

# fizikai szemle

A vibrant, multi-colored nebula with a central blue ring-like structure, set against a dark background filled with numerous stars. The nebula features swirling patterns of blue, green, and orange, with a prominent blue ring in the upper center. The background is a dense field of stars in various colors, including red, white, and blue.

2009/1

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

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztő bizottság:

Bencze Gyula, Czitrovsky 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-mailcíme:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>

A címlapon:

A Cassiopeia csillagképben található,  
10 fényév átmérőjű Buborék-köd  
11 000 fényévre van tőlünk  
(a NOAO/AURA/NSF, valamint  
T. A. Rector, University of Alaska,  
Anchorage és H. Schweiker, WIYN  
szíves hozzájárulásával)

A bátsó borítón:

Az Andromeda-köd a Tejútrendszer  
is nagyobb spirálgalaxis (a Thales  
Alenia Space szíves hozzájárulásával)

## TARTALOM

<i>Oláb Katalin</i> : Nézz fel és csodálkozz! – Csillagászat 2009	1
<i>Pozsgai Imre</i> : Atomerő-mikroszkóp a Marson	3
<i>Oláb-Gál Róbert</i> : Kacsóh Pongrác, a fizikus	7
Vatai Endre, 1936–2008 ( <i>Berényi Dénes</i> )	9
<b>DISZKUSSZIÓ</b>	
Az antropikus elvről – 58. évf. 321–322. ( <i>Bánó Miklós, Hráskó Péter</i> )	9
<b>A FIZIKA TANÍTÁSA</b>	
<i>Simon Péter</i> : Hogyan élhetett Erdős Pál 2,5 milliárd évet?	11
<i>Radnóti Katalin</i> : Galilei szerepe a mai, modern világképünk kialakulásában – I.	15
<i>Szabó László Attila, Szittyai István, Sükösd Csaba</i> : A Torricelli-kísérlet	20
<i>Paizs Ottó</i> : Új utak a fizika tanításában	25
A természettudományos közoktatás javításáért	26
<i>Sükösd Csaba</i> : XI. Szilárd Leó Nukleáris Tanulmányi Verseny – beszámoló, I. rész	35
<b>HÍREK – ESEMÉNYEK</b>	40
<i>K. Oláb</i> : Look overhead and get amazed! – International year of astronomy 2009	
<i>I. Pozsgai</i> : AFM microscopy on planet Mars	
<i>R. Oláb-Gál</i> : Pongrác Kacsóh, our renown componist, as a physicist Endre Vatai, 1936–2008 ( <i>D. Berényi</i> )	
<b>DISCUSSION</b>	
Concerning the anthropic principle – 58. pp. 321–322. ( <i>M. Bánó vs. P. Hráskó</i> )	
<b>TEACHING PHYSICS</b>	
<i>P. Simon</i> : Improvements in the assessment of our Earth' age	
<i>K. Radnóti</i> : Galilei's role in the evolution of our modern picture of the world – I.	
<i>L. A. Szabó, I. Szittyai, Cs. Sükösd</i> : Torricelli's experiment	
<i>O. Paizs</i> : A new way of teaching physics: computer simulation	
Improve the teaching of science in our public schools	
<i>Cs. Sükösd</i> : Report on the XI. Leo Szilárd contest in nuclear physics – Part I.	
<b>EVENTS</b>	
<i>K. Oláb</i> : Blick empor und staune! – Internationales Astronomiejahr 2009	
<i>I. Pozsgai</i> : AFM-Mikroskopie auf dem Planeten Mars	
<i>R. Oláb-Gál</i> : Pongrác Kacsóh, unser bekannter Komponist, als Physiker Endre Vatai, 1936–2008 ( <i>D. Berényi</i> )	
<b>DISKUSSION</b>	
Zum anthropischen Prinzip – 58. S. 321–322. ( <i>M. Bánó bzw. P. Hráskó</i> )	
<b>PHYSIKUNTERRICHT</b>	
<i>P. Simon</i> : Fortschritte in der Bestimmung des Alters unserer Erde	
<i>K. Radnóti</i> : Galileis Rolle in der Entwicklung unseres modernen Weltbildes – I.	
<i>L. A. Szabó, I. Szittyai, Cs. Sükösd</i> : Das Torricellische Experiment	
<i>O. Paizs</i> : Eine neue Art, Physik zu lehren: Computersimulation	
Besseren Unterricht in Naturwissenschaften in unseren Schulen	
<i>Cs. Sükösd</i> : Bericht über den XI. Leo-Szilárd-Wettbewerb in Kernphysik. Teil I.	
<b>EREIGNISSE</b>	
<i>K. Оля</i> : Взглядыс наверх и поражайся – Международный год астрономии 2009	
<i>И. Пожгаи</i> : Микроскоп AFM на планете Марс	
<i>Р. Оля-Галь</i> : Понграц Качо, знаменитый композитор и физик Э. Ватаи, 1936–2008 ( <i>Д. Берени</i> )	
<b>ДИСКУССИИ</b>	
Об антропическом принципе – 58, 321–322. ( <i>М. Баню и П. Храику</i> )	
<b>ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ</b>	
<i>П. Шилои</i> : Прогрессы в определении возраста Земли	
<i>К. Радиоти</i> : Роль Галилея в истории развития нашего современного взгляда на мир	
<i>Л. А. Сабо, И. Ситъяи, Ч. Шюкэид</i> : Эксперимент Торричелли	
<i>О. Пайж</i> : Новые способы обучения физике: компьютерные симуляции	
Повышение качества обучения естественным наукам в наших школах	
<i>Ч. Шюкэид</i> : Отчет о XI. студентском конкурсе им. Л. Силарда по ядерной физике. Часть первая	
<b>ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ</b>	

Szerkesztőség: 1027 Budapest, II. Fő utca 68. Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682

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

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős: Szatmáry 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 Társulathoz vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egyzámlán.

