűlt izotóp mennyisége fontos adat az orvos számára.

Az előbbieken alapul a **pozitronemissziós tomográfia (PET)**. A rövid felezési idő előnyös, mert a beteg sugárterhelése rövid ideig tart. Ezen kívül (a rövid felezési idő miatt) időegység alatt sok atommag bomlik el. Ez azt eredményezi, hogy a vizsgálat rövid idő alatt is elegendően nagy beütésszámokat tud szolgáltatni egy megfelelő minőségű kép kialakításához.

10. Az uránból atomfegyverek gyártásához (vagy dúsított uránt tartalmazó reaktor-fűtőelem előállításához) kivonták a hasadó ^{235}U -izotópot. Ezáltal főleg ^{238}U -izotóp maradt vissza. Nagy sűrűsége (tehetetlensége) és magas olvadáspontja miatt ezt használják páncéltörő lövedékek gyártásánál. A visszamaradt kevés ^{235}U -izotóp aktivitása elhanyagolható. Az uránfeldolgozás óta csak néhány év telhetett el, ezért az ^{238}U bomlási sorának első 4 eleme van csupán jelen. Néhány év viszont elegendő ahhoz, hogy az első 3 tagnál a radioaktív egyensúly kialakuljon (a második és a harmadik elemnél az időegység alatt keletkezett és elbomlott atommagok száma megegyezik). A negyedik elem gyakorlatilag még csak keletkezik, hosszú felezési ideje miatt a bomlásával nem kell számolni. Ha $T_{1/2}$ a felezési idő és N az uránmagok száma, akkor a ^{238}U aktivitása:

$$A = N \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

Mivel az atommagok száma megadható $\frac{m}{M} N_A$ alakban, ezért a szemcse ^{238}U -tól származó aktivitása:

$$A = \frac{\ln 2}{4,5 \cdot 10^9 \cdot 365,25 \cdot 8,64 \cdot 10^4 \text{ s}} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-6} \text{ kg}}{0,238 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} = 12,35 \frac{1}{\text{s}}$$

A három, radioaktív egyensúlyban lévő izotóp aktivitása tehát:

$$37,05 \text{ Bq} \approx 37 \text{ Bq}$$

(Összehasonlításként: az emberi test aktivitása kb. 8 kBq.)

— D) A DÖNTŐ ELMÉLETI FELADATAINAK MEGOLDÁSA —

A javítási-értékelési útmutatóban az szerepelt, hogy jó gondolatmenetért, hozzávetőleges numerikus becslésekért (a „kicsik” ugyanis nem ismerik a logaritmust) feladatonként 0-5 pontot lehetett adni.

- 1. Hevesy György** a sugárdiagnosztika és sugárterápia bevezetéséért, **Szilárd Leó** az inhomogén atomreaktor megtervezéséért, **Wigner Jenő** a vízhűtésű, nagyteljesítményű atomreaktor megtervezéséért kapta meg az „Atom a békéért” díjat az ENSZ főtitkárától.
Hevesy György a Kerepesi úti Nemzeti Sírkertben (2001), Szilárd Leó ugyanott (1998), Wigner Jenő Princeton-ban (USA) van eltemetve. (Az utóbbit a versenyzőknek nem kellett tudniuk.)
- 2.** A tömegszámok között 32 a különbség, ezért az alfa-bomlások száma 8. Ez 16-tal változtatná a rendszámot. Mivel azonban a rendszám 92-ről 82-re csökken, ezért 6 béta-bomlás megy végbe.
- 3.** A szupernóvában a rövid ideig tartó nagyságrendben milliárd fokon az atommagok (és a keletkező neutroncsillag) forni kezdtek. Az ekkor elpárolgó neutronok befogása építette fel a nehéz és a transzurán elemeket. A kalifornium felezési ideje 800 év, de már elbomlott, minthogy a Föld 4,5 milliárd éves.
- 4.** A Föld hideg porból állt össze. Ezt a szupernóvától örökölt radioaktivitás olvasztotta meg 4,5 milliárd éve. Eredményként a vas lesüllyedt, az oxidokból és szilikátokból álló salak pedig felemelkedett. Ha nem volna ma is radioaktivitás, nem volna geotermikus energia, vagyis nem lennének tűzhányók és pl. hévforrások (Hévízi tó, Rudas-fürdő stb.). Nem volna a szén körforgása okozta geológiai légkondicionálás. (Az esővízben megkötött szén-dioxid oldja a vulkanikus szilikátokat. A keletkezett mészkő lesüllyed. A Föld belső melege — a mészégetéshez hasonlóan — kiszabadítja a szén-dioxidot, ami a szénsavas forrásokban a felszínre tör. A felszíni mállás mint kémiai reakció hőmérséklet-függő: melegebb klíma, gyorsabb mállás, kevesebb légköri szén-dioxid, gyengébb szén-dioxid üvegházhatás, fokozódó lehűlés.)
És megfordítva: nem volna lemeztectonika, úszó és ütköző kontinensek, hegyképződés. A mállás eltüntette volna a hegyeket, kontinenseket, az egész Földet 2 km mélységű óceán borítaná.
- 5.** 1...2 km mélységben, 10...20 MPa nyomáson a H₂O folyékony. A geotermikus hőmérsékleti gradiens miatt a mélyben, a nagy melegségben más molekulák vannak kémiai egyensúlyban, mint talajközelségben. Ezek feláramlása a hidegebb rétegekbe, ahol más az egyensúlyi kémiai összetétel, energiaforrást jelent. Például a hidrogén és a kén szintézise hidrogén-szulfiddá (kénhidrogénné), a metán és az oxigén reakciója szén-dioxiddá és vízzé energiát termel. A hőkedvelő mélységi mikroorganizmusok nem fotoszintézisből, hanem ilyen kemoszintézisből nyerik az energiát. Ez végső soron a radioaktivitásra vezethető vissza. Szabadenergiájuk végső forrása a radioaktivitás, a szupernóvában született magok lassú „lehűlése”.

6. A szén-dioxid növekvő mennyisége emelkedő hőmérsékletet jelent, mert a poláros $O = C = O$ molekula vegyérték-rezgését rezonanciával gerjeszti a talaj infravörös sugárzása. A CO_2 -üvegházhatás fokozódása miatt a trópusi óceán jobban párolog (szárazság Afrikában). Az eső ott hull le, ahol hidegebb van (több hó északon télen). A hó visszaveri a napfényt (lehűlés északon). A megnövekedett hőmérséklet-különbség fokozza a levegő cirkulációját: tavasszal tájfunok, felhőszakadások, olvadáskor árvizek a mérsékelt égövben.
7. A káliummag elektromos töltése ($Z=19$) nagyobb, mint a hidrogén-, a szén-, a nitrogén- és az oxigén-mag elektromos töltése (rendre: 1, 6, 7 és 8). Ezért a röntgensugár — mint elektromágneses rezgés — jobban „megrángatja”. Vagyis a kálium jobban abszorbeál. (Még jobban a csontban található kalcium-20-atommag.)
8. Az urán bomlássorozatában lévő radongáz megszökhet a helyszínről. Ennek viszont kevesebb ólom a következménye. Az urán, a köztes elemek és az ólom kémiai különbsége is okozhat szelektív eltávozást, oldódást. A ritkaföldfémek viszont kémiaiilag nagyon hasonlóak, következményeként pl. a szamárium és a neodímium esetében nincs is szelektív elvándorlás.
9. A kőszén átlagos urántartalma 120 gramm tonnánként. Évente $4 \cdot 10^{11}$ tonna szenet égetnek el, ami $4,8 \cdot 10^{10}$ kg urán kiszabadítását jelenti a bioszférába. Ennek aktivitása az

$$A = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N$$

összefüggéssel számítható. $T_{1/2}$ az urán felezési idejét jelenti, ami 4,5 milliárd év, vagyis $1,42 \cdot 10^{17}$ másodperc. Az urán radioaktív egyensúlyba került a bomlástermékeivel, így a bomlástermékek hozzájárulása miatt az aktivitás 14-szeresére nagyobb (ld. a 2. feledatot). A földkéreg radonfluxusát $15,5 \frac{\text{mBq}}{\text{m}^2}$ -re becsülik, ami

a szárazföld felszínét figyelembe véve $2,3 \cdot 10^{12} \text{ Bq} = 2,3 \text{ TBq}$. (A felszíni vizek a radongázt elnyelik. A radongáz csak a talaj 1...2 méter vastagságú rétegéből diffundál ki a levegőbe elbomlása előtt.) A szén elégetése miatt a levegőbe jutó radon aktivitását 10^{16} becquerel-re becsülik.

(Ez a feladat valójában nyíltvégű feladat, a gondolatmenet helyessége alapján kellett értékelni!)

A kohósalakból épült házak fala azért bocsát ki radont, mert a szén elégetésekor a radon ugyan elillan, de a rádium maradt. A rádium-radon egyensúly pedig néhány nap alatt újra beáll (lévén a radon felezési ideje 3,8 nap).

10. Az 1 cm^3 térfogatú polóniumfém tömege 9,2 gramm, amiben az atomok száma a

$$N = \frac{m}{M} N_A$$

összefüggés alapján $2,638 \cdot 10^{22}$. Az aktivitás az

$$A = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N$$

segítségével $1,534 \cdot 10^{15}$ Bq. Az 1 cm^3 fém radioaktivitásából származó energia-teljesítménye:

$$P = A \cdot E_{\alpha} = 1,227 \frac{\text{W}}{\text{cm}^3}.$$

Az r sugarú golyó esetében a radioaktív hőtermelés és a felületi kisugárzás egyensúlyára érvényes összefüggés:

$$4\pi r^2 \cdot \sigma T^4 = \frac{4\pi}{3} r^3 \cdot P.$$

Az olvadáspontot behelyettesítve kapjuk az éppen megolvadó golyó sugarát:

$$r = \frac{3 \cdot 5,76 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \cdot 527,2^4 \text{ K}^4}{1,227 \cdot 10^9 \frac{\text{W}}{\text{m}^3}} = 1,088 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 10,88 \text{ } \mu\text{m}.$$

A gyakorlatban polónium és ólom ötvözetéből készítenek energiatermelő, de nem megolvadó golyót.

— E) A 4. VERSENY DÖNTŐJÉNEK EREDMÉNYLISTÁI —

I. KATEGÓRIA

1.	DÁNYI-NAGY MÁRIÓ	Leőwey K. Gimn., Pécs Simon Péter	49 pont
2.	KOVÁCS ISTVÁN	Berze Nagy J. Gimn., Gyöngyös Kissné Császár Erzsébet	48 pont
3.	DOMOKOS GÁBOR	Bolyai J. Gimn., Kecskemét Svihrán Éva	43 pont
	SÁGI DÁVID	Lauder Javne Iskola, Budapest Tóth Eszter	43 pont
5.	SIMON ZSOLT	Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg Pálovics Róbert	40 pont
	VIG GÁBOR	Bolyai J. Gimn., Kecskemét Svihrán Éva	40 pont
7.	GÉMESI RÓBERT	Lauder Javne Iskola, Budapest Tóth Eszter	38 pont
8.	MATHESZ ANNA	SZTE Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged Csiszár Imre	32 pont

PÓSFAI MÁRTON	SZTE SÁGVÁRI E. GYAK. GIMN., SZEGED CSISZÁR IMRE	32 pont
10. FERENCI PÉTER	LAUDER JAVNE ISKOLA, BUDAPEST CZIEGLER ISTVÁN, LÁZÁR ISTVÁN ÉS TÓTH ESZTER	25 pont

II. KATEGÓRIA

1. FARKAS ÁGNES	SZTE SÁGVÁRI E. GYAK. GIMN., SZEGED KOVÁCS LÁSZLÓ	64 pont
RAFFAI PÉTER	LEŐWEY K. GIMN., PÉCS SIMON PÉTER	64 pont
3. BÖRZSÖNYI ÁDÁM	BETHLEN G. REF. GIMN., HÓDMEZŐVÁSÁRHELY BEREZC JÁNOS ÉS HILBERT MARGIT	62 pont
4. TOKA LÁSZLÓ	APÁCZAI CSERE J. GYAK. GIMN., BUDAPEST HOLICS LÁSZLÓ	60 pont
5. SZILVA ATTILA	FÖLDES F. GIMN., MISKOLC ZSÚDEL LÁSZLÓ	59 pont
6. KÓBOR JÁNOS	FÖLDES F. GIMN., MISKOLC ZÁMBORSZKY FERENC	56 pont
7. BÁLINT GERGELY	DE KOSSUTH L. GYAK. GIMN., DEBRECEN SZEVEDI ERVIN	52 pont
BOGATIN GYÖRGY	ZRÍNYI M. GIMN., ZALAEGERSZEG VADVÁRI TIBOR	52 pont
9. WIRTH ANDRÁS	APÁCZAI CSERE J. GYAK. GIMN., BUDAPEST ZSIGRI FERENC	49 pont
10. DOMBAI PÉTER	GARAI J. GIMN., SZEKSZÁRD JURISITS JÓZSEF	48 pont
11. DOMONKOS BALÁZS	BETHLEN G. REF. GIMN., HÓDMEZŐVÁSÁRHELY HILBERT MARGIT, KÉRDŐ MÁRTONNÉ ÉS NAGY TIBOR	46 pont
12. SAJTOS ÉRIKA	REF. KOLLÉGIUM GIMN., DEBRECEN KABÁLY ENIKŐ	45 pont
13. ÁBEL DÁNIEL	NÉMETH L. GIMN., BUDAPEST ZSIGRI FERENC	44 pont
14. KEREKES JÓZSEF	BETHLEN G. REF. GIMN., HÓDMEZŐVÁSÁRHELY BEREZC JÁNOS ÉS NAGY TIBOR	42 pont
SZINTAI BALÁZS	GARAI J. GIMN., SZEKSZÁRD JURISITS JÓZSEF	42 pont
16. JURÁNYI ZSÓFIA	LEŐWEY K. GIMN., PÉCS KÁDÁR GÉZÁNÉ ÉS SIMON PÉTER	40 pont

17. TÓTH ZOLTÁN	Energetikai Szakképzési Intézet, Paks Nagyné Lakos Mária	34 pont
18. GÁL VIKTOR	Lauder Javre Iskola, Budapest Tóth Eszter	32 pont
19. FIGURA BALÁZS	Építőipari és Faipari Szki., Kaposvár Guethné Nyári Éva	27 pont

F) MEGJEGYZÉSEK

A Verseny lebonyolításával kapcsolatos részleteket ismerhettük meg abból a Tájékoztatóból, amelyet az iskolák kaptak a nevezést követően:

„Tisztelt Igazgató Asszony, Tisztelt Igazgató Úr!

Az Országos Szilárd Leó fizika tanulmányi verseny szervezőbizottsága nevében nagyon köszönöm, hogy iskolájuk tanulóit beneveztek a versenyre. Az alábbiakban tájékoztatom Önt az első forduló időrendjéről, és kérem, hogy ezt az információt hozza az érdekelt fizikatanár kollégák tudomására.

A verseny **első fordulójára 2001. március 4-én 14 - 17 óráig** kerül sor a résztvevő iskolákban.

A feladatok megoldására 180 perc áll rendelkezésre. Minden segédeszköz használható. A verseny tisztasága érdekében kérem, gondoskodjon arról, hogy a feladatokat tartalmazó zárt borítékot csak az első forduló kezdetekor, a tanulók jelenlétében bontsa fel a felügyelő tanár. A javítókulcsot tartalmazó borítékot pedig csak az összes dolgozat beadása után lehet felbontani.

Kérem, hogy az Ön iskolájában megírt dolgozatokat a fizikaszakos kollégák javítsák ki a megadott javítási kulcs alapján. A 10 feladat mindegyike 0-5 pontig osztályozható. A kapott pontok összeadódnak. Kérjük, hogy a legalább 30 pont (60 %) eredményt elért dolgozatokat, ill. a 10 osztályosnál nem idősebb tanulók esetén 20 pont (40 %) eredményt elért dolgozatokat március 11-ig juttassák el az Eötvös Loránd Fizikai Társulatba. Ezeket egy független, egyetemi oktatókból álló bizottság ismételtén kijavítja, ill. pontozza.

A döntőre a legjobb 20 tanulót hívják be a középiskola utolsó két osztályából és a legjobb 10 tanulót a 16 éves kor alatt lévő kategóriából. **A döntő 2001. április 25. és 27. között** kerül megrendezésre az **Energetikai Szakközépiskolában, Pakson**. (Érkezés ápr. 25-én 14 óra, elméleti feladatok ápr. 26. délelőtt, kísérleti forduló ápr. 26. délután, eredményhirdetés ápr. 27-án 12 órakor).

A fenti szövegből talán kiderül, hogy külön szeretnénk bátorítani a fiatalok részvételét a versenyen, az eddigi versenyekhez hasonlóan számukra külön díjakat kívánunk kiadni.

Az Ön és a versenyt lebonyolító kollégák segítő együttműködését előre is nagyon köszönöm. Bármilyen, az Országos Szilárd Leó fizikaversennyel kapcsolatban felmerült kérdés vagy probléma esetén az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Titkársága szívesen áll az Önök rendelkezésére.

Tisztelettel:

Budapest, 2001. február 21.

Marx György s.k.
(Marx György, a versenybizottság elnöke)"

5. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY

A) AZ 1. FORDULÓ FELADATAI

A Verseny 1. fordulóját 2002. március 4-én 14 órával kezdődően rendezték meg. A versenyzőknek az alábbi 10 feladattal kellett foglalkozniuk.

A feladatok megoldásához 180 perc áll rendelkezésre. Minden segédeszköz használható. Minden feladatot külön lapra írjon, s minden lapon legyen rajta a megoldó neve és iskolája.

- Feladat:** Állítsa sorrendbe a következő országokat aszerint, hogy hazai villamosenergia-termelésük milyen aránya származhat atomerőműből! Kezdje a legkevesebb részarányúnak gondolt országgal a sort! Bulgária, Litvánia, Amerikai Egyesült Államok, Svájc, Magyarország, Franciaország **(5 pont)**
- Feladat:** Mit gondol, az emberek miért kapnak nagyobb sugárdózist télen egy zárt földszinti szobában akkor, ha dohányfüstös a levegő? **(5 pont)**
- Feladat:** Milyen lett volna Földünk, ha nem lettek volna a belsejében természetes radioaktív izotópok? **(5 pont)**
- Feladat:** Hevesy György uránbomlásból származó radioaktív ólmot használt az ólom nyomkövetésére. A radioaktív nyomjelzés felfedezéséért kapott Nobel-díjat. A nyomjelzést biológiai folyamatok vizsgálatánál is akarta használni, de a biológiailag fontos elemeknek nincs természetes radioaktív izotópja. Mit tett Hevesy? **(5 pont)**
- Feladat:** A neutronaktivációs analízis során zömmel β -bomló izotópok keletkeznek. A β bomlás során keletkező atommag gerjesztett állapotú, s ezért γ -sugárzást bocsát ki. Az izotópok azonosítására ezeket használják. Miért? Indokoljon! **(5 pont)**
- Feladat:** Ön szerint mely izotópok léteznek ténylegesen a természetben az alább felsoroltak közül: ^4He , ^3He , ^4H , ^8Be , ^5Li . Indokolja meg választát! **(5 pont)**
- Feladat:** Wigner Jenő javasolta és tervezte meg a vízhűtéses reaktorokat. Milyen előnyei és hátrányai vannak a víz alkalmazásának? **(5 pont)**
- Feladat:** Az atommagok kötési energiájának ismeretében győződjön meg arról, hogy az elektron-befogással bomló ^{37}Ar atommag a radioaktivitás más típusával nem bomolhat! **(5 pont)**
Kötési energia adatok: ^{37}Ar : 50,481 pJ, ^{37}Cl : 50,736 pJ, ^{37}K : 49,372 pJ

9. **Feladat:** Egy kis tóba $3,7 \cdot 10^8$ Bq aktivitású ^{24}Na atomokat tartalmazó nátriumkloridot juttattak. 60 órával később — feltételezve, hogy a teljes összekeveredés már megtörtént — 10 liter vízmintát vettek, és annak aktivitását 370 Bq-nek találták. Számítsa ki a tó térfogatát, ha tudjuk, hogy a ^{24}Na felezési ideje 15 óra! Mit gondol, a radioaktív izotópot miért NaCl formában tették a vízbe? **(5 pont)**
10. **Feladat:** Egy uránérc darabkában 100 millió ^{233}U atom található. Az ^{233}U izotóp felezési ideje 162000 év, és ^{229}Th -re bomlik, melynek felezési ideje 7340 év. Ez tovább bomlik ^{225}Ra -re, melynek felezési ideje fél év. Becsülje meg az uránérc darabban lévő ^{225}Ra atommagok számát! **(5 pont)**

—— B) A DÖNTŐ FELADATAI (Paks, 2002. április 26.) ——

a) ELMÉLETI FELADATOK

A feladatok megoldásához 180 perc áll rendelkezésre. Minden segédeszköz használható. Minden feladatot külön lapra írjon, s minden lapon legyen rajta a megoldó neve, osztálya és iskolája. A feladatok nehézségi sorrendben vannak.

1. feladat.

A radon belégzése egyes helyeken a tapasztalat szerint főleg tüdőrákot, más helyeken főleg emlőd- és hastáji rákot okoz. Mi lehet a különbség oka? **(5 pont)**

2. feladat

A szén-, olaj- és gázerőművek által termelt CO_2 elnyeli a meleg talaj hőszigetelését, üvegházszerű fölmelegedést okoz.

- a.) Miért pusztul el éhen mégis több legelő vadállat telente Mongóliában és Szibériában a vastagabb és tovább tartó hótakaró miatt?
- b.) Miért van szárazság és éhínség Afrikában, miért vannak árvizek Magyarországon, tornádók Amerikában az utóbbi években? **(5 pont)**

3. feladat.

Gondolkozzon el az alábbi kérdéseken, majd írja le elképzeléseit!

- a.) Mit gondol, az atommagban miért nem érvényes a kémiában tanult Hund szabály?
- b.) Mit gondol, milyen atommagok lennének stabilisak, ha nem lenne érvényes a nukleonokra a Pauli elv? **(5 pont)**

4. feladat

Egy, az idén megjelent tudományos közlemény szerint a Föld felszínén több elhagyott vidéken ^{60}Fe izotópot találtak felszíni rétegekben. (Felezési idő 300 000 év.) A tudósok még vitatkoznak azon, hogy ennek mi lehet az eredete. Ön mire gondol? Milyen érvekkel tudja sejtését alátámasztani? **(5 pont)**

5. feladat

A ^2H izotóp kötési energiája 0,356 pJ. A ^4He atommag kötési energiája ennek majdnem 13-szorosa: 4,533 pJ. Wigner Jenő ebből arra következtetett, hogy a magerő nagyon rövid hatótávolságú. Miért? (5 pont)

6. feladat

A 269 év felezési idejű radioaktív ^{39}Ar izotóp a kozmikus sugárzás hatására keletkezik a légkörben, s az esővel belemosódik a tengerekbe. Ezt az izotópot oceanográfusok arra használják, hogy a világtengerek hatalmas, a Föld klímáját is döntően befolyásoló mélytengeri áramlatait tanulmányozzák.

