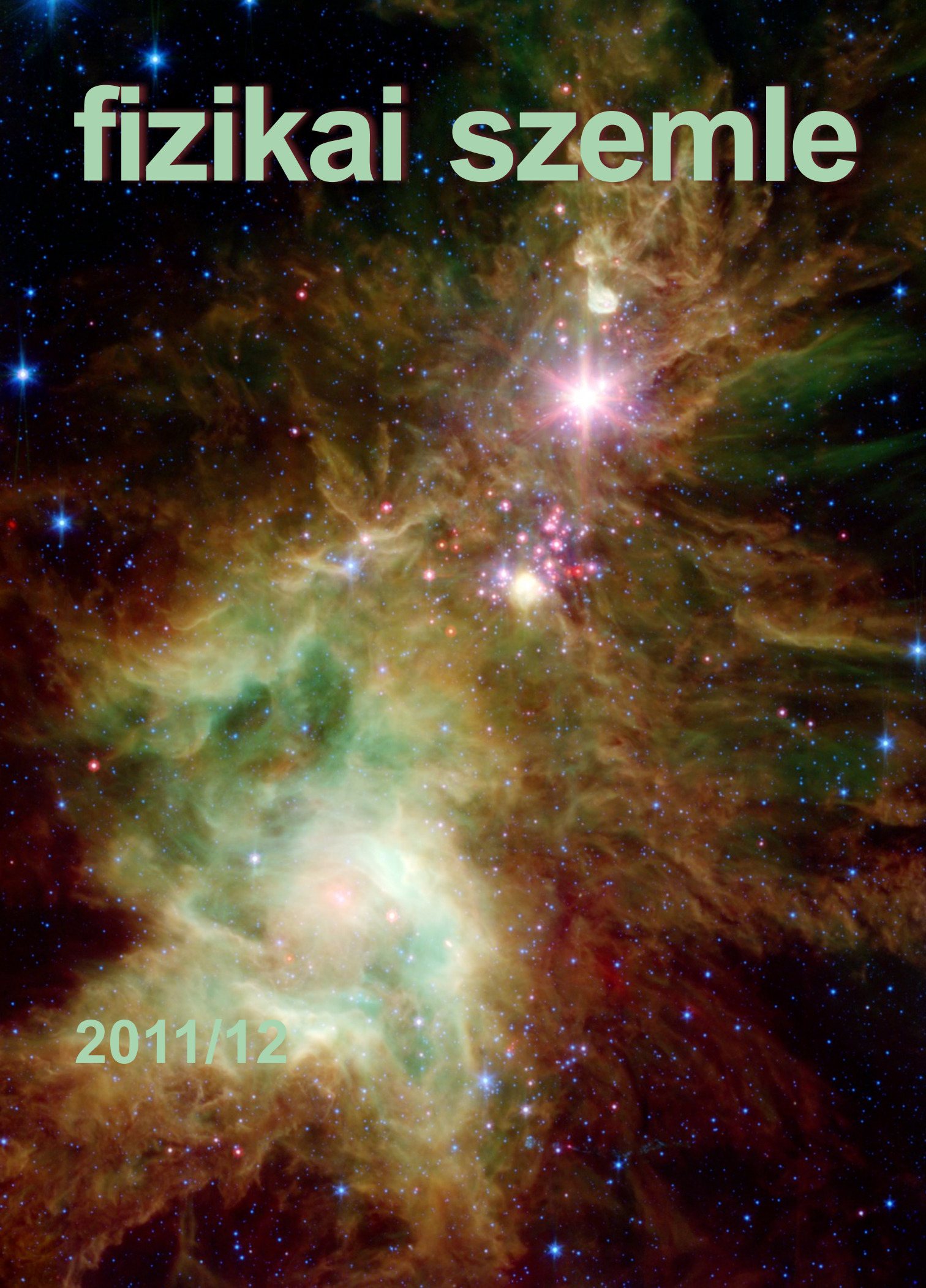


fizikai szemle



2011/12

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat
havonta megjelenő folyóirata.
Támogatók: A Magyar Tudományos
Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya,
a Nemzeti Erőforrás Minisztérium,
a Magyar Biofizikai Társaság,
a Magyar Nukleáris Társaság
és a Magyar Fizikushallgatók Egyesülete

Főszerkesztő:

Szathmáry Zoltán

Szerkesztőbizottság:

Bencze Gyula, Czitrovszky Aladár,
Faigel Gyula, Gyulai József,
Horváth Gábor, Horváth Dezső,
Iglói Ferenc, Kiss Ádám, Lendvai János,
Németh Judit, Ormos Pál, Papp Katalin,
Simon Péter, Sükösd Csaba,
Szabados László, Szabó Gábor,
Trócsányi Zoltán, Turiné Frank Zsuzsa,
Ujvári Sándor

Szerkesztő:

Füstöss László

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mail címe:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>

A címlapon:

Az NGC 2264 fiatal csillagok halmaza,
amely a Földtől 2600 fényévre található
az Egyszarvú (Monoceros) csillagkép
irányában. A csillaghalmazt körülvevő
intersztelláris felhőt jellegzetes
alakjáról Karácsonyfa-ködnek nevezik.
Ezzel a képpel kívánnak szép
ünnepeket a szerkesztők.

TARTALOM

<i>Barnaföldi Gergely Gábor, Bencédi Gyula, Hamar Gergő, Melegh Hunor, Oláh László, Surányi Gergely, Varga Dezső:</i> Kincskeresés kozmikus műonokkal	401
<i>Farkas Alexandra, Kiricsi Ágnes, Klemm László:</i> (R)égi csodajelek – 17–18. századi halójelenségek a Magyar Nemzeti Múzeumból	407
<i>Kiss Éva:</i> Gyógyszerhordozó nanorészecskék	413
<i>Horváth András:</i> A Paksi Atomerőmű kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékainak mennyiségi és minőségi elemzése	417
<i>Gombkötő Balázs, Kornis János:</i> Digitális holográfia	422
Tényleg Einstein fedezte fel, hogy $E = mc^2$? (Hraskó Péter)	426

A FIZIKA TANÍTÁSA

<i>Bigus Imre:</i> Becslési verseny az Árpád Vezér Gimnázium és Kollégiumban	428
<i>Härtlein Károly:</i> Kísérletezzünk otthon!	434

G. G. Barnaföldi, G. Bencédi, G. Hamar, H. Melegh, L. Oláh, G. Surányi, D. Varga:
Search for underground treasure sites using cosmic ray muons
A. Farkas, Á. Kiricsi, L. Klemm: XVII and XVIII century halo images shown
in the Hungarian National Museum, Budapest
É. Kiss: Nanoparticles as medication carriers
A. Horváth: Quantitative and qualitative analysis of weak and medium
radioactivity waste of Paks Nuclear Power Plant, Hungary
B. Gombkötő, J. Kornis: Digital holography
Did Einstein discover $E = mc^2$? (P. Hraskó)

TEACHING PHYSICS

I. Bigus: A contest in quantitative assessing of problem solutions in physics
at Árpád Vezér high school
K. Härtlein: Physical experiments to be performed at home

G. G. Barnaföldi, G. Bencédi, G. Hamar, H. Melegh, L. Oláh, G. Surányi, D. Varga:
Suche nach unterirdischen Schatzkammern mit Müonen der Kosmischen Strahlung
A. Farkas, Á. Kiricsi, L. Klemm: Halo-Bilder aus dem XVII und XVIII Jh.
im Ungarischen Nationalmuseum, Budapest
É. Kiss: Nanoteilchen als Träger von Arzneien
A. Horváth: Quantitative und qualitative Analyse der radioaktiven Abfälle
mittlerer und kleiner Aktivität aus dem ungarischen Kernkraftwerk Paks
B. Gombkötő, J. Kornis: Digitale Holografie
Hat tatsächlich Einstein entdeckt, daß $E = mc^2$? (P. Hraskó)

PHYSIKUNTERRICHT

I. Bigus: Ein Wettbewerb im quantitativen Abschätzen der Lösungen von Aufgaben
aus der Physik (Árpád Vezér Gymnasium)
K. Härtlein: Zu Hause ausgeführte Experimente

Г. Г. Барнафёльди, Д. Бенцеди, Г. Хамар, Г. Мэляж, Л. Оля, Г. Шурани, Д. Варга:
Поиск подземных камер пучками мюонов космического излучения
A. Farkas, Á. Kiricsi, L. Klemm: Картины хало-явлений из XVII и XVIII века
в Венгерском Народном Музее, Будапешт
Э. Киш: Нано-частицы как носители лекарств
A. Horváth: Количественный и качественный анализ радиоактивных отходов малой
и средней активности из Ядерной Электростанции Пакш (Венгрия)
Б. Гомбкётё, Я. Корниш: Цифровая голография
Действительно ли Эйнштейн изобрел формулу $E = mc^2$? (П. Храшко)

ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

И. Бигус: Конкурс в количественной оценке решений задач по физике
К. Гэртлейн: Эксперименты для выполнения дома

Szerkesztőség: 1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 29–33., 31. épület, II. emelet, 315. szoba, Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682

A Társulat Internet honlapja <http://www.elft.hu>, e-postacíme: mail.elft@gmail.com

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős: Szathmáry Zoltán főszerkesztő.

Kéziratokat nem őrzünk meg és nem küldünk vissza. A szerzőknek tiszteletpéldányt küldünk.

Nyomdai előkészítés: Kármán Tamás, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szathmáry Attila ügyvezető igazgató.

Terjeszti az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, előfizethető a Társulatnál vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egyzámlán.

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 800.- Ft + postaköltség.

HU ISSN 0015–3257 (nyomtatott) és HU ISSN 1588–0540 (online)

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



paksi atomerőmű



Nemzeti
Kulturális
Alap

NCA
Nemzeti Civil Alaprogram



Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Matematikai és Természettudományi Értesítőt az Akadémia 1882-ben indította
A Matematikai és Physikai Lapokat Eötvös Loránd 1891-ben alapította

LXI. évfolyam

12. szám

2011. december

KINCSKERESÉS KOZMIKUS MŰONOKKAL

– avagy kozmikus müondetektálás alkalmazott kutatásokban

Barnaföldi Gergely Gábor, Bencédi Gyula, Hamar Gergő, MTA KFKI RMKI
Melegh Hunor,¹ BME VIK
Oláh László,¹ ELTE TTK
Surányi Gergely, MTA-ELTE Geológiai, Geofizikai és Űrtudományi Kutatócsoport
Varga Dezső, ELTE TTK Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék

A kozmikus sugárzást mintegy száz éve ismerjük. Felfedezéséhez egy egészen egyszerű megfigyelés vezetett: a feltöltött elektroszkópok töltésvesztése. A német *Theodor Wulf* szerzetes írta le először a jelenséget, amely háttérben a földkéreg kőzetének sugárzását sejtette. Homokkőbányákban végzett kísérletei azonban azt mutatták, hogy a töltésvesztés gyorsasága – az elvárásokkal ellentétben – nem növekszik, hanem éppen hogy csökken a mélyebben fekvő tárnákban. 1910-ben az Eiffel-torony tetején és alján elvégzett mérései után kézenfekvő volt, hogy így nem a földből, hanem az „égből érkező” sugárzásról lehet szó. Ezt támasztotta alá *Viktor Hess* „extrém” kísérlete 1912-ben: mintegy 5300 méteres magasságig emelkedett ballonjával, miközben folyamatosan mérte egy speciálisan kialakított elektroszkóp töltésvesztésének sebességét. Mérései eredményeként megállapította, hogy a magasság növekedésével a kozmikus sugárzás hatása erősödik. Vakmerő kísérleteiért, valamint a kozmikus sugárzás felfedezéséért és vizsgálatáért 1936-ban Nobel-díjat kapott (1. ábra).

Ezek a felfedezések egy új kutatási irányt nyitottak meg, amelyhez a magyar *Jánossy Lajos* munkássága is kapcsolódott. Jánossy az '50-es években Magyarországra hazatérve létrehozta a KFKI Kozmikus Sugárzási Laboratóriumát, ahol villanólámpás GM csövek segítségével kozmikus részecskék hozamát, illetve szögeloszlását vizsgálta (1. ábra), majd mérései megértéséhez új, statisztikus eljárást, az elméleti kaszkádmodellt fejlesztett ki.

A kozmikus sugárzás

A Földünket folyamatosan bombázó nagyenergiás kozmikus részecskéket több mint egy évszázada vizsgáljuk, így az ionizáló sugárzás mibenlétéről a kísérleti megfigyelések alapján egyre pontosabb képet kaptunk. Kísérletek segítségével bebizonyították, hogy a világűrben terjedő kozmikus sugárzásban az elektromágneses sugárzás mellett több komponens is jelen van, amelyek elsősorban protonokból (89%), további stabil atommagokból (10%) és elektronokból (1%) állnak. E nagyenergiás primer részecskék a közel 20 km-es magasságban, a ritka felsőléggör O és N atommagjaival ütközve másodlagos részecskezápороkat keltenek. A részecskezápороk az erős kölcsönhatás törvényei szerint fejlődnek, elsősorban pionokat tartalmaznak (π^0 , $\pi^\pm$), amelyekből β -bomlással müonok ($\mu^\pm$) keletkeznek.

A müonok felfedezése önmagában is szorosan kapcsolódik a kozmikus sugárzáshoz, hiszen 1937-ben *C. D. Anderson* és munkatársai elsőként kozmikus sugárzásban mutatták ki ezt, az elektronnál 200-szor nehezebb negatív töltésű leptonfajtát. A müonok 2,2 μ s alatt bomlanak el elektrorra és neutrínókra, és mivel közel fénysebességgel haladnak, ennyi idő alatt alig néhány száz métert tehetnek meg. Azonban számukra, mivel gyorsak, lassabban telik az idő – ez a relativisztikus idődilatáció jelensége – ami miatt eljutnak Földünk felszínére, illetve kellő energia esetén akár a földkéregbe is. A másodlagos részecskék keletési mechanizmusa megegyezik a nagyenergiás részecskegyorsítókban mesterségesen előállított atommag-atommag ütközésekbeli folyamatokkal, ám

¹ MSc egyetemi hallgató

- ritkábban fordulnak elő,
- energiájuk akár több nagyságrenddel is nagyobb lehet,

- a keltett részecskezapor több km² területen „szóródik szét” a földfelszínen.

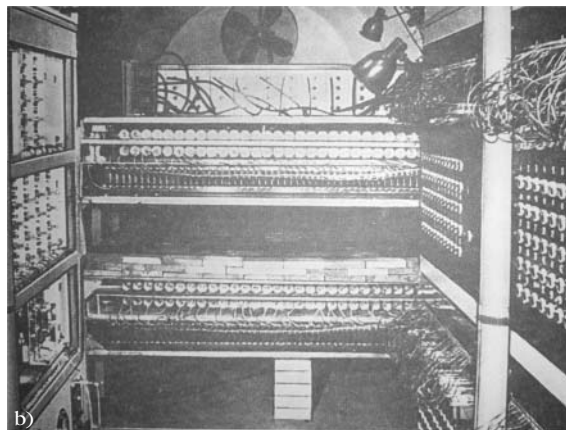
A napszél a kozmikus részecskék egyik forrása, azonban kozmikus müonok keltéséhez túlzottan alacsony energiájú. A felszín elért müonok forrása a Galaxison belüli és kívüli speciális csillagászati objektumok, „ kozmikus részecskegyorsítók”, például gyorsan forgó, nagy mágneses térrel rendelkező csillagmaradványok. A primer részecskék megjelenési valószínűsége jó közelítéssel az energia harmadik hatványával fordítottan arányos, energiájuk nagy ritkán akár a 10²⁰ eV-ot is elérheti (évente néhány száz négyzetkilométerenként egy) [2], ami megfelel egy jól megütött teniszlabda energiájának. A sugárzásból felszínre jutó müonok intenzitása jelentős, tenyerünkön másodpercenként körülbelül egy halad át, átlagos energiájuk néhány GeV (10⁹ eV), egy átlagos radioaktív bomlás energiájának ezerszerese.

A mért részecskehozam, tekintve hogy forrása nem a Nap, időben nagyjából állandó, pontos mérésekkel azonban a naptevékenység és napszakváltozás (a Föld mágneses terének módosulása miatt), valamint az évszakok váltakozása (léggör állapota) is kimutatható benne.

A földfelszínen állva rajtunk is folyamatosan áthaladnak müonok, másodpercenként mintegy 5-10 részecske (részei tehát a természetes radioaktív háttér-sugárzásnak). Ez a sugárzás veszélytelen, azonban vizsgálatuk részecskefizikai szempontból izgalmas és aktív kutatási terület, sőt alkalmazott kutatásokra is lehetőséget ad.

Kozmikus sugárzás alkalmazott kutatásokban

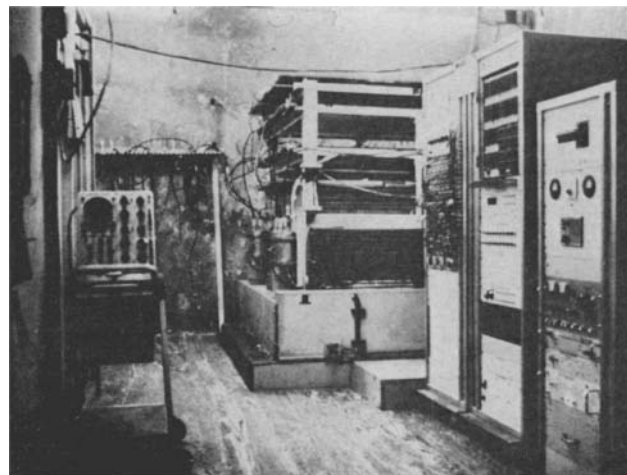
A kozmikus sugárzás tulajdonságainak beható vizsgálatából származó eredmények már a múlt század közepén lehetőséget teremtettek olyan alkalmazott kutatási projektek elindítására, amelyek a kozmikus részecskezaportok tulajdonságain alapulnak. Az első felhasználás *E. P. George* nevéhez fűződik, aki az ausztrál hegyekben próbálta meghatározni a hórétegek vastagságát a kozmikus müonok hozamának változásait vizsgálva. Ezt követte – a későbbi Nobel-díjas – *L. W. Alvarez* által vezetett régészeti kutatás, amely a Kefren-piramis belsejének feltérképezésére irányult. Alvarez és munkatársai 1966-ban egy mintegy 1,8 m²-es detektort helyeztek el a korábban a piramis alá fűrt mesterséges Belzoni-kamrába. A több rétegben elhelyezett szikrakamrákból álló müonte-

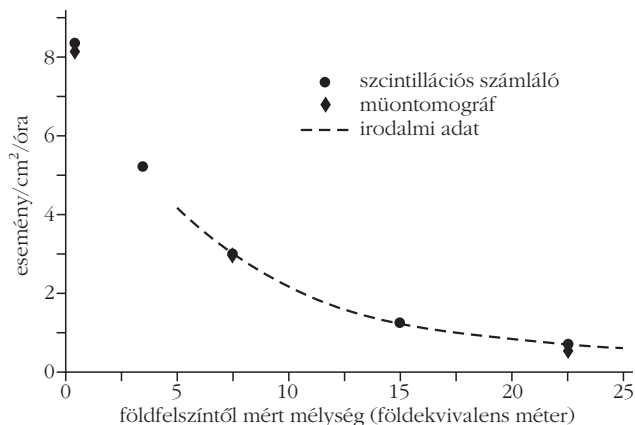


1. ábra. Az „extrém” kísérlet előtt készített fényképfelvételek Viktor Hessről (a). Kozmikus részecskék mérése a KFKI területén található Jánossy-féle aknában (b) (1958–1986) [1].

leszkóppal – egy évnyi adatgyűjtés után – megállapították, hogy az ismert kamrákon kívül nincsenek 1 m-nél nagyobb átmérőjű rejtett üregek a piramis belsejében (2. ábra). Munkájuk megkímélte az egyiptomi régészeket, hogy feleslegesen megbontsák a piramis szerkezetét, hagyományos módon keresve a rejtett kincseskamrákat [3].

2. ábra. A szikrakamrákból összeállított müondetektor tesztelése a Berlekey laboratóriumában (L. W. Alvarez, A. Fakhry, és J. Anderson), majd mérés a Kefren-piramis Belzoni-kamrájában [2].





5. ábra. A müonhozam mélységfüggése a Jánossy-aknában. Jól látható, hogy a müontomográfal mért müonhozam (rombuszok) megegyezik a szcintillációs számlálóval (körök) mérttel és az irodalmi adatokkal (szaggatott vonal).

előnyei az eddig használt eszközökhöz képest, hogy könnyű szerkezetűek (100–150 g), valamint egyszerű és ellenálló konstrukciójuk, mivel toleránsak a sokszázas detektor működését veszélyeztető (10–100 μm nagyságú) pontatlanságokkal szemben [8].

Az általunk használt elrendezésben a tomográf négy detektorból állt, két párra osztva, egymástól 4 – 10 – 4 cm távolságban (4. ábra). Ezzel mindkét dimenzióban négy mérési pontot kaptunk. A minimálisan szükségesnél több detektor alkalmazása a nagyenergiás fizikában bevett szokás: két detektor elég lenne a pálya irányának megadásához, három esetén az illesztett egyenes pontossága ellenőrizhető (más forrásból származó háttér csökken), négy detektornál viszont az is megengedhető, hogy bármelyik ne szóljon meg. A rendszer teljes hatásfoka így (legalább három detektor jelez a négyből) 95% fölötti volt.

Kozmikus müonok vizsgálata a detektor segítségével

Detektorunkat a földfelszíni próbák után elsőként a KFKI területén található, Jánossy Lajos által 1951-ben épített 32 méter mély aknában teszteltük. Az aknában a felszíntől számítva 10 méterenként sugarasan szétfutó, összesen 6 darab táró található. Tekintettel arra, hogy a Jánossy-akna szerkezeti rajzai rendelkezésre álltak, így ismert geometriájával kiváló lehetőséget teremtett tesztelésre: azaz a müonok elnyelődési hányadának meghatározására adott mélységben, ami a szakirodalomból már eléggé pontosan ismert. A kapott eredmények segítségével könnyen becsléseket tehetünk más anyagi környezetben, más mélységeken végzett föld alatti vizsgálatok optimális mérési idejére – még detektorunk odahelyezése előtt.

A müontomográfal az RMKI Gázdetektor Laboratóriumban, valamint a Jánossy-akna –1. és –3. szintjén végeztünk méréseket. A mérésekkel egy időben egy szcintillációs detektort is üzemeltettünk, amely két szcintillátor együttes megszólalásait (koincidenciáit) számolta, csökkentve ezzel a földi eredetű sugárzásból adódó

háttérrel. A mérések kiértékelése során figyelembe vettük a detektorok felületéből, látószögéből és a mérések idejéből adódó müonhozam-különbségeket is. A 5. ábrán a mérési eredményekből jól látszik, hogy a müontomográfal (rombuszok) mért müonhozam megegyezik a szcintillációs számlálóval (körök) mért eredményekkel valamint az irodalmi adatokkal (szaggatott fekete) [9]. Az eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy detektorunk megfelelően méri a müonhozamot. A müonok száma a talajban lefelé haladva gyorsan csökken, tehát érzékeny a detektor feletti anyagmennyiség változására. A müonok számának csökkenése miatt viszont a komolyabb, nagy statisztikájú (mintegy millió detektált müon) vizsgálatokhoz már több napos folyamatos mérésre van szükség.

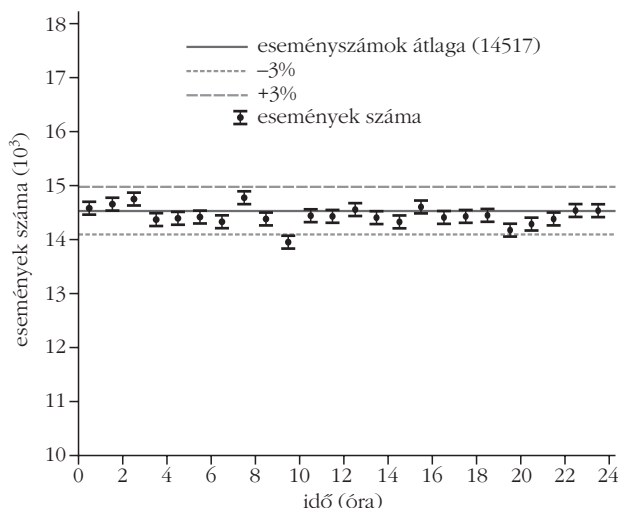
A bevezetőben utaltunk arra, hogy a kozmikus sugárzás időbeli ingadozása kicsi. Ezt számszerűsítve becslést adhatunk arra, hogy a Nap mennyiben járul hozzá a müonfluxushoz, amennyiben különbségnek kell mutatkoznia a nappal és éjszaka mért müonok száma között.

Több hosszú mérés alapján készült a 6. ábra, amely a müonesemények időbeli eloszlását mutatja, óras bontásban a nap 24 órájának megfelelően. Látható, hogy az óránként beérkező kozmikus müonok száma nem mutat 3%-nál nagyobb ingadozást, tehát méréseink szempontjából a napi időfüggést elhanyagolhatjuk [10].

A detektorunkon keresztülhaladó müonok irányfüggésének pontos ismerete kitüntetett jelentőséggel bír, tehát megmértük a kozmikus részecskék földfelszíni és föld alatti szögeloszlását.

Ismert tény, hogy a világűrben a kozmikus részecskék irányeloszlása egyenletes, méréseink szerint viszont a müonok száma láthatóan csökken, ha a zenit-hez képesti megfigyelési szöget növeljük. Ennek oka, hogy a zenit felé a legvékonyabb a légkör vastagsága, amin a felső atmoszférában keletkező müonoknak át kell hatolnia [11]. A felszínre csak azok jutnak el, amelyek elegendő energiával rendelkeznek: függőleges irányban körülbelül 1,5 GeV energiát vesztenek a müonok, más szögekben a szög koszinuszával fordítottan arányosan többet. Mindez azt is jelenti, hogy ha

6. ábra. A müonesemények napi időeloszlásának vizsgálata.