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 780.- Ft + postaköltség.

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

# Fizikai Szemle

## MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LIX. évfolyam

1. szám

2009. január

## NÉZZ FEL ÉS CSODÁLKOZZ! – CSILLAGÁSZAT 2009

Oláh Katalin  
MTA KTM Csillagászati Kutatóintézete

A világ közel 100 országában 2007. december 20-án 9:00 UT-kor (UT = Universal Time, a csillagászok által használt egységes időszámítás) egy-egy kapcsolattartó személy (Magyarországon ezen írás szerzője) ült számítógépe előtt, és ugyanabban az időpontban adta a hírügynökségek tudtára, hogy „az Egyesült Nemzetek Szervezetének 62. Közgyűlése 2007. december 19-én 2009-et a Csillagászat Nemzetközi Évének nyilvánította”.

Már maga ez a tény is jól mutatja a csillagászok példás szervezettségét és együttműködését. A Csillagászat Nemzetközi Éve megrendezésének javaslatáról Sydney-ben, 2003. július 23-án, a Nemzetközi Csillagászati Unió közgyűlése döntött. A szervezésben jelenleg 126 ország vesz részt, országonként van szervezőbizottság és egy-egy kapcsolattartó személy – ezzel elkerülhetők az országokon belüli párhuzamos szervezések és az esetleges félreértések. Így is nagy feladat hárul a Nemzetközi Év szervezőbizottságára, amely Garchingban (Németország) működik.

De mit is ünneplünk 2009-ben? Legősibb tudományunk a csillagászat. Az emberiség évezredek óta megfigyeli környezetét, a Napot, Holdat, bolygókat és csillagokat, és megpróbálja magát ezek között elhelyezni, törvényszerűségeiket feltárni. 1609 augusztusában azonban a csillagászat tudománya örökre megváltozott – Itáliában *Galileo Galilei* az ég felé fordította maga készíttette kis távcsövét – és csodákat látott.



„Végre, semmi munkát és költséget nem kímélve, odáig jutottam, hogy sikerült annyira kitűnő műszert konstruálnom, amellyel a dolgok mintegy ezerszer látszottak nagyobbak, azaz harmincszor közelebbinek, mint természetes képességünkkel.” [1]

Látta, hogy a Hold nem sima, hanem hegyek-völgyek tagolják, hogy a Vénusznak is fázisai vannak (sarlótól a teljes korongig), mint a Holdnak, és hogy a Jupiter körül egy kis holdcsalád kering – ez változtatta meg világnézetünket véglegesen: a Föld kikerült a Világmindenség középpontjából. Mindennek pontosan 400 éve, és a Föld lakóinak többsége még mindig nem részesült abban az élményben, mint Galilei, és nem vált a csillagászat sem olyan tudománnyá a köztudatban, amely a környezetünket kutatja – azt a környezetet, amelynek mindannyian részei vagyunk.

A Csillagászat Nemzetközi Éve ezért elsősorban nem a csillagászoké, hanem a Föld lakóit szólítja meg, foglalkozásra, életkorra, lakóhelyre való tekintet nélkül.

A távcsövek az elmúlt 400 év alatt óriási fejlődésen, változáson mentek keresztül. A lencsés távcsövek után hamarosan elkészültek a tükrös távcsövek is, amelyek sokkal nagyobb átmérőjükkel sokkal halványabb objektumokat is képesek láttatni. Optikájuk manapság már az úgynevezett adaptív optika, amely lehetővé teszi a légkör okozta leképzési zavarok kiküszöbölését. Nincs ilyen problémája számos, az űrben elhelyezett távcsőnek, amelyek már évtizedek óta szorgalmazzák a csillagászatot. Eközben kiléptünk a látha-

tó fény szűk tartományából is, és a teljes elektromágneses spektrumon tudunk méréseket végezni a minket körülvevő Univerzumból, annak alkotórészeiről.

Az egyik legelső földi óriástávcső, a 2,5 méteres Hooker-teleszkóp a Wilson-hegyen, Dél-Kaliforniában, már közel 90 éves múltra tekint vissza, és a 20. század legnagyobb csillagászati felfedezését adta a tudománynak: a Világegyetem tágulását mutatták ki az általa végzett mérésekből. Talán a leghíresebb azonban az 5 m tükörátmérőjű Hale-teleszkóp a Palomar-hegyen, ami az egyszerű optikák között a legnagyobb, amely még jól használható képeket tud adni. Az ennél is nagyobb földi távcsőtükrök vékonyak, kisebb a súlyuk, és már aktív optikájuk van, a segédtükrök pedig adaptívak. Ezen berendezések segítségével kiküszöbölhetők a szél, a gravitáció, a hőmérsékletváltozás, illetve a légköri turbulenciák torzító hatása a tükör alkotta képeken. Hawaii szigetén, a Mauna Keán működő Keck ikertávcső mindkét tükre 10 méter átmérőjű, Chilében, a Cerro Paranalon pedig az európai Nagyon Nagy Távcsövet 4 darab, egyenként 8,2 méter átmérőjű távcső alkotja, mindegyikükben adaptív optika működik – együtt dolgozva pedig interferometriai mérésekre képesek, megsokszorozva a távcsövek felbontóképességét.