- Hogyan keletkezhet az ^{39}Ar izotóp?
- Milyen típusú radioaktivitása lehet?
- Vajon hogyan segíthet a mélytengeri áramlatok kutatásában? (5 pont)

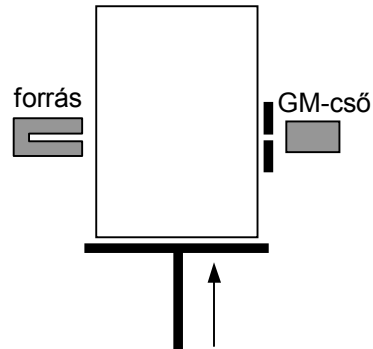
7. feladat

A pozitív és negatív béta bomlások során keletkező neutrínóknak (antineutrínóknak) az energiája folytonos eloszlású. Az elektron-befogás esetében azonban mindig jól meghatározott energiájú neutrínók keletkeznek. Mi lehet ennek az oka? (5 pont)

8. feladat

Egy zárt kartondoboz műanyaghab-, levegő- és sárgaréz szegecsek rétegeit tartalmazza. A függőleges elhelyezkedésű dobozra béta részecskék párhuzamos nyalábjá érkezik a rétegekre merőleges irányból (vízszintesen). A doboz túlfelületére helyezett Geiger-Müller detektor méri a dobozon áthaladó részecskék számát. A doboz fokozatosan emelkedik. A beütésszámot a doboz aljától számított különböző magasságokban mérve a következőket kapták:

Beütésszám/perc	magasság (mm)
1020	50
1054	45
1018	40
3026	35
3008	30
42	25
23	20
35	15
1086	10
1040	5



- Alkalmos grafikon megszerkesztésével határozza meg a műanyaghab, a részecskeszegecs réteg és a levegőréteg pontos helyét!
- Hogyan lehetne ezt az eljárást ipari célokra felhasználni? (5 pont)

9. feladat

Az első nagy atomreaktorok hőtéljesítményében Wigner Jenő és tanítványa, Alvin Weinberg érdekes ugrást tapasztaltak, amikor egy hosszú ideje működő reaktort

kikapcsoltak, majd nem sokkal később újraindítottak. A következő folyamatot fogták gyanúba: maghasadáskor ^{135}I izotóp is keletkezik, mely béta-bomlással tovább bomlik. A három tagból álló bomlási sor elemeinek néhány adatát a következő táblázat tartalmazza:

Izotóp	Felezési idő	neutron-befogás valószínűségeinek arányai
^{135}I	6,7 óra	<1
^{135}Xe	9,2 óra	2 640 000
^{135}Cs	3 millió év	8,7

- Mi lehet a neutronbefogási valószínűségeken található nagy különbség oka?
- Hogyan magyarázható ezek alapján a reaktor teljesítményében Wignerék által megfigyelt ugrás ?
- Hogyan oldják meg Pakson, hogy a nemkívánatos ingadozások ki-be kapcsoláskor ne lépjenek fel? **(5 pont)**

10. feladat

Egy feltaláló a következő javaslattal állt elő:

Egy nehézvízzel moderált atomreaktor hűtővizébe tegyünk ^6Li -ot valamilyen vízben oldódó vegyület formájában (például lítium-hidroxid). A termikus neutronok hatására végbemegy a következő atommag-reakció: $^6\text{Li}+n \rightarrow ^3\text{H}+^4\text{He}$. A reakcióban összesen 0,85 pJ energia szabadul fel. A feltaláló szerint a ^3H elegendő energiát fog nyerni ahhoz, hogy a nehézvízben lévő deutérium atommagokkal fúziós reakciót tudjon létrehozni: $^3\text{H}+^2\text{H} \rightarrow ^4\text{He}+n$. Ez a reakció is energiatermelő, a felszabaduló energia 2,82 pJ. A feltaláló szerint ilyen "kombinált" módon a fúziós energia felszabadítása makroszkopikus méretekben is megvalósítható anélkül, hogy sokmillió fokos hőmérsékletet kellene előállítani. Ő azzal érvel, hogy a neutrongenerátorokban a $^3\text{H}+^2\text{H}$ fúziós reakció megvalósításához elegendő már 0,032 pJ energiára felgyorsítani a deutronokat, és belelőni őket tríciumot tartalmazó céltárgyba.

- Mekkora mozgási energiával keletkezik a $^6\text{Li}+n$ reakcióban a ^3H ?
- Mi a véleménye a javasolt megoldásról? Működni fog? Nem fog működni? Indokolja meg a választ! **(5 pont)**

b) KÍSÉRLETI FELADAT

Tórium-B-forrás radioaktív sugárzásának vizsgálata

Rendelkezésre áll egy radioaktív sugárforrás és különböző vastagságú műanyag (fólia), valamint ólom abszorbens. Mérje a beütésszámokat! Mit tapasztal?

c) SZÁMÍTÓGÉPES FELADAT

Radioaktív hulladékok

A radioaktív anyagok (hulladékok, kiégett fűtőelemek stb.) tárolása konténerekben történik. A jobboldali fényképen példaként egy kis és közepes aktivitású hulladékot tároló hordó látható. A konténereket a hulladékok behelyezése után légmentesen lezárják, és a tárolóhelyre viszik. A konténereket nem szabad kinyitni, nehogy a bennük lévő radioaktivitás (amelyben lehetnek gáz halmazállapotú anyagok is) kiszabaduljon. Ezért a konténer tartalmát később csak a konténer kinyitása nélkül lehet ellenőrizni.

A FELADAT, és a végrehajtás módja

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség szakemberei arra gyanakodnak, hogy egy állam vezetője, bizonyos Maddas Tissein arra utasította az országában működő atomerőmű egyes "beépített" embereit, hogy egy kiégett nukleáris üzemanyagot tároló konténerből még a lezárás előtt "lopjanak ki" néhány kiégett üzemanyagrudat, amelyek így kikerülnek majd a nemzetközi ellenőrzés alól, és így az ország atombomba-programjához nukleáris alapanyagot szolgáltathatnak. A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség szakemberei Téged kértek meg arra, hogy **MINÉL PONTOSABBAN HATÁROZD MEG, HOGY A KONTÉNER BELSEJÉBEN HOL VANNAK ÜZEMANYAGRUDAK !**

Az üzemanyagrudak radioaktív sugárzását a konténeren kívül elhelyezett DETEKTORokkal érzékelheted. Annyi detektort helyezhetsz el a konténer körül, amennyit csak szeretnél, de gondoldj arra, hogy minél több detektorod van, a szimuláció annál lassabb lesz. A detektorok érzékenységét is megválaszthatod: be lehet őket úgy állítani, hogy 0,5 MeV energiájú gamma-sugárzást detektáljanak, de lehet az érzékenységet 1,0 MeV-re vagy 2,0 MeV-re is állítani.

A konténer egy forgatható állványon áll, és a "Forgatás + mérés" gomb lenyomása után a detektorok mérik a rájuk eső gamma-sugarak intenzitását egy teljes fordulat alatt. Ha szükséged lenne rá, **ÓLOMTÉGLÁK** is rendelkezésedre állnak. Ezekből is elhelyezhetsz annyit, amennyit csak szükségesnek tartasz.

Kétféleképpen végezheted mérést a detektoraiddal.

- 1) Az ismeretlen belső tartalmú konténer sugárzását rögzíted (ilyenkor az ISMERETLEN feliratú négyzetet be kell jelölnöd),
- 2) Ha az ISMERETLEN feliratú négyzet nincs bejelölve, akkor magad is "behelyezhetsz" kiégett fűtőelem-rudakat egy szimulált konténerbe, és a mérőberendezésed ekkor megmutatja, hogy mit mérnének a detektorjaid, ha a konténerben az üzemanyagrudak ilyen elrendezésűek lennének. A szimulált konténeredet vízzel is feltöltheted, vagy levegőt hagyhatsz benne. Ezt a "szimulációs üzemmódot" a modelled ellenőrzésére használhatod fel.

A program kezelése

Az elemek ELHELYEZÉSE:

- a) az egér BAL gombjával történő rákattintással a jobb oldalon lévő ábrából "kiválasztod", hogy mit akarsz elhelyezni (a kiválasztott elem színe pirosra vált);

- b) ... a CTRL-gomb lenyomása mellett az egérrel a rajznak arra a pozíciójára mégy, ahova az elemet le akarod tenni, és az egér BAL gombjával még egyet kattintasz. Vedd figyelembe, hogy detektort és ólomtéglát csak a konténeren kívülre helyezhetsz, üzemanyagrudat pedig csak a (teszt-) konténeren belülre.

Az elemek MOZGATÁSA:

Az elemeket tetszés szerint mozgathatod úgy, hogy az egér BAL gombjával rányomsz, és LENYOMVA tartod, miközben mozgatod az egeret (drag and drop).

Az elemek paramétereinek KIOLVASÁSA ill. MÓDOSÍTÁSA:

Ha az egér JOBB gombjával nyomsz rá az egyes elemekre, egy ablakban leolvashatod az illető elemre jellemző értékeket. Vannak elemek (pl. DETEKTOR vagy ÜZEMANYAG), ahol meg is változtathatsz egyes paramétereiket (pl. a gamma-energiát, amelyre érzékeny a detektor, vagy az üzemanyagrud aktivitását). A detektor adatai egy grafikont is tartalmaznak, amely a detektort ért sugárzás intenzitását ábrázolja a konténer különböző szöghelyzeteinél (0-tól 360 fokig).

FONTOS !!!

Figyelj arra, hogy ez a grafikont a "Forgatás + mérés" végrehajtásakor töltődik fel új adatokkal!!! Tehát. ha valamit változtatsz a mérési beállításnak, mindig forgasd meg újra a konténeret, hogy a grafikon már az új beállításnak megfelelő adatokat tartalmazza!

Az elemek TÖRLÉSE:

Ha kiderül, hogy egy elemre nincs szükséged, a következőképpen törölheted: a CTRL gomb lenyomva tartása mellett az egér JOBB gombjával rákattintasz. A program ellenőrzésképpen megkérdezi, hogy tényleg törölni akarod-e, s ha igennel válaszolsz, akkor az elemet kiderül.

A "spektrumok" (grafikonok) MEGŐRZÉSE

A detektorok grafikonjait meg is őrizheted (max. 14 darabot), hogy a későbbiekben össze tudd hasonlítani a különböző körülmények között végzett méréseket (pl. az "igazi" konténer és a "szimulált" konténer adatait). Amikor egy detektor adatait kiolvasod (egér JOBB gomb), a megjelenő ablakban ott lesz egy "MEGŐRZÉS" feliratú gomb is. Ennek lenyomásakor a program először megkérdezi, hogy milyen azonosítót adsz a megőrzendő adatoknak, majd ezt követően megjelenik egy kis gomb a jobb oldali alsó panelen. A gomb felirata a megőrzendő azonosítójának néhány első karaktere. Innentől kezdve ezt az adathalmazt bármikor visszahívhatod a kis gombra való kattintással.

FONTOS !!!

Az eredmény ELMENTÉSE

A feladat befejezésekor (vagy az idő lejártakor) a munkádat el kell menteni, hogy a zsűri értékeln tudja. Ezt a főablak fejlécén található menü "Adatok" részét lenyitva előbukkanó "Mentés" nevű menüpontra kattintva teheted meg. Itt a program kér tőled egy fájlnevet, (a saját azonosítódodat add meg), s ezt követően a program az adatokat elmenti.

C) AZ 1. FORDULÓ FELADATAINAK MEGOLDÁSA

1. A helyes sorrend a 2000. évi adatok alapján a következő:
Amerikai Egyesült Államok (19,83%)
Svájc (38,18%)
Magyarország (42,2%)
Bulgária (45%)
Litvánia (73,68%)
Franciaország (76,4%)
2. A földszinti helyiségekben a földkéregben lévő urán bomlási sorába tartozó radioaktív nemesgázból, a radonból több található, mint feljebb. Ha nincs megfelelő szellőzés (szellőztetés), akkor a radongáz még jobban feldúsul. Mivel a radon nemesgáz, ezért kilégzéskor a legnagyobb része távozik is a tüdőből. A bomláskor keletkezett leányelemek azonban fémionok, így könnyen hozzákötődnek a különféle anyagokhoz. Már tiszta levegőben is a radon-„leányok” hamar hozzátapadnak a szoba falához, a bútorzathoz stb., emiatt nem kerülnek a tüdőbe. Amikor valaki dohányzik a szobában, a radon leányelemei rátapadnak a cigarettafüstben lebegő részecskékre. Onnan a szervezetbe kerülve a tüdőfalra tapadnak. Ott bomlanak tovább, elsősorban α -részecskéket kibocsátva. Ezek a részecskék — nehéz, elektromosan töltött részecskék lévén — energiájukat rövid úton adják le. Ezen a rövid útszakaszon nagy lesz az ionizációs sűrűség. Kis területen belül roncsolnak, de ott erőteljesen. A tüdő esetében a hólyagocskákban okoznak nagy sugárterhelést.
3. A radioaktív bomlások energiája nyilvánul meg olyan geológiai jelenségekben, mint pl. a lemeztectonika. Ha nem lenne radioaktivitás, nem „vándorolnának” és nem ütköznének a kontinensek, vagyis a hegyek nem gyűrődnének fel újra és újra. A Föld keletkezése óta eltelt idő elég lett volna ahhoz, hogy a folyamatos erózió a korábban meglévő kisebb-nagyobb felszíni egyenetlenségeket elsimítsa. Valószínűleg nem emelkedtek volna ki hegyek, a Földet teljesen óceán borítaná. Nem alakulhatott volna ki a szárazföld élővilága, így az atmoszférában zömmel szén-dioxid lenne.
4. Hevesy György rájött arra, hogy neutronokkal történt besugárással egyes biológiai fontos elemeket is radioaktívvá lehet tenni mesterségesen. Ezek sugárzásának nyomon követésével az élő anyag is vizsgálható.
5. A radioaktívvá tett atommagok α -, β - vagy γ -sugárzást bocsáthatnak ki. Az α -sugárzás csak nagyon vékony felületi rétegből tud kijönni, valamint kevés kivételtől eltekintve csak nagyobb rendszámú elemek aktiválásakor keletkezik. Így az aktivációs analízis céljaira csak nagyon korlátozottan felel meg.
A β -sugárzás már valamivel mélyebbről is kijön, és csaknem valamennyi (pl. neutronbefogással) radioaktívvá tett atommag kibocsátja. Ennek ellenére sem alkalmas az elemek azonosítására, mert a kibocsátott részecskék energiaeloszlása folytonos. Az ilyen energiaspektrumból pedig nem lehet visszakövetkeztetni a kibocsátó atommagra.
Az aktivációs analízis céljaira leginkább a kisugárzott γ -sugárzás vizsgálata felel meg. Az elektromágneses természetű γ -fotonok az anyag mélyebb rétegeiből is

kijönnek, és emellett a fotonok energiája jellemző az őket kibocsátó atommagra. Ezért ezek energiájának mérésével minőségi analízis, a kibocsátott sugárzás intenzitásának (a fotonok számának) mérésével pedig mennyiségi analízis is végezhető.

6. A ${}^4\text{He}$ -atommag létezik a természetben: két proton és két neutron található 1s állapotban. Ezzel azután az 1s állapot éppen telítődik is. Különösen stabil, kétszeresen mágikus mag.

A ${}^3\text{He}$ -atommag is létezik a természetben. Az 1s állapotban ugyan csak egy neutron van, de a három nukleon által kialakított potenciál elegendő a nukleonok összetartásához.

A ${}^4\text{H}$ -atommag nem létezik. A három neutronnak a Pauli-elv szerint úgy kellene elhelyezkednie, hogy közülük kettő az 1s állapotban legyen. A harmadik azonban ide már nem kerülhet, csak a jóval magasabb mozgási energiát jelentő p állapotba. Erre azonban a négy nukleon által kialakított potenciál nem elegendő. Emiatt ez az atommag nem alakulhat ki.

${}^8\text{He}$ -atommag sem létezik. Nem stabil, spontán két ${}^4\text{He}$ -atommagra esik szét. Ezáltal kerül alacsonyabb energiaszintű állapotba a rendszer.

A ${}^5\text{Li}$ -atommag sem létezik. Egyáltalán nem létezik 5 tömegszámú atommag! Az ilyen rendszert különben Pauli-lyuknak is nevezik. Ugyanis az ötödik nukleonnak már a magasabb energiájú p állapotba kellene kerülnie, amihez pedig nem elegendő az 5 nukleon által kialakított potenciál. Ellenben egy hatodik nukleon már „kimélyíti” annyira, hogy tovább tud épülni a periódusos rendszer.

7. A természetes (könnyű) víz egyszerre szolgálhat neutronlassítóként (moderátor) és hőelvonóként is. Az utóbbi szerepe a kivételesen nagy fajhőjének köszönhető. (Csak egyetlen anyag — a cseppfolyós ammónia — fajhője nagyobb a vízénél.) Ezeket a kedvező tulajdonságokat kihasználó nyomottvízes reaktorok további előnye a szerkezeti biztonság is. Hiszen ha túlhevül a rendszer, akkor a víz felforr, buborékok képződnek, ami által a reaktor moderátort veszít. Kevesebb neutron lassul le, többet fog be az U-238-atommag, a láncreakció pedig lefékeződik (akár még le is áll). Ez a negatív visszahatás biztonságossá teszi a reaktort a megszaladással szemben. Hátránynak tekinthető, hogy a természetes víz kis mértékben elnyeli a neutronokat. Emiatt kell a könnyűvízes reaktorok üzemanyagát dúsítani U-235-izotópban. A nehézvízben lévő deutérium szinte alig nyel el neutront, ezért alkalmazásakor nincs szükség dúsításra. Ebben a konstrukcióban azonban a nehézvíz előállításának nagy költségei a döntőek.

8. A megoldásban felhasznált mennyiségek:

$$c = 2,997925 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$c^2 = 8,987554 \cdot 10^{16} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$m_p = 1,672649 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_p c^2 = 150,33 \text{ pJ}$$

$$m_n = 1,674954 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_n c^2 = 150,54 \text{ pJ}$$

$$m_e = 9,1095 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$m_e c^2 = 80,11 \text{ pJ}$$

$$E(17,37) = 50,736 \text{ pJ}$$

$$E(18,37) = 50,481 \text{ pJ}$$

$$E(19,37) = 49,372 \text{ pJ}$$

Energia szempontjából háromféle bomlást kell megvizsgálni:

- az elektronbefogást,
- a pozitron-bomlást és
- a negatív béta-bomlást.

Az első kettőben az ^{37}Ar -ból ^{37}Cl , a harmadikban az ^{37}Ar -ból ^{37}K keletkezik. Nézzük először az **elektronbefogást!** Eközben egy proton átalakul neutronná. Következtében a természetben is előforduló 37 tömegszámú klórizotóp keletkezik. Ebben az izotópban a neutronok száma éppen 20, ami mágikus szám. Ez pedig különösen stabil elrendezés.

Az **elektronbefogás** során egy nagyobb tömegű neutron keletkezik, amelynek energetikai feltétele a következő:

$$E(Z, A) + m_p c^2 + m_e c^2 > E(Z - 1, A) + m_n c^2.$$

A feltételt megvizsgálva:

$$\begin{aligned} E(Z, A) - E(Z - 1, A) &> m_n c^2 - m_p c^2 - m_e c^2 \\ -50,481 \text{ pJ} - (-50,736 \text{ pJ}) &> 150,54 \text{ pJ} - 150,33 \text{ pJ} - 0,05 \text{ pJ} \\ 0,255 \text{ pJ} &> 0,13 \text{ pJ}. \end{aligned}$$

A **pozitronbomlás** során mind a pozitron tömegét, mind pedig a neutron tömeg-többletét fedezni kell. Ennek feltétele:

$$E(Z, A) + m_p c^2 > E(Z - 1, A) + m_n c^2 + m_e c^2.$$

Ebből

$$E(Z, A) - E(Z - 1, A) > m_n c^2 - m_p c^2 + m_e c^2.$$

Az ismert mennyiségekkel:

$$\begin{aligned} -50,481 \text{ pJ} - (-50,736 \text{ pJ}) &> 150,54 \text{ pJ} - 150,33 \text{ pJ} + 0,08 \text{ pJ} \\ 0,255 \text{ pJ} &> 0,29 \text{ pJ} \quad \textbf{Ez a feltétel nem teljesül!} \end{aligned}$$

A **negatív béta-bomlás**kor egy neutron alakul át protonná. Ennek feltétele:

$$E(Z, A) + m_n c^2 > E(Z + 1, A) + m_p c^2 + m_e c^2.$$

Átrendezés után:

$$E(Z, A) - E(Z + 1, A) > m_p c^2 - m_n c^2 + m_e c^2.$$

Az ismert mennyiségekkel:

$$\begin{aligned} -50,481 \text{ pJ} - (-49,372 \text{ pJ}) &> 150,33 \text{ pJ} - 150,54 \text{ pJ} + 0,08 \text{ pJ} \\ -1,109 \text{ pJ} &> -0,13 \text{ pJ}. \quad \textbf{Ez a feltétel szintén nem teljesül!} \end{aligned}$$

9. A nátrium-klorid (NaCl) jól oldódik vízben, ezért célszerű ezt a vegyületet használni.

A feladat többféle módon is megoldható.

- a) Számoljuk ki, hogy mekkora lehetett a kivett 10 liter minta kezdeti aktivitása (A_0) a beöntés pillanatában. Feltételezzük azt, hogy az elkeveredés megtörtént.

$$370 \frac{1}{\text{s}} = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \quad \text{vagy} \quad 370 \frac{1}{\text{s}} = A_0 \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right)$$

Ezekből

$$A_0 = 5920 \frac{1}{s} = 5920 \text{ Bq} = 5,92 \text{ kBq} .$$

Az exponenciális egyenlet megoldása helyett természetesen következtetéssel is el lehet jutni a végeredményhez:

$$\frac{60}{15} = 4 \text{ -szer jár le a felezési idő, így } A_0 = 370 \cdot 2^4 = 5920 .$$

A tó térfogata:

$$V = \frac{3,7 \cdot 10^8 \text{ Bq}}{5,92 \cdot 10^3 \text{ Bq}} \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 = 625 \text{ m}^3 .$$

- b) A másik megoldásban először azt számoljuk ki, hogy mekkora lehetett a tó teljes aktivitása 60 óra elteltével.

$$A = 3,7 \cdot 10^8 \cdot 2^{-4} \text{ Bq} = 2,3125 \cdot 10^7 \text{ Bq} \quad \text{vagy}$$

$$A = 3,7 \cdot 10^8 \text{ Bq} \cdot \exp(-4 \cdot \ln 2) = 2,3125 \cdot 10^7 \text{ Bq} .$$

A kapott aktivitás segítségével a tó térfogata:

$$V = \frac{2,3125 \cdot 10^7 \text{ Bq}}{370 \text{ Bq}} \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 = 625 \text{ m}^3 .$$

10. Radioaktív egyensúly esetén — amennyiben az anyaelem sokkal nagyobb felezési idejű, mint a leányelem — egységnyi idő alatt ugyanannyi leány-atommag bomlik el, mint amennyi keletkezik. Itt mindkét esetben ez a helyzet, ezért a következőképpen számolhatunk:

$$N_{\text{Ra}} = N_{\text{U}} \cdot \frac{T_{1/2, \text{Th}}}{T_{1/2, \text{U}}} \cdot \frac{T_{1/2, \text{Ra}}}{T_{1/2, \text{Th}}} \quad N_{\text{Ra}} = \frac{7340 \text{ y}}{162000 \text{ y}} \cdot \frac{0,5 \text{ y}}{7340 \text{ y}} = 308,6 \approx 309$$

Az összefüggésből látszik, hogy a tórium felezési ideje tulajdonképpen ki is esik. Ennek ismeretére csak amiatt van szükségünk, hogy igazolni tudjuk: a radioaktív egyensúly feltétele fennáll!