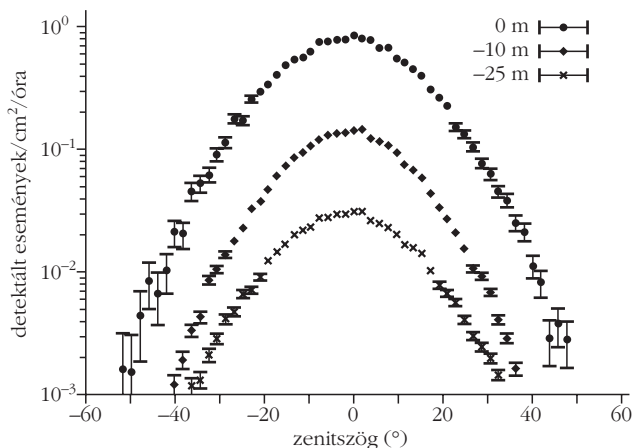
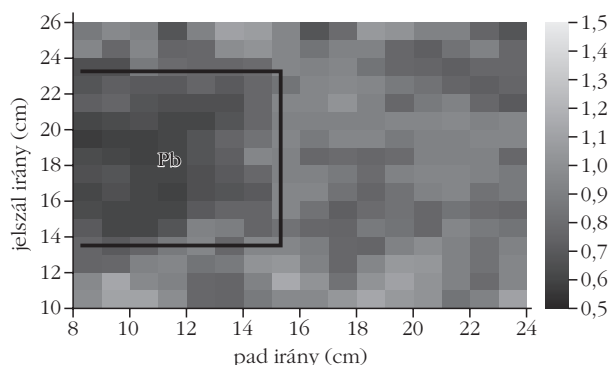
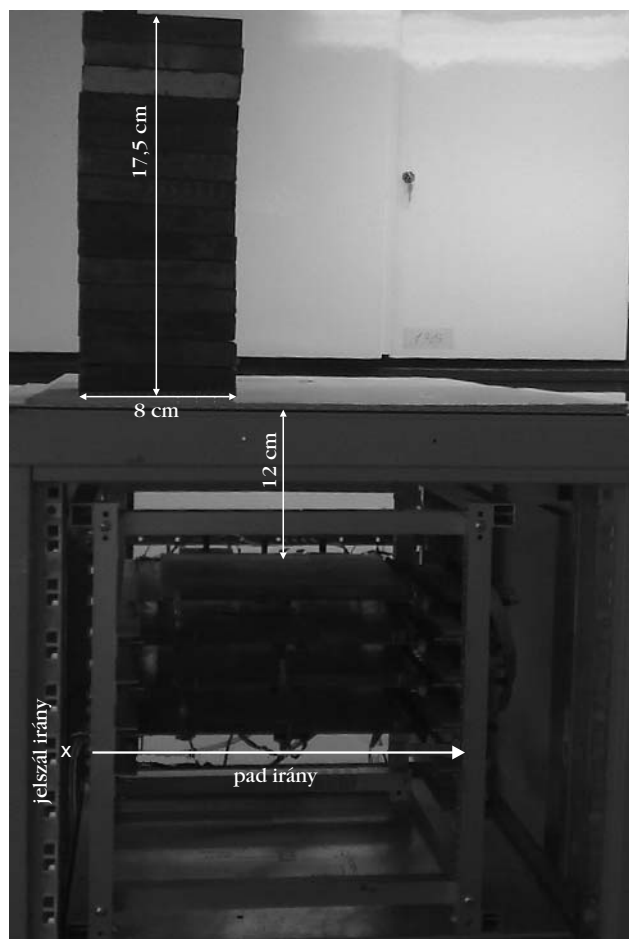


mélyebbre megyünk a talajban, a szögeloszlás alakja kis mértékben megváltozik, amit a 7. ábrán látható méréseink is igazoltak. Ha a talaj anyageloszlása nem egyenletes, az a fenti szögeloszlás további változását okozza; például egy üreg az adott irányban a müonszám növekedését eredményezi.

Szerkezetvizsgálat müonokkal

A berendezés szempontjából legérdekesebb kérdés, hogy alkalmas-e nagy kiterjedésű tárgyak anyagsűrűségének leképezésére. Ennek közvetlen demonstrálására a müontomográf felett 12 cm-es magasságban

8. ábra. A müontomográf érzékenységét vizsgáló kísérleti összeállítás az ólomtoronnyal és az ólomtorony müonképevel.



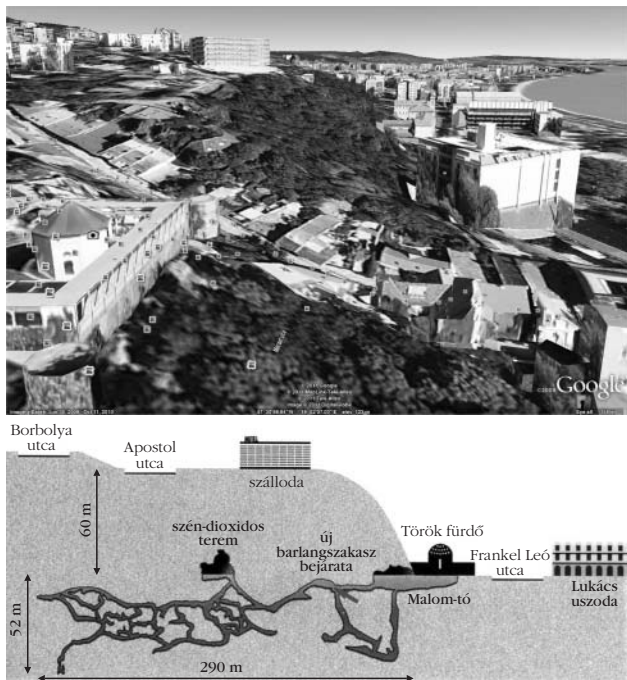
7. ábra. Müonhozam szögfüggése a földfelszínen, valamint 10 m és 25 m úgynevezett földkvivalens mélységeken.

építettünk egy $8 \text{ cm} \times 8 \text{ cm} \times 17,5 \text{ cm}$ méretű ólomtoronyt (8. ábra), majd több mint százezer egyedi müoneseményt vettünk fel: először az ólomtoronnyal, majd anélkül. Feltételezésünk az volt, hogy a két leképezés különbségeként előáll az ólomtömb vetületi müonképe. A 8. ábra felső részén látható a relatív intenzitás két dimenzióban. Az ábra alsó részén jól kivehető a körülbelül 15%-os intenzitáscsökkenés az ólomtorony helyén.

A kozmikus müonokra tekinthetünk úgy, mint természetes „röntgensugárzás”-ra, ami kis intenzitása és nagy áthatolóképessége miatt nagy méretű objektumok belső vizsgálatára optimális, néhány tíz centiméteres, de inkább méteres felbontóképességgel. Van, hogy más vizsgálati módszerek nem megbízhatóak, ilyenkor egyedülálló lehetőséget jelent a kozmikus müonok mérése: például barlangüregek vizsgálata esetén a kőzet repedéses szerkezete miatt az akusztikus vagy vezetőképességen alapuló mérési eredményeket érdemes például müontomográfval ellenőrizni.

Müonleképezés a budapesti Molnár János barlangban

A müontomográf, mint részecskedetektor, eredeti elrendezésében ellenőrzött laboratóriumi körülmények között kellett működjön – ilyenre jó példa, hogy a berendezés nagyon sokban hasonlít ahhoz, amit a CERN ALICE VHMPID (Very High Momentum Particle Identification Detector – nagyon nagy impulzusú részecskeazonosító) [12] berendezéshez készített kutatócsoportunk. Egy barlangrendszer egyáltalán nem klasszikus laborkörnyezet: a legnagyobb kihívást a közel 100%-os páratartalom jelenti. A nagy páratartalom miatt az eszköz magasfeszültségű elektródái közt a szigetelőanyag felületi vezetése megnövekszik, és a kialakuló mikroszkopikus szikrák (amelyek kicsit hasonlítanak arra, ahogy a nagyfeszültségű vezetékek „zúgnak” esőben) lehetetlenné teszik a mérést. Feladatunk tehát az volt, hogy a berendezés számára száraz környezetet biztosítsunk.



9. ábra. A József-hegy GoogleEarth által készített távlati képe, valamint a müontomográf helye és látószöge a 2. mérés során a Molnár János barlangban a József-hegy Ny–K irányú metszetén [13].

Fontos technikai kérdés az, hogy a detektort még ember számára is nehezen járható barlangi útvonalon, kézben kell lejuttatni a mérés helyére. Azontúl, hogy ez a berendezés méretét limitálja, jelentős igénybevételt, elővigyázatos szállítás ellenére is mechanikai sokkot jelent. Az alkalmazott, fent ismertetett közelkatódos technológia optimális választás ilyen szempontból, ami felépítésénél fogva jól viseli a mechanikai behatásokat, a deformációból eredő pontatlanságokat.

A laboratóriumi vizsgálatok és tesztek után a müontomográfot és a hozzá kapcsolódó elektronikákat egy stabil, légmentes dobozba zártuk, majd ezzel a detektorral végeztünk méréseket a budapesti Molnár János barlang extrém körülményei között. A detektor működéséhez szükséges argonkeverék a kamrákból a doboz belsejébe áramlott, biztosítva az elegendően alacsony (60% körüli) páratartalmat a kis mennyiségben bejutó nedves levegő ellenében. 2011. január 16-án telepítettük a müontomográfot a barlangba, majd kis megszakításokkal 3 hónapnyi adatot vettünk fel a barlang egy mesterségesen kialakított, elektromos hálózattal rendelkező tárójában.

A Molnár János barlang a József-hegy keleti oldalán található. Száraz felső ága a Frankel Leó úti Malom-tó felett helyezkedik el mintegy 12 m-rel. A barlang – több forrás által táplált – vize látja el termálvízzel a Lukács fürdőt is. A barlang – eddig ismert közel 7 km-es hosszának – több mint 95%-a víz alatt van, azonban legnagyobb levegős kamrájához egy mesterségesen kialakított táró is vezet [13]. A müontomográfal e táró 3 pontján végeztünk 3-3 hetes méréseket (9. ábra).

A különböző mélységeken végzett mérésekből – ismerve a müonhozam mélységfüggését – a kapott müonhozam ismeretében kiszámolhattuk a detektor

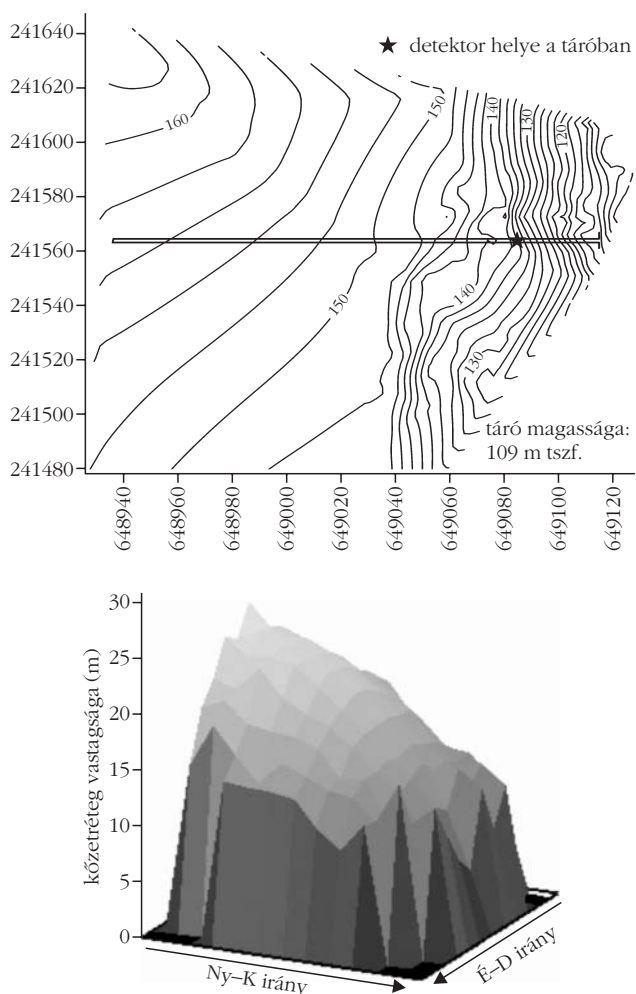
feletti földréteg vastagságát. Ehhez egy egyszerűsített modellt használtunk: a Jánossy-aknában végzett müonhozam-méréseink eredményei alapján azt feltételeztük, hogy a müonok elnyelődése közel exponenciális a 10–60 m-es dolomitos kőzetrétegben (a feltételezésből származó hiba kisebb az egyéb hibaforrásokhoz képest). Mivel a detektor két dimenzióban (két irányban) függetlenül mér, meghatározható volt a detektor feletti kőzetréteg-vastagság kétdimenziós képe. Egyenletes közetsűrűséget feltételezve kirajzolható a felszín háromdimenziós alakja, ami a 10. ábrán látható.

A 10. ábra alapján összegzőként elmondható, hogy első kvalitatív eredményeink azt mutatják: a közelkatódos kamrákból épített müontomográf néhány méteres pontossággal alkalmas kőzettelületek, kőzetinhomogenitások vizsgálatára.

Összefoglalás – kitekintés

A REGARD csoport által kifejlesztett és megépített müontomográfot sikeresen teszteltük, megmutatva, hogy a nagyenergiás fizikában használt speciális de-

10. ábra. A József-hegy általunk készített szintvonalas térképe EOV koordináta-rendszerben, ahol a csillag jelöli a detektor helyét a Molnár János barlang mesterséges tárójában, illetve a kozmikus müonok mérése alapján készített domborzat rekonstrukciója.



tektorteknika átültethető hétköznapi alkalmazásokba – akár extrém körülmények között. Detektorunk sikeresen vizsgázott a budapesti Molnár János barlangban. Ezek után elkészült a második műöntomográf prototípus is: korábbi tapasztalataink alapján kompaktabb, praktikusabb, automatizált eszközt készítettünk, amelyet geológiai és barlangkutatásban szeretnénk használni.

Zárszó, köszönetnyilvánítás

Az itt ismertetett kutatásokban alkalmazott CCC kamrák a CERN LHC ALICE kísérlet egyik tervezett aldetektorra, amelyet a VHMPID tervezése során fejlesztett ki a REGARD csoport és az ALICE-Budapest csoport [12]. A csoport tagjainak döntő hányada BSc/MSc/PhD hallgató, akik a kutatásfejlesztés szinte minden szintjén részt vesznek a munkálatokban. A szerzők köszönetüket fejezik ki a Rózsadombi Kinizsi Barlangász Egyesületnek és az Ariadne Barlangkutató Egyesületnek. További köszönet illeti *Bognár Csabát* és *Adamkó Pétert* a Molnár János barlangban nyújtott segítségért. Kutatásainkat az OTKA CK77719, CK77815, NK77816, PD73596 pályázatok valamint az MTA Bolyai János kutatási ösztöndíja (BGG, VD) támogatták.

Irodalom

1. Jéki L.: KFKI. Artéria Stúdió, Budapest, 2001.
2. K. Nakamura és mtsai: The Review of Particle Physics. *J. Phys. G* 37(2010) 075021.
3. L. W. Alvarez és mtsai: Search for Hidden Chambers in the Pyramids. *Science* 167(1970) 832–839.
4. Hiroyuki K. M. Tanaka és mtsai: High resolution imaging in the inhomogeneous crust with cosmic-ray muon radiography: The density structure below the volcanic crater floor of Mt. Asama, Japan. *Earth and Planetary Science Letters* 263(2007) 104–113.
5. L. J. Schultz, K. N. Borozdin és mtsai: Image reconstruction and material Z discrimination via cosmic ray muon radiography. *Nucl. Instrum. Method A* 519(2004) 687.
6. R. Alfaro, V. Grabski és mtsai: Searching for possible hidden chambers in the Pyramid of Sun. Proceedings of 30th International Cosmic Ray Conference 5, 1265 (2008)
7. REGARD csoport weblapja: <http://regard.kfki.hu/>
8. G. Hamar, G. Kiss, D. Varga: Asymmetric Multiwire Proportional Chamber With Reduced Mechanical Tolerances. *Nucl. Instrum. Meth. A* 648(2011) 163.
9. L. N. Bogdanova és mtsai: Cosmic Muon Flux at Shallow Depths Underground. *Physics of Atomic Nuclei* 69/8(2006) 1293.
10. Kobzi Balázs, Sajtos László: Kozmikus müonok kísérleti vizsgálata. OTDK dolgozat, ELTE, 2008.
11. Jeng-Wei Lin és mtsai: Measurements of angular distribution of cosmic-ray muon rate. *Nucl. Instrum. Meth. A* 619(2010) 24.
12. A. G. Agócs és mtsai: VHMPID Letter of Intent CERN-ALICE. Megjelenés alatt (2011)
13. Surányi G., Dombrádi E., Leél-Össy Sz.: Contributions of geophysical techniques to the exploration of the Molnár János Cave (Budapest, Hungary). *Acta Carsologica* 39/3(2010) 565.

(R)ÉGI CSODAJELEK

17–18. századi halójelenségek a Magyar Nemzeti Múzeumból

Farkas Alexandra, ELTE, Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium

Kiricsi Ágnes, Károli Gáspár Református Egyetem, Anglisztika Intézet

Klemm László, Károli Gáspár Református Egyetem, Német Nyelv és Irodalom Tanszék

A Magyar Nemzeti Múzeum Grafikai Gyűjteményének kartonjai között kutatva feltűnik a szó: „Csodajelek”. E néhány metszetet tartalmazó tematikus gyűjteményegységben olyan rézmetszeteket találunk, amelyek igen értékes csillagászati és meteorológiai adatokat is rejtnek. A rajzokról és hozzájuk fűzött kommentárokból üstökösök feltűnéséről és további különleges égi tüeményekről szerezhetünk tudomást. *Réthly Antal* régi időjárási eseményeket feldolgozó munkáiban [1–2] is olvashatunk hasonlókról. Anno e „csodajeleket” isteni üzeneteknek gondolták, baljós események előjeleit látták bennük, illetve pozitív vagy negatív jóslatként értelmezték őket.

Természetesen napjainkban is észlelhetjük e légköroptikai jelenségeket. A folyamatosan bővülő ismereteknek köszönhetően azóta egyértelművé vált, hogy ezek a „csodajelek” nem természetfeletti eredetűek. A cikkünkben bemutatott metszeten a Nap és a Hold környezetében megjelenő ívek és foltok teljes bizonyossággal halójelenségeket ábrázolnak, amelyek egyszerű optikai folyamatok eredményei. Halók ak-

kor alakulnak ki, ha a légkörben lévő jégkristályokban megtörik, illetve ezekről visszaverődik a fény. Mivel a jégkristályok a kialakulási körülményeik függvényében több formát is ölthetnek, és így a fény útja is sokféle lehet, rendkívül sok halójelenséget ismerünk [3–4].

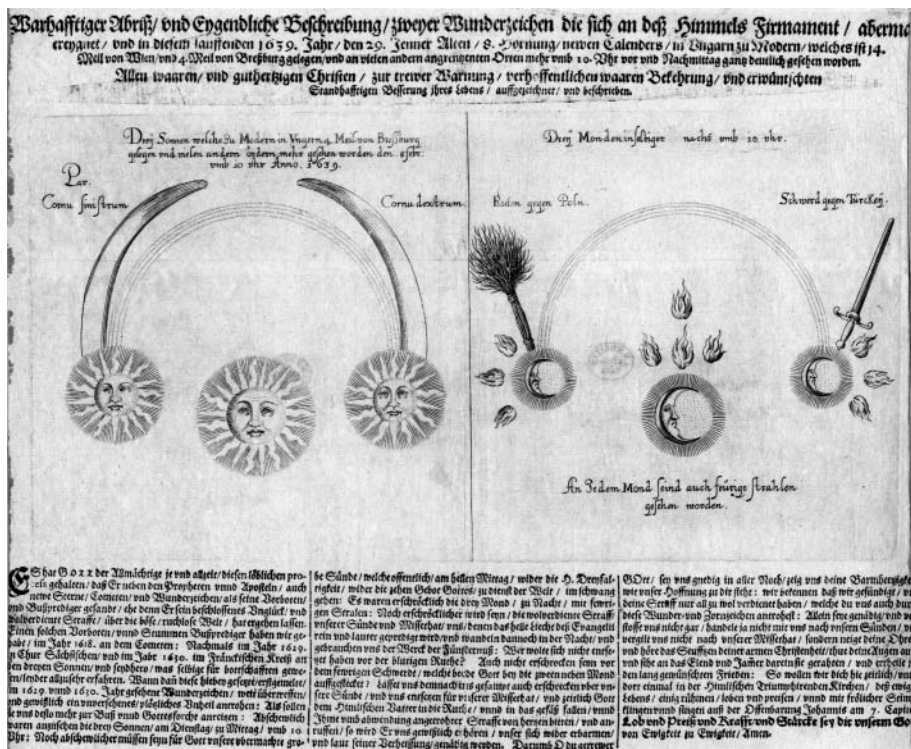
Gyakori halónak számít például a 22°-os haló, a melléknap, a melléknap-ív, az érintő ívek, a zenit körüli ív és a naposzlop [3]. Ezek egy adott helyen évi 80–100 alkalommal is megjelenhetnek, így nem véletlen, hogy a történelmi feljegyzések közt is ezekből találjuk a legtöbbet. Ott azonban más megnevezések olvashatók. A 22°-os halót például szokatlanul nagy napudvarként vagy Nap körüli szivárványként említik, a melléknap pedig gyakorta vaknap, álnap, félnap vagy fattyúnap néven szerepel. A melléknapok folytatásaként megjelenő melléknap-íveket kilövellő tüzes sugarakként vagy fehér zsinórokként jellemezték fel [2]. Évi 1–5 alkalommal rövid ideig látható, kevésbé kontrasztos ritka halókat is megfigyelhetünk, amelyek a különböző alakú és állású jégkristá-

lyok speciális helyzetéhez kötött alakulnak ki. Ilyen például a 46° -os haló, a parhélikus kör, az alsó és felső oldalív, a horizont körüli ív, a 120° -os melléknapp vagy a Nappal szemközt megjelenő ellennapp [3–4].

A továbbiakban a Nemzeti Múzeum azon metszeteit tárgyaljuk, amelyek ilyen jelenségeket ábrázolnak. A képek mind a 17–18. században készültek, mestereik nem minden esetben ismertek. Az égi tűnemények ábrázolásán kívül német nyelvű kommentárokkal is ellátták őket. Elemzésünkben e feliratok fordításai is olvashatók. A Nap és a Hold pozíciójának meghatározásához csillagászati szoftvert használtunk. A halószimulációk a HaloSim3.61 programmal készültek [5].

Modori¹ tűnemények

Egy ismeretlen német mester által készített rézmetszeten (MTKcs.T.1087) az 1639. február 8-i, Modoron és környékén észlelt „két csodajelnek valódi ábrázolása és voltaképpeni leírása” látható (1. ábra). Az 1. ábra bal felén a délelőtt 10 órakor látszó három Nap, a jobb oldalán pedig az este 10 órai három Hold figyelhető meg. Ezek a Napot, Holdat s a mellettük megjelenő melléknappokat és mellékholdakat jelölik. Rajtuk kívül körülírt 22° -os naphaló, illetve 22° -os holdhaló egyaránt feltűnik. A szöveg szerint az emberek „úgy látták, hogy minden Hold lángnyelveket is kibocsátott”, azaz az ekkor 9° magasan járó Hold felett holdoszlop, illetve a mellékholdak mellett a parhélikus kör rövid darabjai is megjelenhettek az égbolton (2. ábra). A modori ábrán és a hozzá tartozó szövegben is feltűnik, hogy ez utóbbit „véres vessző”, illetve „tüzes kard” névvel illették és a „bűnbánat hirdetőjének”, valamint a „Mennyei Atya fenyítésének” eszközeként írták le. A metszeten feltüntetett megjegyzés szerint a bal oldali mellékhold-ív (azaz a virgács) Lengyelország felé, a jobb oldali (vagyis a kard) pedig Törökország felé mutatott. Ez azonban csak akkor lenne lehetséges, ha a Hold a kérdéses időpontban nem a nyugati, hanem a keleti égbolton járna. Lehetséges azonban, hogy az eredeti német szöveg történelmi utalást tartalmaz, és ebben az esetben a „gegen” nem „felé”, hanem „ellen” jelentéssel bírhat. A szöveg ugyan konkrét politikai eseményt nem említ, a török

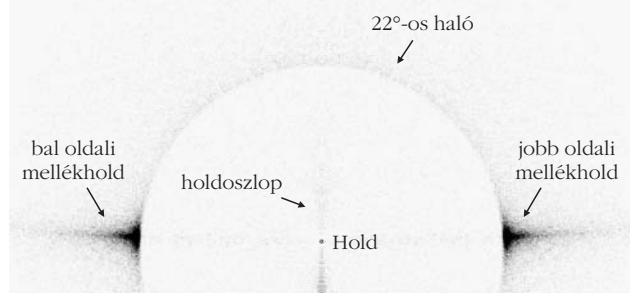


1. ábra. Modoron és környékén észlelt halójelenségek 1639-ből.

kör felé nyúló kard egy küszöbön álló háború rémét is kifejezhette. A lengyelek felé forduló virgács jelensége ennél problematikusabb, értelmezése a korabeli lengyel politika irányvonalától függ [6].

A metszet alatt megjelenő szöveg szinte az apokaliptikus előfutáraként írja le a megfigyelt összetett halójelenséget, megtérésre és bűnbánatra szólítva fel: „Mily dicséretes módon rendelte el eleve a mindenható Isten, hogy az apostolokon és a prófétákon felül még új csillagokat, üstökösöket és csodajeleket is küldött előképe gyanánt és a bűnbánat hirdetőjének, még mielőtt elrendelt pusztítását és a megérdemelt büntetést a gonosz és alantas világra küldenie.” A *Bibliában* is több olyan különleges égi és időjárási jelenség leírása olvasható, ami a világ pusztulását előzi meg. A *Jelenések Könyve* alapján ismeretes, hogy a hetedik pecsét megnyitása után szörnyű katasztrófák érik a Földet: tűz- és jégeső pusztít, az égitestek fé-

2. ábra. A modori és a szécsényi metszeten megjelenő holdhalók számítógépes szimulációja.



¹ Modor: Mai neve Modra; 8500 lakosú város Szlovákia Pozsonyi területében.

nyüket vesztek, és egy égből aláhulló csillag megkeseríti a vizeket. Ezek, illetve a kortárs közhiedelem alapján nem véletlen a végítéletre való utalás a modori szövegben. A nappalok és éjszakák körforgása, a Hold és a csillagok állandó jelenléte, valamint a felkelő és lenyugvó Nap megnyugtató állandóságot nyújthatott a kor emberének, és egy égbolton feltűnő rendkívüli tűnemény könnyen megbolygathatta ezt a rendet. Ez is hozzájárult ahhoz, hogy régen a legijesztőbb jelenségek közé tartoztak az üstökösök, a teljes nap- és holdfogyatkozás és a különleges égi fények. Az idő előrehaladtával egyre több jelenségre született tudományos magyarázat, de sokuk eredete továbbra is rejtély maradt. Így nem véletlen, hogy még a tanultabb emberek is Isten figyelmeztetésének vagy – ahogy a metszet szövege is írja – „nagy bűnbánat néma hírnöké”-nek tartották azokat.