A Hubble-űrtávcső 2,4 méteres tükörrel felszerelve már 18 éve működik távol a földi légkör zavaró hatásaitól, az elektromágneses spektrum széles hullámhossztartományában, az ultraibolyától az infravörösig. A Hubble-űrtávcsővel készítették a Buborék-ködről a címlapon bemutatott felvételt. Öt éve kutatja az Univerzumot a Spitzer-űrtávcső, amely infravörös hullámhosszakon végzi megfigyeléseit, felderítve porfelhőket, anyagcsomókat és csillagokat ezek belsejében. A spektrum másik szélén nagyenergiájú események után kutat a gamma-tartományban működő Fermi-űrtávcső. A röntgen-univerzumot, az Univerzum legforróbb vidékeit pedig a Chandra és az XMM-Newton űrobservatóriumok vizsgálják.

A csillagászat alapvető fizikai törvényei átkerültek más tudományokba is, és lehetővé tették azok fejlődését. Közismert példa erre az, hogy a Merkúr bolygó perihélium-precessióját a Newton-féle gravitációs elmélettel nem sikerült pontosan leírni: a megfigyelt és a számított mozgás közötti kis különbséget csak az Einstein-féle általános relativitáselmélettel lehetett megmagyarázni. Ez a jelenség szolgál az általános relativitáselmélet egyik bizonyítékául. Továbbmenve, a részecskefizika és a csillagászat szoros együttműködése kutatja az Univerzum kezdetét és történetét, erről a *Fizikai Szemle* számos cikke szól (pl. [2, 3]). A csillagászat mindannyiunk életére hatással van, eredményei számos technikai újdonsággal segítik mindennapi életünket. Gondoljunk itt az űreszközök fejlesztésekor szükségessé vált miniaturizálásra, új anyagok, például a teflon vagy az üvegszál kifejlesztésére.

A jelen csillagászatának egyik legizgalmasabb témája bolygók és bolygórendszerek felfedezése más csillagok körül: a távoli ismert „naprendszerek” száma már több százra rúg. Elkészült az első igazi felvétel is egy más

csillag körül keringő bolygóról. Valószínűnek látszik, hogy világgépünkben ismét nagy változás előtt állunk: ha sikerül a mi Naprendszerünkön kívül életet találnunk, akkor emiatt, de ha nem, akkor meg amiatt. A kérdés, hogy egyedül vagyunk-e értelmes lényekként az Univerzumban, már hosszú ideje foglalkoztatja az emberiséget, és talán most jön el a válasz ideje.

A Csillagászat Nemzetközi Éve 2009-re számos programmal készül, az alapprogramok száma is tucatnyi. Ezekről az Év központi honlapján lehet olvasni. A magyar szervezőbizottság legfőbb célja a csillagászat mint tudomány minél teljesebb megismertetése. Szeretnénk, ha programjainkon minél több ember élné át azt, amit Galilei 400 évvel ezelőtt távcsövébe pillantva átélt: tágabb környezetünk, az Univerzum megismerésének élményét. 2009. április 2. és 5. között lesz a világon mindenütt, így hazánkban is a *100 óra csillagászat* folyamatos rendezvénysorozata. Ennek keretén belül látogathatók lesznek a magyar csillagászati intézmények, a Magyar Csillagászati Egyesület pedig országszerte távcsöves bemutatókat tart majd. Élő internetes közvetítések lesznek a világ nagy obszervatóriumaiból 24 órán át, amelyeket mindenki megtekinthet, és aki teheti, interaktív módon csatlakozhat a programokhoz.

A Csillagászat Nemzetközi Éve alkalmából elkészült egy DVD, amely a távcső történetét mutatja be részletesen, az angol nyelvű narrátor szövege feliratként pedig magyar nyelven is választható.

Egyik legfontosabb célkitűzés, hogy az iskolai oktatásban a csillagászat mindenképpen szerepeljen. A fizikatanárokat fel kell készíteni arra, hogy a rohamléptekkel változó csillagászati ismereteket a megfelelő módon tudják átadni tanítványaiknak. Erre 2009-ben nemzetközi kampány indul azzal a céllal, hogy 2012-re világméretű hálózata jöjjön létre a Galileo-követeknek, majd Galileo Mestertanároknak, akik a fizikatanárok továbbképzésével foglalkoznak majd. Az iskolai csillagászatoktatás a fizikaoktatással együtt, azzal szoros kapcsolatban alapvető fontosságú a jövő nemzedékek nevelésében. Ennek jegyében az ELFT soron következő (2009. április 15–18., Kaposvár) fizikatanári ankétjának témája: *Csillagászat a fizikában*.