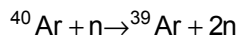
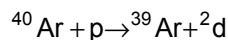
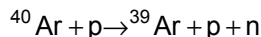
— D) A DÖNTŐ ELMÉLETI FELADATAINAK MEGOLDÁSA —

1. A radon egészségkárosító hatása valójában két okra vezethető vissza:
- a radon-„leányok” belélegzése (amelyek a tüdőben megtapadnak) és
 - a radon, mint nemesgáz „beoldódása” a szövetek közé.

A radon a legnagyobb méretű a nemesgázok között, ezért a külső elektronhéja a nemesgázok között a leglazabban kötött. A legkönnyebben deformálható, így a nemesgázok között a legerősebb van der Waals típusú kölcsönhatásra képes. Ezért a radon a zsírszövetbe — amely apoláros molekulákat nagy mennyiségben tartalmaz — oldódik be leginkább. Ez magyarázza az emlő- illetve a hastáji rákok előfordulását. Radon belélegzése által okozott tüdőrák leginkább az uránbányákban dolgozó férfiak között gyakori, míg az emlő- illetve hastáji rák pedig radongazdag lakásokban élő nők között.

2. Mindegyik kérdésre közös a válasz: a felmelegedés a Föld különböző területein nem egyenletes. Azokon a helyeken, ahol sok a napsütés, erősebb, ahol kevesebb, ott gyengébb. Emiatt az egyenlítői vidékek, és az Egyenlítőtől északra illetve délre eső területek között fokozatosan növekszik a hőmérséklet-különbség. Ez a hőmérséklet-különbség „hajtja” az időjárás alakulásáért felelős nagy légáramlatokat. A hőmérséklet-különbség növekedésével a hajtóerő is növekszik. Ezért az áramlatoknak is növekszik a sebessége, valamint a bennük tárolt energia: megerősödnek a tornádók, több esőt szállítanak a légáramlatok, gyakrabban lesznek árvizek.
3. a) A Hund-szabály az atomfizikában az elektronok taszítása miatt alakul ki. A magfizikában a nukleonok között ható nukleáris vonzóerő sokkal erősebb a közöttük ható elektromos taszítóerőnél, ami végülis egy „anti”-Hund szabály kialakulását okozza.
- b) Ha nem lenne érvényes a Pauli-elv, minden nukleon az 1s állapotba kerülne, hiszen az a legalacsonyabb energiájú. Mivel a protonok elektromos taszítása mindenképpen csökkentené a kötést, egynél több proton sem lenne energetikailag kedvező. A nukleonok között ható vonzóerő miatt egyetlen „nagy” részecske mélyebb energiájú lenne, mint a sok „kis” összetevő. Ezért a nukleonok valószínűleg egyetlen hatalmas atommaggá (neutroncsillag) egyesülnének. Ezzel energetikailag egyenértékű lenne, ha egyetlen proton köré gyűlné még nagyon sok neutron, a világ ilyen óriási „atommagok”-ból állna.
4. A ^{60}Fe -atommag nagyon neutrongazdag, hiszen a stabil vasizotópokban (^{54}Fe , ^{56}Fe , ^{57}Fe és ^{58}Fe) kevesebb neutron található. A ^{60}Fe olyan neutrongazdag környezetből származhat, ahol a vasizotópoknak lehetőségük volt többletneutronok felvételére. Neutrongazdag környezet a természetben vagy „természetes atomreaktor” működése során jöhet létre (mint Dél-Afrikában), vagy pedig szupernóva robbanásakor a csillagokban. Természetes atomreaktor működéséhez — mint tudjuk — a természetes urán dúsítottságának kb. 3 %-ot kell elérnie. Ez — az ^{235}U 710 millió év felezési ideje miatt — csak sok millió évvel ezelőtt lehetett. Ha tehát ekkor keletkezett volna a ^{60}Fe , a 0,3 millió év felezési ideje miatt már csaknem teljesen elbomlott volna. Az előbbieket miatt a lelet arra utal, hogy valamikor a múltban — nem túl régen — egy szupernóva-robbanás maradványai érkezhettek a Földre, és ezek tartalmazhatták a ^{60}Fe -izotópot.
5. A ^2H -izotópban két nukleon között van egyetlen kölcsönhatás. A ^4He -atommagban négy nukleon van, közöttük (mindenki mindenkivel!) 6 kölcsönhatás alakul ki. Ezért azt várnánk, hogy a ^4He kötési energiája hatszor akkora, mint a deuteroné. A megfigyelt sokkal nagyobb kötési energia csak úgy magyarázható, hogy feltesszük: a több szomszédal való kölcsönhatás egymáshoz „közelebb” hozza a nukleonokat, és így páronként is erősebb kötés tud közöttük kialakulni. Ez a magyarázat viszont csak akkor jó, ha feltételezzük, hogy a nukleonok közötti távolság növekedésével a kölcsönhatási energia erősen csökken, azaz a magerők rövid hatótávolságúak.

6. A légkörben található stabil argon-izotóp a ^{40}Ar .
- a) Ebből úgy keletkezhet ^{39}Ar , hogy valamilyen magreakció „kiüt” a magból egy neutron. A kozmikus sugárzásban nagy energiájú protonok vannak, illetve másodlagosan a légkörben keletkeznek nagy energiájú neutronok is. Ezért az ^{39}Ar képződéséhez vezető reakciók a következők lehetnek:



- b) Az ^{39}Ar -ben 18 proton és 21 neutron van. Ha egy neutron protonná alakulna, éppen mágikus (20) neutronszámmal — emiatt erősebben kötött — atommag jönne létre. Ezért az ^{39}Ar -atommag negatív béta-bomlással ^{39}K -re bomlik.
- c) A hatalmas tengeri áramlatok Földünk éghajlatát is befolyásolják. Az áramlatok — mint óriási „szállítószalagok” — meleg vizet szállítanak az Egyenlítő közeli meleg vízű tengerektől az északi tengerekhez (egy ilyen szállítószalagnak a része a jól ismert Golf-áramlat is). A melegvíz a tengerek felszínén keletkezik, és ott is áramlik (a meleg víz sűrűsége kisebb). Az áramlás „visszatérő” ága, amelyben a hideg északi tengerek vize áramlik a meleg tengerek felé, a tengerek mélyén van (a hidegvíz sűrűsége nagyobb). Az ^{39}Ar a légkörből a tengerek felszínén tud a vízbe beoldódni. A tenger mélyén áramló hideg víz már csak azt az ^{39}Ar -et tartalmazza, amely akkor került bele, amikor még a felszínen volt az a víz (és ugyanakkor még nem bomlott el). Ezért a mélytengeri áramlatban az ^{39}Ar koncentrációjának a mérésével megállapítható, hogy milyen régen „bukott alá” a víz, ezáltal az áramlatok útja és sebessége tanulmányozható.
7. A pozitív és a negatív béta-bomláskor az atommagból két részecske lép ki: egy pozitron és egy neutrínó (pozitív béta-bomlás), illetve egy elektron és egy anti-neutrínó (negatív béta-bomlás). A két „könnyű” részecske osztozik a bomláskor felszabaduló energián úgy, hogy közben a lendület(impulzus)megmaradásnak is teljesülnie kell. (Ez utóbbiban természetesen a visszamaradó atommag is részt vesz.) Ez az „osztás” egy véletlen folyamat: mind az elektron, mind pedig a neutrínó kap valamekkora energiát és impulzust(lendületet) — véletlenszerűen. Ezért lesz folytonos a kilépő neutrínók energia-eloszlása. Az elektronbefogásnál viszont csak egyetlen könnyű részecske, egy neutrínó keletkezik. Mivel a „nehéz” mag a visszalökődés lendületét(impulzusát) át tudja venni — és az általa átvett energia elhanyagolható — a bomláskor felszabaduló energia teljes egészében a neutrínóé lesz. Így a kapott energia nem véletlenszerű eloszlású, hanem minden bomláskor ugyanakkora.
8. a) Már a számadatokon is (de a számoknak a távolság függvényében való ábrázolásából még inkább) látszik, hogy az átengedett intenzitás három csoportra bontható:

- a legnagyobb intenzitás $3000 \frac{1}{\text{min}}$ körüli (ezeken a helyeken lesz a levegő);

- a „közepes” beütésszám $100 \frac{1}{\text{min}}$ körül van (itt lesz a műanyaghab);
- a legkisebb intenzitás pedig $20 - 40 \frac{1}{\text{min}}$ nagyságú (ebben a tartományban lesznek a rézszegecsek).

A doboz rétegei tehát:

0	-	12,5 cm:	műanyaghab
12,5	-	27,5 cm:	rézszegecs
27,5	-	37,5 cm:	levegő
37,5	-	50,0 cm:	műanyaghab.

A rétegek „határait” ezekből az adatokból nem lehet pontosan meghatározni, ehhez a térbeli felbontás finomítására lenne szükség.

- b) Az ipari alkalmazás lehet valamilyen minőségellenőrzés (mit tartalmaz pl. egy lezárt doboz), esetleg folyamatirányítás (annak vezérlése, hogy adott magasságig kell megtölteni valamivel pl. egy dobozt).
9. a) A ^{135}Xe -ben 54 proton és 81 neutron van. A neutronok száma tehát eggyel kisebb, mint a mágikus 82. Ez az atommag neutronbefogással mágikus zárt héjat tud létrehozni. Ez magyarázza a neutronbefogás igen nagy valószínűségét.
- b) Amikor a reaktor nagy teljesítményen hosszú ideig működik, egyensúlyi radonkoncentráció áll be: időegység alatt ugyanannyi xenon-atommag „keletkezik”, mint amennyi el is tűnik. A xenon főleg I-135-ből keletkezik (bár valamennyi közvetlenül is felszabadul a maghasadás során). A xenon „eltűnésében” két folyamat játszik szerepet: az egyik saját radioaktív bomlása, a másik neutron-befogás (amely a ^{135}Xe -öt „eltűnteti” és ^{136}Xe -t alakítja). Amikor leállítjuk a reaktort, a láncreakció megszüntetésével együtt a neutronok keletkezése is megszűnik; így a xenonnak ez a „fogyása” nem folytatódik. Nem szűnik meg viszont a termelődés üteme, hiszen a ^{135}I koncentrációja nem változik meg hirtelen (felezési ideje 6,7 óra). Ezért a xenon koncentrációja növekedni kezd egy ideig (néhány óráig). Ha semmi sem történik, akkor fogy a jó mennyisége, csökken az aktivitása és lassan a xenon is elbomlik (bár hosszabb felezési idővel, mint a jód).
A xenon nagyon jó neutronelnyelő, ezért amikor koncentrációja jóval az egyensúlyi érték fölött van, a reaktort csak úgy lehet elindítani, hogy a szabályozó rudakat jóval kintebb kell húzni, mint amikor a maximális teljesítményen működött a reaktor. Ha sikerül beindítani a láncreakciót, ismét megjelennek a neutronok, amelyek fogyasztani kezdik a xenont, hogy visszaállítsák az egyensúlyi koncentrációt. Ez egy pozitív visszacsatolás, hiszen a teljesítmény növekedése fogyasztja a neutronelnyelő xenont, ami a reakciót még inkább felgyorsítja.
Ez volt az a hirtelen ugrás, amit Wignerék megfigyeltek.
- c) A nemkívánatos ingadozások úgy kerülhetők el, hogy a leállított reaktort vagy nagyon gyorsan újra kell indítani (amikor még nem növekedett meg észrevehetően a xenon-koncentráció, vagy pedig az újraindítással addig kell várni, amíg a xenon-koncentráció a radioaktív bomlások következtében visszacsökken az egyensúlyi szint alá (ez nagyon sok órát vesz igénybe).

10. a) Az említett reakcióban összesen 0,85 pJ energia szabadul fel. A lendület (impulzus)megmaradás miatt a ${}^3\text{H}$ -nak és a ${}^4\text{He}$ -nek azonos nagyságú, de ellentétes irányú lendülete(impulzusa) lesz. A mozgási energia $\frac{p^2}{2m}$, tehát a felszabaduló energia a tömegekkel fordított arányban oszlik meg (a ${}^3\text{H}$ a teljes energiának $\frac{4}{7}$ részét, a ${}^4\text{He}$ a $\frac{3}{7}$ részét viszi el). Ezért a ${}^3\text{H}$ mozgási energiája a keletkezéskor $\frac{4}{7} \cdot 0,85 \text{ pJ} = 0,4857 \text{ pJ}$. Ez valóban sokkal több, mint a neutrongenerátorokat jellemző 0,032 pJ energiaérték.
- b) A feltaláló által javasolt megoldást mégsem célszerű alkalmazni. Ennek az az oka, hogy a ${}^2\text{H}$ és ${}^3\text{H}$ fúziója mellett a kirepülő ${}^3\text{H}$ más kölcsönhatásokban is részt vesz. Ezek között a legfontosabb az, hogy — mivel elektromos töltésű részecske — az anyagban (a nehézvízben) haladva ionizál és ezzel energiát veszít. Emiatt a mozgási energiája hamarosan annyira lecsökken, hogy a továbbiakban már nem lesz elegendő a fúzió létrehozásához. Van még egy hatás, ami tovább csökkenti a fúzió valószínűségét: a ${}^3\text{H}$ és a ${}^2\text{H}$ rugalmas szóródása. Ha tehát a keletkezett trícium „meg is úszná” az ionizációs veszteséget, még mindig sokkal valószínűbb, hogy csak rugalmasan ütközik a nehézvízben lévő deutérium-maggal, minthogy fuzionáljon vele. Ezen ütközések miatt hamar „termalizálódik”, azaz elveszíti kezdeti nagy energiáját. Számottevő energiatermelés tehát nem várható a javasolt megoldástól. (A magas hőmérsékletű fúziós plazmában egyrészt az anyag már ionizált állapotban van — ott tehát „ionizációs veszteség” nem lép fel — másrészt pedig a szóródásokat követő „termalizálódás” során sem csökken le annyira a mozgási energia — hiszen a magas hőmérséklet miatt az átlagos mozgási energia is nagyobb.)

— E) AZ 5. VERSENY DÖNTŐJÉNEK EREDMÉNYLISTÁI —

I. KATEGÓRIA

1.	VÍGH MÁTÉ	PTE Babits M. Gyakorló Gimn., Pécs Koncz Károly	82 pont
2.	TÓTH EMIL	SZTE Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged Kovács László	69 pont
3.	KOVÁCS TAMÁS	Földes F. Gimn., Miskolc Zsúdel László	60 pont

	UJHELYI ZOLTÁN	Madách Imre Gimn., Vác Horváth Edit	60 pont
5.	DÁNYI-NAGY MÁRIÓ	Leöwey K. Gimn., Pécs Simon Péter	58 pont
6.	GÉMESI RÓBERT	Lauder Javne Iskola, Budapest Tóth Eszter	51 pont
7.	SZÁMVÉBER ATTILA	Eötvös J. Gimn., Tata Magyar Csabáné	45 pont
8.	BÚZA ÁGNES	Széchenyi I. Gimn., Dunaújváros Kobzos Ferenc	42 pont
	SZÁSZ KRISZTIÁN	Leöwey K. Gimn., Pécs Simon Péter	42 pont
10.	HANDBAUER PÉTER	Leöwey K. Gimn., Pécs Simon Péter	41 pont

II. KATEGÓRIA

1.	MADAS B. GERGELY	Apáczai Csere J. Gyak. Gimn., Budapest Kiss László	87 pont
2.	NAGY MÁRTON	Piarista Gimn., Budapest Futó Béla	85 pont
3.	HOFGÁRT GERGELY	Hőgyes E. Gimn., Hajdúszoboszló Csatóné Király Margit	81 pont
4.	HAZAY MÁTÉ	Piarista Gimn., Budapest Futó Béla	80 pont
5.	NAGY SZABOLCS	ELTE Trefort Gyak. Gimn., Budapest Chikán Éva	75 pont
6.	FÖLDESI TAMÁS	Fazekas Mihály Gimn., Debrecen Simon Gyula	73 pont
7.	FARKAS ÁGNES	SZTE Ságvári Endre. Gyak. Gimn., Szeged Kovács László	72 pont
8.	KOVÁCS ISTVÁN	Berze Nagy J. Gimn., Gyöngyös Kissné Császár Erzsébet	70 pont
9.	ANTAL ÁGNES	Apáczai Csere J. Gyak. Gimn., Budapest Kotek Gábor	67 pont
	BÉKY BENCE	Fazekas Mihály Gyak. Gimn., Budapest Horváth Gábor	67 pont
11.	LESTYÁN GYULA	Zrínyi Miklós Gimn., Zalaegerszeg Pálovics Róbert	66 pont

12. MÁRTON IVÁN	ELTE Trefort Gyak. Gimn., Budapest Chikán Éva	64 pont
13. BOROSÁN PÉTER	Zrínyi Miklós Gimn., Zalaegerszeg Pálovics Róbert	63 pont
14. SALAMON PÉTER	Zrínyi Miklós Gimn., Zalaegerszeg Pálovics Róbert	61 pont
15. CSENGERI TÍMEA	Németh L. Gimn., Budapest Balogh Gyöngyi	58 pont
GERESDI ATTILA	Árpád Fejedelem Gimn., Pécs Győrpál Kelemenné és Kotek László	58 pont
17. SZRNKA BÉLA	Bethlen Gábor Ref. Gimn., Hódmezővásárhely Lakatos Tóth István	57 pont
18. VÁRNAI CSILLA	Apáczai Csere J. Gyak. Gimn., Budapest Zsigri Ferenc	56 pont
19. SÖTÉT-ORMOS ESZTER	Széchenyi István Gimn., Sopron Légrádi Imre	54 pont
20. PINTÉR BALÁZS	Energetikai Szakközépiskola, Paks Nagyné Lakos Mária	53 pont

F) MEGJEGYZÉSEK

Az 5. verseny eredményhirdetését követően a versenyzők nem tudták, hogy valójában hányadikok lettek, milyen díjat kaptak! Ez a bizonytalanság annak ellenére előfordulhatott, hogy a Versenybizottság egyértelmű döntést hozott a Verseny pontversenyeit illetően. A beidegződött rossz szokásokon azonban nagyon nehéz változtatni!

Hosszú évek óta munkálkodunk azon, hogy fizikaversenyeinken megszüntessük a holtversenyeket, illetve elkülönítsük egymástól a helyezéseket és a díjazásokat. Ezekre elsősorban azért van szükség, mivel az első három, öt vagy tíz versenyző esetenként valamiféle (pl. felvételi) kedvezményben részesül(t), felkészítő tanáraik pedig éppen az egyértelmű helyezés alapján kap(hat)nak elismerést (gondoljunk pl. a Versenyünk tanári Delfin-díjára, az önkormányzatok néhány által biztosított pénzjutalmakra, az Ericsson-díjra stb.).

A tudatos vagy tudat alatti értetlenkedéseken túltesszük magunkat: ragaszkodunk az abszolút sorrend eldöntéséhez, valamint a helyezések és a díjazások megkülönböztetéséhez!

A kísérleti feladat kiosztásakor a versenyzők rendelkezésére bocsátott utasítást két év elteltével nem lehetett megszerezni! A helyette megadott szűkszavú útmutatás a feladat kitűzője és a Fizikai Szemle 2002. évi 4. számának 128. oldalán található ismertetés segítségével készült.

6. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY

A) AZ 1. FORDULÓ FELADATAI

2003. március 4-én került sor az I. fordulóra. Az alábbi feladatsort kapták a versenyzők.

(Minden feladat helyes megoldása 5 pontot ér. A feladatokat tetszőleges sorrendben lehet megoldani. A megoldáshoz bármilyen segédeszköz használható. Rendelkezésre álló idő: 180 perc)

- Feladat:** Miként merült fel Szilárd Leóban a láncreakció ötlete? Milyen elemmel kívánta először megvalósítani?
- Feladat:** A radioaktív izotópokat sokféleképpen használják. Segítségükkel hogyan lehetne megoldani a következő feladatokat:
 - A műanyag fólia vastagságát a gyártás során folyamatosan kell ellenőrizni.
 - Egy mezőgazdász tudni akarja, hogy paradicsombokraiba miként szívódik fel a frissen kihintett foszfortrágya.
 - Egy kutatóorvos csökkenteni akarja a bizonyos területeket megfertőző légyraj nagyságát. (Célzás: a hímnemű legyekre rossz sors vár)
 - Egy agysebész a daganat helyét kívánja megállapítani.
- Feladat:** Uránbányászoknál tapasztalták a tüdőrák gyakoribbá válását, ha nem megfelelő a bányászok szellőztetése. Hogyan okozhat a radon tüdőrákot, hiszen nemesgáz és rövid a felezési ideje, tehát belélegezzük, majd kilélegezzük, mint a nitrogént?
- Feladat:** Egy, a szájhagyomány szerint legalább 100 éve elsüllyedt hajót átkutatva a bűvár az egyik kabinban bontatlan whiskys üveget talált, amelyről azonban leázott a címke. Amikor egy laboratóriumban megmérték ennek a whiskynek a tríciumtól származó aktivitás-koncentrációját, azt találták, hogy az mindössze 3%-a az üzletben frissen vásárolt és 7 éves címkével ellátott whisky aktivitás-koncentrációjának. Igazolható-e ezzel, hogy 100 éve süllyedt el a hajó? A trícium felezési ideje 12,3 év.
- Feladat:** Tegyük fel, hogy egy stabilis alumínium atommagot elemi részeiből (protonokból és neutronokból) építünk fel. Mennyi energia szabadul fel? Mekkora lesz a nukleononkénti kötési energia? Az ^{27}Al atom tömege: $m_a = 26,9815 u$.

6. **Feladat:** Az ^{235}U és az ^{238}U izotópok diffúziós szétválasztásánál, amely a részecskék relatív sebességkülönbségén alapuló eljárás, gáz halmazállapotú UF_6 (uránhexafluorid) vegyületet használnak.
- Az ^{235}U -t vagy az ^{238}U -t tartalmazó molekulának nagyobb-e a sebessége?
 - Mekkora a sebességek aránya?
7. **Feladat:** Megmérték egy múmiából vett minta ^{14}C -től származó aktivitását. Ebből meg lehetett állapítani, hogy a mintában a $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ arány csak 69,2 százaléka annak, mint amit a mai növényekben mérnek. (A ^{14}C felezési ideje: 5730 év).
- Becsülje meg a múmia korát!
 - Milyen tényezőkre kell figyelni, amikor a minta mért aktivitásából a $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ arányra akarunk következtetni?
8. **Feladat:** A Paksi Atomerőmű éves trícium kibocsátása 15 TBq/év, amely a hűtővízzel távozik.
- Mekkora tömegű trícium kerül ki a környezetbe 1 év alatt az erőműből? (A trícium felezési ideje 12,26 év.)
 - Átlagosan hány százalékkal növeli ez meg a Duna vizének természetes, (1 Bq/liter) trícium aktivitáskoncentrációját? (Tegyük fel, hogy az összes kibocsátott trícium a Dunába kerül, és a kibocsátás évközben egyenletes. A Duna átlagos vízhozama $2000 \text{ m}^3/\text{s}$.)
9. **Feladat:** A természetben található stabil atommagokat négy csoportba oszthatjuk aszerint, hogy páros-e a protonjaik, illetve neutronjaik száma.

Z (protonszám)	N (neutronszám)	Magok száma
Páros	Páros	141
Páratlan	Páros	45
Páros	Páratlan	51
Páratlan	Páratlan	5

Tegyük fel, hogy a Föld keletkezésekor is ezen arányoknak megfelelően keletkeztek.

Jelenleg a természetes uránban az ^{235}U aránya 0,71%. Az ^{235}U felezési ideje $T_1 = 7,13 \cdot 10^8$ év, a ^{238}U felezési ideje $T_2 = 4,51 \cdot 10^9$ év. Becsülje meg a Föld életkorát ezen ismeretek felhasználásával!