A szerző, mintegy bizonyítva a modori előjel hitelességét és valódi jelentéstartalmát, két korábbi haló-jelenségről, az 1629-ben a szász választófejedelemség területén, illetve az 1630-ban a frank vidéken megfigyelt három napról is beszámol. Ennek következményeit, mint írja, „saját bőrünkön is meg kellett tapasztalnunk”, minden bizonnyal utalva ezzel az 1618–1648 között dúló harmincéves háborúra. A modori csodajel azonban még ennél is rettenetesebb események bekövetkeztét sugallta: a véres kard és a tüzes vesszőnyaláb Isten fenyegető haragjaként rajzolódott ki az égen, a lángnyelvek az Úr ítéletét hirdették, és így a szerző szerint „bizonyosan egy példátlan és hirtelen bekövetkező katasztrófa fenyegetését” hordozták. A szövegből Isten haragjának és a szükséges fegyelmzésnek az okaira is fény derül: „förtelmes volt kedd délelőtt 10 órakor három napot látnunk, de még förtelmesebbek Isten számára a világos nappal elkövetett bűneink, amelyeket a világ szolgálként, élvetegen

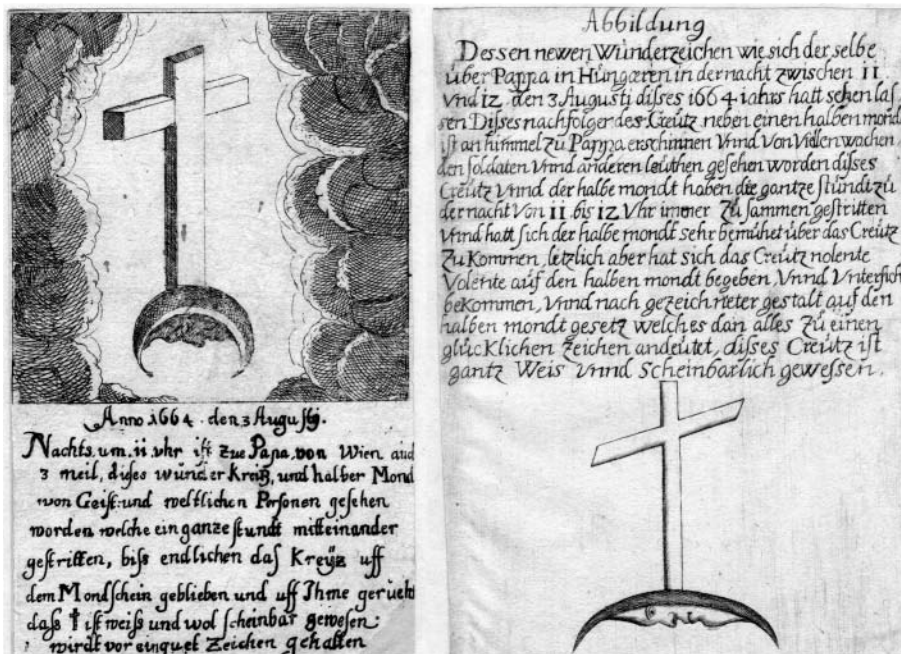
köveltünk el a Szentháromság és az isteni tízparancsolat ellen. Rettenetes volt ugyan látni a három holdat a lángnyelvekkel, de még rettenetesebb lesz bűneink és gáztetteink megérdemelt büntetése nekünk, kiknek bár az evangélium fényességét tisztán és hamisítatlanul hirdetik, és mégis az éjszakában tévelygünk és a sötétség műveit követjük el.” Mivel tehát a szerző az emberek által elkövetett bűnök sokaságát tekinti az égi figyelmeztetés okának, sorai végén bűnbánatra szólít fel, ezzel együtt pedig a modori halókat egy szintre helyezi a *Jelenések Könyvében* megjelenő intő jelekkel. Az utolsó sorokban a régóta áhított békéért és irgalomért könyörög, végül pedig a bibliai jóslatok valósággá válásának utolsó megerősítéseként egy, a *Jelenések Könyvét* is megidéző dicsőítő imát mond el: „Megvalljuk bűneinket, és hogy a csoda és a harag jelei által fenyegető büntetéseidet nagyon is kiérdemeltük. Csak légy irgalmas és ne taszíts el minket magadtól, ne bűneink szerint ítélj, és ne torold meg gáztetteinket, hanem hajolj le hozzánk és halld meg szegény keresztény néped sóhajait, tekints le ránk és lásd, milyen nyomorúság és siralom az osztályrészünk. Add nekünk a régóta áhított békét. Akkor majd mi is itt a földi hétköznapiak, és odaát az öröklét mennyei győzedelmes Egyházában egyként dicsérünk, magasztalunk és dicsőítünk, és boldog, zengő szóval énekeljük János Jelenéseinek 7. fejezetéből: »hála, tisztelet, hatalom és erő a mi Istenünknek örökkön-örökké! Amen.«”

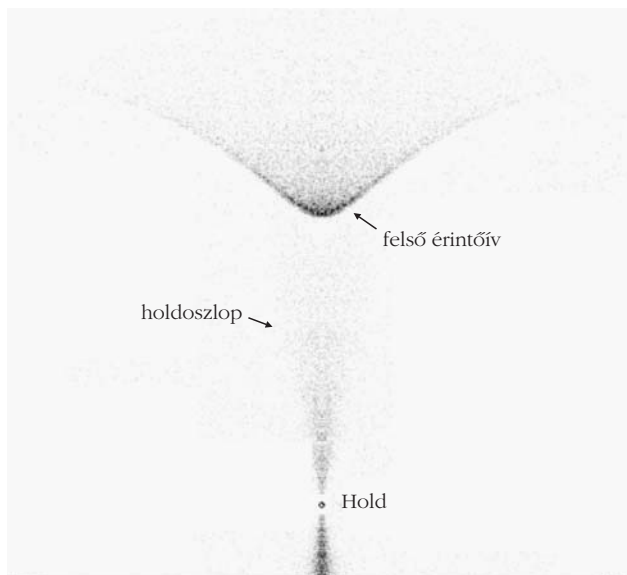
Kereszt a Hold felett

A 17. század második felében készült az a két névtelen rézmetszet (*MTKcs.T.9612* és *MTKcs.T.9613*), amely a Pápa felett 1664. augusztus 3-án feltűnő csodajelet ábrázolja (3. ábra). A képek és a leírások is sok

mindenben hasonlítanak egymásra. Megtudjuk, hogy a jelenség éjjel 11 és 12 között egy órán át tartott, és ez idő alatt a félhold és egy csodálatos fénykereszt vetekedett egymással az égen. Éjfélre aztán eldőlt csatározásuk, és mint olvashatjuk: „habár a Hold igencsak igyekezett a keresztnek fölébe kerekedni, végül is kénytelen-kelletlen a kereszt került fölébe a Holdnak, illetve alávetette emezt, s imígyen kedvező jelre is utalhat. Ez a kereszt egészen fehér és ragyogó fényű volt.” Mint a rendkívüli égi jelenségek leírásakor oly gyakori, a szerzők itt is többféleképpen igyekeznek bizonyítani szavahitőségüket. Az egyik kép

3. ábra. Pápai halójelenség 1664 augusztusából.





4. ábra. Hasáb alakú jégkristályok által létrehozott holdoszlop és felső érintőív rajzolhat kereszthez hasonló formát az égre.

feliratából kiderül, hogy sok ember: „virrasztó katonának és egyéb személyek látták”, másikon pedig a szöveg írója még több hitelt adva a különös jelenségnek, egyházi személyekre is hivatkozik. Utóbbi azt is megemlíti, hogy a „varázskereszt”-et még Bécsből három mérföldre is megfigyelték.

Természetesen e tüneményre is van már tudományos magyarázat. Amikor a Hold viszonylag alacsonyan jár az égen, gyakran figyelhetünk meg alsó és felső holdoszlopot. Ilyenkor, ha egy felhőszál úszik a holdoszlop elé, könnyen tűnhet úgy, hogy égi keresztet látunk. Esetünkben talán ez lehet a legkézenfekvőbb magyarázat. Mindazonáltal, megfelelő alakú és minőségű jégkristályok jelenlétében komplex halójelenség is kialakulhat, és ilyenkor akár a Holdat vízszintesen átszelő parhélikus kör is fénykeresztté egészítheti ki a függőleges holdoszlopot. Ebben az esetben viszont valószínűleg más halójelenségekről is beszámoltak volna, hiszen gyakorlatilag kizárt, hogy a holdoszlop mellett csupán ez a sokkal ritkább haló jelenjen meg az égen.

Hogyan lehetséges, hogy éjfélre „végül a kereszt a világító Holdon nyugodott meg”? Ez a megállapítás kizárni látszik a parhélikus kör magyarázatát, hiszen az mindig metszi a fényforrást. Valószínűbb tehát egy vékony, vízszintes felhősáv jelenléte, amely a felső holdoszlopon áthaladva keresztet rajzolt. Ezen kívül az is elképzelhető, hogy a holdoszlopot nem lapos jégkristályokon, hanem közel vízszintesen lebegő hasáb-kristályokon visszatükröződő fény hozta létre. Ilyenkor a felső holdoszlop akár össze is érhet a 22° -kal a fényforrás felett található – szintén hasáb-kristályokon kialakuló – felső érintőívvel, és látványos, kereszthez hasonló formát rajzolhat az égre (4. ábra).

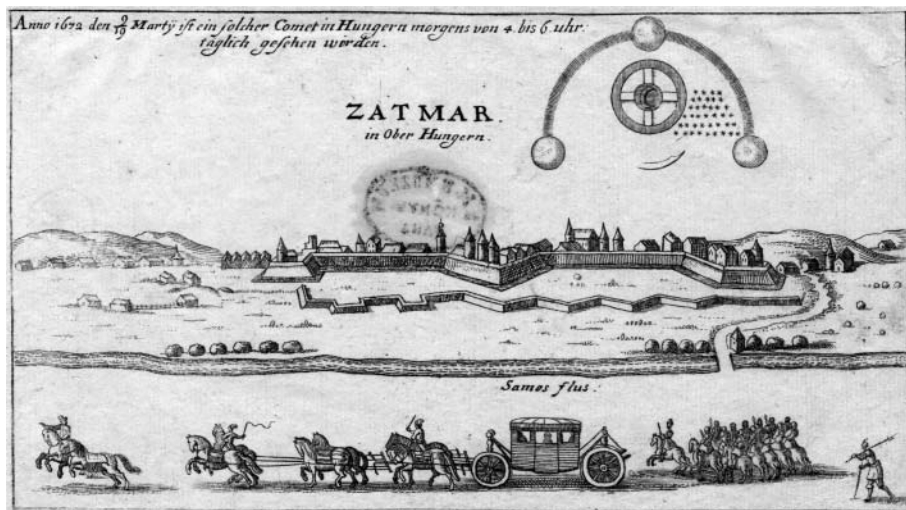
E jelenségnek a megfigyeléséhez kulcsfontosságú a megfelelő időpont, hiszen a Hold horizont feletti magasságának változásával a haló is folyamatosan alakul, és csak igen rövid ideig látható. Természetesen

mindig kérdéses, mennyire bízhatunk a régebbi forrásainkban. Ha a két szöveg által megadott időpontot vesszük alapul, már éjjel 11 órakor is 21° magasságban járt a Hold, ami nagy valószínűséggel kizárja a holdoszlop észlelhetőségét. Nem szabad azonban elfeledkezni arról sem, hogy a korabeli források előszeretettel adják meg mind a régi, Julián-naptár szerinti, mind a naptárreform utáni új időszámítást. Bár Magyarországon 1587 után már a Gergely-naptár volt használatban, Európa egyes területein még évtizedekig, sőt évszázadokig kitartott a régi rendszer. Szem előtt kell tehát tartanunk azt a tényt is, hogy legalább az egyik képünk bizonyossággal egy német mester műve, akinek hazájában egyes helyeken csak a 17–18. században vezették be a XIII. Gergely pápa nevéhez fűződő naptárreformot. Ha ennek okán a régi időszámítást vesszük alapul, éjjel 11 órakor a Hold $-3,5^\circ$ -on, éjfélkor pedig 6° -on járt, ami éppen megfelelő magasság a fent említett jelenség kialakulásához. A régi időszámítás használatát az is megerősíti, hogy a kérdéses időpontban a Julián-naptár szerint valóban félhold, a Gergely-naptár szerint viszont majdnem telihold alakban volt jelen égi kísérőnk. A metszeten ábrázolt igen vékony holdsarló egyik esetben sem lehetséges, így az csak a művészi ábrázolás eszköze lehet.

A modorítól eltérően ezt a halójelenséget nem övezték baljóslatú feltevések, és nem kapcsolták fel-tűnését apokaliptikus víziókhoz, isteni büntetéshez. Mindkét szöveg óvatos végkövetkeztetése az, hogy a félhold fölé kerekedő „fehér és ragyogóan fényes” kereszt jó jel lehet. Az égi kereszt kedvező értékelése hosszú hagyományra vezethető vissza. Elég, ha Nagy Konstantinra gondolunk, akinek 312-ben egy látomásban megjelenő kereszt ígért győzelmet a Milviusz-hídi csatában. Középkori krónikások és művészek is többször leírták és ábrázolták ezt az égi „csodajelet”, hiszen a kereszténység legfontosabb szimbólumát vélték ilyenkor kirajzolódni az égen. A 17. századi Magyarországon, a török félhold égisze alatt egy ilyen jel még összetettebb jelentést hordozhatott. Bizonyosan reménnyel töltötte el sokak szívét, amikor azt látták, hogy az égen felsejlő kereszt egy órás viaskodás után a török szimbólumként is megjelenő Hold fölé kerül, és – ahogy a szöveg írja – „aláveti” azt. Hogy a jelenséget miként értékelték volna az egy héttel később megkötött, súlyos következményekkel járó Vasvári béke tudatában, azt csak találgathatjuk.

Üstökös és haló?

A Nemzeti Múzeum egy 17. századi kisméretű metszeten (MTKcs.T.779) Szatmár várfalakkal és sánccal erősített látképe látható (5. ábra). A metszet bő 30 évvel azelőtt készült, hogy a város egy tűzvészben szinte porrá égett, illetve várát – amely az ország végvárainak legkeletibb képviselője és egyben az Erdélyi Fejedelemség határvára volt – II. Rákóczi



5. ábra. Szatmár látképe és egy különleges égi tűnemény 1672-ben.

hatja egyrészt magát a Holdat, az azonban mindig a 22° -os haló középpontjában helyezkedik el, így ha a kép pontosan tükrözné a látottakat, akkor valamivel lejjebb, a két mellékhold közé rajzolnák volna. Elképzelhető tehát, hogy ez a részlet a tűnemény egy későbbi fázisát örökíti meg, amikor a Hold már legalább 44° magasan járt az égen és a körülötte látszó halógyűrű teljes körre egészült ki. Egy másik interpretáció szerint a kisebb kör egy koszorú lehet [7], ám annak kialakulásához a halót alkotó jégkristályokkal ellentétben

Ferenc elbontatta. A képen a város előterében a Szamos folyó látható, annak partján pedig katonai kísérettel egy hatlovas hintó halad. A múzeum két hasonló művet is őriz Szatmárról, azonban közülük csak az egyikben jelenik meg egy égi jelenségeket ábrázoló rajz az alábbi felirattal: „1672. március 9–19-ig egy ilyen üstökös látszott Magyarországon naponta hajnali négytől hat óráig”. Ez arra az üstökösre utal, amit pár nappal korábban, 1672. március 2-án a lengyel *Johannes Hevelius* fedezett fel. A metszeten azonban az üstökös mellett nagyobb hangsúlyt kap a többi, félkörívben ábrázolt égi jelenség, amelyekről nem esik szó a fenti szövegben. A képen apró csillagok is láthatók, amelyek egyes feltételezések szerint a Virgínidák vagy egy másik ismeretlen meteorraj képviselői lehetnek [7].

A metszeten szereplő különös ívek teljes bizonyossággal halójelenségek. A félkörív és a három hold gyakori tűneményt, a 22° -os halót és a két oldalán kifényesedő mellékholdakat ábrázol (6. ábra). A félkörív tetején feltűnő harmadik hold a 22° -os haló és annak felső részén megjelenő felső érintőív találkozási pontját jelöli. Ez utóbbi halófajta ugyan nem pontszerű, hanem ívesen csatlakozik a 22° -os haló legfelső pontjához, ám sokszor csak egy erősebb kifényesedésnek érzékeljük, így a korai ábrázolásokon gyakori az ilyen típusú jelölés.

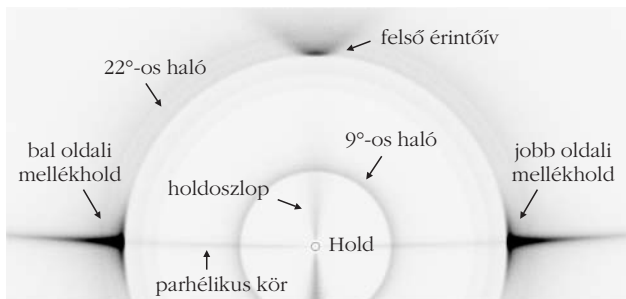
A nagy félkörívben belül egy kisebb kör is felfedezhető, amely többféleképpen értelmezhető. Ábrázol-

apró vízcseppek szükségesegek, így elég ritka, hogy a két légköroptikai jelenség egy időben legyen észlelhető, az pedig biztosan kizárható, hogy a koszorún tűnjön fel a kereszt. Elképzelhető az is, hogy a 22° -os halón belül egy ritkábban megjelenő, kisebb átmérőjű körív, a 9° -os haló látható (6. ábra), de a rajz ez esetben sem tükrözné a valóságban látottakat a 9° -os haló mellékholdakhoz viszonyított magasabb helyzete miatt.

A kis körön belül ábrázolt kereszt függőleges része alsó és felső holdoszlopot, vízszintes része pedig a parhélikus kör részletét jelezheti. Holdoszlop azonban csak akkor észlelhető, amikor a Hold mindössze néhány fok magasan jár az égen, az tehát biztosan kizárható, hogy holdoszlop és teljes kör alakú 22° -os haló egyidőben legyen jelen. Maga a csillagcsoport is több kérdést vet fel, hiszen igen valószínűtlen, hogy az égbolton az üstökös közvetlen környezetében figyeltek volna meg meteorokat [7]. Lehetséges, hogy az üstökös megjelenésével egyidőben, de az égbolt más területén fényesebb sporadikus, vagy egy nem ismert rajból származó meteorokat észleltek, amit a rézmetsző az üstökös mellett örökített meg. A rajzon feltüntetett időpontban a Hold áthaladt a Tejút sávján, így a csillagok esetleg fényesebb galaxisokat is jelölhetnek. Fontos megjegyezni továbbá, hogy az üstökös és a Hold a kérdéses időpontban nem egymás alatt, hanem előbbi az északkeleti horizont közelében, utóbbi pedig a délnyugati égbolton járt.

A fentiekből látható, mennyire kérdéses, hogy a metszeten bemutatott jelenségek megfigyelhetők voltak-e egyszerre az égen. Az üstökössel ellentétben a halójelenségek általában rövidebb életűek, olykor ugyan pár napon át kitartanak, de többnyire csak percekig vagy órákig észlelhetők. Az pedig elég valószínűtlen, hogy a halót létrehozó magasszintű felhőkön keresztül is láthatóvá váljon a 3,4-4 magnitúdó fényességű [7] üstökös, így nagy bizonyossággal mondhatjuk, hogy a művész eltérő időben megfigyelt jelenségeket ábrázolt.

6. ábra. A szatmári haló egy lehetséges interpretációja.



Tüzes kereszt és lángoló sugarak

A német *Elias Baeck* által készített alkotáson (MTKcs. T.7103) „annak a rettenetes égi jelenségnek valódi képmása” látható, „amelyik ... január 16-án ... Szécsényben mutatkozott” (7. ábra). A szövegben nem jelenik meg évszám, de Réthly Antal gyűjteménye alapján [1] a megfigyelés 1729-ből származik. A metszeten a város egy részlete is látható, ám egyes vélemények szerint az nem tükrözi hűen a valóságot, a kolostor és a templom környezete ugyanis akkoriban máshogy festhetett [8–9].

A rajz alatti szöveg szerint „Este 6 óra után három Hold tűnt fel a tiszta égen, közülük a középső és természetes (akkor) majdnem telihold felületét teljesen kitöltötte egy tüzes keresztre feszített férfialak, mellékholdjaiból pedig lángolva előtörő sugarak látszóttak. ... Mindez kilencig tartott, s ugyan a két mellékhold végül eltűnt, az igazi Hold mellett még két fehér körjel maradt úgy éjfél tájáig.”

A fenti napon a Hold este 6 óra előtt két mellékhold kíséretében kelhetett fel, illetve a néhány perccel később már 2° magasan járó égitest alatt és felett – hasonlóan a korábban bemutatott pápai jelenséghez – holdoszlop is megjelenhetett (2. ábra). A szöveggel ellentétben a „keresztre feszített férfialak” biztosan nem a telihold felületén, hanem annak közvetlen környezetében látszódnak. Alacsony szintű felhők sem kelthették ezt a képzetet, mert a szöveg alapján tiszta volt az ég. A később említett „mellékholdakból lángolva előtörő sugár” és a „fehér körjel” parhélikus körre utalhat, ami a holdoszlopon és a mellékholdakon vízszintesen áthaladva kezdetben kereszt alakot formálhatott. A másik fehér körjel 22°-os halót is jelölhet.

Az összetett jelenség egyes részei korán eltűntek, míg mások egészen éjfélig látszódtak. Lehetséges, hogy a szövegben olvasható információkkal ellentétben a két mellékhold nem tűnt el, csupán a holdmagasság változásával olyanformán változtak meg, hogy elnyúlt fehér foltként olvadtak látszólag össze a szintén fehér parhélikus körrel.

Az égbolton megjelenő tünemények rémisztő szenzációként hatottak. A csodajel a szöveg szerint „ezrekre ijesztett rá, különösképpen a nevezett városka és a környező falvak lakóira, de leginkább az ottani ferences kolostort olyaténképpen riasztotta fel, hogy [a szerzetesek] valamennyien a vacsorájuk mellől ugrottak talpra, hogy ezt a szokatlan kuriózumot, a rettető égi jelet megvizsgálják.”

Az észlelők ezt a halót is isteni üzenetnek vélték. Ezúttal azonban a tüzes keresztet, illetve a megfeszített Krisztus képmását a pápai tüneménnyel ellentétben nem pozitív, hanem negatív előjelleként ítélték meg. A modori jelenségekhez hasonlóan figyelmeztetésként értékelték ezeket, és úgy vélték, hogy a mérhetetlen emberi gyarlóság miatt jelentek meg. Éppen ezért a szöveg zárásaként a metszet alsó részén egy párrímes formában írott, bűnbánatra felszólító szöveg jelenik meg: „Az ég jósága ez időben intő jeleket ad látnunk, hogy magunkba szálljunk.”



7. ábra. Holdhaló Szécsényben 1729 januárjában.

Befejezés

Cikkünkben a Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményében található, légköroptikai jelenségeket ábrázoló metszeteket elemeztük, amelyeken többnyire gyakran észlelhető halókat találtunk. Ha a képeket összehasonlítjuk a modern halószimulációkkal [5], lényeges eltéréseket láthatunk, amelyek részben a művészi ábrázolásmód sajátosságaival magyarázhatók. A képeken dokumentált égi tünemények azonosítását tovább nehezítheti, hogy a megfigyelő később újraértelmezhetette a látottakat, illetve össze nem tartozó jelenségeket is egy síkra helyezhetett. Ráadásul az alkotó nem feltétlenül volt szemtanúja az eseményeknek, hanem egy korábbi képet másolhatott, vagy mások elbeszélé-

sére hagyatkozva próbált olyat megjeleníteni, amihez hasonlólt még sohasem látott, és ez még több pontatlanságot eredményezhetett. Ahogy a gyűjtemény neve és a metszeteken olvasható szövegek is mutatták, csodajelként értelmezték e rendhagyó égi jelenségeket, és a kor kulturális olvasatában keresztény szimbólumokként, pozitív vagy negatív ómenként, illetve szinte kivétel nélkül Isten figyelmeztetéseként vagy üzeneteként jelentek meg.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a Magyar Nemzeti Múzeum dolgozóinak, hogy a cikkben megjelenő metszeteket digitális formában rendelkezésünkre bocsátották, valamint gyűjtőmunkánk során készséges segítségünkre voltak. Hálásak vagyunk Papp Sándornak, hogy a modori metszeten megjelenő szimbólumokat a török kor szellemében segített értelmezni. Köszönettel tartozunk Varga Imre Kapisztránnak, aki a szécsényi metszeten lévő városrészletről nyújtott információkat. Köszönet illeti Bartha Lajost is, aki csillagásztörténeti adatokkal segítette gyűjtőmunkánkat.

Irodalom

1. Réthly A.: *Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1701–1800-ig*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1970, 622.
2. Réthly A.: *Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1700-ig*. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 2009, 450.
3. Farkas A.: Halójelenségek, a magas szintű felhők légköroptikai állapotjelzői. *Fizikai Szemle* 60 (2010) 361–364.
4. Tape, W.: *Atmospheric Halos*. Antarctic Research Series, Vol. 64, American Geophysical Union, Washington, 1994, 143.
5. Cowley, L., Schroeder, M.: HaloSim 3.61., <http://atoptics.co.uk>, 2004.
6. Papp Sándor, a Szegedi Tudományegyetem Középkori és Kora Újkori Magyar Történeti Tanszéke, illetve a Károli Gáspár Református Egyetem Történettudományi Intézete docensével folytatott személyes levelezés alapján, 2011.
7. Bartha L.: Égi jelenségek egy 17. századi látképen. *Meteor* 35/2 (2005) 51–54.
8. Varga Imre Kapisztrán, a Sapientia Szerzetesi Hittudományi Főiskola Egyháztörténelem Tanszéke docensével folytatott személyes levelezés alapján, 2011.
9. Könnű, J.: A szécsényi ferences kolostorból észlelt „csodálatos égi jelenség” rölapja 1729. in: Galcsik Zs., Tóth K.: *Szécsényi felekezeteinek egyházlátogatási jegyzőkönyvei (1332–1950)*. Szécsény, 2004, 131–134.

GYÓGYSZERHORDOZÓ NANORÉSZECSKÉK

Kiss Éva

ELTE TTK Fizikai Kémiai Tanszék

A kolloidkémia jelenkori alkalmazásai között kiemelt szerepet kapnak a korszerű gyógyszerhordozó rendszerek. Ez köszönhető mind a változatos megoldások lehetőségének, mind annak, hogy egészségünk valamennyiünk számára fontos. Az új hatóanyagok keresése, azonosítása, szintézise mellett az ismert gyógyszermolekulák hatásosabb formában való alkalmazása is nagymértékű javulást eredményezhet a terápiában. A hatóanyagok már eddig is változatos gyógyszerformákban jelentek meg (tabletta, injekció, kenőcs, kapszula stb.) a felhasználás helyéhez, módjához alkalmazkodva. A korszerű, kolloidális gyógyszerhordozónak további speciális feladatokat kell ellátnia. Ezek közül a legfontosabb a szabályozott, vagy programozott hatóanyag-leadás, valamint az irányított hatóanyagtranszport. Ennek megvalósulása ugyanis lehetővé teszi, hogy kisebb mennyiségű gyógyszerrel, ritkább adagolással, vagy rövidebb idejű kezeléssel érjük el ugyanazt a terápiás hatást, így kímélve a szervezetet és jelentősen mérsékelve a mellékhatásokat.

Az ELTE Természettudományi Karán a Kémiai Intézetben folynak gyógyszertranszportra alkalmas nanorészecskékkel kapcsolatos kutatások. Az *Európai Léptékekkel a Tudásért*, ELTE című pályázatunk során beszerzett FEI Quanta 3D pásztázó elektronmikroszkóp lehetőségei (ezekről a *Fizikai Szemle* 2011. októberi számában már beszámoltunk) nagymértékben segítik az ilyen irányú munkánkat. Az alábbiakban a gyógyszertranszport céljáról, módszereiről, a felhasználható részecskék előállításáról és a vizsgálati eljárásokról adunk rövid áttekintést.

A gyógyszerhordozó részecskék jellemzése

A kolloidális gyógyszerhordozók szerves vagy szervetlen anyagból felépülő, 10 nm és 100 µm közötti méretű, jellemzően a nm-es mérettartományba eső részecskék, amelyek alkalmasak arra, hogy gyógyszermolekulákat fogadjanak magukba. Kis méretüknek köszönhetően megváltoztatják az aktív anyag eloszlását a szervezetben, növelik a koncentrációt a célszervben, így fokozva a hatékonyságot és csökkentve a toxicitást. Képesek a nem vízoldható hatóanyagokat megfelelő diszpergált formában tartani, ezáltal növelni a biohasznosulást. Ezen funkciók ellátása szempontjából meghatározó fontosságú a gyógyszerhordozó típusa, felépítése, szerkezete és különösképpen a mérete.

A kolloidális gyógyszerhordozók két fő csoportba sorolhatók. A polimer gyógyszerhordozók közé tartoznak a polimer mikro- és nanorészecskéken kívül a mikrogélek, dendrimerek (elágazó szerkezetű, gömbszerű polimer molekulák) és a polimer-hatóanyag konjugátumok is. A másik nagy csoportba azok a gyógyszerhordozók tartoznak, amelyek kisebb egységek, molekulák spontán asszociációja útján keletkeznek, és többnyire rendelkeznek egy hatóanyag-szállításra alkalmas üreggel. Erre utal az elnevezésükben a „szoma” utótag. A liposzómák lipid molekulákból álló asszociátumok, míg a blokk-kopolimerekből poliszómák, kicsiny kolloid részecskékből pedig kolloszómák képződnek. Ezek mérete a néhány 10 nm-től a több 100 µm-ig terjedő tartományban előre tervezhető a felépítő egységek megválasztásával. Ismerünk ezen kívül szervetlen anya-

gokból, például szilikából, fémoxidokból előállított nanorészecskéket is, amelyek a gyógyszerhordozó feladat mellett különösen jól használhatóak lehetnek a diagnosztikában kontrasztanyagként, valamint egyéb orvosi segédanyagként. A nemesfém, illetve félvezető nanorészecskék speciális optikai tulajdonságuk miatt jutnak kiemelt szerephez.