## Irodalom

1. Galilei, Galileo: Sidereus Nuncius. (ford.: Csaba György Gábor) In *Meteor csillagászati évkönyv 2009*. Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest 2008, 237–274.
2. Csabai István, Purger Norbert, Dobos László, Szalay Sándor, Budavári Tamás: Az Univerzum szerkezete. *Fizikai Szemle* 57/12 (2007) 385.; <http://www.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz0712/csabai0712.html>
3. Kun Mária: Naptípusú csillagok keletkezése. *Fizikai Szemle* 49/12 (1999) 434.; <http://www.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz9912/kun.html>

## Internet-ajánlat

- A Csillagászat Nemzetközi Éve 2009 magyar honlapja: <http://csillagaszat2009.elte.hu>
- A Csillagászat Nemzetközi Éve 2009 (International Year of Astronomy 2009) központi honlapja: <http://www.astronomy2009.org>
- A Magyar Csillagászati Egyesület csillagászati hírportálja: <http://hirek.csillagaszat.hu/>
- A csillagászat elemei – interaktív csillagászati portál: <http://astro.elte.hu>

Az embert különös érzések fogják el, amikor a földi méretekhez képest nagy távolságokat, tíz vagy százmillió kilométereket, vagy amikor éppen az ellenkező végletet, a mikrovilág nanométereit próbálja maga elé képzelni. Hát még ha a nagyon nagy és a nagyon kis méretek egyetlen kérdéskörön belül fordulnak elő. Ilyen például az, amikor az ember a Marson, sok millió kilométer távolságra a Földtől, nanométeres távolságokat akar mérni atomerő-mikroszkóp segítségével.

Az atomerő-mikroszkóp a tűsugaras mikroszkópok családjának második tagja (1986; az első a pásztázó alagút mikroszkóp, 1981) rendkívül érzékeny műszer és nagymértékben kell a környezet rezgéseitől függetleníteni, hogy működőképességét biztosíthassuk. Ezért nehéz elképzelni, hogy atomerő-mikroszkóp a Földön kívül, mostoha űrbéli körülmények között működjön.

Az alábbiakban Mars-missziók, majd az atomerő-mikroszkóp (AFM) rövid ismertetése után arról szeretnék írni, hogy mi indokolta AFM bevonását a Mars-kutatásba, milyen műszaki megoldásokra volt szükség az űrbéli körülményeket elviselő AFM kifejlesztéséhez.

## Mars és a Mars-missziók

A Mars iránt az ember régóta érdeklődik, és ez az érdeklődés az alapja, hogy 2030–2040 között szeretné megvetni lábát a Marson. [1–3, 6–8]

A Mars Földhöz viszonyított legkisebb távolsága körülbelül 60–100 millió km között változik a következő évtizedben, és a kedvező útra kelési időpontok 780 naponként következnek be (ennyi a Mars szinodikus periódusa). A 4–6 hónapig tartó odaút és a Marson tartózkodás együttes optimális ideje ez a bizonyos 780 nap. Ehhez hozzászámolva a visszafelé utat, csaknem három esztendő adódik, hacsak újabb meghajtási technikát (pl. plazmasugarhajtást) nem sikerül kifejleszteni. Addig viszont rengeteg információt kell beszerezni ahhoz, hogy egy ilyen vállalkozás ne valljon kudarcot, márpedig a Mars-missziók között feltűnően sok volt a kudarc.

A Marssal kapcsolatos csillagászati mérések a 19. század elejére nyúlnak vissza, de az ismeretek akkor kezdtek igazán gyarapodni, amikor a Mars mellett elhaladó (Mariner 4, 1965-ben), a körülötte keringő (Mariner 9, 1971–1972) vagy éppen a Marsra leszálló űrszondák (Viking 1 és Viking 2, 1976-ban, Pathfinder 1997-ben) berendezései ontották a mérési eredményeket.

2008 végén a Mars körül három űrszonda kering: a Mars Odyssey, a Mars Express és a Mars Reconnaissance Orbiter; felszínén két Mars-járó működik, a Spirit és az Opportunity, valamint egy álló egység, a Phoenix.

A Mars felszínén mért alacsony hőmérsékletek ismeretében várható, hogy folyékony víz nincs, és ha nincs, akkor a tudomány mai állása szerint élet sincs. A „lehetetlenségre” egy példa a közelmúltból: olyan

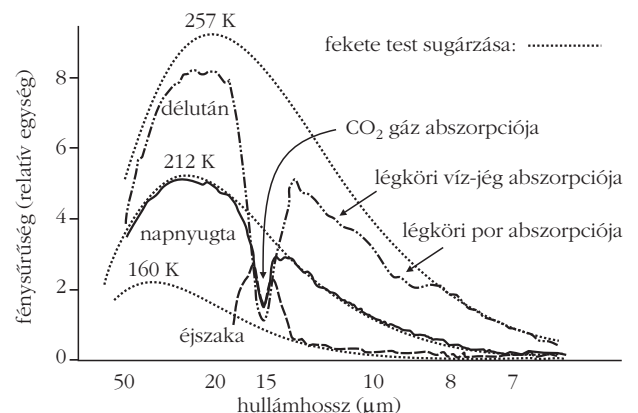
mikroorganizmust találtak az amerikai Yellowstone Nemzeti Park savas iszapjában, amely optimális életkörülményeit a 80 Celsius-fokos „savfürdőben” találja meg. A Mars Asztrobiológia Kutatócsoport létezése is azt mutatja, hogy komoly érdeklődés van a Marson elképzelt élet iránt. Létezhetnek a Marson olyan baktériumok, amelyek extrém hőmérsékleteket is elviselnek, vagy olyanok, amelyek nagyon hosszú ideig inaktív állapotban maradnak [4, 9]. Ezért, ha egyszer létezett folyékony víz a Marson (márpedig erre közvetett bizonyítékok vannak), akkor élő szervezetek megőrződhetnek.