10. **Feladat:** Ismeretes, hogy nyugalmi tömeggel rendelkező részecske nem érheti el a vákuumbeli fénysebességet. Semmi sem tiltja azonban, hogy egy részecske gyorsabban haladjon egy *közegben*, mint a fény az adott közegben. Ha ez elektromos töltésű részecskével következik be, érdekes jelenség történik: a fénynél gyorsabban haladó részecske fényt bocsát ki. Ez a Cserenkov sugárzás. Atomreaktorok hűtővizé szép kék színnel világít az aktív zóna közelében a Cserenkov sugárzás következtében. Ez egy „térfogati” jellegű sugárzás, nem a fűtőelemek felszíne világít!
- Milyen részecskéktől származhat ez a sugárzás?
 - Legalább mekkora energiájúnak kell lenni ezeknek a részecskéknek ahhoz, hogy a vízben Cserenkov sugárzást hozzanak létre?
 - Vajon honnan vannak ilyen energiájú részecskék a reaktorok hűtővizében az aktív zóna közelében?

B) A DÖNTŐ FELADATAI (Paks, 2003. április 29.)

a) ELMÉLETI FELADATOK

A feladatok megoldásához 180 perc áll rendelkezésre. Minden segédeszköz használható. Minden feladatot külön lapra írjon, s minden lapon legyen rajta a megoldó neve, osztálya és iskolája. A feladatok nehézségi sorrendben vannak.

1. feladat.

A Paksi Atomerőmű működése óta 2002. dec. 31-ig 240231 GWh energiát termelt. Mennyi oxigént fogyasztottak volna a szénerőművek, ha ezt az energiát szénerőművekkel állítottuk volna elő? (Az energiaátalakítás átlagos hatásfokát vegyük 30%-nak)

(5 pont)

2. feladat

Egy beteg 3,33 MBq aktivitású ^{131}I injekciót kapott. A ^{131}I felezési ideje 8,1 nap.

- 30 nap elteltével mekkora aktivitású izotóp marad a beteg testében, ha az anyagcsere folyamatok 128 nap alatt ürítik ki a jód felét a szervezetből?
- Vajon miért adták be a betegnek ezt a különleges izotópot? (5 pont)

3. feladat.

Egy 1 MeV kezdeti energiával keletkezett hasadási neutron grafit-moderátorban bolyong, és sorozatosan ütközik szén atommagokkal. Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy a szén atommagok nem mozognak (0 K közelére hűtött grafit), valamint, hogy minden ütközés egyenes ütközés.

- Mozgási energiájának hányad részét veszíti el a neutron az első ütközésben?
- Legalább hányszor kell ütköznie, hogy mozgási energiája 0,025 eV („szobahőmérséklet”) alá csökkenjen? (5 pont)

4. feladat

Egy Geiger-Müller számláló holtideje az az idő, amely eltelik egy részecske érzékelése után addig, amíg a cső újra képes lesz a detektálásra. Egy adott csőnél ez a holtidő $\tau = 2 \cdot 10^{-4}$ s. Egy mérés során ez a cső átlagosan $3 \cdot 10^4$ beütést számolt percenként. Becsüljük meg, hogy mekkora a tényleges beütésszám! (5 pont)

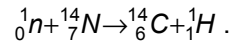
5. feladat

A CANDU reaktorokban a moderáló közeg nagy tisztaságú (pl. 99,9%) nehézvíz. Ilyen nagy dúsítást csak több lépésben lehet előállítani. A Turnu Severinben (Románia) működő nehézvízüzemben a dúsítás első lépése azon a tapasztalati tényen alapul, hogy a kénhidrogén (H_2S) gáz és a folyékony halmazállapotú H_2O közötti folyadék-gáz határfelületen izotópcseré játszódik le. Az izotópcseré iránya függ a hőmérséklettől: 30 °C körüli hőmérsékleten a könnyű hidrogén megy a gázba a nehézhidrogén helyére, 130 °C körüli hőmérsékleten pedig a csere fordított irányú.

- Tervezzünk ezek alapján olyan körfolyamatot, amelynek segítségével a nehézhidrogén aránya feldúsítható
- Milyen egyéb módszerek vannak a nehézhidrogén dúsítására? (5 pont)

6. feladat

A légkör felső rétegében a kozmikus neutronok nitrogén atommagokkal történő ütközésekor keletkeznek a radioaktív ^{14}C (radiokarbon) atommagok az alábbi magreakcióval



Tekintsünk egy 1 cm^2 alapterületű hasábot, amely fölnyúlik a Föld felszínétől egészen a légkör felső határáig. Ebben a hasáiban átlagosan 2 új radiokarbon atommag keletkezik másodpercenként a fenti reakció eredményeképpen. A keletkezett radioaktív szénizotóp széndioxidá oxidálódik, és részt vesz a légkör és a földi élővilág közötti körforgásban. Hosszú idő alatt egyensúly áll be a légkörben lévő radiokarbon atommagok bomlása és a fenti reakcióval történő keletkezése között. Ennek eredményeképpen a radiokarbon atommagok aránya a stabil szén-atommagokhoz időben állandónak tekinthető. Ennek értéke $1,2 \cdot 10^{-12}$.

- a) Becsüljük meg, hogy mekkora tömegű radioaktív ^{14}C izotóp van a hidro- bio- és atmoszférában együttesen?
- b) Az emberi tevékenység (pl. ipari, közlekedési széndioxid kibocsátás) hogyan változtatja meg az előbb említett $1,2 \cdot 10^{-12}$ arányt?
- c) A b) pontban említett változás okozhat-e hibát a ^{14}C -en alapuló régészeti kormeghatározásokban? Indokoljuk meg a választ. Igen válasz esetén azt is mondjuk meg, hogy fiatalabbnak vagy idősebbnek látszanak-e a régészeti leletek a valódi koruknál? **(5 pont)**

7. feladat

Milyen lenne a világ, ha a magerő éppúgy hosszú hatótávolságú lenne, mint a Coulomb-erő és a gravitáció? (kitűzte: Marx György †) **(5 pont)**

8. feladat

A ^{235}U hasadásából származó neutronok átlagos élettartama egy reaktorban nagyon rövid, mindössze néhány száz mikroszekundum ($\sim 10 \dots 100 \cdot 10^{-6}$ s). Tehát a neutrongenerációk nagyon gyorsan követik egymást, a láncreakció nagyon gyors lefolyású. Az atomreaktorokban a szabályozó rudak elektromechanikus eszközök, amelyek mozgatása másodperces időskálán mérhető. Hogyan lehetséges mégis, hogy ilyen lassú eszközökkel biztonságosan szabályozni lehet a láncreakciót? **(5 pont)**

9. feladat

Elektronok igen nagy energiára történő felgyorsításához lineáris gyorsítóban kevesebb energia szükséges, mint ciklikus berendezésekkel. Vajon miért? Hasonlítsuk össze ilyen szempontból az ugyanolyan energiára felgyorsított protonokat és elektronokat! **(5 pont)**

10. feladat

Képzeljünk el egy kétdimenziós világot! Melyek lennének ebben a világban a mágikus atommagok? **(5 pont)**

b) KÍSÉRLETI FELADAT

Porkeverék kálium-klorid (KCl) tartalmának meghatározása

A rendelkezésre álló idő (120 perc) alatt határozd meg minél pontosabban egy porkeverék KCl koncentrációját!

A méréshez a következő anyagok állnak rendelkezésedre:

Az 1-5-ig számozott tálcákon porkeverékek vannak, amelyek KCl koncentrációja (tömegszázalékban megadva) és tömege a következő:

Tiszta (100%) KCl, tömege 100g
50 tömeg %-os KCl, tömege 100g
25 tömeg %-os KCl, tömege 100g
ismeretlen koncentrációjú KCl, tömege 100g
az előzővel azonos koncentrációjú KCl, tömege 200g

Sajnos az előkészítés során elveszett a papír, amelyre fel volt írva, hogy melyik tálcán melyik anyag van. Tömegmérés alapján utólag egyedül azt lehet megállapítani, hogy a 200 g tömegű minta az 5-ös számú tálcán van.

Határozd meg az ismeretlen koncentrációt és annak hibáját, valamint a koncentrációk helyes sorrendjét! Indokold az általad felállított sorrendet!

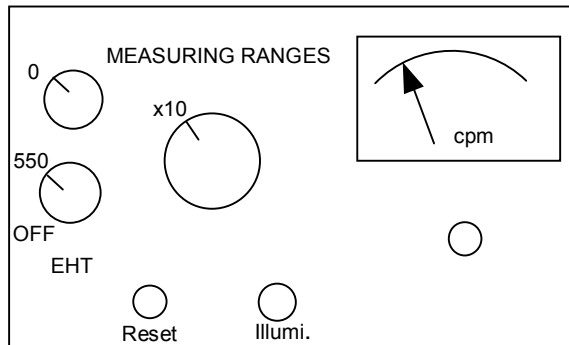
A zsűri a mérés menetéről, s a következtetéseidről készített feljegyzéseidet is értékeli!

A feladat végrehajtásához rendelkezésre áll: 1 db felületi szennyezettséget mérő műszer. (POLON vagy IH-95 típusok egyike)

FONTOS megjegyzések:

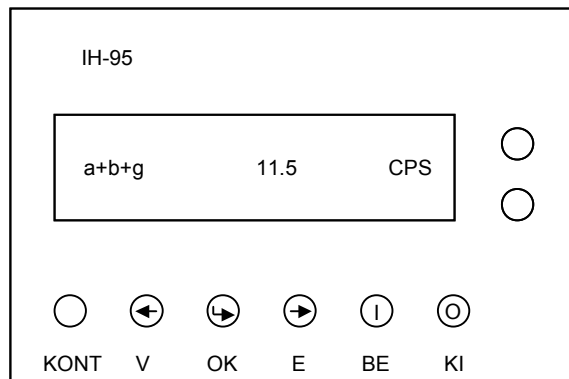
1. Kérjük, hogy a tálcán lévő porkeverékekhez ne nyúlj hozzá, azokat ne tapogasd, és ne keverd össze a tálcák tartalmát.
2. A műszer használatakor a mellékelt használati útmutatóban leírtak szerint járj el!
3. Külön felhívjuk a figyelmedet arra, hogy a műszerek használati útmutatóiban jelzett értékek névleges értékek, a tényleges értékek ettől kissé eltérőek is lehetnek. Ezért pl. mindig gondosan várd ki a tényleges beállási időt, amely a Te műszeredre jellemző.

Használati útmutató a POLON univerzális radiométerhez



1. Bekapcsoljuk a műszert az "EHT" gomb 550V állásba való elfordításával. Vigyázzon, ne fordítsa tovább a gombot, mert a GM-csőre adott nagyobb feszültség a berendezést tönkretelheti.
2. A méréshatárt ("Measuring ranges") helyesen kell megválasztani. Jelen méréshez az optimális méréshatár a 10x-es. Ehhez a gombot a sáv kivastagított vonalához kell fordítani.
3. A műszer a percenkénti beütésszámot méri, így kellő ideig kell mérni ahhoz, hogy a műszer mutatója a helyes értéket mutassa.
4. A mérést azzal kezdjük, hogy a fogantyús, GM-csőket tartalmazó érzékelő lapot a mintára helyezük, majd a kellő idő után a mért értéket leolvassuk. Ne feledkezzen el a mért értékek hibájának feltüntetéséről sem.
5. A mérési jegyzőkönyvben tüntesse fel, hogy a POLON univerzális radiométert használta.
6. A mérés végén kapcsolja ki a műszert az "EHT" gomb "Off" állapotba forgatásával.

Használati útmutató az IH-95 mérőműszerhez



1. A tokjából kiemelt műszert bekapcsoljuk az "I" (In = Bekapcsolás) gomb megnyomásával.
2. A kijelzőn a bekapcsolás után egy rövid idő múlva az "a+b+g" felirat látható. Ez az üzemmód szükséges a méréshez. (a+b+g = alfa + béta+gamma)
3. A műszer kb. 5 másodpercig mér, s utána kijelzi a másodpercenkénti beütésszámot. Megbízható méréshez minden mintát többször (kb. 10-szer) mérjen meg, s azok átlagát használja. A mérési jegyzőkönyvben tüntesse fel a nyers mérési adatokat is. Ne feledkezzen el a mért értékek hibájának feltüntetéséről sem.
4. A mérést a műszer mintára való helyezésével kell kezdeni. Vigyázzon, hogy az érzékeny felületen lévő fóliát ne sértse meg!
5. A mérési jegyzőkönyvben tüntesse fel, hogy a méréshez az IH-95 mérőműszert használta.
6. A mérés befejezése után a műszert az "O" (Out = Kikapcsolás) gombbal kapcsolja ki. A többi gombot ne használja.

c) SZÁMÍTÓGÉPES FELADAT

Megegyezik az 1999. évi 2. verseny számítógépes feladatával. Lásd az ott megadott útmutatást!

— C) AZ 1. FORDULÓ FELADATAINAK MEGOLDÁSA —

1. 1933-ban a The Times-ban olvasta Lord Rutherford véleményét: "mindenki, aki az atomenergia ipari léptékű felszabadításáról beszél, holdkóros". Ezen gondolkodva jutott a láncreakció gondolatára. Először a berilliumra gondolt, mivel tudta, hogy a ${}^8\text{Be}$ nem stabil, hanem szétesik két α -részecskére. A természetben található ${}^9\text{Be}$ -et egy többlet-neutron éppen csak stabilizálja, ezért Szilárd azt remélte, hogy neutron hatására bomlani fog, és így 2 neutron keletkezik. Amikor kiderült, hogy ez nem megy, a periódusos rendszer minden elemét szisztematikusan végig akarta próbálni.
2. a) A fólia β -sugárforrás és detektor között halad át, és a sugárzás intenzitásának változása alkalmas a vastagság ellenőrzésére.
- b) A foszfortartalmú műtrágyát 14,3 nap felezési idejű, β -bomló ${}^{32}\text{P}$ -izotóppal jelölik meg, és a növényekben felhalmozott izotóp aktivitását és az aktivitás időbeli változását mérik.
- c) A hímnemű legyeket sugárzással sterilizálják. Ez a megoldás jobb, mint ha megölnék őket, mert egy hímnemű légy nagyon sok nőneművel párosodik, viszont a nőneműek csak egyetlen hímmel. Ezért azoknak a nőnemű legyeknek, amelyek a sterilizált hímnemű legyekkel párosodtak, nem lesznek utódaik. Ha pedig a befogott hímeket elpusztították volna, akkor a nőstények találtak volna más hímeket, és tovább szaporodtak volna.

- d) A szervezetbe valamilyen pozitronbomló anyagot (pl. ^{18}F -at) tartalmazó cukortartalmú vegyületet (glükózt) juttatunk. A rákos sejtek anyagcseréje gyorsabb, mint az egészségeseké (több tápanyagra van szükségük), ezért a glükóz feldúsul bennük. A daganat helyét a pozitronbomlást követő annihiláció gammafoton párojainak detektálásával lehet meghatározni. Az izotóp feldúsulásának helyét a több irányból detektált fotonpárok által meghatározott egyenesek metszéspontja adja. Ez a pozitron emissziós tomográfia (PET) alapelve.
3. A radon bomlásából származó leányelemek rövid felezési idejű fémizotópok. Ezek kitapadnak a levegőben található aeroszókra, porszemekre. Ezeket belélegezve, a tüdőben megtapadnak és a többségük által kibocsátott α -részecskék a tüdő hólyagocskáinak falát roncsolva rákot okoznak.
4. A 7 éves whisky aktivitása:

$$A_7 = A_0 \cdot 2^{-\frac{t_1}{T_{1/2}}} \quad \text{vagy} \quad A_7 = A_0 \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t_1\right)$$

A 100 évesnek "mondott" whisky aktivitása:

$$A_{100} = A_0 \cdot 2^{-\frac{t_2}{T_{1/2}}} \quad \text{vagy} \quad A_{100} = A_0 \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t_2\right)$$

A feladat szerint: $A_{100} = 0,03A_7$. Ennek figyelembevételével:

$$A_0 \cdot 2^{-\frac{t_2}{T_{1/2}}} = 0,03A_0 \cdot 2^{-\frac{t_1}{T_{1/2}}} \quad \text{vagy} \quad A_0 \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t_2\right) = 0,03A_0 \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t_1\right)$$

Ezekből t_2 :

$$t_2 = \left(\frac{\lg 2}{T_{1/2}} t_1 - \lg 0,03\right) \frac{T_{1/2}}{\lg 2} \quad \text{vagy} \quad t_2 = \left(\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t_1 - \ln 0,03\right) \frac{T_{1/2}}{\ln 2}.$$

Mivel $t_1 = 7 \text{ y}$ és $T_{1/2} = 12,3 \text{ y}$, ezért

$$t_2 = \left(\frac{\lg 2}{12,3 \text{ y}} \cdot 7 \text{ y} - \lg 0,03\right) \cdot \frac{12,3 \text{ y}}{\lg 2} = 69,22 \text{ y} \approx 70 \text{ y}.$$

Tehát a hajó nem lehet 100 éve a víz alatt, legrégebben 70 éve süllyedhetett el.

5. Az alumínium-atommag kötési energiáját a tömegdefektus értékét felhasználva számíthatjuk ki: a magot alkotó részecskék számának megfelelő különálló protonok és neutronok tömegét összeadjuk, és kivonjuk belőle az alumínium-atommag tömegét.

A részecskék tömegértékei:

$$m_{\text{Al-atom}} = 26,9815 m_u = 26,9815 \cdot 1,660531 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$M_n = 1,67482 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad m_p = 1,67252 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad m_e = 9,109534 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

Az alumínium atommagjában 13 proton és 14 neutron található. A tömeghiány:

$$m = (m_{\text{Al-atom}} - 13m_e) - (13m_p + 14m_n).$$

Figyelembe kellett venni, hogy az alumíniumatom 13 elektront is tartalmaz.

A tömegértékek behelyettesítése után Δm -re $3,98465 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$ értéket kapunk.

Az összes kötési energia: $c^2 \cdot \Delta m = 0,3581 \text{ pJ}$.

Egy nukleonra jutó kötési energia pedig:

$$\frac{0,3581 \text{ pJ}}{27} = 1,33 \text{ pJ}.$$

6. a) Mivel adott hőmérsékleten mindkét részecskének ugyanakkora a mozgási energiája, így annak nagyobb a sebessége, amelyiknek kisebb a tömege. Vagyis az ^{235}U -izotópot tartalmazó molekulának.

b) Az ^{235}U -izotópot tartalmazó molekula móltömege:

$$M_{235} = (235 + 6 \cdot 19) \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 349 \frac{\text{g}}{\text{mol}},$$

az ^{238}U -atomot tartalmazó molekuláé pedig: $M_{238} = 352 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$.

A mozgási energiák segítségével:

$$\frac{1}{2} m_{235} \cdot v_{235}^2 = \frac{1}{2} m_{238} \cdot v_{238}^2 \rightarrow \frac{v_{235}}{v_{238}} = \sqrt{\frac{m_{238}}{m_{235}}} = \sqrt{\frac{M_{238}}{M_{235}}} = 1,0043.$$

7. a) A ^{14}C -izotópot a kozmikus sugárzás hatására keletkezett nagy energiájú neutronok hozzák létre a nitrogén atommagjaiból. A légkörben a C-14-izotóp folyamatosan bomlik, de újra is keletkezik; egyensúly áll be. Az élő szervezetek anyagcseréjük során szintén egyensúlyba kerülnek a környezettel, bennük ugyanolyan arányban lesznek ^{14}C -atommagok. Ha az élő szervezetek elpusztulnak, bennük az anyagcsere leáll, a bomló ^{14}C csak fogy, és nem pótlódik. A fogyatkozás arányából az anyagcsere megszűnésének idejét meg lehet becsülni.

A radioaktív bomlási törvény szerint az aktivitás a következő összefüggés szerint változik a t idővel:

$$A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \quad \text{vagy} \quad A = A_0 \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right).$$

A megadott értékkel:

$$0,692 A_0 = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \quad \text{vagy} \quad 0,692 A_0 = A_0 \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right)$$

$$t = -\frac{\lg 0,692}{\lg 2} T_{1/2} \quad \text{vagy} \quad t = -\frac{\ln 0,692}{\ln 2} T_{1/2}.$$

Az ismert felezési idővel:

$$t = -\frac{\lg 0,692}{\lg 2} \cdot 5730 \text{ y} = 3044 \text{ y}.$$

- b) A mérésnél a $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ arányt kell meghatározni. Minden más anyag felesleges, és egyben "zavar" is. Nem lehet a mérést pl. ugyanarra a tömegegységre vonatkoztatni. Egy friss növényből vett mintában például biztosan több a

nedvesség, mint egy több ezer éves, kiszáradt, valamikori emberi szervezetben. Nem is beszélve az egyéb elemi összetevőkről. Tehát valahogyan mindkét mintából ki kell nyerni **CSAK** a széntartalmat, és csak az azonos mennyiségű szénmintákat szabad összehasonlítani. A "széntartalom" kinyerése leggyakrabban égetéssel történik, eredményeként a szénből CO_2 lesz. Még ekkor is el kell azonban választani a keletkezett szén-dioxidot az egyéb, az égés során keletkezett gázoktól. Csak ezt követően szabad megmérni és összehasonlítani a szén-dioxidot.

8. A trícium aktivitását A -val, móltömegét M -mel, felezési idejét $T_{1/2}$ -vel, a trícium-atommagok számát N -nel jelöljük.

$$a) \quad m = \frac{N}{N_A} M = \frac{A}{\ln 2} \cdot T_{1/2} \cdot \frac{M}{N_A}$$

$$m = \frac{1,5 \cdot 10^{13} \frac{1}{\text{s}}}{\ln 2} \cdot 12,3 \cdot 3,156 \cdot 10^7 \text{ s} \cdot \frac{3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}} = 4,185 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \approx 40 \text{ mg}.$$

- b) Legyen a Duna vizének aktivitás-koncentrációja A_C . Ezzel

$$A_C = \frac{1,5 \cdot 10^{13} \frac{1}{\text{s}}}{3,156 \cdot 10^7 \text{ s}} \cdot \frac{1}{2 \cdot 10^3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 2,376 \cdot 10^2 \frac{1}{\text{s} \cdot \text{m}^3} \approx 0,24 \frac{\text{Bq}}{\text{l}}.$$

Tehát a Duna vizének tríciumtól eredő aktivitás-koncentrációja mintegy 0,24 százalékkal növekszik.

Megjegyzés. Ez azért tűnik jelentősnek, mivel rendkívül kicsi az eredeti koncentráció. A megadott érték csak egy átlag, amely helyenként és időszakonként jelentősen változhat.

9. Jelölje $N_{1,0}$ a kezdetben keletkezett U-235-magok számát, $N_{2,0}$ pedig az U-238-atommagok kezdeti számát. Jelenleg U-235-ből

$$N_1 = N_{1,0} \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2,1}}} \quad \text{vagy} \quad N_1 = N_{1,0} \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2,1}} t\right)$$

^{238}U -ból pedig

$$N_2 = N_{2,0} \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2,2}}} \quad \text{vagy} \quad N_2 = N_{2,0} \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2,2}} t\right)$$

van. Napjainkra az ^{235}U mennyisége a maradék ^{238}U mennyiségének 0,71 %-a:

$$N_1 = 0,0071 N_2.$$

A bomlástörvényekből:

$$\frac{N_{1,0}}{0,0071N_{2,0}} = 2^{\left(-\frac{t}{T_{1/2,2}} + \frac{t}{T_{1/2,1}}\right)} \quad \text{vagy}$$

$$\frac{N_{1,0}}{0,0071N_{2,0}} = \exp\left[\left(-\frac{1}{T_{1/2,2}} + \frac{1}{T_{1/2,1}}\right) \cdot (\ln 2)t\right].$$

A feladatban megfogalmazott feltételezés szerint

$$\frac{N_{1,0}}{N_{2,0}} = \frac{51}{141},$$

hiszen az ^{235}U páros-páratlan, az ^{238}U pedig páros-páros atommag. Ezért a korábban kapott összefüggés bal oldala:

$$\frac{51}{0,0071 \cdot 141} = 50,49.$$

A két uránizotóp felezési ideje: $T_{1/2,1} = 7,13 \cdot 10^8$ y és $T_{1/2,2} = 4,51 \cdot 10^9$ y

Ezek felhasználásával

$$\lg 50,94 = t \cdot \left(\frac{T_{1/2,2} - T_{1/2,1}}{T_{1/2,1} \cdot T_{1/2,2}}\right) \cdot \lg 2 = 4,802 \cdot 10^9 \text{ y}.$$

A bomlástörvény másik formáját alkalmazva is $4,8 \cdot 10^9$ év értéket kapunk.