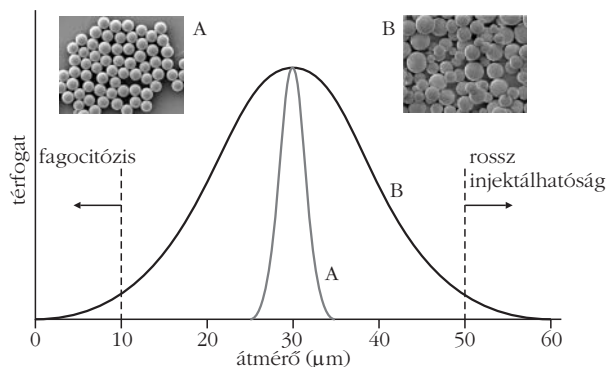
Az utóbbi évtizedekben gyorsan növekszik azon tudományos közlemények mennyisége, amelyekben ezen gyógyszerhordozók fejlesztéséről számolnak be. Néhány, elsősorban ráterápiában használt liposzómás készítmény már az orvosi gyakorlatba is bekerült, és több más rendszer a klinikai vizsgálatok különböző lépcsőjére jutott el. Egy tavalyi összefoglaló tanulmány szerint a nanoméretű részecskék forradalmasították a gyógyszertranszportot, mivel lehetővé tették, hogy segítségükkel a hatóanyag a célszervhez jusson el az egészséges szövetek terhelése nélkül [1]. Ehhez kémiai, fizikai, biokémiai módszerekkel azt kell megoldani, hogy a nanorészecskét ellássuk az irányító molekulákkal, vagyis funkcionalizáljuk, célba juttassuk, és eközben vizuálisan kövessük.

A polimer alapú nanorészecskékben rejlő lehetőségeket intenzíven kutatják az utóbbi években [2]. Az alapanyagok közül a poliészter típusú politejsav (PLA) és poliglikolsav (PGA), valamint kopolimerjeik (PLGA) azért állnak az érdeklődés középpontjában, mert kiváló a biokompatibilitásuk, valamint biológiailag lebonthatóak, és bomlástermékeik nem toxikusak. Ezek az előnyös tulajdonságok már néhány évtizede ismertek. Több orvosi területen már korábban alkalmaztak ilyen anyagból készült eszközöket, például a sebészetben a felszívódó sebvarró cérnát. Az utóbbi évek felismerése az, hogy a biokompatibilis poliészterek ideális alapanyagai a változatos kolloidális gyógyszerhordozóknak, mikrogömböcskék, mikrokapszulák, nanorészecskék, pelyhek, implantátumok, filmek állíthatók elő ezekből a gyógyszerészeti és élelmiszeripari feladatokra engedélyezett anyagokból.

A PLA és PLGA részecskék azon előnyös tulajdonsága, hogy biológiailag lebonthatók, nem csupán azaz jár, hogy a gyógyszerhordozó feladata teljesítése után szinte nyomtalanul eltűnik a szervezetből, hanem lehetővé teszi a szabályozott vagy programozott hatóanyag-felszabadulás megvalósítását. A polimer alapanyag szerkezeti, fizikai jellemzői ismeretében pontosan megtervezhető, hogy a szervezetben milyen ütemben degradálódjon, és így a hatóanyag felszabadulását és a szervezetben való eloszlását pontosan szabályozni lehet a megkívánt néhány napos vagy hónapos időtartamban.

Előállítás és méret

A PLA és PLGA gyógyszerhordozó részecskéket számos módszerrel lehet előállítani. Ezek közül azok a célravezetőbbek, amelyekben nem a polimerizációs folyamatot kell úgy vezetni, hogy azonos méretű kolloid részecskéket eredményezzen, hanem a kész poli-

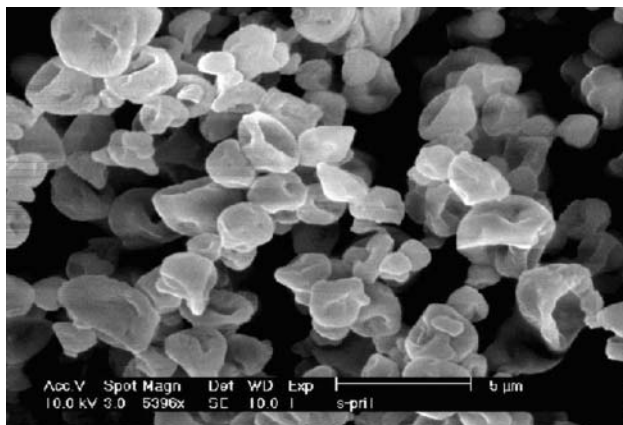


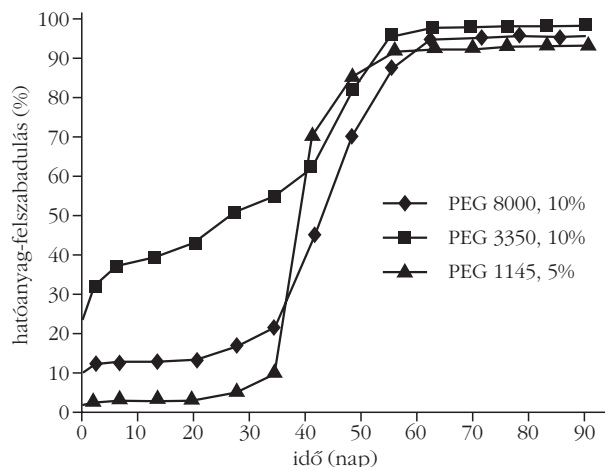
1. ábra. Gyógyszerhordozó mikrorészecskék méreteloszlása, [5] nyomán.

mer oldatából indulnak ki. Ezekhez a felhasználásokhoz a részecskéknek nemcsak biológiailag lebomlnak és biokompatibilisnak kell lennie, hanem pontosan szabályozott méretűnek és méreteloszlásúnak is. A méret nagyon fontos abból a szempontból is, hogy a szervezetben milyen lesz az eloszlása és mennyi ideig tud a vérkeringésben maradni. A méret természetesen a hatóanyag-felszabadulást is szabályozza. A következőkben néhány példát mutatunk be annak illusztrálására, mennyire fontos a gyógyszerhordozó mérete az egyes alkalmazásokban. Mikroméretű hatóanyag-hordozó részecskéket már régebben állítanak elő. A nanoméretű gyógyszerhordozók előállítása, amihez a meglévő módszerek fejlesztése, módosítása volt szükséges, viszonylag új terület. Ezekről elsősorban a célzott hatóanyagtranszport megoldása esetében várnak sokat.

A méretnek, a felületi tulajdonságok mellett igen fontos szerepe van abban, hogy a szervezetben hova fognak kerülni és hol fognak felhalmozódni a nanorészecskék. Bizonyos méretűek a májban, vagy a csontvelőben található meg nagy mennyiségben a szervezetbe való bejuttatás után. A 300 nm-nél nagyobb méretű részecskék a lépben gyűlnek fel. A 100 nm-nél kisebb részecskéknek van esélyük, hogy átjuthatnak a vér-agy gáton, és így lehetővé teszik bizonyos idegrendszerei betegségek lokális gyógyítását [3, 4]. A célzottan a tüdőbe juttatott gyógyszerhordozó részecskék optimális mérettartománya a mikrométeres.

2. ábra. Pásztyázó elektronmikroszkópos felvétel a PLGA lemezkékről, amelyek 5% PEG-et tartalmaznak, [6] nyomán.





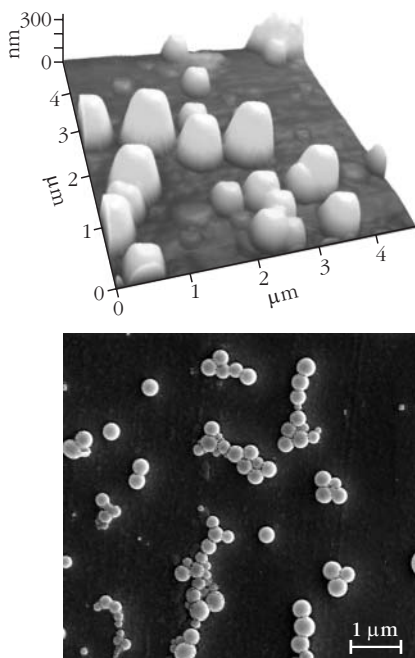
3. ábra. A hatóanyag-felszabadulás mértéke kis PLGA lemezkékből, amelyek összetételét különböző típusú polietilenglikollal (PEG) módosították, [6] nyomán.

A 10–100 μm tartományba eső mikrogömböcskéket általában emulziós/oldószer elpárologtatásos eljárással állítják elő. Az 1. ábra arra hívja fel a figyelmet, hogy a részecskék szűk méreteloszlása két szempontból is kedvező.

A kívánnál kisebb méretű részecskék az élő szervezet természetes védekező mechanizmusa során a fagocitózis következtében gyorsan kiürülhetnek a szervezetből. Az ideálisnál nagyobb méretű részecskék pedig már nem alkalmasak az injekcióban való bejuttatásra. Az elektronmikroszkópos felvételeken jól látszik a részecskék közel azonos mérete (A rendszer), illetve a kisebb-nagyobb részecskék együttes jelenléte (B rendszer).

Wang és munkatársai 1 μm körüli átmérőjű, korong alakú részecskék (2. ábra) előállításáról számol-

4. ábra. PLGA nanorészecskék atomerő-mikroszkópos (felül) és pásztázó elektron mikroszkópos (alul) képe [8].

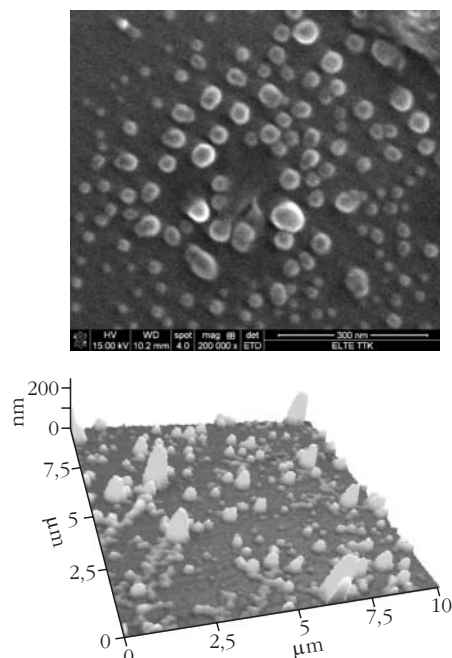


tak be [6]. Ehhez a PLGA polimert egy másik, szintén biokompatibilis polimerrel (PEG) kombinálták. A részecske-összetétel változtatásával különböző mértékű, időben elnyújtott hatóanyag-felszabadulást értek el (3. ábra). A polimer részecskébe zárt hatóanyag ebben a vizsgálatban a rák sugárkezelése során használt, bomlékony gyógyszer. Arról számoltak be, hogy a hordozó alkalmazásával csökkenthető volt a bevitt mennyiség ugyanakkora terápiás hatás mellett.

A számos eljárás között, amelyekkel polimer nanorészecskéket lehet előállítani, a nanoprecipitáció egyszerű, gyors és gazdaságos technika. Fessinek és munkatársainak sikerült először hatóanyagot kapszulázni ezekbe a részecskébe [7]. A nanoprecipitációhoz vízzel elegyedő oldószerben kell feloldani a polimert, majd ezt az oldatot keverés közben vízhez adni, ami a polimer kicsapószere. Miután a szerves oldószert elpárologtatjuk, a polimer részecskék vizes diszperzióját nyerjük. A részecskék gömb alakúak, szűk méreteloszlást mutatnak, átmérőjük nanométeres mérettartományba (100–300 nm) esik. A kis méretet és a jó kitermelést az oldószer polaritásának növelésével és a polimer-koncentráció csökkentésével lehet elérni. Könnyen, gyorsan, egy lépésben kivitelezhető módszer.

A központi idegrendszert érintő betegségek lokális kezelése nehézségbe ütközik. A vér-agy gát elhatárolja a központi idegrendszert a szervezet többi részétől, és védi az agyat az idegen, toxikus anyagoktól. Ez a gát azt is megnehezíti, hogy a központi idegrendszer kóros elváltozásainak gyógyszerei eljussanak a megfelelő helyre. Az eddigi vizsgálatok szerint csak a 100 nm-nél kisebb méretű részecskék esetében van esély arra, hogy segítségükkel a hatóanyagok elérjék az

5. ábra. Nanoprecipitációval előállított, 100 nm-nél kisebb, fluoreszcens jelzőanyagot tartalmazó PLGA nanorészecskék elektronmikroszkópos (felül) és atomerő-mikroszkópos (alul) képe [4].



agyat. A nanoprecipitáció körülményeinek módosításával, adalékanyagok alkalmazásával sikerült körülbelül 50 nm átmérőjűre csökkenteni az előállított PLGA nanorészecskék átlagméretét. A vér-agy gáton való átjutás tanulmányozásához a részecskék fluoreszcens jelzőanyagot tartalmazó változatát kell elkészíteni. A fluoreszcein nátriumsót tartalmazó PLGA részecskék-ről készült felvételek láthatóak az 5. ábrán.

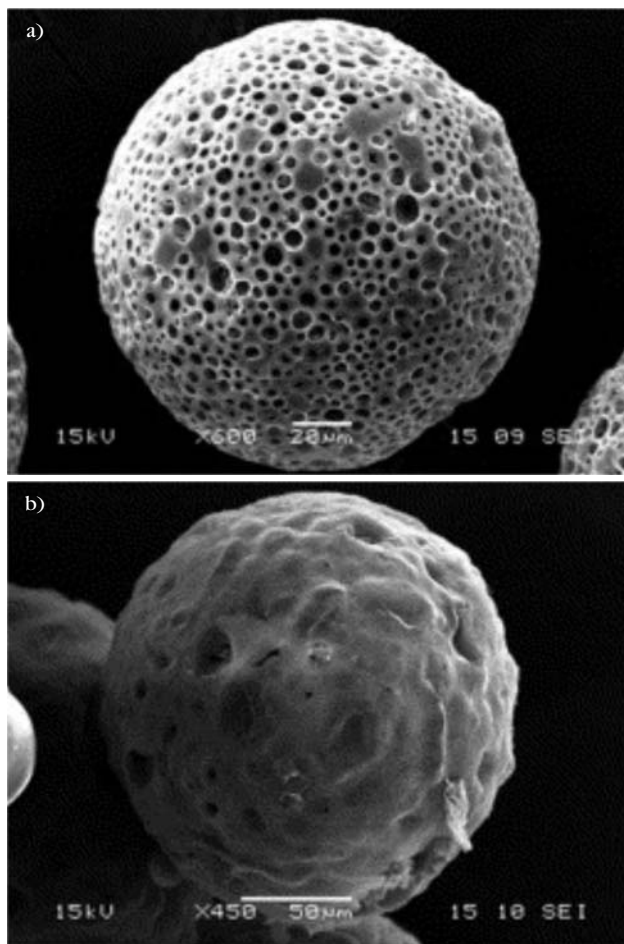
A hatóanyag bevitele és felszabadulása

A kolloidális gyógyszerhordozó részecskébe a hatóanyagot az előállítás során kell bejuttatni. A formulázás sikerességét leggyakrabban két paraméter segítségével értékelik. Az egyik a hordozó rendszer hatóanyag-tartalma, amely néhány százaléktól akár 50%-ig is változhat. A másik szintén fontos érték a kapszulázási hatékonyság, ami azt fejezi ki, hogy az eljárás során a felhasznált hatóanyag hányad részét sikerült a hordozóba bevinni, míg a maradék, ami nem épül be, a veszteség. Mindkét gyógyszerészeti paraméter növelésére törekszünk. Mivel a méretnek meghatározó szerepe van a hatóanyag szállításában, eloszlásában és a hasznosulásban, lényeges kérdés az, hogy a hatóanyag-bevitel nem módosítja-e a kedvezőnek ítélt méretet, illetve méreteloszlást egy adott hordozó rendszer esetében. Szisztematikus vizsgálatokat kell végezni, hogy megtaláljuk az optimális formulázási módszert, amelynek eredményeképpen a hatóanyagot is be tudtuk juttatni a nanorészecskébe, és a méret is a kívánt tartományban marad [9]. Gyakran tapasztalható olyan méreteloszlás-változás, ami a részecskék összetapadására, aggregációra utal. Gondot kell tehát fordítani annak vizsgálatára is, hogy a hatóanyag jelenléte hogyan befolyásolja a nanorészecskék kolloidstabilitását. Ezek a folyamatok szabályozhatóak olyan kísérleti paraméterekkel, mint az oldószer minősége, a pH, a szerves és vizes fázis aránya az előállítás során, különböző adalékanyagok alkalmazása.

A polimer gyógyszerhordozó részecskék lehetnek pórusosak is. Ekkor a hatóanyag felszabadulásához a hordozó felületi degradációja mellett a diffúzió, kioldódás, és a hordozó tömbfázisbeli degradációja is hozzájárul. Amennyiben elnyújtott hatóanyag-felszabadulásra van szükség, ezek a folyamatok inkább a mikrométeres hordozó részecskék esetében használhatók ki.

Felületmódosítás

A tárgyalt gyógyszerhordozók alapvetően kolloid-rendszerek, így központi kérdés a stabilitásuk, amely meghatározza, hogy az ilyen típusú hatóanyag-formulák ki tudják-e fejteni a kívánt hatást. Meg kell akadályozni, hogy a gondosan beállított méretű részecskék aggregálódnak és ezáltal megváltozzon a transzport-tulajdonságuk, ami megghiúsítaná a célba jutást. A



6. ábra. Különböző módszerekkel előállított PLGA mikrorészecskék pásztázó elektronmikroszkópos képe, [10] nyomán.

felületmódosítás egyik szerepe éppen a sztérikus stabilizálás, aminek eléréshez a részecskék felületén polimer molekulák adszorpciója az egyik lehetséges megoldás. Tekintetbe kell venni azt is, hogy egy ilyen módosítással beavatkozunk a biológiai rendszerben való viselkedésébe is. Megfigyelték, hogy a sztérikusan stabilizált részecskék csökkent fehérjeadszorpciót mutatnak, kevésbé halmozódnak a májban, és hosszabb ideig tartózkodnak a véráramban. A polietilén glikollal végzett felületmódosítás esetében sikerült kombinálni két feladatot: a stabilizálást és a biokompatibilitás növelését.

A polietilén glikol (PEG) biológiai rendszerekkel való összeférhetősége miatt a gyógyszer- és élelmiszeriparban is széles körben alkalmazott segédanyag. A molekula régóta ismert arról a tulajdonságáról is, hogy hatóanyag-molekulákhoz kapcsolva előnyösen befolyásolja azok szerkezetbeli eloszlását, útját, felszívódási sebességét. Ez részben azzal függ össze, hogy a szervezet természetes védekező mechanizmusát mintegy kijátszva, álcázza az adott vegyületet. Ezt a természetét, amely a molekula hidrofíl és nemionos jellegéből következik, előszeretettel és eredményesen használják ki a kolloidális gyógyszerhordozók esetében is [11]. Ilyen PEG molekulákból álló bevonat a gyógyszerhordozó felületén hozzájárul az adott rend-

szer biokompatibilitásának javításához, így mód van arra, hogy megvalósuljon például a tervezett, hosszú idejű hatóanyag-leadás.

A célba juttatás szintén a részecske felületén végrehajtott kémiai, biológiai módosítás, amelynek során specifikus felismerő molekulákat rögzítenek a felszínre, amelyek segítik a részecske felhalmozódását a kíván szervben, vagy sejtek környezetében.

Mindebből kitűnik, hogy a gyógyszerhordozó nanorészecskék igen komplex rendszert alkotnak, aminek egy még összetettebb rendszer, az élő szervezet körülményei között kell teljesítenie. Azokban a példákban, amiket röviden említettünk, ennek főleg egy jellemzőjét, a méretet igyekeztünk megragadni, ami nyilván egyszerűsítés, bár jelenlegi tudásunk szerint a méret és méreteloszlás sok szempontból meghatározó paraméter.

Köszönetnyilvánítás

Az általunk előállított polimer gyógyszerhordozók méretének és méreteloszlásának meghatározása az ELTE TTK Quanta 3D pásztázó elektronmikroszkópjával történt. Köszönjük a minták előkészítéséhez nyújtott segítséget, valamint a mérések szakstermi végzését.

A tanulmány az Európai Unió támogatásával és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával készült, a támogatási szerződés száma TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0003.

Irodalom

1. Bhaskar, S., Tian, F., Stoeger, T., Kreyling, W., de la Fuente, J. M., Grazú, V., Borm, P., Estrada, G., Ntziachristos, V., Razansky, D.: Multifunctional Nanocarriers for diagnostics, drug delivery and targeted treatment across blood-brain barrier: perspectives on tracking and neuroimaging. *Particle and Fibre Toxicology* 7/3 (2010) 1–25.
2. Legrand, P., Lesieur, S., Bochot, A., Gref, R., Raatjes, W., Barratt, G., Vauthier, C.: Influence of polymer behaviour in organic solution on the production of polylactide nanoparticles by nanoprecipitation. *Int. J. Pharmaceutics* 344 (2007) 33–43.
3. Huszti Zs., Kálmán M.: *Glia*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2008.
4. Faragó Eszter: *A vér-agy gát szelektivitásának molekuláris szerkezeti alapjai és nanotechnológiai hasznosításuk a permeabilitás elősegítésére*. Diplomadolgozat, ELTE Kémiai Intézet 2011.
5. www.nanomi.com Nanomi B.V. Zutphenstraat 51 7575 EJ Oldenzaal The Netherlands
6. Wang, F. J., Lee, T. K. Y., Wang, C. H.: Controlled Release Devices for Chemotherapy and Radiotherapy Applications. *Biomaterials*, 23 (2002) 3555–3566.
7. Fessi, H., Puisieux, F., Devissaguet, J.-P., Ammoury, N., Benita, S.: Nanocapsule formation by interfacial polymer deposition following solvent displacement. *Int. J. Pharmaceutics* 55 (1989) R1–R4.
8. Pribransky Kinga: *Kolloidális gyógyszerhordozó előállítása nanoprecipitációval*. TDK dolgozat, ELTE Kémiai Intézet, 2010.
9. Kiss É. D. Schnöller D., Pribranská K., Hill K., Péntes Cs. B., Horváti K., Bősze Sz.: Nanoencapsulation of antitubercular drug isoniazid and its lipopeptide conjugate. *J. Dispers. Sci.* 2011.
10. Wang, J., Chua, K. M., Wang, C. H.: Stabilization and encapsulation of human immunoglobulin G into biodegradable microspheres. *J. Colloid Interfacial Sci.* 271 (2004) 92–101.
11. Csémpesz F., Puskás I.: Controlling the Physical Stability of Liposomal Colloids. In *Colloid Stability and Application in Pharmacy*. (Ed: Th. F. Tadros) Wiley-VCH, 2007. Colloids and Interfaces Science Series, vol 3.

A PAKSI ATOMERŐMŰ KIS ÉS KÖZEPES AKTIVITÁSÚ RADIOAKTÍV HULLADÉKAINAK MENNYISÉGI ÉS MINŐSÉGI ELEMZÉSE

Horváth András
ELTE TTK Fizikai Intézet

Jelen írásban a Paksi Atomerőműben keletkező kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok forrásait, mennyiségi adatait tekintem át. Becslést végzek a következő években keletkező hulladékok várható mennyiségére. Megvizsgáltam, hogy a 2003-as súlyos üzemzavar hatására miként változott meg, valamint a teljesítménynövelés hatására hogyan fog megváltozni a hulladékok mennyisége. A cikk végén pedig becslést adok a hulladékos hordók felületi dózisteljesítményére.

A Paksi Atomerőmű névleges villamos teljesítménye a teljesítménynövelési program 2009. novemberi befejezésével már 2000 MW. Ezzel Magyarország villamosenergia-termelésében meghatározó szerepet tölt be, annak mintegy 40%-át adja.

2010-ben a Paksi Atomerőmű négy blokkja összesen 15761 GWh villamos energiát termelt. A megtermelt 1 kWh villamos energia értékesítési ára 2010-ben 11 forint 16 fillér volt. Az atomerőmű az egyéb villamos energiát termelő erőművekkel összehasonlítva (üzemszerű működés esetén) a legkevésbé környezetszennyező, nem bocsát ki szén-dioxidot. Így a Pak-

si Atomerőmű Magyarország számára mind energetikai, mind környezetvédelmi, mind pedig gazdasági szempontból nélkülözhetetlen [1].

Az elemzés fontosabb célkitűzései a következők:

1. A Paksi Atomerőműben keletkező kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok forrásainak áttekintése.

2. Az eddigi adatok alapján annak megvizsgálása, hogy milyen biztonsággal becsülhető a hulladékok mennyiségének növekedése a következő években.

3. A 2003-as súlyos üzemzavar elemzése a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok keletkezésének szempontjából.

4. Annak becslése, hogy a teljesítménynövelés milyen hatással lesz a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok mennyiségére.

A tanulmány alapvetően forráselemzés, de tartalmaz saját számolásokat a hulladék keletkezés üteméről, a 2003-ban bekövetkezett üzemzavar elemzéséről, a teljesítménynövelés hatásáról a radioaktív hulladékok mennyiségére, valamint a hulladéksomagok felületi dózisteljesítményéről.

A radioaktív hulladékok definíciója

Radioaktív hulladékoknak azokat a radioaktivitást tartalmazó anyagokat tekintjük, amelyek további felhasználásra már nem alkalmasak, illetve azok felhasználójának, birtokosának nincs szándékában azokat a jövőben sem újrahasznosítani.

Magyarországon a radioaktív hulladék definícióját az MSZ 14344 számú 1988-as szabvány adja meg. Eszerint a radioaktív hulladék „olyan hulladék anyag, amely a sugárvédelmi jellemzők alapján nem kezelhető közönséges hulladékként.”

Radioaktív hulladék alatt értendő tehát minden, további felhasználásra nem szánt, ipari, mezőgazdasági, egészségügyi, oktatási vagy kutatási tevékenységből származó radioaktív anyag. [2]

A radioaktív hulladékok kategorizálása

A radioaktív hulladékokat nagyon sokféle kategóriába, csoportba sorolják, e tekintetben a nemzetközi gyakorlat sem egységes. A legtöbb országban a hulladékok pontos kategorizálásának fontos gyakorlati jelentősége van, mivel a különböző csoportba tartozó hulladékok más-más módon kerülnek átmeneti tárolásra, majd végleges elhelyezésre.

Magyarországon a radioaktív hulladékok osztályozása az alábbi szempontok alapján történik:

- Halmazállapot szerint
- Hőfejlődés szerint
- Felezési idő szerint
- Felületi dózisteljesítmény szerint
- Aktivitáskoncentráció szerint

A kis aktivitású hulladékok egészségkárosító hatása nagyon alacsony. (A kategória alsó határát nem szabvány, hanem egy magasabb rendű jogszabály határozza meg.)