Nemcsak a mikroorganizmusok, de a Mars talaja, a felszínén lévő por is befolyásolhatja az ember tartózkodását a Marson. A por szemcsemérete például a szilikózis szempontjából fontos, ugyanis a 4  $\mu\text{m}$ -nél kisebb szemcsék jutnak le a legnagyobb eséllyel a tüdőbe. A porok keménységét pedig a mérőműszerek és az űruha tervezésekor kell ismerni. A Phoenix-missziót megelőzően is volt már közvetett bizonyíték a víz-jég létezésére: a NASA szerint annyi jég van a Mars két sarkvidékén, hogy felolvadása esetén 11 méter mélységű víz borítaná a bolygó felszínét.

A Mars felszínén lévő porviharokról, továbbá a por szemcseméretéről is van rengeteg közvetett adat. Az 1. ábrán látható termoemissziós spektrumokat a Mars körül keringő Global Surveyor fedélzetén lévő spektrométer vette fel 1997-ben. A mérési eredményeket az ábrán kiegészítik a feketetestspektrumok is, amelyek bár közelítések (minthogy a Mars nem tekinthető tökéletes feketetestnek), mégis sok következtetést lehet levonni belőlük. A hőmérséklet az éjszakai 160 K-ről ( $-113\text{ }^\circ\text{C}$ ) délutánra 257 K-re ( $-16\text{ }^\circ\text{C}$ ) emelkedik. A légkör viszonylag sok szén-dioxidot tartalmaz, ezt jelzi a 15  $\mu\text{m}$  körüli erős abszorpció, de a légkörben lévő víz-jég és por hatása is detektálható volt.

Az 1. ábrán lévő spektrumokat elméletileg modellezni lehet, ebből meg lehetne állapítani a por kémiai összetételét. Sajnálatos módon túl sok feltételezést kell tenni a modellben az összetétel meghatározásá-

1. ábra. A Mars termoemissziós spektruma (Global Surveyor, 1997)



hoz az egyes poralkotók szemcseméretére, alakjára, felületi simaságára, szemcseméret-eloszlására, optikai tulajdonságára (a törésmutató valós és képzetes részére), így nem jutottak elfogadható eredményre. Az 1971–72-es porvihar magyarázatára egy sor anyagot (pl. kvarc, bazalt, andezit, obszidián, gránit stb.), illetve ezek kombinációját tétélezték fel a por alkotójaként, mégsem kaptak kielégítő egyezést. Viszont eredménynek tudható be, hogy tíznél több Mars-misszió közvetett méréseinek kiértékelésekor a por-szemcsék effektív méretére mindig  $2\ \mu\text{m}$ -nél kisebb értéket kaptak.

A fentiek alapján érthető, hogy miért fontos a Mars felszínét fedő finom por tulajdonságainak (méret, méreteloszlás, keménység stb.) pontos ismerete, és miért terveztek közvetlen mikroszkópos méréseket a bolygó felszínén a Phoenix-misszió során.

## Phoenix-misszió

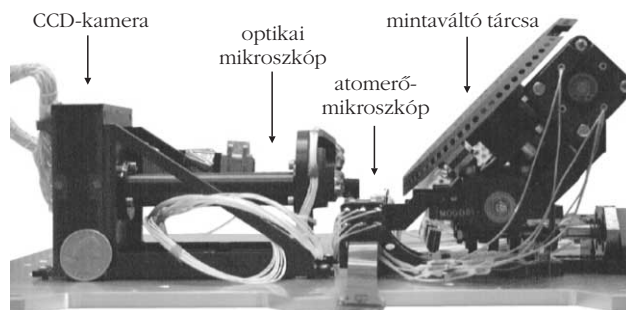
A Phoenix Mars-szonda 2007. augusztus 4-én indult és 295 napos utazás után 2008. május 25-én szállt le a Marsra. Az Arizonai Egyetem vezetése alatt álló projekt széles együttműködés eredményeként jött létre, amelynek résztvevői az Amerikai Űrhajózási Hivatal (NASA), a NASA Jet Propulsion Laboratory (a California Institute of Technology-ban), a Lockheed Martin Space System és még sokan mások, közülük említsük meg a Neuchâtel Egyetemet, a Baseli Egyetemet és a Nanosurf A.G. alkotta svájci konzorciumot, amely a cikk címében szereplő atomerő-mikroszkópot létrehozta.

A Phoenix-küldetés célja volt víz-jég jelenlétét kimutatni a felszín alatt, és megvizsgálni a talaj összetételét, hogy alkalmas-e az élet fenntartására.

A leszálló egység berendezései közé tartozik – többek között – egy ásóval ellátott robotkar és két tudományos egység: a TEGA (termikus gáz analizátor) és a MECA. Az előbbi a marsi mintákat felmelegítő kályhákat és tömegspektrométert tartalmaz, az utóbbi pedig mikroszkópos (M), elektrokémiai (E) és konduktivitási (C) analíziseket (A) végez a talajmintákon.