10. a) A feladat magyarázó része is említette, hogy ezt a fajta sugárzást csak elektromosan töltött részecskék válthatják ki. Ezért csak a következő részecskék jöhetnek szóba: elektronok (pozitronok), hasadványok és meglökött atommagok. A Cserenkov-sugárzás kiváltásához nagyon nagy sebességű részecskék kellene, hiszen a sebesség az a fizikai mennyiség, amely számít. A nagy sebességhez tartozó mozgási energia is nagy, mégpedig minél nagyobb a tömeg, annál nagyobb. Ha tehát E energiájú elektronok váltják ki a Cserenkov-sugárzást, akkor $1836E$ energiájú protonok, és még majdnem két nagyságrenddel nagyobb energiájú hasadványok. A fénysebességhez közeli sebességű elektronok is már elég nagy energiájúak (ld. a b) pontot), ezért nagy biztonsággal állíthatjuk, hogy atomreaktorokban nem fordulnak elő olyan óriási energiájú protonok és hasadványok, amelyek Cserenkov-sugárzást okozhatnának. Az atomreaktorokban — éppen az előbbieket miatt — tehát a nagyon nagy sebességű elektronok okozzák a Cserenkov-sugárzást.
- b) Mivel az elektronok sebessége megközelíti a fénysebességet, ezért mindenféleképpen relativisztikus energia-összefüggéssel kell számolnunk. A mozgási energia kifejezése:

$$E = mc^2 - m_0c^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0c^2.$$

Az összefüggésben m_0 az elektron nyugalmi tömege. Mivel a víz törésmuta-

tója $\frac{4}{3}$, ezért

$$\frac{v^2}{c^2} = \left(\frac{3}{4}\right)^2 = \frac{9}{16}.$$

Ennek az adatnak a segítségével:

$$E = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{9}{16}}} - 1 \right) = m_0 c^2 \left(\frac{1}{0,6614} - 1 \right) = 0,5119 m_0 c^2.$$

Mivel az elektron nyugalmi tömegének 0,511 MeV energia felel meg, ezért
 $E \approx 262 \text{ keV}.$

Látható, hogy ha meglökött protonok hoznák létre a Cserenkov-sugárzást, akkor azoknak legalább $1836 \cdot 262 \text{ keV} = 481 \text{ MeV}$ energiájúaknak kellene lenniük. Ilyen energiájú részecskék nem keletkezhetnek a maghasadások, ahol az összes felszabaduló energia alig valamivel több, mint 200 MeV. Ráadásul az nem is protonok meglökésére fordítódik. (A kozmikus sugárzásban azonban vannak ennél sokkal nagyobb energiájú protonok is. Az űrhajósok be is számolnak apró felvillanások észleléséről. Jelenlegi elképzeléseink szerint ezeket a szem csarnokvizében a nagy energiájú protonok okozta Cserenkov-sugárzás hozza létre.)

- c) Honnan vannak az aktív zóna vizében 262 keV-nél nagyobb energiájú elektronok? Az első — legkézenfekvőbb — magyarázat az, hogy a hasadási termékek béta-bomlásakor kilépő elektronok kijutnak a fűtőelemekből és a vízben Cserenkov-sugárzást hoznak létre. A fűtőelemek és az őket körülvevő fémburkolat azonban valószínűleg sok elektront elnyel, így azok jelentős része nem tud kijutni a vízbe. Ha így lenne, akkor ez a sugárzás csak a fűtőelemek felszíne közelében lenne megfigyelhető. Tőle néhány mm-re azonban már nem, hiszen az ilyen energiájú elektronok hatótávolsága vízben kb. ekkora. A megfigyelések szerint azonban a Cserenkov-sugárzás "térfogati" jellegű sugárzás, és nem korlátozódik a fűtőelemek felszínének a közelébe. Emiatt a Cserenkov-sugárzást létrehozó elektronok nagy részének már a vízben kell keletkeznie: a fűtőelemek erős gamma-sugárzása a vízben Compton-szórással illetve fotoeffektussal elektronokat lök meg, amelyek így nagy energiára tesznek szert. Nagyon nagyra, mint 262 keV. Mivel a gamma-sugarak hatótávolsága a vízben sokkal nagyobb, mint az elektronoké, ezért ez azt is megmagyarázza, hogy miért nem csak a fűtőelemek felületének a közelében figyelhető meg ez a sugárzás.

— D) A DÖNTŐ ELMÉLETI FELADATAINAK MEGOLDÁSA —

1. Adatok: $E = 240231 \text{ GWh} = 2,40231 \cdot 10^{14} \cdot 3,6 \cdot 10^3 \text{ Ws} = 8,648 \cdot 10^{17} \text{ J}$
 $\eta = 0,3$

$$H_{\dot{e}} = 10,47 \dots 12,98 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = (10,47 \dots 12,98) \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad (\text{a barnaszén égéshője})$$

A szén m tömegét a következőképpen számíthatjuk:

$$E = \eta \cdot m \cdot H_{\dot{e}} \rightarrow m = \frac{E}{\eta \cdot H_{\dot{e}}}$$

Felső becslés (kisebb fűtőértékkel számolva):

$$m = \frac{8,648 \cdot 10^{17} \text{ J}}{0,3 \cdot 1,047 \cdot 10^7 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 2,753 \cdot 10^{11} \text{ kg}$$

Alsó becslés (nagyobb fűtőértékkel számolva):

$$m = \frac{8,648 \cdot 10^{17} \text{ J}}{0,3 \cdot 1,298 \cdot 10^7 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 2,221 \cdot 10^{11} \text{ kg}$$

A szén-dioxid-molekulában az oxigén és a szén tömegeinek aránya: $\frac{32}{12} = 2,667$.

Emiatt az égéshez szükséges oxigén mennyisége

- legalább $2,667 \cdot 2,221 \cdot 10^{11} \text{ kg} = 5,923 \cdot 10^{11} \text{ kg} = 592,3$ millió tonna,

- legfeljebb $2,667 \cdot 2,753 \cdot 10^{11} \text{ kg} = 7,341 \cdot 10^{11} \text{ kg} = 734,1$ millió tonna!

2. Adatok: $T_f = 8,1 \text{ d}$ $T_b = 128 \text{ d}$ $A_0 = 3,33 \text{ MBq} = 3,33 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{s}}$ $t = 30 \text{ d}$

a) Az aktivitás csökkenése a bomló atommagok számának csökkenésével egyenesen arányos. Mivel a csökkenés két egymástól független, véletlenszerű folyamat eredménye, ezért az aktív atommagok számának időbeli megváltozása:

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda_f N - \lambda_b N = -(\lambda_f + \lambda_b) N = -\lambda_{\text{eff}} N$$

Látható, hogy $\lambda_{\text{eff}} = \lambda_f + \lambda_b$, ezért az effektív felezési időre a következő összefüggést kapjuk:

$$\lambda_{\text{eff}} = \frac{\ln 2}{T_{\text{eff}}} = \frac{\ln 2}{T_f} + \frac{\ln 2}{T_b} \rightarrow T_{\text{eff}} = \frac{T_f \cdot T_b}{T_f + T_b} = 7,618 \text{ d}$$

Az aktivitás:

$$A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{\text{eff}}}} \quad \text{vagy} \quad A = A_0 \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{\text{eff}}} t\right)$$

Bármelyik összefüggéssel számolva, az aktivitásra 217,3 kBq értéket kapunk.

b) Mivel a jód a pajzsmirigyben gyűlik össze, valószínűleg valamilyen pajzsmirigy-betegsége van.

3. Adatok: $m_1 = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ $m_2 = 1,992 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$

Jelöljük a neutron kezdeti sebességét v_1 -gyel, ütközés utáni sebességét u_1 -gyel, a szén-atommag ütközés utáni sebességét v_2 -vel!

a) A rugalmas egyenes ütközésre felírható összefüggések:

$$m_1 v_1 = m_1 u_1 + m_2 v_2 \quad [\text{a lendület(impulzus)megmaradás miatt}],$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 u_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \quad [\text{az energiamegmaradás miatt}].$$

A két összefüggés felhasználásával kapjuk:

$$u_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 \rightarrow \frac{u_1}{v_1} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$$

Az ismert tömegértékekkel:

$$\frac{u_1}{v_1} = \frac{1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg} - 1,992 \cdot 10^{-26} \text{ kg}}{1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg} + 1,992 \cdot 10^{-26} \text{ kg}} = -0,8449.$$

A mozgási energiák aránya a sebességek négyzeteinek az arányával egyezik meg, ezért

$$\left(\frac{u_1}{v_1} \right)^2 = 0,7138.$$

Az új mozgási energia az ütközés előttinek 71,38 %-a, ezért az energiavesztés 28,62 %.

b) Az ütközések következtében maradt energia a feladat által megadott ideális esetben egy mértani sorozat elemeiként számítható.

$$a_1 = 10^6 \text{ eV} \quad a_n = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ eV} \quad q = 0,7138$$

Felhasználva az $a_n = a_1 \cdot q^{(n-1)}$ összefüggést:

$$2,5 \cdot 10^{-2} \text{ eV} = 10^6 \text{ eV} \cdot 0,7138^{(n-1)} \rightarrow 2,5 \cdot 10^{-8} = 0,7138^{(n-1)}$$

$$\lg 2,5 - 8 = (n-1) \cdot \lg 0,7138 \rightarrow n = 51,92$$

Tehát legalább 52-szer kell ütköznie a neutronnak.

4. Jelentse n_1 a mért beütésszámot, n_2 a korrigált beütésszámot és τ a holtidőt.

$$n_1 = 3 \cdot 10^4 \frac{1}{\text{min}} \quad \tau = 2 \cdot 10^{-4} \text{ s} \quad n_2 = ?$$

A holtidő azt jelenti, hogy minden ténylegesen detektált beütés után τ ideig nincs detektálás. Ezért az összes holtidő 1 perc alatt:

$$t = \tau \cdot n_1 \quad t = 2 \cdot 10^{-4} \text{ s} \cdot 3 \cdot 10^4 = 6 \text{ s}.$$

Vagyis az „élőidő”: $60 \text{ s} - 6 \text{ s} = 54 \text{ s}$.

A teljes beütésszám:

$$n_2 = \frac{60 \text{ s}}{54 \text{ s}} n_1 = 3,333 \cdot 10^4.$$

Tehát a korrigált beütésszám $3,333 \cdot 10^4$.

5. a) Olyan tornyot kell készíteni, amelyben a víz szemben áramlik a felfelé buborékoló kénhidrogénnel (az ellenáram elve!). A feladatban jelzett fázishatárt a

buborékok felszíne jelenti. Gondoskodni kell a két különböző hőmérsékletről is, hogy a folyamatok megfelelő irányban menjenek végbe.

A hideg (30 °C hőmérsékletű) víz lefelé áramlik a toronyban, és az alacsonyabb hőmérsékleten deutériumot vesz fel a kénhidrogénből. Lefelé haladva a vizet felmelegítjük (130 °C), amikor is deutériumot ad le a kénhidrogénnek. Ilyen tornyok sorozatát készítjük el. A meleg és a hideg vizet tartalmazó részek között a deutériumban szegény kénhidrogént vezetjük a toronyba a következő toronyból, és itt vezetjük ki a deutériumban dúsított gázt a következő toronyba.

b) Egyéb módszerek:

- elektrolízis és a víz vákuumdesztillációja;
- folyékony hidrogén desztillációja;
- ammónia és hidrogén közötti katalizált izotópcseré.

6. a) $R = 6370 \text{ km} = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$ $T_{1/2} = 5568 \text{ y} = 1,757 \cdot 10^{11} \text{ s}$

Mivel egyensúly van, ezért másodpercenként ugyanannyi radiokarbon atommagnak kell keletkeznie, mint amennyi elbomlik. A keletkezett atommagok száma másodpercenként:

$$N_k = 2 \cdot 4\pi \cdot R^2 = 1,020 \cdot 10^{19} . \quad (R^2 \text{ értékét cm}^2\text{-ben kell behelyettesíteni!})$$

Az időegység alatti bomlások száma, ha N_0 -al jelöljük a meglévő atommagok számát:

$$N_b = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N_0 .$$

Az egyensúly miatt $N_k = N_b$, így

$$1,02 \cdot 10^{19} = \frac{\ln 2}{1,757 \cdot 10^{11} \text{ s}} \cdot N_0 \rightarrow N_0 = 2,586 \cdot 10^{30} .$$

Egyensúlyban a ^{14}C -atommagok száma $2,586 \cdot 10^{30}$.

Mivel $6,022 \cdot 10^{26}$ atommag tömege 14 kg, ezért az összes tömeg:

$$m = \frac{2,586 \cdot 10^{30}}{6,022 \cdot 10^{23}} \cdot 14 \text{ kg} = 6,012 \cdot 10^4 \text{ kg} \approx 60 \text{ t} .$$

Jóllehet a radiokarbon csak a légkörben keletkezik, onnan azonban hamarosan bemosódik a tengerekbe és bekerül az élő szervezetekbe. Ezek a folyamatok sokkal gyorsabbak, mint a radiokarbon bomlásának felezési ideje. Ezért az előbbieken kapott érték a körforgásban részt vevő, teljes (hidro-, bio- és atmoszférában található) egyensúlyi mennyiséget adja, nem csak a légkörben lévő radiokarbon mennyiségét.

b) A fosszilis tüzelőanyagok elégetése során olyan szén szabadul fel, amelyben a radiokarbon már elbomlott, koncentrációja lecsökkent. Így ezzel felborul a természetes arány (kisebb lesz a C-14 aránya).

c) Mivel az előbbieken miatt a levegőben a radiokarbon koncentrációja kisebb, mint régen volt, a leletekben meglévő arány nagyobbak tűnik. Emiatt azok fiatalabbnak látszanak!

Megoldás: az északi sarki — ismert életkorú — jégből mélyfúrással mintát veszünk, és a benne lévő légbuborékok összetétele alapján korrigáljuk a méréseket.

7. Mind a gravitációs vonzóerő, mind a Coulomb-féle erő a távolság négyzetével fordítottan arányos. Pl. az utóbbi felírható a következő alakban:

$$F = k_0 \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} .$$

Q_1 és Q_2 a kölcsönhatásban részt vevő "elektromos töltéseket", r a közöttük lévő távolságot és k_0 a vákuumban $9 \cdot 10^9 \frac{V \cdot m}{C}$ értékű állandót jelenti.

A gravitáció csak vonzó kölcsönhatást tud létesíteni, a Coulomb-erő azonban lehet vonzó és taszító kölcsönhatást kifejező is.

A Coulomb-erő sok nagyságrenddel "erősebb", mint a gravitációs erő. Az, hogy a gravitáció mégis érvényesülni tud, annak köszönhető, hogy az elektromos töltések között vannak pozitív és negatív előjelűek is, amelyek egymás hatását ki tudják egyenlíteni. Más szóval: a gravitáció azért tud az Univerzumban megjelenni, mert az anyag általában elektromosan semleges, és ezért az elektromos erővonalak nem nyúlnak a végtelenbe, hanem egy másik töltésbe torkolnak.

A magerők töltésfüggetlenek (egyformán hatnak protonok és neutronok között) és mindig vonzóerők. (Ilyen szempontból hasonlóak a gravitációs erőhöz.) Ha tehát ugyanolyan erőtvény szabná meg a távolságfüggését, mint a gravitációs erőt, akkor a "nukleáris" erővonalak leárvényelhetetlenek lennének. Mivel a kölcsönhatás erőssége még az elektromosnál is erősebb, ezért semmi sem tudná megakadályozni, hogy ez az erős kölcsönhatás a nukleonokat egymáshoz rántsa.

Következésképpen a világon található összes nukleon (proton és neutron) egyetlen hatalmas "atommaggá" egyesülne, ami valószínűleg egy óriási fekete lyukat alkotna.

8. A feladatban említett "átlagos élettartam" a neutronoknál a keletkezés időpontját követően a moderátorral való ütközések, a bolyongás és ezt követően a hasadóanyagba (vagy más anyagba) történő befogódás között telik el. A láncreakció szempontjából azonban nem ez az élettartam a lényeges, hanem az ún. "generációs idő". Ez az az időtartam, amely aközött telik el, amíg az egyik generációhoz tartozó neutron egy maghasadást létrehoz, és a keletkezett újabb neutronok létrehozzák a következő hasadást. A generációs idő tehát hosszabb, mint a neutron-élettartam, mert tartalmazza azt az időt is, amely a maghasadás pillanata és a következő generációs neutronok kibocsátása között eltelik.

A neutronokat a keletkezés ideje szerint két csoportra osztjuk. A hasadás során keletkező neutronokat **prompt** (azonnali) neutronoknak nevezzük. Ezek nagyon rövid idő alatt ($10^{-12} \text{ s} = 1 \text{ ps}$) alatt keletkeznek. Ezeknél a generációs idő megegyezik az élettartammal. Ezeknek a láncreakcióra gyakorolt hatásába nem tudunk beleavatkozni.

Előfordul azonban olyan eset is, amikor a neutronban gazdag hasadványok először béta-bomlásban átalakulnak, és csak ezt a bomlást követően keletkeznek neutronok. Ezeknél a neutronoknál a maghasadás pillanata és a neutron kilépése

között akár másodpercek, sőt percek is eltelhetnek; minthogy a béta-bomlás viszonylag lassú folyamat. Ezeket a neutronokat **késő neutronok**-nak nevezzük. A béta-bomlás hosszú felezési idejének köszönhetően a késő neutronokra vonatkozó generációs idő sokkal hosszabb lehet, mint a kibocsátott neutronok élettartama.

A reaktort csak olyan üzemmódban szabad működtetni, hogy a prompt neutronok egyedül ne telessék kritikussá. Akkor ugyanis a folyamatok annyira felgyorsulnak, hogy nem tudunk közbeavatkozni. Amikor a reaktor teljesítményét növelni kell (szuperkritikus állapot), csak olyan sokszorozási tényezőt szabad beállítani, amely csak valamivel haladja meg az 1-et, mint a késő neutronok hányada.

9. A ciklikus berendezésekben a felgyorsított részecskék körpályán mozognak. A gyorsuló töltések sugárzást bocsátanak ki. Ezt nevezzük **szinkrotron sugárzás**-nak.

A kibocsátott sugárzás energiaveszteséget jelent. A gyorsulás: $a_{cp} = \frac{v^2}{r}$; a

kisugárzott teljesítmény pedig a gyorsulás negyedik hatványával arányos. Mivel az elektronok tömege a protonok tömegének 1836-od (kb. 2000-ed) része, ezért ugyanakkora energia eléréséhez az elektronoknak nagyobb sebességgel kell haladniuk, és így a gyorsulásuk is sokkal nagyobb.

A következőket nem kérték számon a versenyzőktől!

Az egy keringésre jutó energiaveszteség:

$$\Delta E = \frac{e^2}{3\epsilon_0 R} \cdot \left(\frac{E}{m_0 c^2} \right)^4.$$

Az összefüggésből következik, hogy az energiaveszteség a tömeg negyedik hatványával fordítottan arányos. Így az elektron gyorsítása ebből a szempontból veszteségesebb folyamat, mint a protonok gyorsításának megvalósítása, mégpedig

$$\left(\frac{m_p}{m_e} \right)^4 \approx 10^{13}$$

arányban.

10. Kétdimenziós világban az atommagok állapotait körlapon kialakuló állóhullámokkal lehetne modellezni. Minden lényegesen különböző állapotba — a Pauli-elvnek megfelelően — két részecske férne be.

Az alapállapot a csomómentes állapot. Ebből egyetlen egy van, ezért az első mágikus szám 2.

Egy csomóvonalat (egyenest) kétféleképpen lehet elhelyezni, ezért ezekbe 4 részecskét lehetne betenni, így a következő mágikus szám a 6 (2+4) lenne.

Egy csomókörös állapot egyetlen egy van, tehát oda ismét 2 részecske férne be.

Az állapotok rendszere tehát:

Jelölés	Csomóegyenes	Csomókör	Állapotok száma	Mágikus szám
1s	0	0	1	2
2p	1	0	2	6
2s	0	1	1	8 (?)
3d	2	0	2	12
3p	1	1	2	16
3s	0	2	1	18
4f	3	0	2	22
4d	2	1	2	26
4p	1	2	2	30
4s	0	3	1	32

Természetesen arra vonatkozóan nem tudunk mit mondani, hogy melyek lesznek azok az állapotok, amelyek energiában közel kerülnek egymáshoz. A kétdimenziós világban is valószínű, hogy a csomóegyenes alacsonyabb energiát fog jelenteni, mint a csomókör (simább lesz az állapotfüggvény). Ezért pl. a 2p állapot biztosan kisebb energiájú lesz, mint a 2s. Természetesen a 3p állapot magasabb energiájú lesz, mint a 2s, hiszen ez is tartalmaz egy csomókört, és még ezen kívül egy csomóegyenes is. Az azonban elképzelhető, hogy a 2s (egy csomókörös állapot) energiája a 3d (két csomóegyenes) állapot energiájához közel esik. Ekkor a 8-as mágikus szám „kimarad”. Hasonló „összecsúszások” a nagyobb csomószámú állapotnál is elképzelhetők, és emiatt lehetnek kimaradó mágikus számok.