Amennyiben a hulladék egy bizonyos szintnél már kisebb veszélyt jelent a környezetre, abban az esetben nem kell szabályozást alkalmazni. Ekkor a hulladék kivonható az atomtörvény alól, tehát nem kell radioaktív hulladékként kezelni. Ezeket a szinteket nevezzük *mentességi szint*eknek. A mentességi szint fogalma 1997-ben került be a magyar törvénykönyvbe a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) ajánlása alapján.

A mentességi szint aktivitásként (kBq) és aktivitáskoncentrációként (kBq/kg) is értelmezhető. A mentességi szint meghatározásának alapja a sugárvédelem dóziskorlát rendszere. Külön táblázatokban adják meg az értékeket, izotóponként, aktivitásban és aktivitáskoncentrációban. A mentességi szint alatti radioaktivitás sem külső (a sugárzás veszélyének kitétt ember testén kívüli), sem belső (belégzés vagy lenyelés révén inkorporált) sugárterhelésként nem jelenthet reális egészségkárosító kockázatot a vele kapcsolatba kerülő egyénekre. Bár sem a rendelet, sem az IBSS (NAÜ Nemzetközi Biztonsági Alapszabályzat) nem tartalmaz explicit dózisszintet, az alkalmazott érték (0,01 – 0,1) mSv/év.

A gyakorlatban a mentességi szintek ismeretében is szokták aktivitáskoncentrációk szerint besorolni a radioaktív hulladékokat:

$$S = \sum_i \frac{AK_i}{MEAK_i},$$

ahol S a veszélyességi mutató („hazard index”), $MEAK_i$ az i -edik radioizotóp mentességi aktivitáskoncentrációja (kBq/kg), AK_i az i -edik radioizotóp aktivitáskoncentrációja (kBq/kg).

S különböző értékei szerinti kategóriák:

- kis aktivitáskoncentrációjú: $S \leq 10^3$,
- közepes aktivitáskoncentrációjú: $10^3 < S \leq 10^6$,
- nagy aktivitáskoncentrációjú: $S > 10^6$.

A Paksi Atomerőmű kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékainak fajtái és formái

A szilárd radioaktív hulladékok forrásai

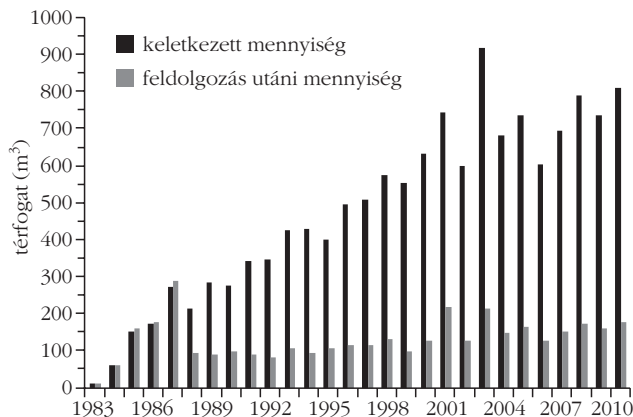
Az atomerőműben az üzemeltetés során keletkezett kis és közepes aktivitású szilárd radioaktív hulladékok főbb forrásai a következők: az üzemeltetés és a karbantartás során keletkezett úgynevezett „puha” hulladékok (például ruhák, egyéni védőfelszerelések, fóliák, rongyok). Elhasználódott és felaktiválódott, vagy felületileg szennyezett szerelvények, berendezések, átalakításból származó építési anyagok (például betontörmelék, faanyag, üveg...). Karbantartó műhelyekben képződött fémhulladékok, elhasználódott szerszámok, gáztisztító rendszerek elhasználódott szűrői [3].

A szilárd radioaktív hulladékok gyűjtése

Az atomerőmű ellenőrzött zónájának épületeiben a keletkező szilárd hulladékok kezelésének első fázisa a szelektív gyűjtés. Ez már a keletkezés alkalmával szervezeten történik. A szelektív gyűjtésre az atomerőmű belső szabállyal rendelkezik, amelynek betartását rendszeresen ellenőrzik. A megfelelő kezelés érdekében a munkavégzési folyamat megkezdése előtt a helyszínen kellő számú és fajtájú gyűjtőedényt biztosítanak.

A keletkező hulladékokat fémvázra helyezett 50 l-es műanyag zsákba, vagy 200 l-es fémhordókba gyűjtik. A hordók fedelén jól olvashatóan fel kell tüntetni a hordó alfanumerikáját, a hordóba helyezett hulladékok fajtáját (NT – nem tömörített, T – tömörített, HP – „helyreállítási projekt”, a 2003-as súlyos üzemzavar felszámolása közben keletkezett hulladék), a hordó felületi dózisteljesítményét (μ Sv-ben), és a hordó súlyát. (Egy hordóba maximálisan 240 kg tömegű hulladék helyezhető el.)

Ha a hulladék méretei nem teszik lehetővé a közvetlen elhelyezést a gyűjtőedénybe, a feldarabolásról a hulladéktermelő szervezetnek kell gondoskodnia. A tárgyakat olyan méretűre kell darabolni, hogy a 200 l-es hordó optimális térkitöltése és fedelének zárhatósága biztosított legyen.



1. ábra. A szilárd radioaktív hulladékok évenkénti mennyiségi adatai.

A szelektív hulladékgyűjtést követően az alábbi hulladékcsoportok különböztethetők meg: normál hulladék, veszélyes hulladék, valamint ipari hulladék.

A folyékony radioaktív hulladékok összetétele

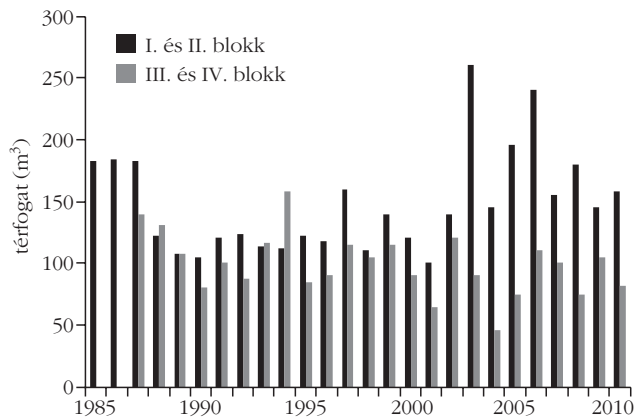
Az atomerőműben az üzemeltetés és a karbantartások során keletkezett kis és közepes aktivitású folyékony radioaktív hulladékok főbb összetevői a következők: bepárlási maradékok, elhasznált primerköri ioncserélő gyanták, elszennyeződött technológiai bórsavoldatok (primerköri szervezetlen szivárgások, leürítések és légtelenítések). Továbbá aktív oldószerkeverékek (mosóbenzin, alkohol, petróleum) és olajok, dekontamináló oldatok (helyiség-, illetve berendezés-dekontaminálások), evaporátorsavazó oldatok, aktív iszapok, primerköri laboratóriumi és mosodai hulladékok, szennyezett zuhanyvizek.

Az atomerőműben a technológiai adottságok és a szelektív hulladékgyűjtés jelenlegi szintje alapján a fentiekben felsorolt folyékony hulladékok gyűjtése és kezelése folyik. A felsorolásban látható első néhány hulladékcsoportot csurgalékvizeknek nevezzük. Potenciális radioaktív hulladék-források még a szekunderkör elszennyeződésekor (gőzfejlesztő-szivárgás) a gőzfejlesztő leiszapolásból származó folyékony hulladékok, az 5. számú víztisztító gyantái, regenerátuma, mosó és lazító vizei, a kondenzátum tisztító gyantái, regenerátuma, mosó és lazító vizei. [4]

A Paksi Atomerőmű kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok mennyiségi növekedésének elemzése

A szilárd radioaktív hulladékok mennyisége

A szilárd radioaktív hulladékok mennyiségét évről-évre az 1. ábra szemlélteti. Külön fel van tüntetve a feldolgozás előtti, és a feldolgozás utáni mennyiség. Az ábrán jól látható, hogy 1988-tól radikálisan csökken a feldolgozás utáni mennyiség, ugyanis ekkor helyezték üzembe a tömörítő berendezést. A 2010. december 31-i állapot szerint az atomerőműben belüli átmeneti tárolókban 8541 db 200 literes hordó kis és közepes aktivitású szilárd radioaktív hulladék található [4].



2. ábra. A bepárlási maradékok mennyiségi adatai évről-évre.

A folyékony radioaktív hulladékok mennyisége

Az atomerőműben tárolt összes folyékony hulladék mennyisége: 6645,6 m³. A teljes rendelkezésre álló tárolókapacitás 10 020 m³ [4]. (Ebben nincs benne az üzemzavari tárolókapacitás, ami összesen 1560 m³.)

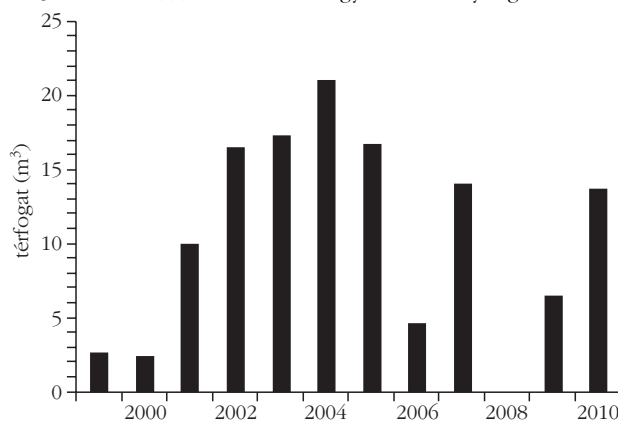
• Bepárlási maradékok

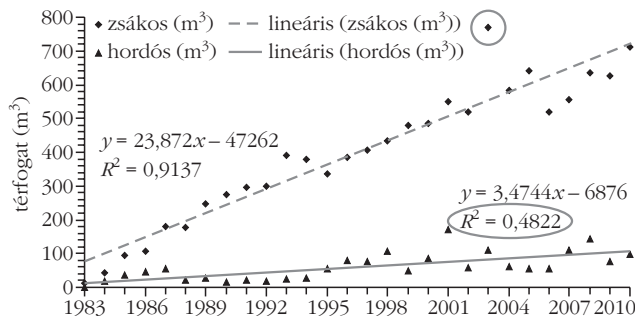
Az atomerőmű üzemeltetése során eddig összesen 5925 m³ bepárlási maradék keletkezett, amelyből 1300 m³ α-sugárzókkal szennyezett. Az eddig keletkezett éves mennyiségeket a 2. ábra szemlélteti.

• Elhasznált primerköri ioncserélő gyanták

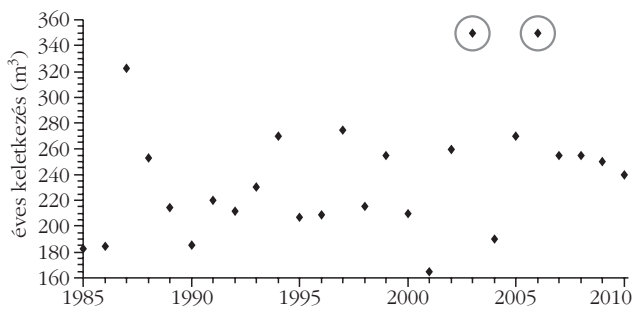
A folyékonyhulladék-tároló rendszer módosításával az üzemeltetés alatt a gyantákat együttesen tárolják. Az 1999 óta keletkezett gyantamennyiségeket mutatja a 3. ábra. Figyelembe véve az elhasznált gyanták mennyiségét (összesen 169,86 m³) és a rendelkezésre álló tárolókapacitást (870 m³) feltételezhető, hogy a tárolókapacitás elég lesz az atomerőmű teljes élettartama alatt a keletkező gyantamennyiségek átmeneti tárolására (itt már a 20 évvel meghosszabbított üzemidőre vonatkozik a becslés!). Az ábrán jól látható, hogy a 2003-as üzemzavar hatására megnőtt a gyanta mennyisége, de az üzemzavar felszámolása után csökkent a mennyiség. 2001-ig nem történtek szisztematikus gyantatöltetecserék, attól az évtől elkezdték cserélni, ezért nőtt a mennyiség.

3. ábra. Az 1999 óta keletkezett gyanták mennyiségi adatai.





4. ábra. A zsákos és hordós gyűjtésű hulladékok éves keletkezési üteme. A szürkés körrel jelölt, kiugró adat a 2003-as üzemzavar következménye.



5. ábra. A bepárlási maradékok éves keletkezési üteme.

Radioaktív hulladékok keletkezésének üteme

A kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok keletkezési ütemének megállapításához a korábbi évek adatai alapján a képződött hulladékmennyiségek trendjét határoztam meg.

Szilárd hulladékok keletkezési üteme

Az eddigi zsákos és hordós gyűjtésű hulladékok éves keletkezési ütemének változása a 4. ábrán látható. Az adatokra egyenest illesztve, a kapott egyenletről meghatározható a következő években várható keletkező hulladékmennyiség. Látható, hogy a hordós hulladékok adataira illesztett egyenes korrelációs együtthatója 0,48, ami azzal magyarázható, hogy hordós hulladékok nemcsak a zsákos hulladékok tömörítéséből keletkeznek, hanem zsákba nem helyezhető hulladékokból is, így a hulladéktípus mennyiségi becslése nem végezhető el olyan biztonsággal, mint a zsákos hulladékoké. A kis és közepes aktivitású, kezelt, szilárd radioaktív hulladékok 2037-ig (az erőmű várható leszereléséig) számított átlaga: körülbelül 170 m³/év (850 db 200 l-es hordó/év). (Ebben nincsenek benne a leszerelési hulladékok!)

Folyékony hulladékok keletkezésének üteme

A bepárlási maradékok mennyisége a legnagyobb a folyékony hulladékok közül, így csak e fajta mennyiségi becslését adom meg a cikkben. Az eddig keletkezett bepárlási maradékok éves keletkezési ütemének változása az 5. ábrán látható.

A 2003-as és a 2006-os adatokat is figyelmen kívül kellett hagyni, mert 2003-ban a súlyos üzemzavar során jóval több hulladék keletkezett, mint a normál üzem alatt. (2006-ban távolították el a sérült fűtőelemeket, és az üzemzavar felszámolásakor is jóval nagyobb hulladékmennyiség keletkezett.) Az elhanyagolás hatása az eredmény értékét

nem változtatta meg jelentősen, de a bizonytalanságot csökkentette. A bepárlási maradékok 2037-ig számított képződési átlaga: körülbelül 250 m³/év.

A 2003. április 10-i súlyos üzemzavar hatása a radioaktív hulladékok mennyiségére

Az 1. táblázat foglalja össze a 2003-as üzemzavarig évente átlagosan keletkező hulladékmennyiségeket, és hasonlítja össze a 2003-ban keletkezett mennyiségekkel. A táblázatból látható, hogy az üzemzavar miatt 2003-ban jelentősen megnőtt a radioaktív hulladékok mennyisége az előző évek átlagához képest.

A növekedés okai a következők: a 2. blokki súlyos üzemzavar következményeként a reaktorcsarnok takarításából, továbbá az AMDA (Automatizált Dekontamináló Berendezés) leszereléséből körülbelül 60 hordó radioaktív hulladék keletkezett. A növekmény további részét döntően az új hulladék felszabadítási eljárásban alkalmazott szigorú aktivitáskorlátok eredményezték.

A 2. blokki súlyos üzemzavar után a gyantatároló tartály folyadékfázisát körülbelül a tárolt gyanta szintjéig leszívatták, és bepárolták azért, hogy a 2. blokki (pihentető medence mögötti) 1. számú akna tisztítására használt 4. számú víztisztító gyanta kicserélése során a transzportvíz ne kerüljön a csurgalék-víz-rendszerbe. Ugyanitt olyan átalakítást hajtottak végre, hogy a víztisztítók regenerátumai, mosóvízei a tartály kiiktatásával egyenesen a csurgalék-víz-rend-

1. táblázat									
A 2003-ig évente keletkezett, és a 2003-ban keletkezett hulladékok mennyisége									
	szilárd								folyékony
	zsák	hordó	szűrő	iszap	zsák	hordó	szűrő	iszap	
átlagos keletkezés (m³/év)	303	60,91	18,4	5,25	69	34,6	6,92	11	131,33
2003-ban keletkezett (m³)	770	110	30	9	119	75,6	6	18	260
eltérés (m³)	467	49,09	11,6	3,75	48	41	-0,92	7	128,6

szerbe kerüljenek olyan elgondolásból, hogy a regeneráló oldatok ne regenerálják részlegesen az erősen szennyezett és már kitérített gyantákat. Ezáltal elkerülték, hogy az egész csurgalékvíz-rendszert elszennyezzék. A jövőben a tartály már csak gyantát és transzportvizet tárol.

Teljesítménynövelés várható hatása a radioaktív hulladékok mennyiségére

A teljesítménynövelés *nincs* hatással a hulladékok mennyiségére és keletkezési ütemére, mert a hulladékok keletkezése nagyon csekély mértékben függ a reaktorok teljesítményétől. A szilárd hulladékok keletkezési aránya csak az idő függvénye, így a végső összesítésnél nem szükséges figyelembe venni a reaktorok időben változó teljesítményét. A korábban a keletkezés üteménél részletesen tárgyalt folyamat jó becslést ad a hulladékok mennyiségére.

A radioaktív hulladékok összaktivitása

A szilárd hulladékok összaktivitása

A kis és közepes aktivitású hulladékos hordók bizonyos részének izotópszelektív mérését az erőmű Sugárvédelmi Osztálya végzi. A méréssel ellenőrzött hordók aránya évről-évre növekszik. (1998 előtt 10%, majd 15%, az utóbbi két évben pedig 50% fölött.) Az adatok feldolgozása során a mért aktivitás- és tömegadatok alapján minden évre meghatározzák a hulladékok aktivitáskoncentrációit a mért izotópokra. Mivel viszonylag nagyszámú mérés történik, ezek jól reprezentálják a teljes képződött hulladék izotópösszetételét, így a koncentrációkat átlagolva, az adott időszakban keletkezett teljes hulladékmennyiségre kiszámíthatók az aktivitások. A 2009-es mérések alapján ez az érték 0,66 TBq-nek adódott.

A folyékony hulladékok összaktivitása

Az atomerőműben összesen 12 tartályban tárolnak bepárlási maradékokat. A 2009-es mérések alapján ezek összaktivitása 10,9 TBq-nek adódott. Az atomerőműben egy-egy tartályban tárolnak dekontamináló oldatokat és evaporátorsavazó oldatokat. A mérések, illetve számítások alapján a dekontamináló oldatok összaktivitása 226 GBq, míg az evaporátorsavazó oldatok összaktivitása 247 GBq [4]. Az elhasznált primerköri ioncserélő gyanták esetében a 4. számú víztisztító tartályból hetente egy-három mérés, az 1. víztisztító tartályból heti-havi gyakoriságú mérés történik. Az aktivitások két tartály¹ között oszlanak meg.

A jelentősebb aktivitások a 4. számú víztisztító rendszer gyantáin halmozódtak fel, mivel a 2003-as üzemzavart követően mind dozimetriai, mind reaktor-

fizikai szempontból kiemelt jelentőségű volt a szennyezett víz megtisztítása. Erre a 4. számú víztisztítót használták, így e rendszer gyantáin jóval nagyobb aktivitás kötődött meg, mint normál üzem során. Az atomerőmű izotópleltárát egyértelműen az ioncserélő gyantákon felhalmozódott 2003-as üzemzavarból származó aktivitástartalom határozza meg, ugyanis a 4. számú víztisztító rendszer gyantáinak aktivitása $2,06 \cdot 10^{13}$ Bq!

A többi hulladék térfogata, bár jóval nagyobb, de aktivitásuk együttesen is több nagyságrenddel elmarad a 01TW20B001 tartályban levő gyantáétól.

A hulladékos hordók felületi dózisteljesítményének becslése

A kapott izotópleltár alapján kiszámítható a hordók felületi dózisteljesítménye. A becslés során az a *feltételezés*, hogy az aktivitás eloszlása a hordókban homogén. A hordókban található izotópok kivétel nélkül negatív béta-bomlással bomlanak, amit bomlásonként egy ismert energiájú gamma-foton kibocsátása követ [5]. A felületi dózisteljesítmény számításakor csak a gamma-fotonokat veszem figyelembe, mert a béta-részecskék nem jutnak át a hordó 1,2 mm vastag falán. Első lépésben meghatároztam azt a hordón belüli tartományt, amelyből ki tud jutni a gamma-foton. A foton az anyaggal való kölcsönhatása következtében veszít energiájából. A gyengülés empirikusan jól közelíthető exponenciális függvényel:

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

ahol x az abszorbens közeg vastagsága (cm) és μ az abszorpciók együttható (1/cm).

Az x távolság meghatározásához ismerni kell az abszorpciók állandó értékét, valamint meg kell mondani, hogy mekkora hibát kívánunk elérni. (A számítás során 10%-os hibával dolgoztam.) A polietilén abszorpciók állandójával számoltam [6], mert a hordókban levő hulladék nagy része polietilén. Így már egyszerűen meg lehet határozni az ismeretlen x értékeket a fenti egyenletből ($\rho_{\text{polietilén}} = 0,93 \text{ g/cm}^3$).

Az átlagos út, amit a gamma-foton megtesz, mielőtt elnyelődik a polietilén-közegben: 3,3 cm, azaz a hordó falától átlagosan ekkora távolságból képes kijutni a gamma-sugárzás. Ismerve a hordó térfogatát meghatározható az a térfogat, amin belülről kijuthat a sugárzás, amelyre $V' = 0,065378 \text{ m}^3$ adódott. Feltételezésem szerint az aktivitáseloszlás a hordókban homogén, így a fent kiszámolt térfogatba jutó aktivitás egyszerűen megadható, és kiszámítható a hordó falát érő sugárzás összes energiája. (A falat a számolt összenergia körülbelül fele éri el, mert a másik fele visszamegy a hordó belsejébe!)

A hordó falát elérő fotonok a hordó falában adnak le energiát a fent részletesen tárgyalt módon. Ezúttal a leadott energia a kérdés, és ismert a megtett út, ami a hordó $x = 1,2 \text{ mm}$ vastag fala. Az abszorpciók állandót

¹ 01TW20B001 és a 02TW10B001 jelű tartályok

ugyanazokra az energiákra határoztam meg, de ezúttal vas közegben [6] ($\rho_{\text{vas}} = 7,8 \text{ g/cm}^3$).

Ezek alapján már egyszerűen meghatározható a hordó falában leadott energia, majd a dózisteljesítmény, ami $\sim 300 \mu\text{Gy/óra}$ -nak adódott. Ez jó közelítéssel egyezik a mért értékekkel, de nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a számítás során többször is becsléseket végeztem, amelyek természetesen befolyásolják az eredményt.

Következtetések

A munkának négy fő célja volt. Elsősorban a Paksi Atomerőmű kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékaik keletkezési ütemének meghatározását, az előrejelzés biztonságának vizsgálatát tűztem ki célul. Először a korábbi évek adatai alapján becslést adtam a keletkező hulladék mennyiségére, majd ezt a gondolatmenetet folytatva a teljesítménynövelés és az üzemidő-hosszabbítás hatásait is figyelembe vettem.

Megmutattam, hogy a teljesítménynövelés nincs komoly hatással a keletkező hulladék mennyiségére. A hulladék keletkezésének üteme csak nagyon csekély mértékben függ a reaktorok teljesítményétől.

Megvizsgáltam a 2003-ban bekövetkezett súlyos üzemzavar hatásait a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék mennyiségére. Amint a táblázatból látható, a súlyos üzemzavar során jelentősen megnőtt a hulladék mennyisége. A zsákos gyűjtésű hulladék mennyisége közel 150%-kal nőtt, de a többi hulladékfajtából is jelentős többlet keletkezett.

Becslést adtam a hulladékos hordók felületi dózisteljesítményére, és a kapott eredmény összhangban van a mért értékekkel, tehát a becslés és a kidolgozott módszer megbízható.

Irodalom

1. Paksi Atomerőmű Zrt. – Rólunk: <http://npp.hu/rolunk> (letöltés: április 5.)
2. MSZ 14344-1:2004: Radioaktív hulladékok. Fogalom meghatározások és osztályozás, Magyar szabvány, 112/1. MSZ közzététel
3. Elter E., Feil F.: Üzemeltetésből származó radioaktív hulladékok helyzete a Paksi Atomerőműben. *Nukleon*, 2010. december
4. *A Paksi Atomerőmű radioaktív hulladékainak kezelése, tárolása és elhelyezése. Éves jelentés – 2010.* Paksi Atomerőmű Zrt. kiadványa, 2010.
5. D. R. Lide (szerk.): *Handbook of Chemistry & Physics*. 72nd Edition, Section 16, 25–31.
6. *Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients from 1 keV to 20 MeV for Elements Z = 1 to 92.* <http://www.nist.gov/pml/data/xraycoef/index.cfm> (letöltés: 2010. 02. 10.)

DIGITÁLIS HOLOGRÁFIA

Gombkötő Balázs, Kornis János
BME Fizikai Intézet, Fizika Tanszék

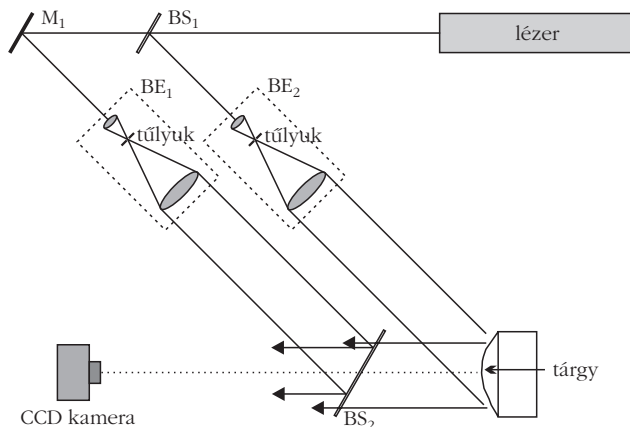
A *Fizikai Szemle* többször is foglalkozott már hasábjain a holográfiával. Először maga Gábor Dénes írt cikket (1966/10), majd mások mutatták be a holográfia körébe tartozó kutatásaikat (például 1968/2], többek között a röntgen-holográfiát is két alkalommal (1997/7 és 2005/3). 2000 júniusában Gábor Dénes születésének 100. évfordulóján külön is foglalkozott a *Szemle* a témával (2000/6), ekkor jelent meg a Nobel-díj átadáson tartott beszéd, illetve előadás is. Mindeztől azonban nem jelent meg cikk a holográfia digitális és számítógépes változatáról, holott ez az ág is hamar követte a lézerek megjelenését, és 1994 óta a digitális CCD-kamerák elterjedésével, valamint az informatika addig és azóta bekövetkezett fejlődése révén a reneszánszát éli.

Elsőként röviden áttekintjük a holográfia történetét és lényeges elemeit, hogy látható legyen a digitális világba vezető út. Amint azt Gábor Dénes is leírta, két hullám interferenciamezője, azaz az intenzitáseloszlás, képes tárolni egy tárgyról szóródott hullám valamilyen értelemben „teljes” információtartalmát, ha a másik referenciahullám egyszerű és reprodukálható, például sík vagy gömbhullám, és ha monokromatikus, kellően koherens hullámokat alkalmazunk. Ezt már Gábor elődei is tudták, azonban arra nem gondoltak, hogy ez a mintázat diffrakciós elemként használva létre is hozhatja a tárgyhullámot, illetve annak

elégé pontos mását. 1947–48 táján a kor lehetőségeit alkalmazva kísérletileg demonstrálták is az elv helyességét, majd a lézerek megjelenésével, kihasználva annak nagyfokú koherenciáját, *Lieth*, *Upatnieks* és *Denisyuk* révén új erőre kapott a holográfia.