A sajtóban nagy visszhangot kapott, hogy a Phoenix-misszió során sikerült közvetlenül vizet kimutatni a Mars felszínén talált jégből. A küldetésben résztvevő AFM-ről kevesebb szó esett, pedig mint látni fogjuk, igencsak nagy műszaki teljesítmény volt. A néhány nanométer felbontásra képes berendezés gyufásdoboz méretű, és a meghajtó elektronika nélkül 15 grammot nyom. Ez a kis méret jelentős, ha figyelembe vesszük, hogy minden egyes Marsra küldött kilogramm 1 millió dollárba kerül. A Phoenix atomerő-mikroszkópja nem az első a világűrben, mert az Európai Űrügynökség (ESA) 2004-ben felbocsátott Rosetta űrszondáján már helyet kapott egy MIDAS (Micro-Imaging Dust Analysis System) elnevezésű atomerő-mikroszkóp.

Mi ebben a cikkben főként a Phoenix mikroszkópos egységére, azon belül is az atomerő-mikroszkóp-óra összpontosítjuk figyelmünket (2. ábra).



2. ábra. A Phoenix mikroszkópos egysége

Az optikai mikroszkópban keletkező képet CCD-kamerával detektálták. Az optikai mikroszkóphoz képest kisméretű atomerő-mikroszkóp néhány nanométeres felbontásával jelentősen kiszélesíti a még mérhető szemcsék tartományát a fénymikroszkóppal összevetve. A mintákat a mintaváltó tárcsa vitte a vizsgálatra alkalmas pozícióba. Mielőtt a képen látható atomerő-mikroszkóppal megismerkednénk, vessünk egy pillantást a földi körülmények között működő atomerő-mikroszkópra, amelynek megtervezésekor és kivitelezésekor távolról sem kellett olyan szigorú követelményeknek eleget tenni, mint az űrbéli változatnak.

## Az atomerő-mikroszkóp működési elve és földi változatai

Az atomerő-mikroszkóp (AFM) működését sematikusán a 3. ábrán láthatjuk.

A vizsgálandó minta fölött egy rugalmas tartón, nevezük szondakarnak, található egy tű, amely alatt a vizsgálandó minta vízszintes síkban pásztázó mozgást végez. A pásztázás módja olyan, hogy egy pontban való információgyűjtés után az asztal a következő pontba lép, majd a sor végén általában visszamegy az adott soron, mielőtt átlép a következő sorba. Az érzékelő tű, vagy ahogy az ábrán nevezzük, tűszonda, kölcsönhatásba kerül a minta felszínével és rá vonzó vagy taszító erők hatnak attól függően, hogy milyen távol van a minta felszínétől (3.b ábra). Ezáltal a mintafelület topográfiája leképezhető. A szondakar lehajlását a Hooke-törvény írja le. Meg kell jegyezni, hogy a 3.b ábrán feltüntetett van der Waals-erőket csak egy lehetséges kölcsönhatásnak szabad tekintenünk, amely most a megértés elősegítésére szolgál. Sok egyéb kölcsönhatási forma létezik, például mágneses, kapilláris, elektrosztatikus stb. erők, amelyek mérése az atomerő-mikroszkópia egy-egy külön ágát képezik.

A szondakar mintához viszonyított magasságát a visszacsatoló körrel lehet szabályozni. Amikor a tűszonda a minta felszínét éri (3.c ábra), akkor a taszítóerőket használjuk a felület egyenetlenségeinek leírására. Puha mintafelületek esetén ez az üzemmód a minta megkarcolását vonhatja maga után, szerencsére a vonzó erők tartományában is („B” és „C” tartomány az ábrán) lehet működtetni a mikroszkópot. Ilyenkor a szondakart a sajátfrekvenciájának megfelelő rezgés-

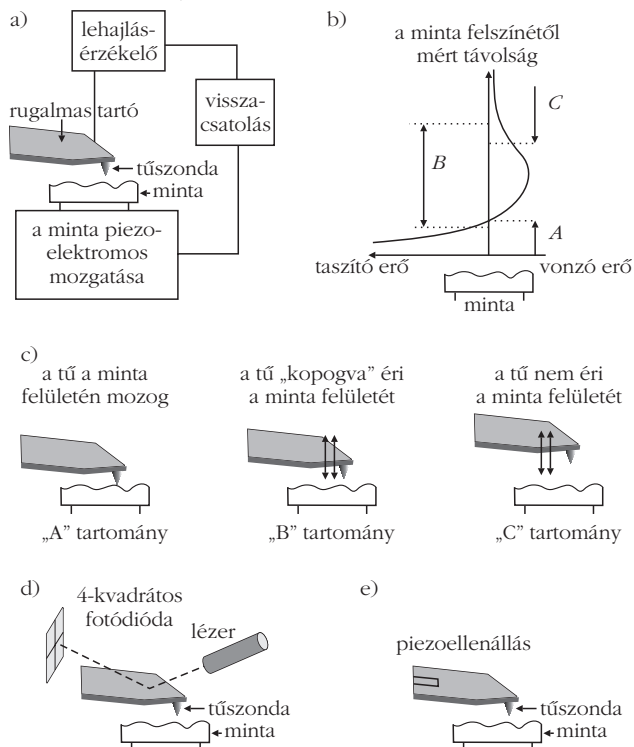
be hozzák és a vizsgált felület a szondakar rezgésének amplitúdóját vagy a frekvenciáját változtatja meg, ez szolgál a mérés vagy képalkotás alapjául. Alapesetben a szondakar lehajlását mérik; a 3.d és 3.e ábrán a két leggyakrabban alkalmazott detektálást láthatjuk: a lézersugárzást érzékelő fotodiódát, illetve a szondakarban ébredő mechanikai feszültség piezoelektromos detektálását.