— E) A 6. VERSENY DÖNTŐJÉNEK EREDMÉNYLISTÁI —

II. KATEGÓRIA

- | | | | |
|----|---------------------|--|---------|
| 1. | HEISENBERGER VIKTOR | Leöwey K. Gimn., Pécs
Simon Péter | 71 pont |
| 2. | HANDBAUER PÉTER | Leöwey K. Gimn., Pécs
Simon Péter | 69 pont |
| 3. | DOMJÁN DÁNIEL | Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg
Pálovics Róbert | 66 pont |
| 4. | SZÜLLŐ ÁDÁM | SZTE Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged
Kovács László | 64 pont |

5.	ANTAL ÁRON	Leöwey K. Gimn., Pécs Simon Péter	63 pont
6.	LANTOS JUDIT	Bethlen G. Ref. Gimn., Hódmezővásárhely Nagy Tibor	59 pont
7.	PAPP DÁNIEL	SZTE Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged Kovács László	56 pont
8.	BAKÓ LÁSZLÓ	Ref. Kollégium Gimnáziuma, Debrecen Kabály Enikő	35 pont
9.	BÁLINT TAMÁS	SZTE Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged Kovács László	35 pont
10.	TÓTH EMIL	SZTE Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged Kovács László	33 pont

I. KATEGÓRIA

1.	KOVÁCS ISTVÁN	Berze Nagy J. Gimn., Gyöngyös Kissné Császár Erzsébet	85 pont
2.	RUPPERT LÁSZLÓ	Janus Pannonius Gimn., Pécs Keresztesné Borsos Sarolta	84 pont
3.	BALOGH LÁSZLÓ	Fazekas M. Gyak. Gimn., Budapest Horváth Gábor	81 pont
4.	REISS TIBOR	Bányai J. Gimn., Kecskemét Borsos Ferenc	78 pont
5.	TIBENSZKY ZOLTÁN	Janus Pannonius Gimn., Pécs Keresztesné Borsos Sarolta	77 pont
6.	KOMJÁTHY JÚLIA	Garay J. Gimn., Szekszárd Jurisits József	76 pont
7.	BOROS GÁBOR	Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg Pálovics Róbert	74 pont
8.	TARJÁN GÁBOR	Verseghy F. Gimn., Szolnok Lapu Béla	73 pont
9.	PINTÉR BALÁZS	Energetikai Szakközépiskola, Paks Nagyné Lakos Mária	72 pont
10.	VIGH MÁTÉ	PTE Babits M. Gyak. Gimn., Pécs Koncz Károly	69 pont
11.	FODRÓCZI PÉTER	Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg Pálovics Róbert	67 pont
12.	SALAMON PÉTER	Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg Pálovics Róbert	65 pont

13. GÁL DÉNES	Hőgyes E. Gimn., Hajdúszoboszló Csatóné Király Margit	65 pont
14. HOFGÁRT GERGELY	Hőgyes E. Gimn., Hajdúszoboszló Csatóné Király Margit	62 pont
15. SZRNKA BÉLA	Bethlen G. Ref. Gimn., Hódmezővásárhely Lakatos-Tóth István	55 pont
16. FÜLÖP ISTVÁN	Piarista Gimn., Budapest Futó Béla	55 pont
17. SZÁSZ KRISZTIÁN	Leöwey K. Gimn., Pécs Simon Péter	40 pont
18. SZEKERES BALÁZS	Verseghy F. Gimn., Szolnok Lapu Béla	34 pont
19. BÖRZSÖNYI FERENC	Bethlen G. Ref. Gimn., Hódmezővásárhely Nagy Tibor	31 pont

F) MEGJEGYZÉSEK

A Verseny lebonyolítása során több kisebb, korrigálást igénylő hibát elkövettünk. A legnagyobbat éppen a 6. versenyszakasz döntőjén: a kódolás („titkosítás”) után a versenyzőknek olyan feladatlapot adtunk, amelyen szerepelt a „... minden lapon legyen rajta a megoldó neve, ...” kérdés.

A Versenyre benevező tanulók száma 350, az érdekelt iskoláké pedig 50 környékén állandósult. Budapesti, debreceni, gyöngyösi, miskolci, pécsi, szegedi, szekszárdi, szombathelyi és zalaegerszegi középiskolákból jelentkeztek eddig a legtöbben. Mellettük néhány iskola állandóan nevez, számos iskola pedig kisebb-nagyobb kihagyással ér el elismerésre méltó szép eredményeket.

A Versennyel kapcsolatban többször elhangzott kritikai észrevétel közül meg kell említenünk néhányat:

- Sokan nem tartják jónak a két forduló „I. forduló” vagy „elődöntő” és „döntő” elnevezését. Javasolják az „I. forduló” és a „II. forduló” megnevezés használatát.
- Többen említik azt is, hogy nem egyértelmű a két kategória megnevezése; a 8-10. osztályosok hol junior, hol I. kategória, hol II. kategória csoportba tartoznak. Javasolják, hogy a 8-10. osztályosok az I., a 11-12. osztályosok a II. kategóriát alkossák.
- Néhány iskola nem ért egyet a feladatkitűzés kialakult gyakorlatával. Azzal a többször előfordult esettel, hogy a feladat és annak megoldása nyomtatásban egyszer (esetenként többször is) már megjelent. Emiatt tanulóikat nem is nevezik!

7. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY

A) AZ 1. FORDULÓ FELADATAI

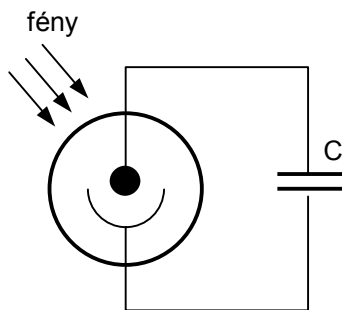
A Verseny 1. fordulóját 2004. március 1. napon 14 órai kezdettel rendezték meg. A versenyzőknek a soron következő 10 feladatot kellett megoldaniuk.

(Minden feladat helyes megoldása 5 pontot ér. A feladatokat tetszőleges sorrendben lehet megoldani. A megoldáshoz bármilyen segédeszköz használható. Rendelkezésre álló idő: 180 perc)

1. feladat: Atomos hidrogéngázt elektronokkal gerjesztünk egy kisülési csőben úgy, hogy a gáz világít. Elegendő-e a gerjesztéshez olyan sebességű elektronokat a gyorsítótérben előállítani, amelyeknek energiája megegyezik a látható fény fotonjainak energiájával? *(Válaszát indokolja!)*

2. feladat: Magyarazzuk meg, miért nincs 158-as rendszámú atommag!

3. feladat: Egy fotocella áramkörébe kondenzátort helyezünk. A bárium-katódot 540 nm hullámhosszúságú fényel világítjuk meg.



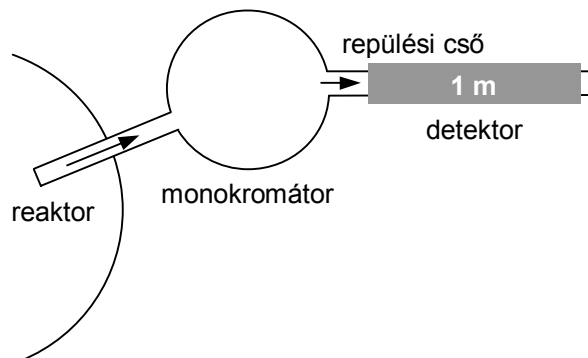
- Mekkora feszültségre töltődik fel a kondenzátor?
- Hány elektron tölti fel az 5 nF-os kondenzátort?

Adatok: *(a bárium-katód kilépési munkája: $2,72 \cdot 10^{-19}$ J)*

4. feladat: A 35 000 km/s sebességű elektron olyan homogén mágneses mezőbe jut, amelynek mágneses indukciója merőleges a sebességre és nagysága 17,5 mT.

- Milyen sugarú körpályára kerül az elektron?
- Mekkora frekvenciájú szinkron-sugárzást bocsát ki a körpályán mozgó részecske?

5 feladat: A neutron bomlásának mérése céljából atomreaktorból származó neutronokat először egy „monokromátorra” ejtünk, amely — hasonlóan a fény- és a röntgensugarak diffrakciójához csak jól meghatározott λ de-Broglie hullámhosszú neutronokat enged tovább. Ezt a neutronnyalábot ezután egy hosszú „repülési csőn” vezetjük végig, és a cső 1 méteres szakaszán mérjük a neutronok bomlástermékeit (ld. ábra).



Legalább hány neutronnak kell végigfutni másodpercenként a repülési csőn, ha azt akarjuk, hogy a detektorunk óránként legalább 36 eseményt számláljon?

Adatok: a szabad neutron felezési ideje: $T_{1/2} = 12,8$ perc,

tömege: $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$ kg, a monokromátorból kijövő neutronnyaláb

hullámhossza: $\lambda = 0,396$ nm, a bomlás detektálásának teljes hatásfoka 1%

6. feladat: A Szaturnusz felé utazó Cassini űrhajón a ^{238}Pu izotóp α -bomlásakor keletkező hőt használják fel elektromos energia előállítására. Az űrhajó berendezéseinek működéséhez 630 W elektromos teljesítmény szükséges a Szaturnusz körüli pályán.

a) Legalább mekkora tömegű ^{238}Pu -t használtak fel az áramforrás építéséhez?

b) A ^{238}Pu -t mely tulajdonságai alapján választhatták ki?

Adatok: (A ^{238}Pu felezési ideje 88 év. A ^{238}Pu tisztán α -bomló. Bomlásakor $5,12 \cdot 10^{-13}$ J energia szabadul fel, amelynek 90%-a alakul hővé. A hőt pedig 7% hatásfokkal lehet elektromos energiává alakítani).

7. feladat: Mekkora frekvenciájú a hidrogén vonalas színeke Balmer-sorozatának az a spektrumvonala, amelynek hullámhossza 1,19-szorosa a sorozathoz tartozó legkisebb hullámhossznak? Hányadik vonala ez a spektrumnak?

8. feladat: A természetben található uránban csupán minden 140-dik atom magja a könnyen hasadó ^{235}U izotóp (a többi a nehezen hasadó ^{238}U magot tartalmazza). Ezért az atomreaktorok urán üzemanyagában többszörösére (5-6 szorosára) növelik a ^{235}U izotópok arányát, azaz dúsítják az uránt.

a) Hányszorosára nő meg a dúsított urán aktivitáskoncentrációja (tömegegységenkénti aktivitása) a természetes uránhoz képest, ha a dúsítás mértéke 6-szoros (vagyis az ^{235}U magok aránya az eredetinek hatszorosára nő)?

b) Hány százalékkal csökken a dúsító üzemekben visszamaradó „szegényített urán” aktivitáskoncentrációja, ha a benne visszamaradó ^{235}U izotópok százalékos aránya 0,7%-ról 0,1%-ra, (azaz az eredeti arány 1/7-re) csökken?

Adatok: Az ^{238}U felezési ideje 4,5 milliárd év, az ^{235}U pedig 710 millió év

9. feladat: Egy kőzet vizsgálata során az ^{238}U bomlási sorából az alábbi izotópok aktivitását sikerült meghatározni.

Értelmezze az eredményt!

Izotóp	Aktivitás (Bq)	Izotóp	Aktivitás (Bq)	Izotóp	Aktivitás (Bq)
^{238}U	151,2	^{226}Ra	151,8	^{210}Ti	27,3
^{234}Th	153,6	^{218}Po	23,8	^{210}Pb	20,8
^{234}Pa	148,1	^{214}Pb	24,6	^{210}Bi	23,5
^{234}U	150,6	^{214}Bi	25,2	^{210}Po	22,8
^{230}Th	152,3	^{214}Po	21,1		

10. feladat: George Gamow: „Tompkins úr kalandjai a fizikával” című könyvében olyan biliárdgolyókkal játszik a kvantumbiliárd nevű játékot, amelyek a kvantum-öserdőből származó elefántok agyarából készülnek. Így látszik a golyók elmosódottsága, mozgás közben szétterjednek a golyók, valamint a biliárdnál használt fa háromszögbe helyezett, magára hagyott golyó kitölti a háromszöget. Becsüld meg, legalább mekkora ebben a világban a Planck-állandó!

Adatok: A golyó kb. 5 cm átmérőjű gömb, tömege 0,15 kg. Ha $v=10$ m/s ($\pm 10\%$) sebességgel halad, akkor 2 mm-es elmosódottságot láthatunk a golyó határain.

— B) A DÖNTŐ FELADATAI (Paks, 2004. április 17.) —

a) ELMÉLETI FELADATOK

A feladatok megoldásához 180 perc áll rendelkezésre. Minden segédeszköz használható. Minden feladatot külön lapra írjon, s minden lapon legyen rajta a megoldó neve, osztálya és iskolája. A feladatok NEM nehézségi sorrendben vannak.

II. kategória

1. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

Egy neutrongenerátor a következő fúziós reakció alapján állítja elő a nagy energiájú neutronokat: $^2\text{H} + ^3\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + \text{n}$. Ebben a fúziós reakcióban 2,82 pJ energia szabadul fel. A 200 kV feszültséggel felgyorsított deutérium ionnyaláb áramerőssége 1 mA. Ez a nyaláb olyan céltárgyra esik, amelyben fémben (cirkóniumban) elnyeletett trícium atomok vannak.

- A nyaláb részecskéinek hányad része okoz fúziót, ha a neutrongenerátor másodpercenként 10^{10} neutront kelt?
- Másodpercenként mennyi fúziós energia szabadul fel?

- c) Hogyan aránylik ez az energia ahhoz, amekkora energiával a nyaláb melegíti a céltárgyat?

(5 pont)

2. feladat (kitűzte: Újvári Sándor)

A CERN új gyorsítójában (LHC= Large Hadron Collider, Nagy Hadron Ütköztető) két, egymással szemben futó nyalábban protonokat és antiprotonokat ütköztetnek egymással. Mindkét nyalábban a részecskék lendülete: $7 \text{ TeV}/c$ ($3,73 \cdot 10^{-15} \text{ kgm/s}$).

- a) Ha egyetlen részecske keletkezne, mekkora lenne ennek a tömege?
b) Milyen egyéb tulajdonságai lennének ennek a részecskének?

(5 pont)

3. feladat (kitűzte: Vastagh György)

A maghasadás során keletkező $2 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ sebességű neutronokat nehézvízzel 1 km/s sebességre akarjuk lefékezni. Legalább hány ütközés szükséges ehhez?

(5 pont)

4. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

Rutherford abból következtetett az atommagok kis méretére, hogy az aranyfóliára ejtett alfa-részecskék egy része nagy szögben térült el, szinte visszapatant. Vajon hogyan győződhetett meg Rutherford arról, hogy ez a nagy szögű eltérülés nem abból származott, hogy az alfa-részecskék egy része sok atommal ütközött a fóliában, és a sok egymás utáni (kis-szögű) eltérülés adódott össze, és hozta létre végeredményben a nagy szögű eltérülést?

(5 pont)

5. feladat (kitűzte: Berta Miklós)

Amikor egy töltött részecske átlátszó közegben nagyobb sebességgel mozog, mint a fény közegbeli terjedési sebessége, Cserenkov-sugárzást bocsát ki. Tegyük fel, hogy egy részecskenyaláb, amelyben $7,47 \cdot 10^{-20} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ lendületű mü-mezonok és pi-mezonok keveréke halad, átlátszó közegből készült detektorra esik. Mekkora válasszuk a detektor anyagának törésmutatóját, hogy a detektor csak a mü-mezonokat detektálja a Cserenkov-sugárzás segítségével?

Adatok: $m_p = 2,48 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$, $m_\mu = 1,88 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$.

(5 pont)

6. feladat (kitűzte: Szűcs József)

Egy $W_0 = 0,64 \text{ aJ}$ kilépési munkájú fémet monokromatikus fénnel világítunk meg.

- a.) Milyen hullámhosszúságú (milyen színű) fényt használunk, hogy a fény hullámhosszának és a fémből kilépő maximális sebességű elektron de Broglie hullámhosszának az aránya a legnagyobb legyen?
b) Határozzuk meg az arány maximális értékét!

(5 pont)

7. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

Andris és Brigitta vitatkoznak:

A: Olvastam, hogy újabban egyre jobb eredményeket érnek el a hidrogén üzemanyagként való hasznosításában. Vannak olyan üzemanyagcellák, amelyek a hidrogén segítségével közvetlenül elektromos áramot állítanak elő. Az autóiparban is át lehetne térni a benzínről a hidrogén-meghajtásra. Ha ez megvalósulna, el lehetne felejteni az üvegházhatást okozó széndioxid-problémát, mert sem a hidrogén égésekor, sem pedig az üzemanyagcellákban nem keletkezik széndioxid!

B: Szerintem a kérdés nem ilyen egyszerű. A hidrogén-technológia bevezetése önmagában még nem oldja meg az üvegházhatást, mert... Ahhoz az kellene, hogy...
Vajon hogyan érvelt Brigi? **(5 pont)**

8. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

Almodban különös világban jártál: nem léteztek gömbölyű dolgok. Minden szögletes volt, még az atomok is kocka-alakúak voltak. Fizikaórán felszólítottak, és megkérdezték, hogy milyen rendszámú az első két nemesgáz? Már majdnem rávágta az ébrenléteből ismert választ, amikor hirtelen rájöttél, hogy ez a válasz itt nem lenne jó...
Milyen két számot mondanál az álombeli tanárnak? **(5 pont)**

9. feladat (kitűzte: Kopcsa József)

A $222,02$ u magtömegű ^{222}Rn izotóp $5,48$ MeV ($8,78 \cdot 10^{-13}$ J) energiájú és $4,0015$ u tömegű alfa-részecske kibocsátásával bomlik. Milyen sebességgel lökődik vissza a maradékmag? (az atomi tömegegység $u = 1,66 \cdot 10^{-27}$ kg) **(5 pont)**

10. feladat (kitűzte Kaszás Dezső)

A Duna vízében a trícium aktivitás-koncentrációja átlagosan 6 Bq/liter. Számolja ki, hogy a vízben lévő hidrogén-izotópok hányadrésze a trícium! (A trícium felezési ideje $12,3$ év) **(5 pont)**

I. kategória

Az 1-8 feladat megegyezik a II. kategória első nyolc feladatával.

9. feladat (Károlyházi Frigyes feladata alapján kitűzte: Sükösd Csaba)

$p = mv$ lendületű, vízszintesen haladó elektronnyalábot nagy kiterjedésű fémlémezre ejtünk, amelyen kis, d átmérőjű kör alakú nyílás van. A lemez mögött L távolságra lévő fényképezőlemez a becsapódó elektronok megfeketítik.

- a) Mekkora legyen a nyílás d átmérője, hogy a folt a lehető legkisebb legyen?
b) Mekkora lesz ekkor a folt átmérője?

Segítség: gondoljon az elektronok de Broglie hullámhosszára, és a Heisenberg-féle határozatlansági összefüggésre **(5 pont)**

10. feladat (kitűzte Sükösd Csaba)

Vajda János írta Az Üstökös című versében:

*Az égen fényes üstökös; uszálya
Az ég felétől, le a földre ér.
Mondják, ez ama „nagy”, melynek pályája
Egyenes, vissza hát soha se tér.*

Haladhat-e egyenes pályán egy test a Naprendszerben anélkül, hogy a Napba zuhanna? Indokolja meg a választ! (A bolygók hatását hanyagoljuk el!) **(5 pont)**

b) KÍSÉRLETI FELADAT

Feladat: béta-sugarak különböző fémlamezekről történő visszaverődésének vizsgálata.

Rendelkezésre álló eszközök:

- 1) Szabad szintű ^{90}Sr sugárforrás egy kis alumínium csőben. Ez kizárólag béta-sugárzást bocsát ki.
- 2) Végablakos GM-cső, amelynek jeleit vagy a GM-csőhöz kötött indítható-leállítható számláló és stopper segítségével, vagy pedig számítógép segítségével lehet megszámlálni.
- 3) Különböző anyagokból készült fémlamezek. $_{82}\text{Pb}$, $_{29}\text{Cu}$, $_{26}\text{Fe}$, $_{13}\text{Al}$.
- 4) Az eszközök befogására alkalmas Bunsen-állandók fogókkal
- 5) Vonalzó, szögmérő

Vizsgálandó:

- a) Milyen geometriai elrendezés mellett kapunk optimális jel/háttér arányt? A „jel” itt a visszavert béta-intenzitást jelenti.
- b) A kiválasztott optimális geometriai elrendezésben milyen intenzitást találnál egy $_{79}\text{Au}$ — lemezeiről való visszaverődésnél?

A zsűri a mérési jegyzőkönyvek tartalma mellett azok áttekinthetőségét, logikus felépítését is pontozza.

c) SZÁMÍTÓGÉPES FELADAT

MILLIKAN-KÍSÉRLET SZIMULÁCIÓ

ÁLTALÁNOS LEÍRÁS

Millikan kondenzátorlemezek közé porlasztott olajcseppek elektromos töltését mérte meg, és ebből a kísérletből határozta meg az elemi töltést.

Elmélet:

Az R sugarú, q töltésű cseppekre a súlyerő, a levegő felhajtóereje, a közegellenállási erő és a Coulomb-erő hat. A közegellenállási erő függ a csepp sebességétől, ezért rövid idő alatt a részecske olyan sebességre gyorsul fel, amelyben a rá ható erők eredője nulla lesz. Ettől kezdve a részecske egyenes sebességgel süllyed, vagy emelkedik. Különböző feszültségek mellett (pl. a feszültség kikapcsolva, ill. ráadva) az egyensúlyi sebesség is különböző lesz. Ezeknek a sebességnek a méréséből a két ismeretlen mennyiség — a csepp R sugara, és q töltése — meghatározható.

A szimulációban szereplő berendezés leírása

Ez a szimuláció Millikan kísérletét modellezi. A képernyő nagyobbik (sötét) részét az olajcseppek megfigyelésére szolgáló mikroszkóp látótere foglalja el. A mikroszkópot a mellette lévő mozgató-elemekkel vízszintes és függőleges irányban lehet mozgatni.

Az olajcseppeket egy, a mikroszkóp mellett lévő porlasztó berendezés fecskendezi be a kondenzátorlemez közé. A cseppek a befecskendezés során kapnak kisebb-nagyobb elektromos töltést.

A kondenzátorra a jobb oldalon lévő kezelőszervekkel lehet feszültséget adni. A műszer a lemezekre adott feszültség aktuális értékét mutatja. A feszültséget egyetlen gomb megnyomásával ki- vagy be lehet kapcsolni, ill. a polaritását ellenkezőre változtatni.

Millikan kísérletében fontos szerepe volt a hőmérséklet állandó értéken tartásának is. A kísérleti cella hőmérsékletét hőmérsékletszabályozó tartja állandó értéken. Figyelni kell azonban arra, hogy a hőmérséklet megváltoztatását követően az új hőmérséklet nem azonnal áll be.

Az olajcseppek sebességének méréséhez stopperre is szükség van. A modell olyan stopperórát mutat, amely a „modell-idő” múlását méri. (Ez nem azonos a „valódi” idővel, hiszen bizonyos beavatkozásokkor – pl. a mikroszkóp mozgatásakor – a modell-idő „megáll”. A modell-idő sebességét egy lassú processzor is befolyásolhatja.)

KÉPLETEK, ADATOK:

A mérés sikeres végrehajtásához segítségképpen röviden összefoglaljuk a bevezetőben említett erőket, valamint a kísérleti berendezés néhány adatát:

$$(Súlyerő — felhajtóerő) = \frac{4\pi}{3} R^3 (\rho_c - \rho_o) g,$$

ahol g a nehézségi gyorsulás ($= 9,81 \text{ m/s}^2$),

ρ_c , ill. ρ_o a csepp ill. a levegő sűrűsége (értékeit ld. alább);

Közegellenállási erő $= -6\pi \cdot \eta \cdot R \cdot v$ (Stokes-törvény), ahol η a levegő viszkozitása (értékét ld. alább), v pedig a részecske sebessége; A negatív előjel azt mutatja, hogy az erő a sebességgel ellentétes irányú.

Coulomb-erő $= q \cdot E = q \frac{U}{d}$, ahol q a csepp töltése, U a kondenzátorlemezekre kapcsolt feszültség, d pedig a lemezek távolsága (E a térerősség).

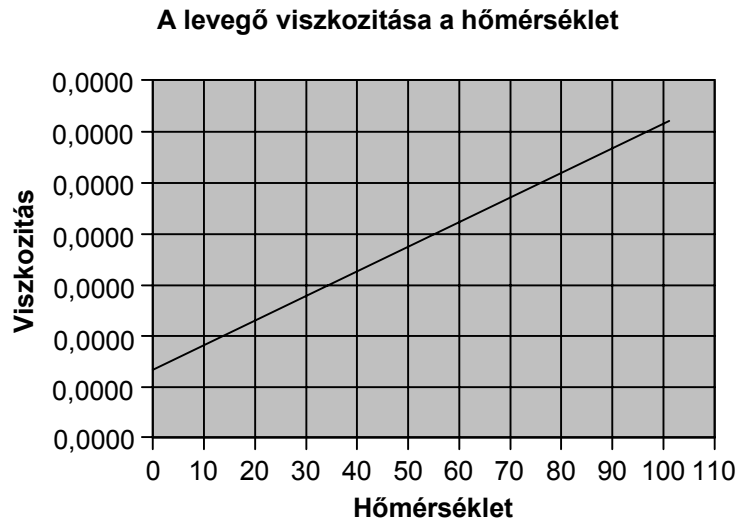
A számításhoz további segítség alább található.