Ekkor már nagyobb fényintenzitás állt rendelkezésre, ténylegesen különválasztható lett a tárgy- és referenciavilág, nagyobb méretű tárgyakról is lehetett hologramot készíteni, egy lemezre akár többről is, előtérbe kerülhettek a diffúz felületű tárgyak, szó szerint látványos eredmények születtek, és a rövidebb expozíciós idők révén a mérés-technika és az elektronikus detektálás felé is lehetett nyitni.

A jelenből visszatekintve érdemes megjegyezni, hogy a holográfia egyetemi oktatásában még ma is a Gábor Dénes 1966-os cikkében is fellelhető egyszerű egyenletek és szemléltető ábrák használatosak: a néhány sorban megadható komplex algebrai alapegyenletek a felvételtől és a rekonstrukcióról, valamint az egyetlen pontforrás síkreferenciával készült hologramján megjelenő Fresnel-zónarendszer, illetve a rajta végbemenő fényszóródás. Szintén fontos, hogy Gábor már a kezdetektől hangsúlyozta a holográfia információtárolási módját és jelentőségét, amelyet befogadva a ma közembere számára is érthető lehet az őt leginkább foglalkoztató kérdés egy szép hologram láttán, nevezetesen „mi van akkor, ha eltörik”.



1. ábra. Digitális hologram rögzítésére alkalmas Mach-Zehnder típusú interferométer sík referenciával.

Az elvek után essék szó a gyakorlatról is! Hologramot készíteni macerás: rezgésmentes környezet kell, lehetőleg erősebb lézer, jó felbontású fotoemulzió vagy másfajta rögzítő anyag, a nedves kidolgozáshoz kevésbé barátságos vegyszerek, végül türelem és technológiai fegyelem. Ma már persze házi „laborokban” is készíthetők jó hologramok, az internet ebben is eligazítja az érdeklődőt. Ha magát a hologramlemeztek tekintjük, transzmissziós hologramok és néhány centiméteres tárgyak esetén a felbontóképességükkel szembeni elvárás nem igazán nagy. Ha a tárgyat a méretéhez képest jelentősen eltávolítjuk a lemeztől, valamint a referencia is kis szög alatt – majdnem „inline” – érkezik a lemezhez, akár 5-10 mikron méretű fényérzékelő elemek is megengedhetők, azaz a fényképezésnél is használatos fekete-fehér negatívak vagy diapozitív filmek is megfelelőek lehetnek – ezt használta Gábor is első kísérleteiben.

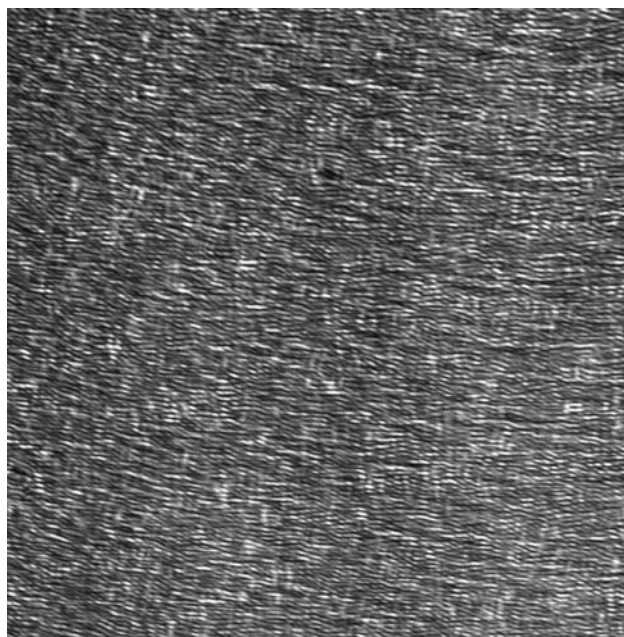
Digitális átállás

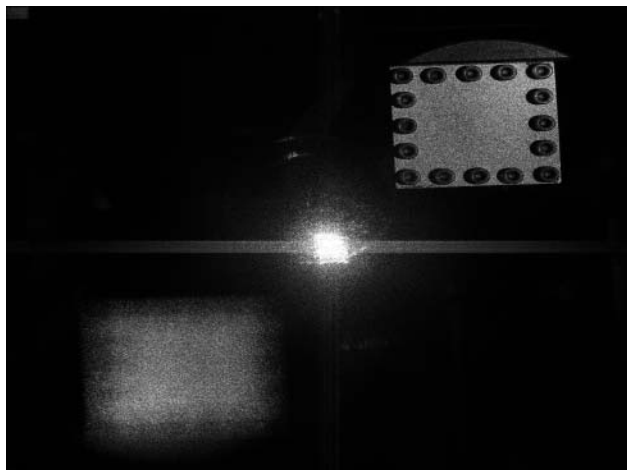
Még szélsőségesebb esetben még nagyobb pixel-méretű eszköz is alkalmazható lett volna, mint a hatvanas-hetvenes évek TV kamerái (például vidicon cső). Érdekes módon az első „digitalizált hologramot” 1967-ben J. W. Goodman és munkatársai [1] mégsem így készítették, hanem egy kidolgozott, kész amplitúdóhologram kinagyított részét végigszkennelték egyetlen fényérzékelővel, azaz utólagos analóg-digitális konverzióval. A felvett adathalmazt egy PDP-6 típusú, 160 kB-nak megfelelő memóriával rendelkező számítógéppel képesek voltak digitálisan rekonstruálni, azaz a tárgy-, képsíkba Fourier-transzformálni. Egy 1980-as cikkben még mindig a szkennelési eljárást látni, noha 1974-ben az elektronikus szemcskép interferometriában – amit másképp a hasonlóságok okán TV holográfiának is neveztek – már használtak TV/video kamerákat, és az első CCD érzékelő-mátrix is ekkortájt jelent meg laboratóriumi szinten. Ilyen kamerák kereskedelmi forgalomba 1987 táján kerültek, ezt követően 1994-ben bukkant fel először a holografikus rács direkt kamerás felvétele [2].

A digitális holográfia másik vonulata szintén 1967-ben jelent meg [3]. Számítógépes forrásból származó adatokkal oszcilloszkóp képernyőjén jelenítettek meg holografikus rácsozatot, amelyet filmre fényképezve kész volt a számítógéppel generált hologram, akár egy elképzelt tárgyról is. Mind hologram generálásánál, mind digitalizált hologram számítógépes rekonstrukciójánál megjelent a számítási kapacitás kérdése. Már 1976-ban 256×256 pixeles adatokat lehetett diszkrét Fourier-transzformálni nagygépeken, a „CCD-forradalom” idején pedig ez a kapacitás már PC-ken is elérhető volt. A digitális hologramok készítésének és alkalmazásának célja már a kezdetektől is az volt, hogy kihasználják jelentős információtartalmát. Vonzó lehetőség volt háromdimenziós modellek valós térbeli megjelenítése számítógéppel generált hologramok révén (ez nem terjedt el), illetve adatok utólagos kinyerése akár mérési céllal digitalizált hologramokból. A generált hologramok megjelenítésénél nagy áttörés volt a kis méretű térbeli fénymodulátorok (SLM, lásd digitális projektorokban) megjelenése, mivel tisztán elektronikus eszközként itt is nélkülözni lehet a filmek nedves kidolgozását, ráadásul valós időben változtatható a megjelenített hologram.

Az 1. ábra egy tipikus optikai elrendezést mutat digitális hologramok felvételére centiméteres tárgyak esetén. A Mach-Zehnder típusú interferométerben két kitágított és kollimált síkhullám terjed, és a BS_2 nyálábegyesítő után közel azonos irányból érik el a kamerát. A 2. ábra egy digitális hologram intenzitáseloszlását mutatja, amit a csupasz kamera „lát”. Ezen a példán emberi szemmel könnyen észrevehetőek a kis- és ferde és ívelt interferenciacsíkok a rajtuk ülő véletlen szemcsés fázissal, amely a diffúz felületű 2-3 cm-es tárgy nyálábjának köszönhető. Ez az immár digitális holografikus rácsozat az elsődleges információhordozónk a továbbiakban. A szintén digitális rekonst-

2. ábra. Egy digitális holografikus rács részlete.





3. ábra. A három elhajlási rend egy digitális hologram rekonstruált képén.

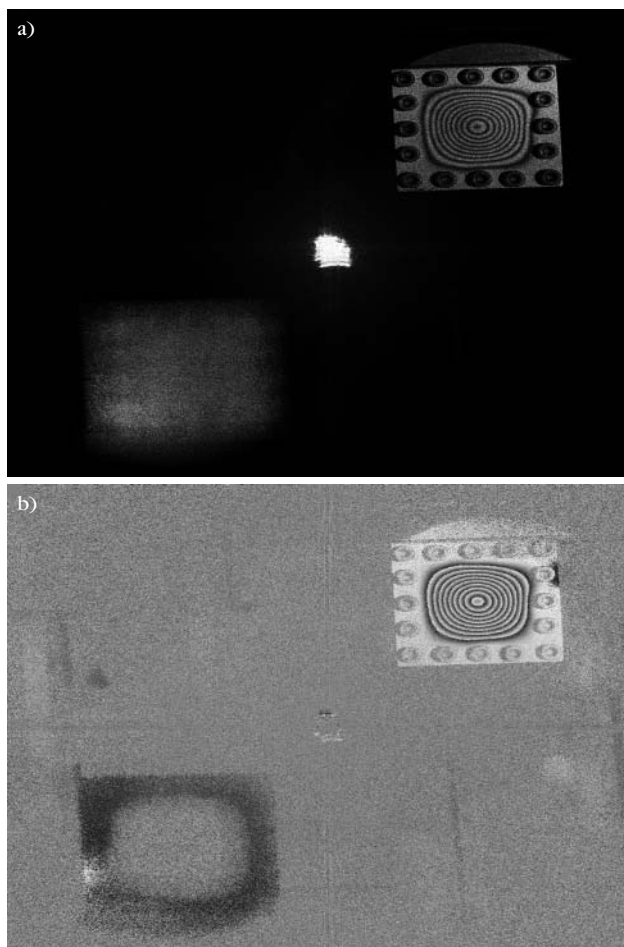
rukcióhoz ezt az eloszlást immár amplitúdóeloszlásnak tekintve és megszorozva a referencia gömbhullám fáziseloszlásával (vagy jelen esetben sík referenciahullám esetén gyakorlatilag azzal sem) elindíthatjuk a fény terjedését/diffrakcióját szimuláló számítást. Az 1. ábra geometriája mellett Fresnel-diffrakcióra, azaz diszkrét Fresnel-transzformációra van szükség, amelyet a gyors Fourier-transzformáció (FFT) alkalmazásával pillanatok alatt el lehet végezni. Ha a fényterjesztést a kamera-tárgy távolságban lévő síkdarabkára végezzük, a két konjugált elsőrendű diffrakciós folt közül az egyik éles vetített képet fog adni a kérdéses tárgyról, ahogy az a 3. ábrán látható. Középen az intenzív áthaladó nyaláb, annak túloldalán pedig egy virtuális képnek megfelelő első rendű nyaláb látható. Ellenkező előjelű távolságba diffraktáltatva a fényt a két első rendű nyaláb szerepet cserél.

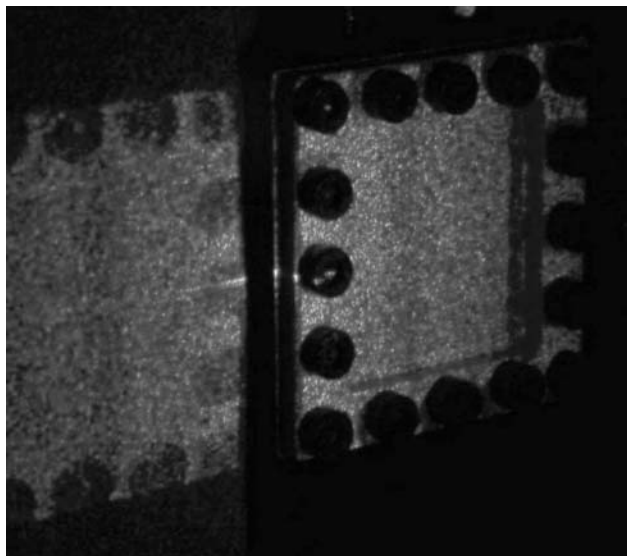
Alkalmazások

A 3. ábrán látható valós vetített kép az első rendű elhajlásban elsőre semmilyen térbeliséget nem mutat. A rekonstrukció távolságát változtatva azonban a képesség változik, azaz a tárolt fázisinformáció révén fókuszálható a kép! Ha tehát több, a kamerától különböző távolságban elhelyezett tárgyról készítünk egyetlen digitális hologramot, a rekonstrukcióban egyszerre csak egy tárgy lesz éles, a többinek szükségszerűen életlen képét látjuk. Ezt használják ki a *digitális holografikus mikroszkópiában*, ahol egy pár köbmilliméteres térfogatról készül egyetlen digitális hologram az 1. ábrától eltérő, még egyszerűbb elrendezésben, majd a digitális rekonstrukció „végigpásztázza” a térfogat síkmetszeteit, kiemelve az ott tartózkodó szóró objektumokat, például szennyező szemcséket, mikroorganizmusokat. Áramló folyadék térfogatáról időben kissé eltolva több felvétel is készíthető, így a benne lebegő szemcsék elmozdulása egyenként követhető az egész térfogatban, és a *folyadék áramlása feltérképezhető bárom dimenzióban*.

A fenti példákban a fókuszálhatóságot, a mérés utáni (!) pásztázás lehetőségét használják ki, azonban dacára annak, hogy a kamerával rögzített digitális hologram egy valós adatmátrix, a digitális rekonstrukció eredménye mindig komplex értékű, azaz a 3. ábrán látható intenzitáshoz fázis is tartozik. Ennek önmagában a numerikus számítás sajátosságai miatt általában nincs érdekes képe, azonban a digitális holográfia másik népszerűbb ipari alkalmazása, az *interferometria* épp e fázisnak köszönheti létét. Ha egy terhelhető tárgyról a terhelés előtt és után is készítünk egy-egy digitális hologramot, vagy a mozdulatlan tárgyról kissé eltérő körülmények között készítünk digitális hologramokat (például eltérő hullámhosszon vagy eltérő referenciairánnyal), akkor ezek rekonstruált képét összeadva vagy kivonva (digitálisan interferáltatva) máris szerephez jut a fázis. A két komplex amplitúdó eloszlás különbségének intenzitását és fázisát mutatja a 4.a és b ábra. Ez utóbbi direkt fáziskép a hagyományos analóg holográfiában nem látható, itt azonban közvetlenül hozzáférhető, és látványos tartalommal bír. Míg a hagyományos holografikus interferometriában az interferogramoknak csak az intenzitása hozzáférhető, így az alak vagy alakváltozás iránya/előjele nem látható egyértelműen, a direkt fázisképen látható a fázisváltozás iránya is. Megjegyezzük, hogy a fázis

4. ábra. Digitális holografikus interferogram intenzitás- (a) és fáziseloszlása (b).





5. ábra. Holografikus tárgymegvilágítás SLM-mel rekonstruált digitális hologrammal.

ilyen egyértelmű jelentéséhez az is kell, hogy a három diffrakciós rend a rekonstruált képen szétváljon, azaz ne fedjenek át. Teljesen in-line elrendezésben ez a zavaró hatás már nem elhanyagolható, és a holografikus mikroszkópiában is külön foglalkozni kell az ikerkép hatásával vagy kiküszöbölésével.

Szót kell még ejtsünk egy izgalmas részterületről, digitális hologramok optikai rekonstrukciójáról térbeli fénymodulátor (SLM, Spatial Light Modulator) segítségével. Kamerával felvett vagy számítógéppel generált digitális hologramok egyaránt készíthetők, illetve átalakíthatók amplitúdót vagy fázist moduláló eszköz részére. Folyadékkristályos vagy mikrotükrös SLM-ek is alkalmasak lehetnek erre a célra, ám eltérő karakterisztikájukat (például nem a digitális jellel arányos fázistolás) többnyire kompenzálni kell. Megfelelő beállítások mellett az SLM-re adott digitális hologram miatt az SLM a valós lézernyaláb számára holografikus rácsként fog viselkedni, és a továbbterjedő fényben létrejönnek az ilyenkor megszokott elhajlási rendek. Ideális esetben az ikerkép akár ki is küszöbölhető, a „rendes” kép pedig a digitális hologramtól függően lehet valós vagy akár virtuális is. Ily módon az első esetben mód van egy tárgy holografikus megvilágítására, a másik esetben pedig a hagyományoshoz hasonló 3D látvány előállítására. Az előbbire mutat példát az 5. ábra. Jobb oldalon a megvilágított tárgy lát-

ható, bal oldalon pedig a megvilágító első rendű nyaláb ikerképe egy hasonló négyzetes tárgyról. (Jelen esetben az első rendű képek mindketten fókuszált valós képek, mivel a digitális hologram Fourier-típusú, azaz „végtelenben” lévő tárgy szintén „végtelenben” lévő ikerképpel.) A képen látható megvilágításhoz már nem szükséges azon tárgy jelenléte, amelyről a digitális hologram készült. Akár adathordozón, akár az interneten hordozhatóvá válik a digitális hologramban tárolt rengeteg információ, így akár hasonló tárgyak összehasonlító távmérése is lehetséges.

Összehasonlítás a hagyományos holográfiával

Az előbb bemutatott előnyök mellett természetesen további előnyei és hátrányai is vannak a digitális holográfiának. A digitális kamerák a detektált intenzitást nagyfokú linearitással alakítják elektromos jellé, az expozíciós idők másodperc alattiak, az exponálás paraméterei jól megválaszthatók az optimális eredmény érdekében, azonban könnyen találkozhatunk elektronikus zajokkal, továbbá egyetlen akár 10 megapixeles digitális hologram információtartalma is eltörlül egy jó analóg holograméhoz képest. A két technika összeházasításával is találkozhatunk a holografikus adattárolásban, ahol a hologramokat ugyan (utólagos kémiai kezelést nem igénylő) fényérzékeny tárolóanyagba rögzítik, azonban a beíráshoz SLM-et, a kiolvasáshoz digitális kamerát használnak, és e digitalizálás számos előnyét ki is használják. Végezetül digitális holográfiával sokkal „fájdalommentesebben” demonstrálható, hogy mi történik, ha egy hologramot eltörünk. Ha digitális adatunk csak egy kis részterületét rekonstruáljuk, természetesen az egész tárgy képét visszakapjuk, csak kisebb felbontásban, kevésbé részletesen.

Összegezve, a digitális holográfia a maga egyszerűségével és képességeivel mára megtalálta a neki való alkalmazási területeket, és biztosak lehetünk benne, hogy a jövőben is hallani lehet majd róla.

Irodalom

1. J. W. Goodman, R. W. Lawrence: Digital image formation from electronically detected holograms. *Appl. Phys. Lett.* 11/3 (1967) 77–79.
2. U. Schnars, W. Jüptner: Direct recording of holograms by a CCD target and numerical reconstruction. *Appl. Opt.* 33 (1994) 179–181.
3. A. W. Lohmann, D. P. Paris: Binary Fraunhofer Holograms, Generated by Computer. *Appl. Opt.* 6 (1967) 1739–1748.



A szerkesztőbizottság fizika tanításáért felelős tagjai kérik mindazokat, akik a fizika vonzóbbá tétele, a tanítás eredményességének fokozása érdekében új módszerekkel, elképzelésekkel próbálkoznak, hogy ezeket osszák meg a Fizikai Szemle hasábjain az olvasókkal!

TÉNYLEG EINSTEIN FEDEZTE FEL, HOGY $E = mc^2$?

Ki a szerzője a híres egyenletnek? Nem is olyan egyszerű a kérdés, mint gondolnánk. *Maxwell*től von *Laue*ig egész sor 20. századbeli fizikusról tételezték fel, hogy ők voltak az igazi felfedezői a tömeg-energia ekvivalenciáját kifejező képletnek, amelyet ma mindenki *Einstein* speciális relativitáselméletével asszociál. Ezek az állítások nagyrészt alaptalanok voltak, egyes újságírók még *Einstein*t is plagizálással vádolták ebben az ügyben. Két fizikus azonban megmutatta, hogy *Einstein* híres formulájának származása komplikált és nem teljesen egyértelmű – aminek csak kevés köze van a relativitás elméletéhez.

Az egyenlet egyik leginkább kézenfekvő elődjét *Fritz Hasenöhrl*nek, a bécsi egyetem fizikaprofesszorának tulajdonítják. Egy 1904-ből származó cikkében *Hasenöhrl* ugyanis már leírta, hogy $E = 3/8 mc^2$. Honnan szedte az egyenletet és miért hibás a numerikus arányossági tényező? Ezt a kérdést vizsgálja az *arXiv* preprint servernek beküldött cikkükben *Stephen Boughn*, a Haverford College, Pennsylvania és *Tony Rothman*, a Princeton Egyetem kutatója.

Hasenöhrl neve elég rosszul cseng, mivel *Einstein* ellenségei gyakran hivatkoznak rá. „Hírnevét” főleg *Lénárd Fülöp*nek, a náci szimpatizáns Nobel-díjas fizikusnak köszönheti, aki mindent elkövetett, hogy *Einstein* nevét különválassa a relativitáselmétől, hogy az ne legyen a „zsidó tudomány” része. Ez azonban igazságtalan vele szemben.

Hasenöhrl Bécsben *Ludwig Boltzmann* tanítványa, majd utódja volt az egyetemen, és *Erwin Schrödinger* szerint „korának valószínűleg a vezető osztrák fizikusa volt”. Feltehetően igen sokra vitte volna, ha nem hal meg az I. Világháborúban. Akkoriban a tömeg és energia viszonyát már széles körben vizsgálták. *Henri Poincaré* már kijelentette, hogy az elektromágneses sugárzásnak impulzusa, ennél fog-

va tömege is van az $E = mc^2$ szerint. *Max Abraham* német fizikus feltételezte, hogy a mozgó elektron kölcsönhat saját elektromos terével, ezáltal gyakorlatilag $E = 3/4 mc^2$ tömeghez jut. Mindez a klasszikus elektrodinamika alapján állt, feltételezve a éter létezését. *Hasenöhrl* a problémával kapcsolatban azt a kérdést tette fel, hogy a fekete test, amely sugárzást bocsát ki, megváltoztatja-e mozgás közben a tömegét? Számításai szerint a mozgás a sugárzási energiához még $3/8 c^2$ hányaddal növeli a tömeget. Egy évvel később ezt az értéket $3/4 c^2$ -re módosította.

Rothman szerint *Hasenöhrl* számításaiban azt nem vette figyelembe, hogy sugárzás közben a sugárzó testek energiát veszítenek, így elgondolása nem volt konzisztens. Megfogalmazását idézve „A felét jól eltalálta. Ha csupán ennyit mondott volna, hogy E arányos m -mel, a történelem sokkal kedvesebb lett volna hozzá.”

Ha a dolgok így állnak, hogy jön ide a relativitáselmélet? *Einstein* 1905-ös híres cikkében lefektette az elmélet alapjait, elvetette az éter létét és a fénysebesség értéke invariáns mennyiséggé vált. A tömeg-energia ekvivalencia levezetése nem függött ezektől a feltételezésektől, az a klasszikus fizika alapján is levezethető, anélkül hogy c állandó vagy határsebesség lenne – állítja *Rothman*. Szerinte *Einstein* tudott *Hasenöhrl* munkájáról, csak azt másképpen akarta megfogalmazni. Az a gyakorlat pedig, hogy nem hivatkozott az előzményekre, akkoriban gyakran előfordult. *Jo-hannes Stark* 1907-ben *Max Planck*nak tulajdonította a relációt, amit *Einstein* határozottan cáfolt. Érdekes, hogy az 1911-es híres Solvay-konferencián Brüsszelben mind *Einstein*, mind pedig *Hasenöhrl* jelen volt. „Csak találgathatunk, hogy miről beszélgettek” – jegyezte meg *Bough* és *Rothman*.

(<http://physicsworld.com/>)

A 19. és a 20. század fordulóján a kor több vezető fizikusa (*J. J. Thomson*, *H. Poincaré*, *M. Abraham*) fókuszatosan arra a meggyőződésre jutott, hogy az elektromágneses éter képes impulzust tárolni. A V sebességgel egyenletesen mozgó töltés esetében ezen impulzus nagyságára a

$$p_{em} = \frac{4}{3} \frac{1}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} \frac{W_e}{c^2} V \quad (1)$$

képletet kapták, amelyben W_e a nyugvó töltést körülvevő éterben felhalmozott elektrosztatikus energiával egyenlő.

A képletből nyilvánvaló, hogy amikor a töltés gyorsul, a befektetett munka egy része nem a sebesség

növelésére, hanem az éterben felhalmozott impulzus gyarapítására fordítódik. A nevezőben megjelenő

$$\sqrt{1 - V^2/c^2}$$

következtében a gyorsító erő munkájának (pontosabban az erőlöketnek) annál nagyobb része megy el az éterben tárolt impulzus növelésére, minél nagyobb a töltés sebessége, ezért a gyorsan mozgó töltés egy adott erő hatása alatt kevésbé gyorsul, mint azt a test m tömege és a newtoni mechanika alapján várnánk. 1902-ben *W. Kaufmann* elektronokkal végzett híres kísérletei ezt a várakozást igazolták is.

A mechanikai impulzus mV képletéhez hasonlóan az (1) elektromágneses impulzus is arányosnak bizonyult a töltés sebességével, ezért célszerűnek látszott az arányossági tényezőt, amely a képletben a tömeg helyén áll, *elektromágneses tömegnek* nevezni. Ha

A keretes hír megjelentetésekor fontosnak tartottuk megkérdezni *Horváth Pétert*, hogy hozzáértő megjegyzéseivel tisztázza e fura feltevés valóságtartalmát. *A szerkesztő*

erre a mennyiségre bevezetjük az m_{em} jelölést, akkor (1)-ből azt látjuk, hogy

$$m_{em} c^2 = \frac{4}{3} \frac{W_e}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, \quad (2)$$

vagyis az éterben nyugvó töltésre

$$W_e = \frac{3}{4} m_{em} c^2. \quad (3)$$

Elsősorban erre a képletre hivatkoznak azok, akik szerint a tömeg-energia reláció már „lényegében” (a 3/4-es faktortól eltekintve) a relativitáselmélet megjelenése előtt is ismert volt, tehát valójában nem Einstein fedezte fel.

Ez azonban nehezen védhető álláspont.¹ Amit Einstein ezekből az elképzelésekből meríthetett nem több, mint az a *sejtés*, hogy a tömeg és az energia kapcsolatban lehet egymással. Ezekről az elgondolásokról bizonyára volt tudomása, de meggyőzően érvelhetünk amellett, hogy a tömeg-energia relációt akkor is felfedezte volna, ha a egyáltalán nem ismeri őket.

A *Mozgó testek elektrodinamikájához* című 1905 júniusában publikált dolgozatában, amely a speciális relativitáselmélet minden lényeges aspektusát tartalmazta, megtalálható a mozgási energia

$$K = \frac{m c^2}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} - m c^2 \quad (4)$$

képlete, a *tömeg-energia reláció azonban nem*. Ez utóbbi képletet csak három hónappal később közölte egy rövid dolgozatban. Vajon milyen elképzelések játszhattak közre e kiegészítés megszületésében? Teljesen valószínűtlen, hogy az elődök elektromágneses éterben tárolt impulzusra vonatkozó elgondolásait fűzte volna tovább. Minden bizonnyal a (4) képlet furcsa struktúrája izgatta a fantáziáját. Arra a kézenfekvő kérdésre kereshette a választ, hogy mi a jobb oldalon álló két tag *fizikai jelentése*.