Nem kézenfekvő, hogy a leírtak a valóságban is működnek: az 1970-es években a műszaki feltételek hiányoztak ahhoz, hogy mindezt kivitelezni lehessen [5].

A felbontóképességet az AFM-gyártók számszerűen nem szokták megadni, mert azt a minta síkjában a tűszonda mérete és a felület tulajdonságai együttesen határozzák meg. Minél kisebb a szonda lekerekítési sugara, annál jobb felbontás érhető el. Ha még azt is hozzávesszük, hogy olyan tűszonda, amely egyetlen atomban végződik, nem számít kurióznak, akkor bizony nanométernél kisebb felbontásra számíthatunk. A minta felületére merőleges irányban meg szokták adni, hogy a pásztázó mechanika mekkorára korlátozza a felbontást, és ez általában 0,05 nm. A kristályrács atomjai megjeleníthetők, ha az atomerő-mikroszkópot ultravákuum-körülmények között alkalmazzák. Lényeges, hogy a tűsugárral működő mikroszkópoknál nincs lencse, és ennek következtében nincsenek lencsehibák. Ugyanakkor nem kellő vékonyságú tű használata műtermékek képződéséhez vezethet.

Általánosságban elmondható, hogy AFM felbontóképessége körülbelül ezerszer jobb, mint a fénymikroszkópé, és ha ez utóbbit 200 nm-nek vesszük,

3. ábra. Az atomerő-mikroszkóp: a) működési elv, b) a tűre ható van der Waals-erők, c) működési módok, d) a lehajlás lézeres detektálása, e) a lehajlás piezoelektromos detektálása



akkor az AFM felbontóképessége a minta síkjában 0,2 nm. A minta felületére merőleges irányban jobb, körülbelül 0,05 nm.

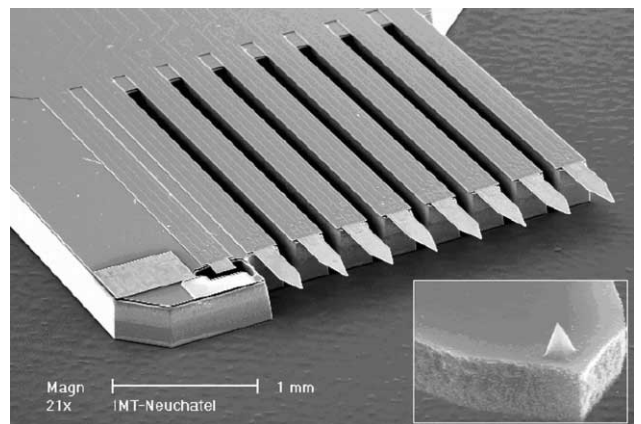
Az atomerő-mikroszkóp erőmérő üzemmódban is működtethető,  $10^{-12}$  newton erőt meg lehet mérni, és például a biológusok számára rutin feladatnak számít annak az erőhatásnak kimérése atomerő-mikroszkóppal, amely egy összecsavarodott DNS molekula kiegyenesítéséhez szükséges.

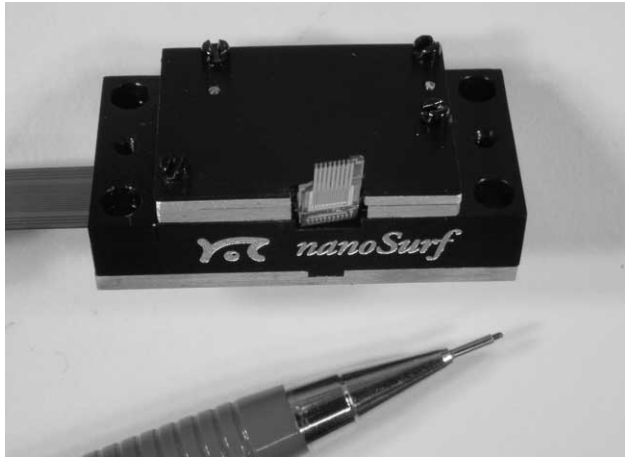
## Az atomerő-mikroszkóp (AFM) űrbeli változata

Az itt ismertetendő AFM különlegességét [10] az űrutazás által szabott kemény követelmények jelentik. Emiatt nem is lehetett olyan tökéletes, mint földi „testvére”. A mechanikai igénybevétel, a rázkódás különösen erős a kilövés és landolás idején. A hőmérséklet akár  $-120$  °C is lehet, és a nyomás erősen eltér a földi viszonyoktól. A Mars légköri nyomása 7 mbar, ami miatt az elektromos kisülések könnyebben bekövetkezhetnek az elektronikában, mint a Földön. A következő veszélyt a kozmikus sugárzás hordozza magában, amely meglehetősen kemény és veszélyesebb az elektronikára, mint az alfa- és béta-sugarak. Még tovább lehetne sorolni a veszélyforrásokat, de inkább említsünk egy másik erősen korlátozó tényezőt, a pénzt. A pénz határozza meg, hogy mekkora tömeget és mekkora térfogatot küldhetnek fel, mert a költségek e kettővel arányosak, ezért mindkettőnek a lehető legkisebbnek kell lennie.