A kondenzátor-lemezek távolsága: $1 \text{ cm} = \mathbf{0,01 \text{ m}}$.

Az olaj(cseppek) sűrűsége: $\rho_c = \mathbf{870 \text{ kg/m}^3}$. (a hőmérséklettől függetlennek tekinthető)

A levegő sűrűsége 0 C-on : $\rho_o = \mathbf{1,293 \text{ kg/m}^3}$. (a hőmérséklettől is függ: $\rho = \rho_o \frac{T_o}{T}$)

A levegő viszkozitásának hőmérsékletfüggését az alábbi grafikon mutatja:



TANÁCSOK:

- 1) Mivel sebességet kell mérni, először határozd meg, hogy a mikroszkóp látómezőjében lévő szátkereszt beosztásai a valóságban milyen távolságnak felelnek meg. A mozgatók mutatják, hogy mennyivel mozdítottad el a mikroszkópot (mint egy mikrométercsavar a mikroszkóp tárgyasztalának elmozdulását).
- 2) A beporlasztott olajcseppek sugara véletlenszerűen változik egy bizonyos tartományban. A mikroszkóp felbontása azonban nem elegendően nagy ahhoz, hogy az olajcseppek sugarát közvetlenül látni lehessen. Ezért a cseppek sugarát más módon kell meghatározni (ahogyan Millikan is tette). A cseppek töltése sem azonos. A mérés szempontjából olyan cseppe(ke)t kell kiválasztani, amely(ek)nek van töltése. Ezért célszerű már a befecskendezés előtt megfelelő polaritású feszültséget adni a kondenzátor-lemezekre, hogy ki lehessen választani a vizsgálni kívánt cseppet. Ezen a kiválasztott cseppen kell azután végrehajtani a mérést.
- 3) A sebességméréshez feltétlenül a programban szereplő stopperórát használd, mert a cseppecskék a „modell-idő” szerint mozognak., és ez a stopper méri a modell-időt!
- 4) Célszerű több cseppet megmérni (amennyit az idő enged). Ne elégedj meg tehát egyetlen csepp töltésének megmérésével. Viszont *minden cseppnél a számítást is fejezd be*, mielőtt egy új csepp mérésébe fognál. A zsűri csak teljesen végigszámolt cseppeket tud figyelembe venni.
- 5) A méréseidről készíts (olvasható írással) jegyzőkönyvet! A jegyzőkönyvben tüntess fel minden lényeges adatot, valamint a számítási módszert és a végeredményt. Adj becslést az eredmény hibájára vonatkozóan is.

A SZÁMÍTÁSHOZ TOVÁBBI SEGÍTSÉG:

- I. Amikor nincs elektromos mező, és a részecske már egyenletes (v_1) sebességgel süllyed, akkor $\frac{4\pi}{3}R^3(\rho_c - \rho_o)g = 6\pi \cdot \eta \cdot R \cdot v_1$, s ebből a csepp méretére kapjuk:

$$R = \sqrt{\frac{9\eta \cdot v_1}{2g(\rho_c - \rho_o)}} \quad 1)$$

- II. Amikor az elektromos mező olyan, hogy a csepp nem süllyed, hanem emelkedik (v_2 sebességgel), akkor az erők egyensúlya:

$$\frac{4\pi}{3}R^3(\rho_c - \rho_o)g + 6\pi \cdot \eta \cdot R \cdot v_2 - q \frac{U}{d} = 0, \text{ s ebből (R ismeretében) } q \text{ kifejezhető:}$$

$$q = \frac{\frac{4\pi}{3}R^3(\rho_c - \rho_o)g + 6\pi \cdot \eta \cdot R \cdot v_2}{(U/d)} \quad 2)$$

- III. Amikor az elektromos mező olyan, hogy a csepp süllyed, (v_3 sebességgel), akkor az erők egyensúlya:

$$\frac{4\pi}{3}R^3(\rho_c - \rho_o)g - 6\pi \cdot \eta \cdot R \cdot v_3 \pm q \frac{U}{d} = 0, \text{ s ebből (R ismeretében) } q \text{ kifejezhető:}$$

$$q = \mp \frac{\frac{4\pi}{3}R^3(\rho_c - \rho_o)g \pm 6\pi \cdot \eta \cdot R \cdot v_3}{(U/d)} \quad 3)$$

Itt az előjel attól függ, hogy az elektromos mező segíti-e a csepp süllyedését, vagy gátolja.

Még további segítségképpen $T=20$ C hőmérsékleten megadjuk a fenti három képletben szereplő állandó mennyiségek SI egységrendszerben kiszámolt numerikus értékeit.

I. $R = 9,856 \cdot 10^{-5} \sqrt{v_1}$ 1)

II. $q = \frac{357,0076 \cdot R^3 + 3,468 \cdot 10^{-6} \cdot R \cdot v_2}{U}$ 2)

III. $q = \mp \frac{357,0076 \cdot R^3 \pm 3,468 \cdot 10^{-6} \cdot R \cdot v_2}{U}$ 3)

— C) AZ 1. FORDULÓ FELADATAINAK MEGOLDÁSA —

1. Nem elegendő a látható fotonokkal megegyező elektronenergia! Ugyanis a többségében alapállapotú atomok elektronjait legalább a 3. energiaszintre kell

gerjeszteni ahhoz, hogy a 3. → 2. elektronátmenet a Balmer-sorozat első látható színeképvonalát létrehozza. Ehhez viszont $E_3 - E_1$ energiára van szükség, amely 6,4-szerese az $E_3 - E_2$ energiaátmenethez tartozó foton energiájának.

2. Az atommagban az alapvető kölcsönhatások közül kettő érvényesül:
- az intenzív, de rövid hatótávolságú magerő, ami egyaránt vonzza a protonokat és a neutronokat, valamint
 - a gyengébb, de végtelen hatótávolságú Coulomb-erő, aminek hatására a pozitív elektromos töltésű protonok taszítják egymást.

Egy protonra csak a környező nukleonok (protonok és neutronok) gyakorolnak vonzó hatást (a rövid hatótávolság miatt), de az atommag összes többi protonja taszítja. Az atommag méretét növelve, a vonzó magerő hatása alulmarad a taszító Coulomb-erő hatásával szemben. Így — az atommagtáblázat vége felé haladva — minél nagyobb a rendszám, annál instabilabbá válik az atommag, és mind rövidebb felezési idővel bomlik el α -bomlással vagy spontán maghasadással. 100 rendszám felett már annyira instabillá válnak az atommagok, hogy ha létre is jönnek (mesterségesen, vagy valamilyen természeti folyamat — pl. szupernóva-robbanás — során), nagyon rövid idő alatt — szinte azonnal — elbomlanak. Emiatt nincs 158 rendszámú atommag. Valójában kb. 115 rendszámnál nagyobb rendszámú atommag nem létezik.

3. A fotocellára eső fény frekvenciáját a

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

összefüggéssel számíthatjuk. A fotokatódból az elektronok

$$E_m = h\nu - W_k$$

mozgási energiával lépnek ki, ha W_k -val a kilépési munkát jelöljük. Az elektronok eléri az anódot és töltik a kondenzátort. A kondenzátor töltődésével azonban fékező elektromos tér alakul ki. Ez — ha már elég nagy télerősséggel rendelkezik — megakadályozza a további elektronokat abban, hogy eljussanak az anódra. Ebben az esetben a kondenzátor már nem töltődik tovább. Ez olyan feszültségnél fog bekövetkezni, amikor

$$eU = E_m = h\nu - W_k.$$

- a) A keresett feszültség az előbb kapott összefüggésből:

$$U = \frac{h\nu - W_k}{e}.$$

Az ismert mennyiségekkel:

$$U = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ VAs}^2 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{5,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}} - 2,72 \cdot 10^{-19} \text{ VAs}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}} = 0,5999 \text{ V}.$$

Tehát a kondenzátor 0,6 voltra töltődik fel.

- b) Az elektronok száma:

$$N = \frac{Q}{e} = \frac{CU}{e} .$$

$$N = \frac{5 \cdot 10^{-9} \frac{\text{C}}{\text{V}} \cdot 0,6 \text{ V}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 1,873 \cdot 10^{10}$$

Tehát a kondenzátort $1,873 \cdot 10^{10}$ elektron tölti fel.

4. $v = 35000 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 3,5 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad B = 17,5 \text{ mT} = 1,75 \cdot 10^{-2} \text{ T}$
 $m = 9,110 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \quad e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

a) A mozgó töltésre a mágneses mezőben ható Lorentz-erő: $F = Bev$. Ez biztosítja a körpályán való tartáshoz szükséges centripetális erőt:

$$F = \frac{mv^2}{r} = Bev .$$

Ebből

$$r = \frac{mv}{eB} .$$

Az ismert mennyiségekkel:

$$r = \frac{9,110 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 3,5 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 1,75 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{As}^2}} = 1,137 \cdot 10^{-2} \text{ m} .$$

Tehát az elektronpálya sugara 1,137 cm.

b) A periódusidő: $T = \frac{2\pi r}{v}$. Ezzel a frekvencia: $f = \frac{1}{T} = \frac{v}{2\pi r}$.

Az ismert adatok felhasználásával:

$$f = \frac{3,5 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2\pi \cdot 1,137 \cdot 10^{-2} \text{ m}} = 4,898 \cdot 10^{10} \frac{1}{\text{s}} .$$

Tehát a szinkrotron sugárzás frekvenciája 49 GHz.

5. $T_{1/2} = 12,8 \text{ min} = 768 \text{ s} \quad m = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad \lambda = 0,396 \text{ nm} = 3,96 \cdot 10^{-10} \text{ m}$
 $\eta = 0,01$

Mivel a detektálás hatásfoka 1%, ezért a csőben óránként 3600 bomlásnak kell bekövetkeznie, hogy abból 36-ot detektálhassunk. Ez másodpercenként átlagosan egy bomlást jelent. A csőben lévő „neutronanyag” aktivitása ezért 1 becquerel. Ebből a csőben lévő részecskék száma meghatározható:

$$A = \lambda N = N \cdot \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \rightarrow N = A \cdot \frac{T_{1/2}}{\ln 2}$$

Az ismert mennyiségekkel: $N = 1 \frac{1}{s} \cdot \frac{768 \text{ s}}{\ln 2} = 1108$.

A neutronok de Broglie-féle hullámhosszából a sebesség határozható meg:

$$v = \frac{h}{\lambda m}$$

Az ismert adatokkal:

$$v = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}{1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 3,96 \cdot 10^{-10} \text{ m}} = 998,9 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 1 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Ez azt jelenti, hogy egyetlen neutron kb. 0,001 másodpercig tartózkodik az 1 méter hosszú csőben. Ahhoz tehát, hogy a csőben mindig legyen 1108 neutron, ezeket ezredmásodpercenként (ms-enként) kell „pótolni”. Vagyis a csőbe bejövő neutronok intenzitása:

$$\frac{1108}{0,001 \text{ s}} = 1108 \text{ 000} \frac{1}{\text{s}}$$

Így azután a csőben akkor lesz folyamatosan 1108 neutron, ha másodpercenként 1 108 000, azaz kb. 1,1 millió neutron lép be oda.

6. $P = 630 \text{ W}$ $T_{1/2} = 88 \text{ y} = 2,777 \cdot 10^9 \text{ s}$ $E_1 = 5,12 \cdot 10^{-13} \text{ J}$
 $\eta_1 = 0,9$ $\eta_2 = 0,07$ $M = 0,238 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$

a) A 630 watt teljesítményhez 1 másodperc alatt 630 joule elektromos energiát kell előállítani. A szükséges hőmennyiség másodpercenként:

$$Q_2 = \frac{E_2}{\eta_2} = 9 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Ezt a ^{238}Pu -magok bomlása során felszabaduló hőmennyiség biztosítja. A bomló atommagok száma:

$$N = \frac{Q_2}{\eta_1 E_1} = \frac{9 \cdot 10^3 \text{ J}}{0,9 \cdot 5,12 \cdot 10^{-13} \text{ J}} = 1,953 \cdot 10^{16}$$

Ennyi a ^{238}Pu -izotóp aktivitása: $A = 1,953 \cdot 10^{16} \frac{1}{\text{s}}$

Az atommagok száma a

$$A = \lambda N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N$$

összefüggésből az ismert adatokkal:

$$N = \frac{1,953 \cdot 10^{16} \frac{1}{\text{s}}}{\ln 2} \cdot 2,777 \cdot 10^9 \text{ s} = 7,825 \cdot 10^{25}$$

Az izotóp tömege:

$$m = nM = \frac{N}{N_A} M = \frac{7,825 \cdot 10^{25}}{6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}} \cdot 0,238 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} = 30,93 \text{ kg}$$

Tehát a feszültségforrás építéséhez legalább 30,93 kg izotópot használtak fel.

- b) A ^{238}Pu -izotóp tisztán α -bomló izotóp. Ennél a tulajdonságánál fogva az α -részecskék már vékony abszorbensben is elnyelődnek. Sugárvédelmi szempontból sem jelent problémát az űrszonda egyéb műszerei számára, hiszen könnyen leárnyékolható.

A felezési idő kiválasztásánál arra kell ügyelni, hogy a túl hosszú felezési idejű izotóp nem jó, mert megfelelő aktivitás eléréséhez nagyon nagy tömegű anyagra van szükség; azt pedig az űrhajón nehéz felvinni. Túl rövid felezési idejű izotóp pedig nem tudja elegendően hosszú ideig energiával ellátni az űrhajót, mert hamar elbomlik. A ^{238}Pu -izotóp a 88 éves felezési idejével éppen egy ésszerű kompromisszum!

7. A legkisebb hullámhossz az, amelyiknél az elektron „szabad állapot”-ból (végtelenből) érkezik az alapszintre. Jelöljük ezt a hullámhosszat λ_∞ -nel. A keresett hullámhossz pedig legyen λ_m ! Így

$$\frac{\lambda_m}{\lambda_\infty} = 1,19.$$

A Balmer-sorozat elemeire

$$f_m = R \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{m^2} \right). \quad \left[R = 3,289 \cdot 10^{15} \frac{1}{\text{s}} \text{ (Rydberg-állandó)} \right]$$

A végtelenből jövő elektronra $\frac{1}{m^2} = 0$, azaz $f_\infty = \frac{R}{4}$.

A keresett hullámhosszhoz tartozó frekvencia:

$$1,19 = \frac{\lambda_m}{\lambda_\infty} = \frac{f_\infty}{f_m} = \frac{1}{\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{m^2} \right)^4}.$$

Ebből $m = 5,005 \approx 5$.

Ez a **harmadik vonal**, mert a Balmer-sorozat $m = 3$ értéknél kezdődik.

A frekvencia:

$$f_m = R \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{25} \right) = 6,9 \cdot 10^{14} \text{ Hz}.$$

Tehát a vonalas színeképfrekvenciája 690 THz.

8. a) A bomlástörvény szerint az aktivitások egyenesen arányosak az atommagok számával. Az arányossági tényező a bomlási állandó, amely viszont a felezési idővel fejezhető ki:

$$A_{235} = \lambda_{235} N_{235} = \lambda_{235} n_{235} N_A$$

$$A_{238} = \lambda_{238} N_{238} = \lambda_{238} n_{238} N_A$$

A fenti összefüggésben N_A az Avogadro-féle állandót jelenti, n_{235} és n_{238} pedig az anyagdarabban lévő anyagmennyiségeket. Miután csak koncentrációkat kell meghatározni, a tényleges anyagmennyiség nem játszik szerepet.

Az egyszerűbb számolás kedvéért vegyünk egy 140 mólból álló anyagdara-
bot:

$$n_{235} + n_{238} = 140 \text{ mol} .$$

Ezzel a teljes aktivitásra azt kapjuk, hogy

$$\begin{aligned} A &= A_{235} + A_{238} = \lambda_{235} n_{235} N_A + \lambda_{238} (140 - n_{235}) N_A = \\ &= \lambda_{235} n_{235} N_A \left[1 + \frac{\lambda_{238} (140 - n_{235})}{\lambda_{235} n_{235}} \right] = \lambda_{235} n_{235} N_A \left[1 + \frac{T_{235} (140 - n_{235})}{n_{235} T_{238}} \right] . \end{aligned}$$

Az anyagmennyiség mértékegységét nem írtuk ki, és a felezési időket most T -
vel jelöltük.

A természetes uránban $n_{235} = 1 \text{ mol}$, azaz a választott anyagdaráb teljes
aktivitása:

$$A = \lambda_{235} N_A \cdot 1 \text{ mol} \left[1 + \frac{7,1 \cdot 10^8 \text{ y} \cdot 139 \text{ mol}}{4,5 \cdot 10^9 \text{ y} \cdot 1 \text{ mol}} \right] = 22,93 \lambda_{235} N_A .$$

Láthatóan a természetes urán aktivitás-koncentrációja az ^{235}U -izotóp aktivi-
tás-koncentrációjának kereken 23-szorosa.

Dúsítás után $n'_{235} = 6 \text{ mol}$, ezért a teljes aktivitás most:

$$A' = \lambda_{235} N_A \cdot 6 \text{ mol} \left[1 + \frac{7,1 \cdot 10^8 \text{ y} \cdot 134 \text{ mol}}{4,5 \cdot 10^9 \text{ y} \cdot 6 \text{ mol}} \right] = 27,14 \lambda_{235} N_A .$$

A teljes aktivitás növekedésének aránya $\frac{27,14}{22,93} = 1,18$, vagyis csupán 18%.

(Ha az aktivitás CSAK az ^{235}U -tól származna, akkor 600%-os növekedést
lehetne várni!)

b) Hasonlóan járhatunk el az $\frac{1}{7}$ -re szegényített urán aktivitása csökkenési ará-
nyának a kiszámításakor is.

Mivel $n''_{235} = \frac{1}{7} \text{ mol}$, ezért a teljes aktivitás:

$$A'' = \lambda_{235} N_A \cdot \frac{1}{7} \text{ mol} \left[1 + \frac{7,1 \cdot 10^8 \text{ y} \cdot \left(140 - \frac{1}{7}\right) \text{ mol}}{4,5 \cdot 10^9 \text{ y} \cdot \frac{1}{7} \text{ mol}} \right] = 22,21 \lambda_{235} N_A .$$

Az $\frac{1}{7}$ részre szegényített urán aktivitása csupán $\frac{22,21}{22,93}$ arányra, vagyis csak

kb. 97%-ra csökken. (Ha az aktivitás CSAK az ^{235}U -tól származna, akkor 14
százalékra való csökkenést várhatunk!)

Megjegyzés. A dúsítás vagy a szegényítés alig változtatja meg az
izotópelegy átlagos móltömegét, ezért úgy vehetjük, hogy a
tömegegységben ugyanannyi atom található. A természetes

urán átlagos móltömege $237,97 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$, a dúsított urán átlagos móltömege valamivel kevesebb, $237,87 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$, a szegényített urán átlagos móltömege pedig valamivel több, $237,99 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$.

9. Ha egy hosszú élettartamú radioaktív elem megfelelően hosszú ideig bomlik, akkor a leányelemeivel (bomlástermékeivel) szekuláris egyensúlyba kerül. Ez azt jelenti, hogy a bomlási sor valamennyi közbülső elemének aktivitása kb. ugyanakkora lesz; időegység alatt ugyanannyi bomlik el belőle, mint amennyi a sor előző eleméből keletkezik.

Ha a táblázatot megfigyeljük, az előbbi megállapítás a ^{226}Ra -ig teljesül, eltekintve — a valószínűleg mérési hibákból adódó — kisebb eltérésektől. Onnan kezdve azonban egy újabb egyensúly alakul ki: a ^{226}Ra leányeleme, a ^{222}Rn -izotóp nemesgáz, ezért ennek egy része a közetből eltávozik. Emiatt a bomlási sorban az utána következő elemekből kevesebb lesz. Mivel a radon után a bomlási sorban következő elemek fémek, ezért további szökés nem lesz, és következményeként új egyensúly alakul ki.

10. A feladat megoldásához a Heisenberg-féle határozatlansági összefüggést kell használni:

$$\frac{\hbar}{2} \geq \Delta p \cdot \Delta x.$$

Az összefüggésben $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, p a részecske impulzusa (lendülete), Δp a lendület(impulzus) bizonytalansága és Δx a részecske helyzetének bizonytalansága.

Az ismert $\Delta v = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ és $\Delta x = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ (mindkét határon 2 mm) értékeket behelyettesítve a

$$h \geq 4\pi m \cdot \Delta v \cdot \Delta x$$

összefüggésbe,

$$h \geq 0,015 \text{ Js}$$

értéket kapunk. Ez 32 nagyságrenddel nagyobb a Planck-állandó valódi értékénél.

— D) A DÖNTŐ ELMÉLETI FELADATAINAK MEGOLDÁSA —

1. a) Mivel egyetlen ion elektromos töltése $1,602 \cdot 10^{-19}$ coulomb, ezért az 1 mA-es nyalábban másodpercenként

$$\frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ C}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 6,242 \cdot 10^{15}$$

részecske áramlik. Egy fúziós reakcióban egyetlen neutron keletkezik, ezért másodpercenként 10^{10} fúziós reakcióval kell számolni. Emiatt a nyaláb fúziós reakciót okozó részaránya:

$$\frac{1 \cdot 10^{10}}{1,642 \cdot 10^{15}} = 1,602 \cdot 10^{-6} .$$

- b) Másodpercenként 10^{10} fúziós reakció játszódik le, így a másodpercenként felszabaduló fúziós energia:

$$2,82 \cdot 10^{-12} \text{ J} \cdot 10^{10} = 2,82 \cdot 10^{-2} \text{ J} = 28,2 \text{ mJ} .$$

- c) A nyaláb teljesítménye:

$$2 \cdot 10^5 \text{ V} \cdot 10^{-3} \text{ A} = 200 \text{ VA (W)} .$$

A fúziós teljesítménynek ehhez való aránya ezért:

$$\frac{2,82 \cdot 10^{-2} \text{ J}}{200 \text{ J}} = 1,41 \cdot 10^{-4} ,$$

azaz alig haladja meg a nyalábteljesítmény egytized részét.

2. a) Mivel egymással szemben azonos impulzussal (lendülettel) futó nyalábok ütközéséről van szó, ezért a keletkezett részecske a laboratóriumi rendszerben állna, azaz a rendelkezésre álló teljes (relativisztikus) energia ennek a részecskének a tömegére fordítódna. A rendelkezésre álló teljes energia két részből,

- a proton és az antiproton nyugalmi tömegéből, valamint
- ezek együttes mozgási energiájából

tevődik össze. A proton és az antiproton nyugalmi tömegének

$$m_0 c^2 = 9,383 \cdot 10^8 \text{ eV} = 938,3 \text{ MeV} \approx 1 \text{ GeV}$$

energia felel meg. Mivel ez a 7 TeV nagyságú mozgási energiának kb. tízezred része, ezért nyugodtan elhanyagolható. Vagyis a rendelkezésre álló teljes energia

$$14 \text{ TeV} = 14\,000 \text{ GeV} .$$

Ha egyetlen, nyugalomban lévő részecske keletkezne, annak nyugalmi tömege a proton nyugalmi tömegének

$$\frac{14\,000 \text{ GeV}}{0,9383 \text{ GeV}} = 14\,921\text{-szerese}$$

lenne.