De az $E_0 = m c^2$ tömeg-energia reláció, amelyre ezen az úton eljutott, nem csak genetikailag független (3)-tól: tartalmát, következményeit és levezetésének módját tekintve is gyökeresen különbözik tőle. Az $E_0 = m c^2$ képletben szereplő mindhárom mennyiség független mérésrel meghatározható. Az E_0 egy *tetszőleges inerciarendszerben* nyugvó test belső energiája, amelybe elektromosan töltött testek esetében az elektrosztatikus tér energiája is automatikusan beleszámít. Az m pedig a (töltött vagy semleges) test tömege, amelyet a $v \rightarrow 0$ határesetben az $ma = F$ Newton-egyenlet segítségével vagy súlyméréssel² lehet meghatározni.

¹ Az alábbiakban csak röviden érintett kérdések részletesebb tárgyalását a honlapomon (www.hrasko.com/peter), valamint a következő munkáimban lehet megtalálni: *Basic Relativity – An Introductory Essay* (Springer, 2011); *A relativitáselmélet alapjai* (Typotex, 2009); A relativitáselmélet tanításáról. *Fizikai Szemle* 2006/2 és Ekvivalens-e egymással a tömeg és az energia? u.o. 2003/9.

² 1911-ben Einstein ezt az energiamegmaradás alapján külön bebizonyította.

Ez a reláció tehát igazi természeti törvény, mivel érvényessége kísérletileg igazolható vagy cáfolható. A semleges pi-mezon például két gamma-fotonra bomlik el, ezért ha a mezon tömegét és a gamma-fotonok energiáját megmérjük,³ ellenőrizhetjük, hogy a pi-mezon kielégíti-e az $E_0 = m c^2$ relációt. A (3) bal oldalán a W_e mennyiséget ezzel szemben csak kiszámítani lehet, de ezt is csak abban az esetben, ha ismert a részecskeben a töltéeloszlás. A képletben továbbá m_{em} a részecske teljes tömegének egy ismeretlen hányada, amely csak akkor lenne legalább elvben mérhető, ha feltételezzük, hogy az egész tömeg az elektrosztatikus térenergiából származik.

Mindezek következtében az $E_0 = m c^2$ reláció és a (3) képlet implikációi is lényegesen különböznek egymástól. A (3) az (1) következménye, nem sugallhat többet vagy mást, mint emez: egy töltést annál nehezebb gyorsítani, minél nagyobb a sebessége. A relativitáselméletből is ez következik, de nem csak töltött részecskékre, és nem is a tömeg-energia reláció, hanem az idődilatáció következményeként. Az $E_0 = m c^2$ képlet ehelyett a radioaktív bomlásnál felszabaduló energia mennyiségi magyarázatának kulcsa, ahogy arra Einstein már a képlet felfedezését hírül adó legelső közleményében rámutatott. Akkor, 1905-ben, már csaknem tíz éve ismeretes volt, hogy a radioaktivitás hőfejlődéssel jár együtt, de senki sem tudta, hogyan egyeztethető ez össze az energiamegmaradással. Az $E_0 = m c^2$ reláció ezt lehetővé teszi: ha a bomló atommagok belső energiájának egy része alakul át hővé, akkor ez a tömegek mérése útján igazolható. A (3) alapján ez a lehetőség senkinek se jutott az eszébe, hiszen egyáltalán nem biztos, hogy a bomlásban résztvevő részecskék belső energiájának megváltozása az elektrosztatikus energiájuk megváltozásával egyenlő – nem is szólva a képletben szereplő tömeg értelmezésének bizonytalanságáról. Mint látjuk, az einsteini formula a tömeg és az energia kapcsolatára vonatkozó minden korábbi spekulációnál összehasonlíthatatlanul szélesebb és egyértelműbb perspektívát nyújt: *bármely* test tömege (ha egyáltalán van neki) az univerzális c^2 tényezőtől eltekintve azonos a belső (nyugalmi) energiájával, bármilyen természetű legyen is az.

Az $E_0 = m c^2$ képlet levezetése is teljesen más jelleget, mint a (3)-é. Az eredeti 1905-ös cikkben közölt gondolatmenetet Einstein kétszer is, 1935-ben és 1946-ban, lényegesen egyszerűsítette.⁴ A bizonyítás utolsó, 1946-ból származó végletesen letisztult változatából teljesen nyilvánvaló, hogy a Lorentz-transzformáció egyáltalán nem szükséges hozzá. De a relativitáselmélet 1. posztulátuma (az inerciarendszerek ekvivalenciája az összes fizikai jelenség, egyebek között a Maxwell-féle elektrodinamika szem-

³ Az energiamegmaradás következtében a két gamma-foton energiája megegyezik a mezon nyugalmi (azaz belső) energiájával.

⁴ A *speciális és általános relativitás elmélete* című könyvében (Gondolat, 1963), amelyet 1916-ban írt, az 53–54. oldalon természetesen az 1905-ös cikk viszonylag bonyolult gondolatmenetét ismereti, de csak vázlatosan.

pontjából) lényegesen ki van használva a bizonyításban, ezért téves a fenti ismertetésnek az az állítása, hogy a képlet „a klasszikus fizika alapján is levezethető lett volna”.

Sajnos a tömeg-energia relációnak egy olyan változata vált közismertté, amelyet Einstein sohase bizonyított be, de nem is állított: az, hogy a képlete segítségével nemcsak a nyugvó testek E_0 energiájához, hanem az energia *bármely fajtájához* rendelhető tömeg. Így például a v sebességgel szabadon mozgó test

$$E = \frac{m c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

teljes (kinetikus plusz belső) energiájának képlete alapján a test tömege

$$\frac{m}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

értékkel lenne egyenlő.

Ha valóban így volna, a jól ismert

$$ma = (1 - v^2/c^2)^{3/2} F$$

relativisztikus mozgásegyenlet, amely az impulzus

$$p = \frac{m v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

képlete segítségével $\dot{p} = F$ alakban is írható, nem lenne igaz. Az egyenlet első formájában ugyanis a meghatározó

$$(1 - v^2/c^2)^{3/2}$$

tényező egyedül az idődilatáció következménye. Ha a mozgás következtében az m tömeg valóban az

$$\frac{m}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

képletnek megfelelően változna, akkor ezt kellene a tömeg helyébe írni, és az egyenlet az

$$m a = (1 - v^2/c^2)^2 F$$

alakot öltene, amit a tapasztalat cáfol.

Határozottan le kell tehát szögeznünk: bármennyire elterjedt is az a felfogás, hogy a mozgás növeli a testek tömegét, a relativitáselméletből ez nemcsak hogy nem következik, hanem kifejezetten ellentétben áll vele. Mondanunk sem kell, hogy ez teljes mértékben összhangban van azzal a jól ismert ténnyel, hogy a tömeg invariáns.

Az ismertetett cikk szerint esetleg nem is Einstein, hanem Friedrich Hasenöhl volt a tömeg-energia reláció valódi felfedezője. Hasenöhl idevágó dolgozatát⁵ nem olvastam, de az ismertetés és Hasenöhl dolgozatának címe alapján fel sem merülhet az Einsteinnel szembeni prioritás kérdése, hiszen Hasenöhl olyasmint fedezett fel, amit Einstein sohasem állított: azt, hogy a mozgás következtében a testek tömege (vagy legalábbis a fekete sugárzást tartalmazó üregeké) megnő. Nyilvánvaló, hogy a cikk szerzője is osztozik abban a tévhitben, hogy a relativitáselmélet szerint a mozgó test tömege nagyobb, mint a nyugvóé.

Hraskó Péter

⁵ Zur Theorie der Strahlung in bewegten Körpern. (A mozgó testekben lévő sugárzás elméletéhez) *Ann. der Physik* 320/12 (1904) 344–370.

A FIZIKA TANÍTÁSA

BECSLÉSI VERSENY AZ ÁRPÁD VEZÉR GIMNÁZIUM ÉS KOLLÉGIUMBAN

Bigus Imre

Árpád Vezér Gimnázium és Kollégium, Sárospatak

Az Árpád Vezér Gimnázium és Kollégium 1995 óta évenként megrendezi a becslési versenyt, a kiírás szerint minden évben egy magyar fizikus életével és munkásságával ismerkednek meg a versenyzők.

A 2011. október 14-én megrendezett fizika becslési versenyt *Bay Zoltán* emlékének szenteltük.

Bay Zoltán 1930-ban a Szegedi Egyetem Elméleti Tanszékének vezetőjeként az ország legfiatalabb pro-

fesszora volt. 1936-ban a Tungsram Kutató Laboratóriumának vezetője, 1938-ban a Műszaki Egyetem Atomfizikai Tanszékének első professzora. 1946. február 6-án sikeres radarvizsgálatot fogott fel a Holdról, ezzel teljesült gyermekkori álma, mert sikerült megtapogatnia a Holdat, és neve méltán került fel azon magyar tudósok közé, aki névadóul szolgál a Hold valamely tájegységének. Később a Washingtoni

Egyetem kísérleti fizikaprofesszora, majd az USA Szabványügyi Hivatalának vezetője. Igazolta, hogy létezik egységes idő-hosszúság mértérendszer, amely a fénysebességre épül.

Méltán mondhatjuk, hogy az egyik legnagyobb magyar kutató és feltaláló. Ezért döntöttünk úgy, hogy a tanulók ismerjék meg Bay Zoltán életútját és pályafutását, aki mindig magyar fizikusnak vallotta magát, hazájáért és a tudományért dolgozott.

A posztereket a háromfős csapatok otthon készítették el Bay Zoltánról a megadott szakirodalom alapján. (*Fizikai Szemle* 2000/8; Bay Zoltán és Németh László, a tudós és az író – *Vásárhelyi Horizont II.*; Marx György: *A marslakók érkezése.*; Szabó Gábor: *Tudósok életútja és a fizika fejlődése.*).

A versenyt kiállítás kísérte, a diákok által készített poszterek elrendezése és a Bay Zoltánról készült kiállítás a tárlókban *Tolvaj Dóra* tanárnő munkája. A tárlókban bemutatott gazdag anyagot *Szedes László* Gyulán, illetve Gyulaváriban, Bay Zoltán szülőhelyén gyűjtötte össze.

A versenyen 18 csapat vett részt, a gimnázium határon túli magyar testvériskolái és az Arany János Tehetséggondozó Program iskoláinak nevezéseként.

Versenyünket megtisztelte *Pásztor Gabriella* romániai magyar oktatásügyi államtanácsos asszony is Bukarestből.

Az ebben az évben először háromnapos verseny az előzetes meghirdetés szerint zajlott le.

2011. október 14.

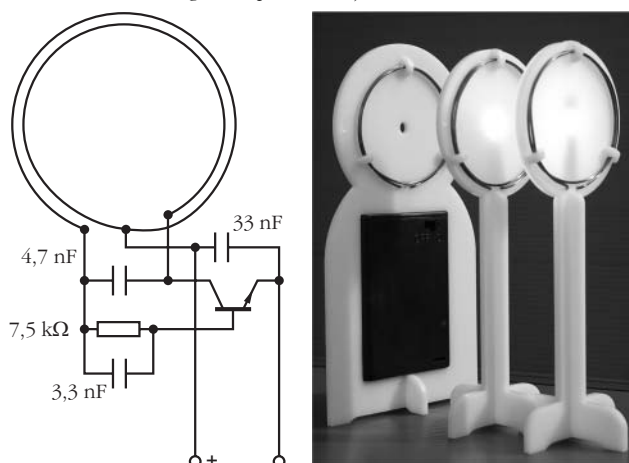
Kora délután érkeztek a versenyzők. A regisztráció, az ebéd és a poszterek leadása után délután 3 órakor tartottuk a megnyitót az iskola aulájában.

Az életrajzi és a fizika totó kitöltése 15.45-től 17.15-ig tartott. Ezután a csapatok felkészülési időt kaptak a az otthon elkészített kreatív munka bemutatására.

Este 7-től 9 óráig bemutatták az elkészített FM rádióadókat, az értékelés *Szedes László* irányításával zajlott.

Ezután a diákoknak filmvetítés, társasjáték volt a kollégiumban. A tanárok a *Szedes László* által „Mágus”-nak nevezett eszközt készítették el. A tanárok az elkészített nagy értékű eszközöket elvihették.

A „Mágus” kapcsolási rajza és a készülék



„Mágus” építése közben

2011. október 15.

A nap 8.30-kor a szóbeli verseny tájékoztatásával indult, a verseny 9 órától délután 1-ig tartott.

Ezután *Bigus Imre* ismertette a versenyfeladatokat és a TOTÓ megoldásait.

Délután 2-től 4 óráig *Härtlein Károly*, a BME Fizikai Intézet demonstrációs laboratóriuma vezetője és *Tóth Pál*, a Fizibusz vezető tanára kísérleti bemutatóját élvezhették a diákok és tanáraik.

Härtlein Károly és Tóth Pál kísérleti bemutatója



16 és 18 óra között kísérleteszköz-készítés volt a versenyző diákok feladata, Szeder László vezetésével. A diákok az elkészített, továbbfejlesztésre alkalmas eszközöket elvihették.

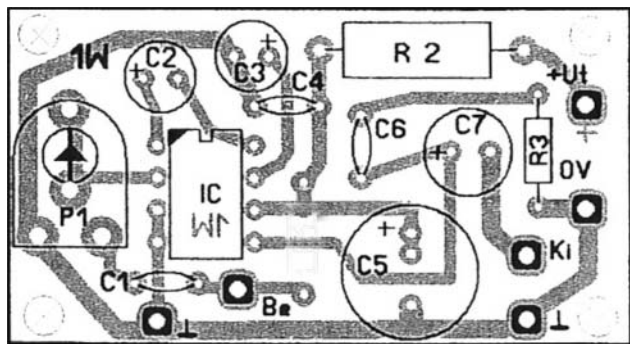
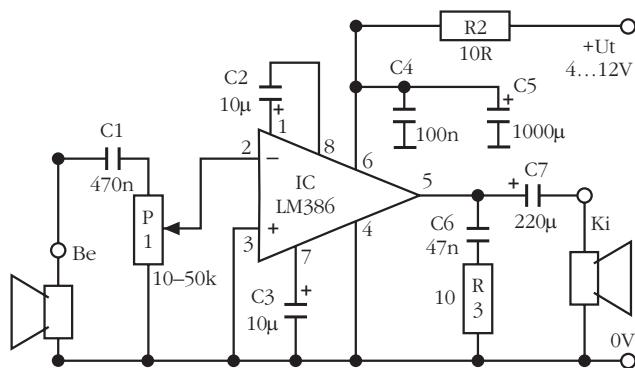
A következő két készüléket állították össze a versenyzők:

Reed-relé felhasználásával zsebtelepről működő elektromechanikus áramszagató eszközt kellett összerakni. A cél a legkisebb tömegű eszközzel a legnagyobb frekvenciát elérni.

A Reed-relé egy kisméretű, védőgázzal töltött zárt üvegcső, amelyben két, egymáshoz közel levő elektróda található. Megfelelő irányú mágneses térben a fellépő erőhatások következtében az elektródák záródnak.

Pontozáskor figyelembe vették a folyamatos (legalább 1 perces) működést, az eszköz tömegét és az elért frekvenciát.

A másik feladat az alábbi áramkör megépítése volt. Az elkészítés pontozása során a működőképesség, a csapatmunka (balesetmegelőzés, munkamegosztás, gyorsaság, ...) és a működés kísérleti úton való elemzése számított.



Részlet az útmutatóból: „Tekintsétek olyan fekete doboznak, amelynek bemenete és kimenete egy-egy hangszóró, és van rajta egy szabályzó gomb. Megfigyeléseitek száma és a hozzájuk kapcsolódó magyarázatok teszik értékesebbé a válaszaitokat.

Ezt az eszközt felhasználva tervezetek olyan kísérleti összeállítást, amelynek segítségével a hangsebesség levegőben megmérhető.

Oscilloszkóp kivételével bármit betervezhettek. Újabb áramkört nem tervezhettek.

A legjobb megoldásban a mérési elv egyszerű, kevés kiegészítő eszközt tartalmaz és tanteremben elvé-



A versenyzők munka közben

gezhető. A mérés összeállítása és elvégzése időtakerős.

További ötletek órai felhasználásra (fizika óra!) plusz 2 pontot jelenthetnek.”

Amíg a diákok versenyeztek, a tanároknak módszertani előadásokat tartottak. Elsőként *Stonawski Tamás Mérlegelhető feladatok* kísérleti bemutatója, majd a *DesignSoft* megismerése következett *Koltai Mihály* ügyvezető igazgató bemutatásában.

2011. október 16.

A versenyzők munkáját *Pántyáné Kuzder Mária*, *Härtlein Károly*, *Tóth Pál*, az eszközök elkészítését, a mérés elvégzését *Szeder László* értékelte. Reggel 8-tól 9-ig került sor az eredményhirdetésre – a versenyzők jutalmazását a *DesignSoft*, a *Fizibusz*-program és az *Árpád Vezér Gimnázium és Kollégium* támogatta.

A verseny ideje alatt a *Melő-Diák Tanszkezőcentrum* kiállítását tekinthették meg az érdeklődők.

A 17. Becslési verseny 2011. október 14–16., *Határon túli testvériskolák kategória eredménye:*

1. Bolyai Tehetségdondozó Gimnázium és Kollégium, Zenta
2. Orbán Balázs Gimnázium, Székelykeresztúr
3. Márai Sándor Magyar Tanítási Nyelvű Gimnázium, Kassa



4. Királyhelmeci Gimnázium
5. Árpád Vezér Gimnázium és Kollégium, Sárospatak

*A 11. Becslési verseny 2011. október 14–16.,
Arany János Tehetségdöntő Program eredménye:*

1. Petőfi Sándor Evangélikus Gimnázium és Kollégium, Bonyhád
2. Zrínyi Ilona Gimnázium és Kollégium, Nyíregyháza
3. Puskás Tivadar Távközlési Technikum, Budapest
4. Katona József Gimnázium, Kecskemét
5. Lovassy László Gimnázium, Veszprém
6. Árpád Vezér Gimnázium és Kollégium AJTP, Sárospatak
7. Szilágyi Erzsébet Gimnázium és Kollégium, Eger
8. Bessenyei György Gimnázium és Kollégium, Kisvárd
9. Neumann János Közgazdasági Szakközépiskola és Gimnázium, Eger
10. Türr István Gimnázium, Pápa
11. Földes Ferenc Gimnázium, Miskolc
12. Radnóti Miklós Kísérleti Gimnázium, Szeged
13. Petőfi Sándor Gimnázium és Kollégium, Mezőberény

A verseny feladatai

Életrajzi Totó

1. Ki volt a padtársa a debreceni Református Kollégiumban 8 éven át?
 - 1 Szabó Lőrinc
 - 2 Németh László
 - X Gulyás Pál
2. Ki volt a példaképe?
 - 1 Jedlik Ányos
 - 2 Eötvös Loránd
 - X Hatvani István
3. Hol kötött örök barátságot Riesz Frigyessel, Haar Alfrédal és Szentgyörgyi Alberttel?
 - 1 Debrecenben
 - 2 Szegeden
 - X Budapesten



4. A Magyar Elektrotechnikai Egyesület Rádiószakosztályában miről tartott előadást?
 - 1 A rádiócsillagászatról.
 - 2 Az atom, a jövő energiaforrása.
 - X Az átlátszó közegek magnetooptikájának molekuláris elméletéről.
5. Az 1940-es években kivel fejlesztette ki a nagyenergiájú fotonok jelzésére szolgáló fotoelektron-sokszorozót?
 - 1 Simonyi Károly
 - 2 Pócza Jenő
 - X Dallos György
6. Ki kért tőle az elektronsokszorozó elvén működő részecskeszámlálót?
 - 1 Heisenberg
 - 2 Laue
 - X Max Born
7. 1930-ban melyik egyetemnek lett a fizikaprofesszora?
 - 1 A Szegedi Egyetem Elméleti Fizika Tanszékének.
 - 2 A Debreceni Egyetem Elméleti Fizika Tanszékének.
 - X A Budapesti Műszaki Egyetem Elméleti Fizika Tanszékének.
8. Mikor fogadta el a George Washington Egyetem meghívását, és lett az egyetem fizikaprofesszora?
 - 1 1947
 - 2 1948
 - X 1949
9. Mikor szervezte meg a Budapesti Műszaki Egyetemen (BME-n) az Atomfizikai Tanszékét?
 - 1 1936-ban
 - 2 1937-ben
 - X 1938-ban
10. Kinek sikerült először radarral elérni a Holdat?
 - 1 John De Witt
 - 2 Bay Zoltán
 - X Uriah Boyden
11. Bay Zoltán kutatásaiból több jelentős szabadsalom született. Ezek egyike az elektrolumineszcenciára vonatkozó világszabadalom. Kivel érvényesítette?
 - 1 Szigeti György
 - 2 Dallos György
 - X Budincsevits Andor
12. Mikor fogadják el a „fényre szabott méter” mértékegység meghatározását?
 - 1 1973
 - 2 1981
 - X 1983
13. 1926-tól, mint ösztöndíjas fizikai kutatómunkát végzett a Berlini Egyetem Fizikai-Kémiai Intézetében. Ki mellett dolgozott?
 - 1 Max von Laue
 - 2 Werner Heisenberg
 - X Max Born
14. Világszerte nagy érdeklődést váltott ki az elektronsokszorozó, amelyről Zürichben, Bécsben és az USA-ban is tartott előadást. Hol van kiállítva az elektronsokszorozója az Eötvös-ingával együtt?

- 1 British Museumban, London
 - 2 Az Amerikai Természettudományi Múzeumban, Washington
 - X Deutsches Museumban
15. Milyen díjat kapott a Hold-radar visszhang 50. évfordulóján?
- 1 Magyar Örökség díjat
 - 2 A Világ Igaza kitüntetés
 - X A Magyar Köztársaság Rubinnal Ékesített Zászlórendjét

Fizika Totó

1. Egy zérus kezdősebességgel induló szabadon eső test útjának első felét t_1 , a második felét t_2 idő alatt teszi meg. Mennyi a $t_1:t_2$ arány?
 - 1 $2:1$
 - 2 $\sqrt{2}:1$
 - X $1:(\sqrt{2}-1)$
2. A ló kocsit húz egyenletes mozgással vízszintes úton. Melyik állítás helyes?
 - 1 A ló húzza a kocsit, a kocsi a lovat. Ez a két erő egyenlő nagyságú, de ellentétes irányú. A két erő eredője nulla, ezért egyenletes a mozgás.
 - 2 A ló és a kocsi együttes mozgását az útburkolat által a lóra ható erő eredményezi.
 - X A ló nagyobb erőt fejt ki a kocsira, mint a kocsi a lóra, hiszen ha fordítva lenne, akkor a kocsi hátrafelé mozogna.
3. Egy körív alakú domború híd legfelső pontján haladó autó centripetális gyorsulása megegyezik a nehézségi gyorsulással. Ekkor az autó a hidat
 - 1 a súlyánál kisebb erővel nyomja.
 - 2 a súlyával egyenlő erővel nyomja.
 - X a súlyánál nagyobb erővel nyomja.
4. Egy pontszerű testre 6 N és 9 N nagyságú erő hat. Az erők hatásvonalai egy síkban van. Mekkora a testre ható erők eredője?

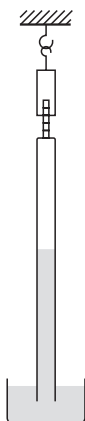
A: Legfeljebb 15 N.

B: Legalább 3 N.

C: 3 N és 15 N között bármekkora lehet, attól függ, hogy az erők hatásvonalai mekkora szöget zár be.

Hány állítás helyes?

 - 1 Egy
 - 2 Kettő
 - X Három
5. Egy, az *ábrán* látható Torricelli-csövet erőmérőre függesztünk. Az üvegcső alig merül a tálban lévő higany felszíne alá. A higany felett az üvegcsőben vákuum van. Mít mér az erőmérő?
 - 1 Az üvegcső súlyát.
 - 2 Az üvegcső és a benne lévő higany együttes súlyát.
 - X Egyiket sem, valami mást.
6. Egy ideális gáz abszolút hőmérsékletét állandó nyomáson háromszorosára növeljük, miközben kiengedjük a tömegének az egyharmadát, akkor



- 1 a térfogata nem változik meg.
 - 2 a térfogata felére csökken.
 - X a térfogata a kétszeresére nő.
7. Egy 5 Ω -os és egy 10 Ω -os fogyasztót sorosan kapcsolunk. Az 5 Ω -os ellenálláson 2 másodperc alatt 40 J hő szabadul fel, akkor a 10 Ω -os ellenálláson mérhető feszültség
- 1 5 V
 - 2 10 V
 - X 20 V
8. A szobában világító lámpa az ablaktábla külső és belső felületén is tükröződik. Mekkora a két tükörkép közötti távolság?
- 1 A két ablak távolságának kétszerese.
 - 2 A két ablak távolsága.
 - X A két ablak távolságának fele.
9. Egy síkkondenzátor fegyverzeteit állandó feszültséget adó akkumulátorra kötjük. A fegyverzeteket ezután a kétszeresére távolítjuk. Hogyan változik a kondenzátor energiája?
- 1 A kondenzátor energiája a felére csökken.
 - 2 A kondenzátor energiája nem változik.
 - X A kondenzátor energiája kétszeresére nő.
10. Két azonos hosszúságú és keresztmetszetű huzalt sorosan kapcsolunk egy feszültségforrásra. Az egyik rézből, a másik alumíniumból van. Az áramerősséget fokozatosan növeljük. Melyik izzik fel előbb?
- 1 A rézhuzal.
 - 2 Az alumíniumhuzal.
 - X Egyszerre izzanak fel.
11. Egy ember a parton áll és a medence alján lévő céltáblára lő, lézerpisztollyal. Hová irányítsa a pisztoly célzókeresztjét, hogy pontosan a céltábla közepébe találjon a lézersugár? A víz felszíne sima és nyugodt.

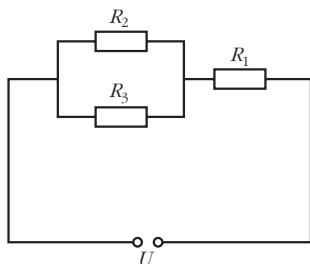


- 1 Kissé a céltábla közepe alá, ahol az A pont van.
 - 2 Pontosán oda kell célozni, ahol a céltábla közepét látja.
 - X Kissé a céltábla közepe fölé kell célozni, oda, ahol a B pontot látja.
12. Fémről készült, semleges gömbhéj belsejében egy Q töltéssel rendelkező golyót helyezünk el. Hat-e elektromos erő a gömbön kívül elhelyezett töltésre?
- 1 Nem hat, hiszen a fém gömbhéj leárnékolja a testet, a külső testre nem lépnek ki erővonalak.
 - 2 A gömbhéjba zárt töltés mezejétől a gömbhéj nem védi meg a külső teret.

X Attól függ, hogy a külső térben milyen előjelű töltések vannak.

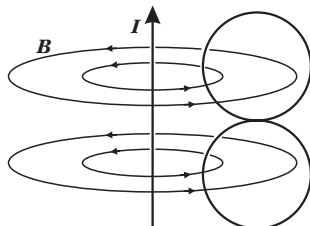
13. Az R_2 ellenálláson 30 C töltés áramlik át 50 s alatt. $R_1 = 75 \Omega$, $R_2 = 100 \Omega$, $R_3 = 300 \Omega$. Mennyi a telep feszültsége?

1 60 V
2 120 V
X 150 V



14. Folyik-e indukált áram az ábrán látható 8-as hurokban, ha az egyenes vezető áramát kikapcsoljuk?

1 Igen, 2-szer akkora, mint egyben.
2 Nem, mert a két kör alakú hurokban ellentétes polaritású elektromos erő indukálódik.
X Nem, mert a mágneses mező inhomogén.