- b) Ha egyetlen részecske keletkezne, a megmaradási tételek miatt annak a következő tulajdonságokkal kellene rendelkeznie:

- elektromos töltése: 0 (elektromosan semleges)
- bariontöltése: 0 (azaz nem lehetne barion)
- leptontöltése: 0 (vagyis nem lehetne lepton sem).

Ilyen részecskéket ismerünk! Az egyik közülük a foton. Ennek azonban nulla a nyugalmi tömege, ezért kizárhatjuk. (Az a) résznél láttuk, hogy a keletkezett részecske nyugalmi tömege kb. 15 ezer protontömeg.)

A másik részecske a mezon-család valamelyik tagja lehetne. Ismerünk nehéz mezonokat, bár ilyen nehezeket még nem!

Ha tehát egyáltalán ilyen „egyetlen” részecskére vezető reakció létrejönne, akkor annak igen nehéz és elektromosan semleges mezont kellene létrehoznia.

$$3. \quad v_0 = 2 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad v_n = 1 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 1 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Két rugalmas golyó ütközések akkor történik a legnagyobb energiaátalakulás, amikor a két golyó éppen egyenesen ütközik. Az állónak tekintett deuteron tömege a neutron tömegének kb. kétszerese, ezért az energiamegmaradás miatt

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 m v_d^2,$$

a lendület(impulzus)megmaradás miatt pedig

$$m v_0 = -m v_n + 2 m v_d.$$

A második összefüggésből:

$$v_d = \frac{v_0 + v_n}{2}.$$

Ezt az első egyenletbe helyettesítve:

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} m v_n^2 + \frac{1}{2} \cdot 2 m \left(\frac{v_0 + v_n}{2} \right)^2.$$

Egyszerűsítés és átrendezés után:

$$v_0^2 - v_n^2 = \frac{1}{2} (v_0 + v_n)^2.$$

Mivel $v_0 + v_n \neq 0$, ezért egyszerűsíthetünk vele:

$$v_0 - v_n = \frac{1}{2} (v_0 + v_n).$$

Ebből

$$v_n = \frac{1}{3} v_0.$$

Tehát egyetlen egyenes ütközésben a neutron a sebességének legfeljebb $\frac{2}{3}$ részét veszíti el (marad az eredeti sebesség $\frac{1}{3}$ része). Feltételezve, hogy minden ütközés egyenes ütközés, a neutron sebessége mértani sort alkot, ahol az egymást követő tagok hányadosa $\frac{1}{3}$.
 N ütközés után a neutron v sebessége:

$$v = v_0 \left(\frac{1}{3} \right)^N = 3^{-N} v_0.$$

A kiindulási adatok segítségével:

$$\frac{v}{v_0} = \frac{1 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 2 \cdot 10^{-5}.$$

N értékét logaritmizálás után kapjuk:

$$\lg(5 \cdot 10^{-5}) = -N \cdot \lg 3 \rightarrow N = -\frac{\lg(5 \cdot 10^{-5})}{\lg 3} = 9,0145.$$

A neutronnak legalább tízszer kell ütköznie ahhoz, hogy a feladat feltételeinek megfelelően lelassuljon. (A valóságban ennél sokkal több ütközésre van szükség, hiszen a legtöbb ütközés nem egyenes ütközés; emiatt jóval kisebb mértékben csökken a sebesség.)

4. Tegyük fel, hogy egyetlen atom csak kis szögű eltérést tud okozni, és jelöljük az egyetlen bekövetkező szóródás valószínűségét p -vel ($p < 1$). Ebben az esetben annak valószínűsége, hogy egyetlen rétegen nem szóródik: $(1-p)$.

Ha csak egyetlen atomréteg vastagságú a fólia, akkor biztosan nem tud létrejönni nagy szögű szóródás, hiszen az α -részecske csak egyetlen szórási folyamatban tud részt venni. Így sok α -részecske p -ed része eltérül, de nagy szögű szóródást nem tapasztalunk.

Vegyünk N atomréteget! Annak a valószínűsége, hogy az α -részecske csak egyszer szóródik:

$$Np(1-p)^{N-1},$$

hiszen csak egyetlen rétegen kell szóródjon, és $N-1$ rétegen nem. Az a réteg pedig, amelyen szóródhat, N -féle lehet. Innen látszik, hogy az egyszeres szórás valószínűsége arányos a fólia vastagságával (N -nel). A kétszeres szóráshoz az kell, hogy az N rétegből éppen kettőben szóródjon, $N-2$ rétegben pedig nem. Ennek valószínűsége:

$$C \cdot p^2(1-p)^{N-2}.$$

A C együttható annyi, ahányféleképpen N -ből ismétlés nélkül ki lehet választani azt a két réteget, amelyben a szórás történik. Vagyis

$$C = \binom{N}{2} = \frac{N(N-1)}{1 \cdot 2}.$$

Innen látszik, hogy a kétszeres szórás valószínűsége N -nek (a fólia vastagságának) másodfokú függvénye! Hasonló gondolatmenettel belátható, hogy a többszörös szórás valószínűsége a fólia vastagságának még magasabb fokú függvénye.

Rutherfordnak tehát meg kellett vizsgálnia a nagy szögben eltérült részecskék számát különböző vastagságú fóliákra. Ha egyenes arányosságot talált, biztos lehetett abban, hogy a nagy szögű eltérés egyedi eseményektől (egyszeres szórásból) származik, és nem többszörös szórásból. Rutherford ezeket a kísérleteket is elvégezte. A kísérleti eredmények egyértelműen az α -részecskék egyszeri szóródását bizonyították.

(Egyébként ezzel a módszerrel lehet megvizsgálni napjaink kísérleteiben azt is, hogy egy céltárgy „elegendően vékony-e” az adott kísérletben, azaz, hogy ott csak egyszeri kölcsönhatások játszódnak-e le.)

$$5. \quad m_p = 2,48 \cdot 10^{-28} \text{ kg} \quad m_m = 1,88 \cdot 10^{-28} \text{ kg} \quad l_p = l_m = 7,47 \cdot 10^{-20} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

Mivel a detektornak csak a kisebb tömegű, ezért a nagyobb sebességű müonokat kell detektálnia, ezért a közegbeli fénysebességnek a müonok sebességénél kisebbnek, a pionok sebességénél viszont nagyobbak kell lennie:

$$v_\mu \geq \frac{c}{n} \geq v_\pi.$$

A részecskék relativisztikus impulzusa(lendülete) és nyugalmi tömege közötti összefüggés:

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

Ebből

$$\frac{v}{c} = \frac{p}{\sqrt{p^2 + m_0^2 c^2}}.$$

Az ismert mennyiségekkel:

$$\left(\frac{c}{v}\right)_\pi = n = \frac{\sqrt{7,47^2 \cdot 10^{-40} \frac{\text{kg}^2 \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} + 2,48^2 \cdot 10^{-56} \text{ kg}^2 \cdot 3^2 \cdot 10^{16} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}}{7,47 \cdot 10^{-20} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}} = 1,411.$$

Hasonlóan a müonra:

$$\left(\frac{c}{v}\right)_\mu = n = 1,238.$$

Tehát a keresett törésmutató: $1,238 < n < 1,411$.

$$6. \quad W_k = 0,64 \text{ aJ} = 6,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

a) A fotoeffektus

$$h \frac{c}{\lambda} = W_k + \frac{p^2}{2m}.$$

egyenletébe helyettesítsük be az elektron de Broglie-féle hullámhosszát:

$$h \frac{c}{\lambda} = W_k + \left(\frac{h}{\lambda_e}\right)^2 \cdot \frac{1}{2m}.$$

Ebből

$$\frac{h}{\lambda_e} = \sqrt{\frac{2mhc}{\lambda} - 2mW_k}.$$

Szorozzuk be mindkét oldalt $\frac{\lambda}{h}$ -val. Így kapjuk ugyanis a hullámhosszak arányát:

$$\frac{\lambda}{\lambda_e} = \frac{1}{h} \sqrt{2nhc\lambda - 2mW_k\lambda^2} = \frac{1}{h} \sqrt{2m \cdot (hc\lambda - W_k\lambda^2)}.$$

A négyzetgyök alatti (a fény hullámhosszát tekintve) másodfokú kifejezésnek

$$\lambda = \frac{hc}{2W_k}$$

hullámhosszértéknél, vagyis a határhullámhossz felénél van szélső értéke. Ez a maximális hullámhossz:

$$\lambda_{\max} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \cdot 6,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 1,552 \cdot 10^{-2} \text{ m}.$$

Tehát 155,2 nm hullámhosszúságú fényt kell alkalmazni.

b) A hullámhosszak arányának maximális értéke:

$$\left(\frac{\lambda}{\lambda_e}\right)_{\max} = \frac{1}{h} \sqrt{2m \left(hc \frac{hc}{2W_k} - W_k \frac{h^2 c^2}{2W_k^2} \right)} = c \sqrt{\frac{m}{2W_k}}.$$

Az ismert mennyiségekkel:

$$\left(\frac{\lambda}{\lambda_e}\right)_{\max} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sqrt{\frac{9,110 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}{2 \cdot 6,4 \cdot 10^{-19} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}}} = 252,9.$$

Tehát a keresett arány maximális értéke 252,9.

7. A hidrogén nem energiaforrás, hiszen természetes állapotban nem áll rendelkezésre a Földön; csak energiahordozó. Ez azt jelenti, hogy előbb elő kell valahogyan állítani, és csak ezután lehet használni (mint ahogyan az elektromos energia sem energiaforrás, csak energiahordozó). A hidrogén előállításához (pl. a víz elektrolíziséhez) energia kell, legalább annyi, mint amennyi energiát a hidrogén elégetésével majd visszanyerünk. A széndioxid-kibocsátás tehát csak akkor lenne mérsékelhető a hidrogén-technológiával, ha a hidrogén előállításához is széndioxid-mentes energiaforrást (vízenergia, atomenergia) használnánk.
8. Természetesen a kocka-világban is a legalacsonyabb energiájú állapot a csomómentes állapot. Mivel ebből csak egyféle van, ebbe itt is két elektron „fér el” a Pauli-elvnek megfelelően. Ezért az első nemesgáz rendszáma itt is 2. A kocka alakú világban nincs semmi „gömbölyű”, ezért nem lehetnek csomógömbök sem, csak csomósíkok. Így azután a következő állapot az egy csomósíkos állapot. Ebből azonban 3 lényegesen különböző lehet (a tér három irányának megfelelően), s a kocka szimmetriája miatt ezek azonos energiájúak. Ezek mindegyikébe a Pauli-elvnek megfelelően 2-2 elektron fér. Ez összesen 6

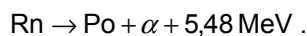
elektront jelent az egy csomósíkos állapotban. Ezért a következő „nemesgáz” elektronjainak száma 8.

9. (II. kategória)

$$m_{\alpha} = 4,0015 \text{ u} = 4,0015 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad E_{\alpha} = 5,48 \text{ MeV} = 5,48 \cdot 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$m_{\text{Rn}} = 222,02 \text{ u} = 222,02 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Az atommagreakció:



Ezért a polóniummag tömege:

$$m_{\text{Po}} = m_{\text{Rn}} - m_{\alpha} - \frac{5,48 \text{ MeV}}{c^2} .$$

Az ismert mennyiségekkel:

$$m_{\text{Po}} = (222,02 - 4,0015) \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} - \frac{5,48 \cdot 1,602 \cdot 10^{-13} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}}{9 \cdot 10^{16} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = 3,619 \cdot 10^{-25} \text{ kg} .$$

Az α -részecske sebessége:

$$v_{\alpha} = \sqrt{\frac{2E_{\alpha}}{m_{\alpha}}} = 1,626 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}} .$$

Az impulzus(lendület)megmaradás miatt:

$$v_{\text{Po}} = \frac{4,0015 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 1,626 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3,619 \cdot 10^{-25} \text{ kg}} = 2,984 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}} .$$

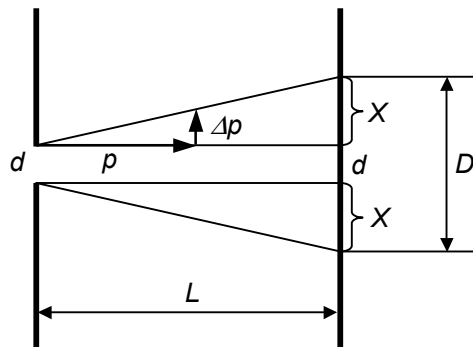
9. (I. kategória)

Ha az elektronsugár a klasszikus fizika szabályai szerint viselkedne, akkor egy párhuzamos nyaláb a d átmérőjű nyíláson áthaladva éppen d átmérőjű foltot hagyna az ernyőn. A foltátmérő csökkentése érdekében tehát nagyon kicsire kell csökkenteni a d átmérőt. Az átmérő csökkentésével azonban egyre inkább számításba kell venni az elektronok hullám-tulajdonságát is, hiszen kis résen (lyukon) a részecskehullám elhajlik, és behatol a rés mögé. Nagyon kis rés tehát nagyon nagy elhajlást okoz, és emiatt az ernyőn megjelenő folt is egyre nagyobb lesz.

Az elhajlást a Heisenberg-féle határozatlansági összefüggés segítségével becsülhetjük meg. Tekintsük most csak az egyik, az ernyő síkjába eső dimenziót. (A másik dimenzióra vonatkozóan hasonló a helyzet.) A lyukon áthaladó részecskéket „beszorítottuk” a lyuk méretére, a helyüket — pl. x irányban — d pontossággal meg tudjuk mondani, azaz $\Delta x = d$. Ennek megfelelően a résen áthaladt hullám lendület(impulzus)vektorának is lesz egy

$$\Delta p_x \approx \frac{\hbar}{\Delta x} = \frac{\hbar}{d}$$

bizonytalansága.



Az ábra hasonló háromszögei alapján

$$\frac{\Delta p_x}{p} = \frac{X}{L}.$$

A folt átmérője tehát:

$$D = d + 2X = d + 2L \frac{\Delta p_x}{p} = d + \frac{2L\hbar}{p} \cdot \frac{1}{d}.$$

Szorozzuk végig $d (\neq 0)$ -vel az előbbi összefüggést, és azt követően rendezzük át:

$$d^2 - Dd + \frac{2L\hbar}{p} = 0.$$

Ezen másodfokú egyenlet diszkriminánsa:

$$D^2 - \frac{8L\hbar}{p} \geq 0$$

kell ahhoz, hogy az egyenlet megoldható legyen. Ebből kapjuk:

$$D \geq \sqrt{\frac{8L\hbar}{p}}.$$

A folt átmérője éppen akkor a legkisebb, amikor

$$D = \sqrt{\frac{8L\hbar}{p}}.$$

Mivel a diszkrimináns ekkor éppen nulla, ezért a lyuk átmérője:

$$d = \frac{D}{2} = \sqrt{\frac{2L\hbar}{p}}.$$

10. (II. kategória)

$$\frac{A}{V} = 6 \frac{\text{Bq}}{\text{l}} \quad T_{1/2} = 12,3 \text{ y} = 3,882 \cdot 10^8 \text{ s}$$

18 gramm vízben $6,022 \cdot 10^{23} (N_A)$ vízmolekula van, és minden vízmolekulában 2 valamilyen hidrogénizotóp atom. Ezért 1 liter ($\approx 1\text{ kg}$) vízben lévő H-izotóp atomjainak száma:

$$2 \frac{1000\text{ g}}{18\text{ g}} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 6,691 \cdot 10^{25}.$$

Ezen atomok legnagyobb része természetesen ^1H , de van valamennyi ^2H (deutérium) és ^3H (trícium) is. A tríciumatomok részarányát az aktivitásból határozhatjuk meg.

Ismert, hogy az aktivitás a

$$A = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N$$

összefüggés segítségével számítható ki. Ebből az 1 liter vízben található trícium atommagjainak száma:

$$N = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} A = 3,360 \cdot 10^9.$$

Tehát a trícium részaránya:

$$\frac{3,360 \cdot 10^9}{6,691 \cdot 10^{25}} = \underline{\underline{5,0022 \cdot 10^{-17}}}.$$

10. (I. kategória)

A Naptól R távolságra levő, m tömegű objektumra a Nap

$$F_{\text{be}} = f \frac{mM}{R^2}$$

vonzóerőt gyakorol. Ez az erő a Nap középpontja felé — „befelé” — mutat. A Nap azonban — sugárzása révén — kifelé mutató erőt is tud gyakorolni a fénynyomás segítségével. A fénynyomás onnan ered, hogy a Naptól származó fotonok ütköznek a testtel. Ha elnyelődnek, akkor p lendületet(impulzust) adnak át a testnek, ha pedig visszaverődnek, akkor $2p$ impulzust(lendületet) adnak át. Ha a Nap időegységként N fotont bocsát ki, akkor egy A felületű, a Naptól R távolságra levő testre időegység alatt

$$N \frac{A}{4\pi R^2}$$

foton esik. Ezzel lesz arányos a fénynyomástól származó, a Naptól kifelé mutató erő:

$$F_{\text{ki}} = kN \frac{A}{4\pi \cdot R^2}.$$

A kiszemelt testre ennek a két erőnek az eredője hat (minthogy a feladat megfogalmazása szerint a bolygók hatásától eltekintünk). A két erő eredője:

$$F = F_{\text{be}} - F_{\text{ki}} = (fmM - NkA) \frac{1}{R^2}.$$

Ebből látható, hogy ha valamilyen pontban e két erő eredője éppen nulla, azaz $fmM = NkA$, akkor ez a Naptól bármilyen távolságban is nulla lesz. Tehát akárhol halad is a test, a ráható erők eredője mindig nulla lesz; a test egyenes pályán fog mozogni.

A fénynyomás csak nagyon kis erőket tud létrehozni. Ezért ahhoz, hogy az erők egyensúlya teljesüljön, az objektumnak is m tömegűnek (kis gravitációs vonzás) és nagy A felületűnek (sok foton csapódjon be időegység alatt) kell lennie. Gömbszimmetrikus testek esetén a test tömege a sugár köbével csökken, a felülete azonban csak a sugár négyzetével. Ezért elegendően kicsiny objektumok esetén a fénynyomásból származó erő akár meg is haladhatja a gravitációs vonzóerőt, és „kifújhatja” a Naprendszerből ezeket az apró részecskéket. Tehát az „egyenes pályájú” égi objektum nagyon kicsike ...

— E) A 7. VERSENY DÖNTŐJÉNEK EREDMÉNYLISTÁI —

II. KATEGÓRIA

1.	SZÉCHENYI GÁBOR	Versegly F. Gimn., Szolnok Pécsi István	83 pont
2.	MOLNÁR KRISTÓF	Zrínyi M. Gimn., Zalaegerszeg Pálovics Róbert	63 pont
3.	VINCZE JÁNOS	Fazekas M. Gimn., Debrecen Takács Kálmán	44 pont
4.	PÓSA LÁSZLÓ	Bethlen G. Ref. Gimn., Hódmezővásárhely Nagy Tibor	37 pont
5.	KOCSIS VILMOS	Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged Kovács László	36 pont
6.	KOZÁK GÁBOR	Bethlen G. Ref. Gimn., Hódmezővásárhely Nagy Tibor	30 pont
7.	KIRÁLY MÁRTON	Budai Nagy A. Gimn., Budapest Sigmond Gábor	25 pont
8.	MADARASI-PAP TAMÁS	Leöwey K. Gimn., Pécs Simon Péter	25 pont

I. KATEGÓRIA

1.	VÍGH MÁTÉ	PTE Babits M. Gyak. Gimn., Pécs Koncz Károly	78 pont
2.	PAPP GERGELY	Batthyány K. Gimn., Szigetszentmiklós Bülgözdí László	73 pont

3.	BORSÓS DÁVID	Boronkai Gy. Műszaki Középiskola, Vác Jendrék Miklós	60 pont
4.	ORBÁN GERGELY	Városmajori Gimn., Budapest Jäger Csaba	56 pont
5.	HORVÁTH MÁRTON	Fazekas M. Gyak. Gimn., Budapest Horváth Gábor	54 pont
6.	LUX ANDRÁS	ELTE Apáczai Csere J. Gyak. Gimn., Budapest Zsigri Ferenc	53 pont
7.	ÚJHELYI ZOLTÁN	Madách I. Gimn., Vác Horváth Edit	52 pont
8.	PAPP ATTILA	Tóth Á. Gimn., Debrecen Kovács Miklós	52 pont
9.	SZABÓ ATTILA	Lovassy L. Gimn., Veszprém Varga Vince	52 pont
10.	TÓTH EMIL	Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged Kovács László	50 pont
11.	TÓTH LÁSZLÓ	Verseggy F. Gimn., Szolnok Veres Dénes	50 pont
12.	LANTOS JUDIT	Bethlen G. Ref. Gimn., Hódmezővásárhely Nagy Tibor	44 pont
13.	HEISENBERGER VIKTOR	Leöwey K. Gimn., Pécs Simon Péter	39 pont
14.	PÁLINKÁS ANDRÁS	Boronkai Gy. Műszaki Középiskola, Vác Jendrék Miklós	37 pont
15.	BORSOS ÁDÁM	Kölcsey F. Gimn., Zalaegerszeg Dormán Tibor	36 pont
16.	HANDBAUER PÉTER	Leöwey K. Gimn., Pécs Simon Péter	35 pont
17.	KŐKUTI ZOLTÁN	Ságvári E. Gyak. Gimn., Szeged Győri István	30 pont
18.	GÉMESI RÓBERT	Lauder J. Középiskola, Budapest Horányi Gábor és Tóth Eszter	29 pont

F) MEGJEGYZÉSEK

A Versenykiírásban megadtuk a tantervi követelményekkel összhangban lévő témaköröket is. Mivel ezek ismeretanyagában való jártasság a sikeres szereplés feltétele és az előírások a jövőben aligha változnak, ezért azokat itt is megadjuk:

Mikrorészecskék leírásának alapjai, az anyag kettős természete
Hőmérsékleti sugárzás törvényei, Fotonok,
Fényelektromos jelenség, Compton jelenség
de Broglie összefüggés, elektronok interferenciája
Heisenberg-féle határozatlansági összefüggés
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,
Wigner Jenő (atomreaktor) munkássága.
Részecskegyorsítók működési elvei.
Környezetvédelmi alapismeretek: pl. CO₂ és az üvegházhatás, ózonlyuk,
radon-probléma, radioaktív hulladék elhelyezése

A versenyzők felkészülését segíthetik a Versenykiírásban szintén megadott alábbi forrásmunkák:

Marx György: Atomközelen
Marx György: Életrevaló atomok
Marx György: Atommagközelen;
Radnóti Katalin szerk.: Így oldunk meg atomfizikai feladatokat;
Radnóti Katalin szerk.: Modern Fizika CD.

A Verseny további szakaszaiban az 1. forduló feladatlapját úgy kell elkészítenünk, hogy az olvasható is legyen! Ugyanis a 7. szakasz feladatlapjának, illetve a javítási és értékelési útmutatójának a jelentős része halvány és apróbetűs, esetenként olvashatatlan volt.

A 7. Versenyre 61 iskolából összesen 373 tanuló nevezett. Közülük 28 iskolából 48 I. kategóriás és 8 II. kategóriás versenyző érte el az esetleges továbbjutást jelentő pontszámot — a javító kollégák szerint. A javítások felülvizsgálata során 37 dolgozat pontszámát kellett módosítani. A pontszámváltozások elsősorban azokat a feladatokat érintették, amelyeknek javításában nagyfokú szubjektivitás érvényesül.





A **jövő** energiájával a **jövő** generációjáért



Paksi Atomerőmű Rt.

Részvénytársaságunk Kármán Tódor díjat kapott a magyar oktatásügy támogatásáért az Oktatási Minisztériumtól.