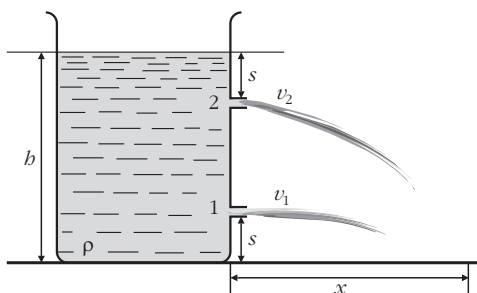


15. Egy 9 m hosszú lejtő tetejétől 2 m/s^2 állandó gyorsulással indul el egy labda. Hol lesz feleakkora a sebessége, mint a lejtő alján?

1 2,25 m-re a lejtő tetejétől.
2 3 m-re a lejtő tetejétől.
X 4,5 m-re a lejtő tetejétől.

Szóbeli feladatok

1. A tartály aljától felfelé és a tartályban lévő folyadék szintjétől lefelé egyenlő $s = \dots$ távolságban van egy-egy nyílás. A lyuk mérete sokkal kisebb, mint a tartály keresztmetszete. Ha szabaddá tesszük a víz kiáramlását mind a két lyukon áramlik kifelé a víz.



a) Becsüljük meg, melyik vízszög ér messzebb a vízszintes talajt!

b) Adjunk becslést a kiáramló vízszög v_1 , v_2 sebességére!

c) Adjunk becslést, hogy körülbelül mekkora x_1 , x_2 távolságra érnek talajt a vízszögak!

2. Egy $l = 80 \text{ cm}$ hosszúságú $m = \dots$ tömegű láncot a vízszintes lapra helyeztük. Az egyik végét megfogjuk és lassan, egyenletesen $h = 180 \text{ cm}$ magasra emeljük.

Végezd el a lánc felemelését, majd becsüld meg, hogy mennyi munkát végeztél a lánc felemelése közben! (A súrlódástól eltekintünk.)



3. Helyezzünk homokórát digitális mérlegre!

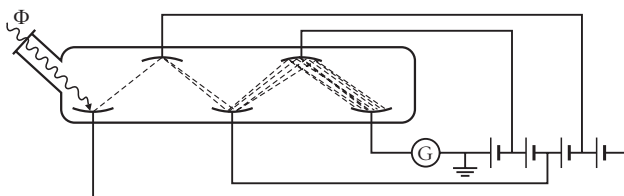
Vizsgáljuk meg, mit jelez a mérleg, miközben a homok pereg!

Becsüljük meg, hogyan változik a mérleg egyensúlya a működő homokórához képest, miután az összes homok lepergett az órából!

A mérleg többet, kevesebbet vagy ugyanannyit jelez?

Ha a kísérletet kétkarú mérlegen kiegyensúlyozott bürettől csepegő vízzel végeznénk el, mit tapasztalnánk?

4. Az itt látható készüléket Bay Zoltán találta fel.



Mi a készülék neve?

Mikor találta fel?

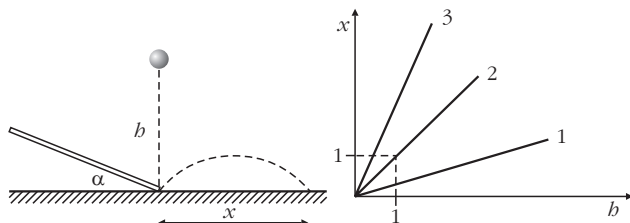
Ki írta a következő levélrészletet Bay Zoltánnak?

LOS ALAMOS SCIENTIFIC LABORATORY
(Contract W-7405-eng-56)
P. O. Box 1665
Los Alamos, New Mexico

1948. június 7.

Kedves Zoltán,
nem tudom kétközi, milyen nagy örömmel tudtam meg a kedves végén üdvözlésedről, hogy végre a visszatértek után kívül vagy, és Amerikában telepedtél le. Mielőtt kivehet arról már hallottam, de az újraindítás volt a pozitív és autentikus írtás a borsóna meg, hogy csak ilyen elhőve fellet, de december 15-ike óta el vaggott Princetonból, és így a levelet csak későrel és későrel írtal. Január 20-ika körül megint Princetonban vagyok. Nagyon remélem, hogy hamarosan látni fogjuk egymást. Valamint tudom, hogy én az utolsó időkhöz legyőzhetően nagy sebességgel foglalkoztam – jelenleg számos munkatársal együtt egy ilyen gépet konstruálunk az Institute for Advanced Study keretén belül, és for Advanced Study keretén belül, és Princetonban. Az a jelenleg hasonlóan még inkább a jövőben hasonlóan

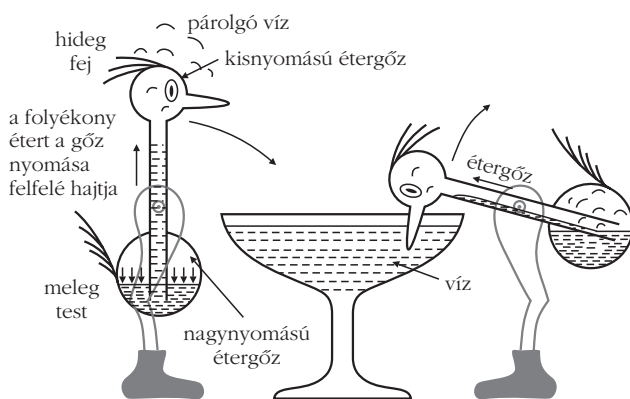
5. Ejtsünk le h magasságból pingponglabdát az α hajlásszögű lejtőre! A pingponglabda a lejtőről visszapattan vízszintesen x távolságra.



Mekkora a maximális x távolság, ha $h = 40$ cm magassából esik le a pingponglabda?

Melyik grafikon helyes az $x_{\max} = x_{\max}(h)$ a maximális távolságra a magasság függvényében?

6. Az itt látható játék a szomjas kacsa. Válaszoljunk a következő kérdésekre!



Mi hajtja a szomjas kacsát?

Ha a pohárba víz helyett tiszta alkoholt töltünk, mi történik, milyen változás következik be a kacsa működésében?

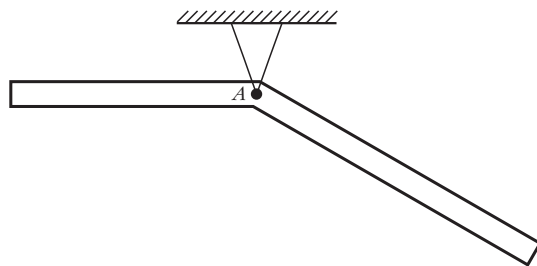
Mi történik, milyen változás következik be a madár működésében, ha lefedjük egy üvegburával?

Mi történik, milyen változás következik be a madár működésében, ha a levegő nagyon nedves, erősen páráos lesz?

Becsüld meg, mekkora hatásfokkal működik a szomjas kacsa, mint hőerőgép, ha a szoba hőmérséklete 27°C és a két tartály között a hőmérsékletkülönbség 3°C !



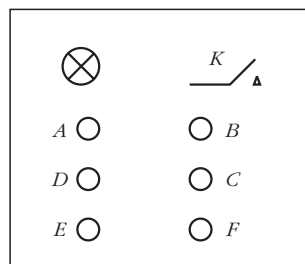
7. Azonos keresztmetszetű $l = 1$ m hosszúságú rúdhoz $\alpha = 120^\circ$ -os szögben ugyanolyan anyagi minőségű ismeretlen x hosszúságú rudat erősítünk. Ha az A pontban felfüggesztjük, az l hosszúságú rúd vízszintes helyzetű.



Becsüld meg az x/l arányt!

8. A fekete doboz három azonos ellenállást, egy izzót és egy kapcsolót tartalmaz, hat kivezetéssel.

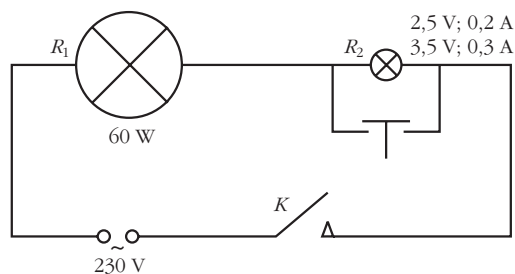
A rendelkezésedre álló zsebtelep és két huzal segítségével dönts el, hogyan kapcsoltuk a kapcsolási elemeket!



9. Becsüld meg a szőlő, a paradicsom, az uborka, az alma sűrűségét a víz sűrűségéhez viszonyítva!

Mennyi a paradicsom sűrűsége?

10. Az ábrán látható kapcsolásban 230 V, 60 W-os izzóval sorba kapcsolunk először $2,5$ V, $0,2$ A-es, majd $3,5$ V, $0,3$ A-es zsebizzót.



Miért célszerű előbb rövidre zárni a zsebizzót, majd utána bekapcsolni a K kapcsolót?

Mindkét zsebizzónál szükséges-e, hogy előbb rövidre zárva kapcsoljuk a hálózatra?

Milyen méréssel lehetne eldönteni az izzók paramétereinek figyelembe vételével, hogy rövidre kell-e zárni vagy sem?

Mikor nem kapcsolható sorba a zsebizzó a hálózati izzóval?

A FIZIKAI SZEMLE LXI. ÉVFOLYAMÁNAK TARTALOMJEGYZÉKE

<i>Angeli István</i> : Protonsugár-történet	118	<i>Kiss Miklós</i> : Vasnál nehezebb elemek keletkezése csillagokban	78
<i>Balázs Lajos, Horváth István, Kelemen János</i> : Gammakitörések	371	<i>Kótai Endre, Szilágyi Edit</i> : Magyar innovációk a Rutherford-visszaszórási technikában	301
<i>Barnaföldi Gergely Gábor, Bencédi Gyula, Hamar Gergő,</i> <i>Melegh Hunor, Oláh László, Surányi Gergely, Varga</i> <i>Dezső</i> : Kincskeresés kozmikus műonokkal	401	<i>Kovács Tamás</i> : Egyszerűen bonyolult – a Sitnikov-probléma	15
<i>Bencze Gyula</i> : Rutherford és a százéves magfizika	191	<i>Malicskó László</i> : A felületi arany-dekorációs replikatechnika	11
<i>Berényi Dénes</i> : Rutherford aktualitása	198	<i>Manno István</i> : A neutrínó újabb meglepetése	43
<i>Bokor Nándor, Laczik Bálint</i> : Vektorok párhuzamos eltolásának szemléltetése – I–II. rész	240, 310	<i>Moir Ralph W., Teller Ede</i> : Tórium alapon működő, sóolvadékos, föld alá telepített atomreaktor lehetősége	365
<i>Bór József, Barta Veronika</i> : Vörös lidércek – gigantikus „tűzijáték” a felsőléggörben	343	<i>Oláh-Gál Róbert</i> : Réthy Mór és Tullio Levi-Civita	254
<i>Carr John</i> : Az ég feltérképezése a tenger mélyéről: neutrínócsillagászat az ANTARES kísérlettel	73	<i>Radnai Gyula</i> : A mikrovilág első felfedezői – I–II.	123, 156
<i>Cserháti András</i> : A Stuxnet vírus és az iráni atomprogram	150	<i>Radnai Gyula</i> : Az első Solvay-konferencia centenáriumán – I–II.	250, 316
<i>Fábián Margit</i> : Urántartalmú boroszilikát üvegek szerkezetvizsgálata diffrakciós és RMC szimulációs módszerrel	145	<i>Slíz Judit</i> : Tranziens káosz a helyfüggő amplitúdóval gerjesztett oszcillátor példáján	6
<i>Farkas Alexandra, Kiricsi Ágnes, Klemm László</i> : (R)égi csodajelek – 17–18. századi halójelenségek a Magyar Nemzeti Múzeumból	407	<i>Szabó M. Gyula, Simon Attila, Szalai Tamás</i> : Újdonságok az exobolygók világából	217
<i>Farkas Alexandra</i> : Nyári éjszakák látványos légköroptikai jelenségei: az éjszakai világító felhők	114	<i>Szabó Róbert, Derekas Aliz</i> : Asztroszeizmológia és csillagkavalkád a Kepler-űrtávcső optikáján keresztül	222
<i>Fényes Tibor</i> : A hipermagok fizikája	1	<i>Szabó Tímea, Sikolya László, Szabó Árpád</i> : Kármán Tódor, 1881–1963	256
<i>Fényes Tibor</i> : Eredmények, fejlődési irányok a hadronfizikában	181	<i>Szalai Tamás</i> : Fizikai Nobel-díj 2011: Szupernóvák és a gyorsulva táguló Univerzum	377
<i>Fényes Tibor</i> : Szuperszimmetrikus részecskék a célkeresztben	329	<i>Tényleg Einstein fedezte fel, hogy $E = mc^2$? (Hraskó Péter)</i>	426
<i>Futó Péter</i> : A Kepler-forradalom	87	<i>Tóth József</i> : Röntgen- és elektrongerjesztés elektronspektrometriai módszerek és alkalmazásaik	49
<i>Goda Zoltán</i> : Vörös lidércek észlelése amatőr szemmel	349	<i>Woynarovich Ferenc</i> : Hogyan is mozog egy tömeges rugó? – II.	20
<i>Gombkötő Balázs, Kornis János</i> : Digitális holográfia	422		
Gyorsítók Sopronba és Csillebércre – <i>Staar Gyula</i> beszélget <i>Simonyi Károllyal</i> (1986)	202	A FIZIKA TANÍTÁSA	
<i>Gyulai József</i> : A Rutherford-visszaszórás és „karrierje” a mikroelektronikában	293	<i>Az atomoktól a csillagokig (Cserti József)</i>	326
<i>Gyürky György</i> : Hélium atommagok reakciója az Ősrobbanásban, a Napban és a laboratóriumban	37	<i>Beke Tamás</i> : Termoakusztikai érdekességek	165
<i>Hargittai István</i> : Újabb anyagtudományi Nobel-díj: Dan Shechtman és a kvázikristályok felfedezése	381	<i>Bigus Imre</i> : 300 éves a kísérleti fizika oktatása Sárospatakon	272
<i>Havancsák Károly, Lendvai János</i> : Nagyfelbontású pásztázó elektronmikroszkóp az Eötvös Egyetemen	339	<i>Bigus Imre</i> : Becslési verseny az Árpád Vezér Gimnázium és Kollégiumban	428
<i>Horváth András</i> : A Paksi Atomerőmű kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékainak mennyiségi és minőségi elemzése	417	<i>Biróné Kabály Enikő</i> : Magasságmérés a természetben – Galilei nyomán	263
<i>Jurek Zoltán, Faigel Gyula, Bortel Gábor, Tegze Miklós</i> : Egyedi molekulák szerkezetmeghatározása: segíthet-e a röntgen szabadelektron-lézer?	230	<i>Bokor Nándor</i> : A Lorentz-féle sebességtranszformáció szemléltetése energia-impulzus diagramokkal	89
<i>Katona Tamás</i> : A paksi atomerőmű földrengésbiztonsága	109	<i>Bokor Nándor</i> : Ütközések elemzése energia-impulzus diagramokkal	54
<i>Kereszturi Ákos</i> : Utazhatnak-e élőlények a bolygók között?	227	<i>Bokor Nándor</i> : Ütközések elemzése energia-impulzus diagramokkal II. – a relativisztikus rakéta	128
<i>Kis Zoltán, Belgya Tamás, Szentmiklósi László,</i> <i>Kasztovszky Zolt</i> : Műtárgyak roncsolásmentes vizsgálata neutronokkal – az EU Ancient Charm Projekt	235	<i>Bozsányi Krisztina, Major Balázs</i> : A Veres Pálné Gimnázium Galilei Tehetséggondozó Műhelye	98
<i>Kiss Éva</i> : Gyógyszerhordozó nanorészecskék	413	<i>Csákány Antalné, Juhász Nándor, Ősz György, Vida József</i> : A XXI. Öveges József Országos Fizikaverseny döntője	351
		<i>Cseresnyés József</i> : A pécsi középiskolának ajándékozott digitális Geiger-Müller-számláló használatáról	172
		<i>Csiszár Imre</i> : „Elszánt Oroszlánok” és az „Utolsó Dino” Miskolcon – beszámoló az 53. Középiskolai Fizikatanári Ankét és Eszközbemutatóról	132

<i>Daróczi Csaba Sándor:</i> Akiket az elektromosság szikrája megcsapott...	169
<i>Egri Ádám, Blabó Miklós, Horváth Gábor, Barta András, Kriska György, Antoni Györgyi:</i> Sztereóhatás időképletet forgással	385
Eötvös-verseny 2011	325
<i>Farkas Zsuzsanna, Gajdos Tamás, Major Balázs, Nagy Andrea:</i> Korok és tudósok – a színpadon	
Arkhimédész, Galilei és Newton	267
<i>Füstöss László, Radnóti Katalin, Tasnádi Péter:</i> Holics László 80 éves	69
<i>Härtlein Károly:</i> Békésy György Fizika Emlékverseny	321
<i>Härtlein Károly:</i> Kísérletezzünk otthon!	357, 392, 434
<i>Kis Tamás:</i> A fa- és a vasgolyó Hevesen versenyzett	101
<i>Mészáros Péter:</i> Természettudományi alapú óriásprojektek tervezése – a Fizika Napja a győri Krúdy Gyula Középiskolában	136
Nyilatkozat	325
<i>Schronk Edina:</i> Aladdina csodalámpája	26
<i>Stonauski Tamás, Murguly Alexandra, Pátzay Richárd, Cérna László:</i> Folyadékcseppek levelek napégése – egy biooptikai diákkísérlet	259
<i>Sükösd Csaba:</i> XIII. Szilárd Leó Nukleáris Tanulmányi Verseny – beszámoló 1–2. rész	32, 60
<i>Szabó Tímea, Sikolya László, Szabó Árpád:</i> Mikola Sándor, 1871–1945	278
<i>Teiermayer Attila:</i> Fényt kibocsátó diódák alkalmazása a középiskolai fizikaoktatásban	212
Természettudomány tanítása korszerűen és vonzóan – szaktanári konferencia a természettudományok tanításáról	173
<i>Vannay László, Fülöp Ferenc:</i> Fizika OKTV harmadik fordulója, a második kategória részére – 2011	387
<i>Vantsó Erzsébet:</i> A 2010. évi Eötvös-verseny ünnepélyes eredményhirdetése	93
<i>Viczó Zsolt:</i> Fizikaverseny a Csodák Palotájában	211

VÉLEMÉNYEK

<i>Szabó Árpád, Szabó Tímea:</i> Az oktatási rendszer tervezett reformjáról	104
<i>Szergényi István:</i> Energia, civilizáció, kultúra, túlélés – I–II.	158, 205

ÁLFIZIKAI SZEMLE

<i>Füstöss László:</i> Budapesti Szkeptikus Konferencia – nyolcadszor	141
---	-----

KÖNYVESPOLC

Almár Iván: Kozmikus társskereső – Exobolygók, asztrobiológia és SETI a XXI. században (<i>Klopper Ervin</i>)	358
Barabási Albert-László: Behálózva (<i>Füstöss László</i>)	174
Barabási Albert-László: Villanások – a jövő kiszámítható (<i>Berényi Dénes</i>)	176
Carroll Sean: Most vagy mindörökké – a végső időelmélet nyomában (<i>Berényi Dénes</i>)	283
dos Santos J. R.: Az isteni formula (<i>Abonyi Iván</i>)	397
Erdősi Gyula, Kádár Katalin (szerk.): Az iskolateremtő Simonyi Károly professzor (<i>Füstöss László</i>)	280
Füstöss László: Fizika Magyarországon a két világháború között (<i>Gergely György</i>)	282

Hargittai István: Teller (<i>Füstöss László</i>)	394
Kereszturi Ákos: Asztrobiológia (<i>Szabados László</i>)	280
Mit ér a tudomány humor nélkül? – Beck Mihály: Humor a tudományban (<i>Bencze Gyula</i>)	106
Neffe Jürgen: Albert Einstein igaz története (<i>Abonyi Iván</i>)	360
Országos Szilárd Leó Fizikaverseny 2005–2010 (<i>Radnóti Katalin</i>)	142
Smolin Lee: Mi a gubanc a fizikával? (<i>Berényi Dénes</i>)	393
Somlai János: A radioaktív anyagok mint „az örök élet elixírjei”? és Radioaktív sugárzások a politika szolgálatában (<i>Gáspárdy Géza</i>)	396

PÁLYÁZATOK

Pályázat kísérleti fizikából	143
------------------------------	-----

HÍREK – ESEMÉNYEK

A Magyar Tudomány Ünnepe Győrben	362
Atommag Centenárium Éve 2011 pályázat eredményhirdetése (<i>Sükösd Csaba</i>)	400
Az atommag száz éve – XXXII. Fizikusnapok az ATOMKI-ban (<i>Király Beáta</i>)	144
Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2011. évi Küldöttközgyűlése	108
Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Közhasznúági jelentése a 2010. évről	289
Az Eötvös Társulat 2011. évi Küldöttközgyűlése	327
Deutsch Gyula, 1931–2011 (<i>Berényi Dénes</i>)	180
Einstein Teleszkóp	36
Elismerések az EPS-től	144
Felhívás javaslatételre	36
Fénysebességnél gyorsabb neutrínók?	328
Fizikushallgatók XXVI. Nemzetközi Konferenciája (<i>Lakatos Dóra</i>)	363
<i>Forgács Péter, Palla László:</i> Horváth Zsolt, 1943–2011	284
<i>Horváthy Péter:</i> Zsolt rózsája	287
In memoriam Pintér Ferenc, 1933–2011	398
Izrael csatlakozik a CERN-hez	179
<i>Kroó Norbert:</i> Kollár Jánosra emlékezem	108
Különleges csillagrendszert fedeztek fel magyar csillagászok	180
Lámpás a múltból, út a jövő felé... – Szalay Sándorra emlékeztünk (<i>Leitner Lászlóné</i>)	399
Lovas István köszöntése (<i>Máté Zoltán</i>)	400
Mindenkit érhet baleset!	179
Mit csinált több száz természettudományt tanító tanár az augusztusi végi kánikulában? (<i>Csákány Antalné</i>)	363
Nanoszerkezetek előállítása, vizsgálata és alkalmazása – Őszi Iskola	216
„Nem tudjuk megakadályozni az álhírek kiszivároztatását”	292
Pálffy Györgyné, 1921–2011 (<i>Szűcs József</i>)	288
Rieger Éva, 1930–2011 (<i>Riedel Miklós</i>)	144
Rutherford-emléknap a Magyar Tudományos Akadémián, 2011. május 5.	144
Széchenyi-díj	143
Szinkrotronsugárzással vizsgálják a művészeti és régészeti maradványokat	180
Természettudományos kompetenciafejlesztés a TIT-ben	216
„Új világ tárul fel, olyan világ, amelyet az eddigi eszközökkel nem láttunk”	177

4. Diótörő

Építés

Hozzávalók és szerszámok: 1 db injekciós fecskendő, 50 ml-es, katétervégű, 1 db injekciós fecskendő (5 ml), 1 db katétercső (20 cm hosszúságú vékony műanyag cső), 1 faléc (50×20×500 mm), 8 db facsavar (3×45), valamint fafűrész, fűrök, csavarhúzó, kötőtű, öngyújtó vagy gyufa.



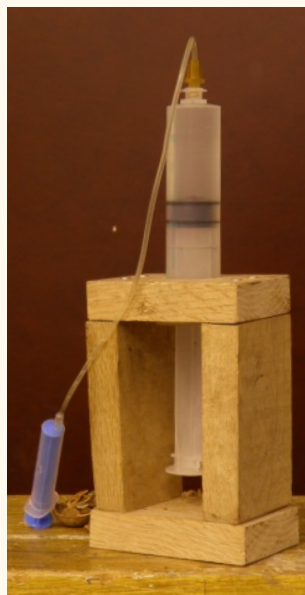
Elsőként készítsük el a keretet. A falécből vágjunk le két darab 100 mm-es és két darab 110 mm-es hosszúságú darabot. A 100 mm-es darabokra fúrjunk 4 mm-es lyukakat, és az egyik közepére fúrunk akkora lyukat, hogy éppen elférjen benne a nagyobb átmérőjű injekciós fecskendő.

Az általam megépített diótörő nagyobbik fecskendője 31 mm átmérőjű, ekkora furatot készíteni nem egyszerű. Én előrajzoltam a furatot és lombfűrészsel vágtam ki.

Csatlakoztassuk a vastagabb katétervégű fecskendőt a katétercsőhöz, vágjuk a csövet körülbelül 20 cm hosszúra. Ezután töltsük fel a vízzel – fontos, hogy teljes hosszában buborékmentes legyen mind a fecskendő, mind a cső.

Hasonlóan buborékmentesre töltsük fel a másik fecskendőt is. Az 5 ml-es fecskendő csatlakozója kúpos és vastagabb, mint a katétercső. A csatlakoztatáshoz ezt bővíteni kell, ehhez fel kell melegíteni, majd meleg állapotban beletolni egy kellő vastagságú kötőtűt. A bővített katétercsövet még ilyen melegen húzzuk rá a kis fecskendőre, mert ott kihűlve rázsugorodik a fecskendő végére, és így kellő szilárdságúvá válik a csatlakozás. Ha mindent jól csináltunk, akkor már működőképes a „hidraulikus sajtológó”, csak be kell szerelnünk a fakesztetbe.

Az eszköz megépítésében kérhetjük a technikatanár segítségét. A keret elkészítése, valamint a diótörő összeszerelése nem haladja meg az általános iskolai technika tantárgy követelményeit.



Az órai bemutatás

Mielőtt diót törnénk vele érdemes mérni és számolni. Mérjük meg a két fecskendő d , illetve D átmérőjét, és számoljuk ki négyzetük hányadosát:

$$\frac{D^2}{d^2}.$$

Ennyiszeres lesz az „erőfokozás” (az én általam megépített diótörő 5,3-szeresére növeli az erőt). Ezután mérjük meg, mekkora a dugattyúk elmozdulásának aránya. 5 ml-től 0 ml-ig mozgassuk a kis fecskendő dugattyúját, közben figyeljük meg, hogy a nagy dugattyú is 5 ml-nyit mozdul. Mérjük meg, hogy a kis és a nagy fecskendő mekkora elmozdulásához (I és L) tartozik 5 ml térfogat. Képezzük ezek hányadosát is:

$$\frac{I}{L}.$$

Látni fogjuk, hogy a két hányados megegyezik, ami persze nem a tanár számára izgalmas, hanem a diáknak kell bemutatni. Ne sajnáljuk ezen összefüggések bemutatására az időt, mert a fizika módszertanát mutatjuk be velük. Későbbiekben, bonyolultabb, órai keretek között nem bemutatható esetekben elég lesz hivatkozni erre a módszerre.



Foto: Philip János

Most már hozzákezdhetünk a diótöréshez. Válaszszuk ki az osztály erős emberét és kérjük fel arra, hogy hüvelykujjával próbáljon megtörni egy diót az asztalon. Biztosan nem fog sikerülni. Ezután kérjük fel egy gyenge diákot a diótörő működtetésére. A csonthéj könnyű feltörésének titka, hogy a diótörőbe úgy helyezzük el a diót, hogy a két felét elválasztó sík mértén hasson a dugattyú ereje. Valamint az, hogy a diót összetörő erő a lehető legpontoszerűbb legyen.

Az elkészítéshez és használatához sok sikert kívánok!

Jöjjön látogatóba Magyarország
egyetlen atomerőművébe és
ismerje meg annak biztonságos
működését!



Jövőnk energiája



paksi atomerőmű

Tájékoztató és Látogatóközpont
7031 Paks, Pf. 71
Telefon: (75) 508 833
www.atomeromu.hu



Várjuk vendégségbe Magyarországot!