Ha visszatekintünk a 3.a ábrára, akkor a minta-mozgató egységen kívül az összes többi szilíciumlapkára, pontosabban szigetelőanyagban lévő szilíciumlapkára integrálták. A 3.d és 3.e ábrákon látható lehetőségek közül nem a lézersugaras, hanem a piezoelektromos detektálást valósították meg, mert energiaigénye kisebb, mint a lézeres változatnak, és behatárolása sem olyan kritikus. A piezoelektromos ellenállást bór implantálással készítették a szondakaron. Az AFM-chipet a 4. ábra mutatja.

4. ábra. Az atomerő-mikroszkóp chipjének pásztázó elektronmikroszkópos képe. Nyolc szondakart készítettek, hogy a tűszonda kopása esetén egy új szonda vehesse át a feladatot. A jobb alsó sarokban a szondakar végén felfelé néző tűszonda látható.





5. ábra. A komplett marsbeli atomerő-mikroszkóp. A kép közepén a 4. ábrán mutatott AFM-chip látható.

A részletek mellőzésével azt mondhatjuk, hogy a mikroelektronikában ismeretes gyártási lépéseket, fotolitográfiát, oxidmaratást, ionimplantálást, foszfor-szilikát üveg felvitelét, kémiai rétegleválasztást (CVD) stb. használtak arra, hogy a szondakar, a tűszonda és a szükséges elektronika monolitikusan létrejöjjön egy n-típusú szilícium-szilíciumoxid lapon.

A mintamozgató egységet (3.a ábra alsó része) földi körülmények között piezoelektromos kerámiahengerrel valósítják meg. A meghajtásához mintegy 100 V feszültségre van szüksége, viszont a marsi 7 mbar szén-dioxid atmoszférában már 50 V is átütne. Ezért olyan mágneses mintamozgatót terveztek, amely 12 V-tal működik. Ez az egység foglal helyet az AFM-chip alatti sötét dobozban az 5. ábrán.

A 6. ábra a Marsról küldött első atomerő-mikroszkópos képet mutatja, amely egy kalibrációs kép, de ez mit sem von le értékéből.

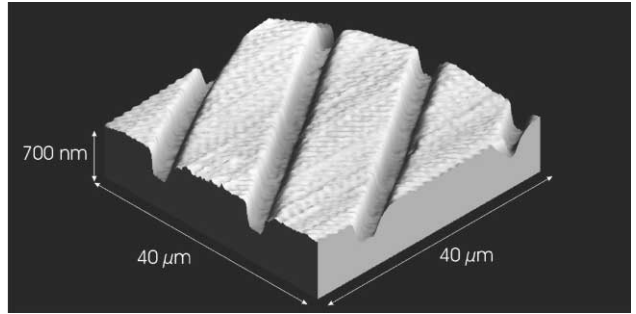
A 7. ábrán egy marsbeli porszemcse AFM-képét látjuk a bekarikázott helyen. A hordozóban lyukak voltak kiképezve, hogy a porszemek ott csapdába eszenek.

Néhány érdekesség a tervezésből és kivitelezésből:

- Az AFM chip oly kicsi, hogy 60 darab fér el egy 10 cm átmérőjű szilícium szeleten.

- Felváltva alkalmaztak szilícium és gyémánt tűszondát a nyolc szondakaron. A szilícium tűt monolitikus formában KOH-ban való maratással állították elő a szondakarból, míg a gyémánt tűket a Si szondakaron előkészített piramis alakú bemélyedésekben kémiai rétegleválasztással (CVD) hozták létre. A gyémánt tűket keményebb porszemek vizsgálatára tervezték.

- A kozmikus sugárzás elleni védelemként az elektronikát úgy tervezték, hogy minden egyes bitet három független regisztercellában tárolnak, amelyeket egy „szavazó” cella vizsgál, hogy fellépett-e sérülés és dönt arról, hogy melyik bit volt többségben a három regiszterben. Különösen veszélyes az, amikor a kozmikus sugárzás olyan helyen üt be, ahol rövidzárat okoz a tápvonalban és a keletkező nagy áram tönkretesz egy CMOS chipet. Ennek megakadályozására védő áram-



6. ábra. Az első AFM-kép a Marsról; a kalibrációra szolgáló objektumot mutatja.

kört kellett beépíteni, amely rövidzár esetén lekapcsolja a tápegységet, majd kis idő múlva újra visszakapcsolja és letölti a megszakadt programot.

- Az AFM-et földi viszonyok között a belélegzésre veszélyes tartományba eső (100 nm – 3 μm) α-kvarc kristályokon tesztelték 10 nm-es lekerekítési sugarú szondatűkkel. A szemcsék méreteloszlását lézerdiffrakciós mérésekkel határozták meg, majd 150 szemcsét AFM-mel is megmértek. A kétféle eljárás jó egyezést mutatott.

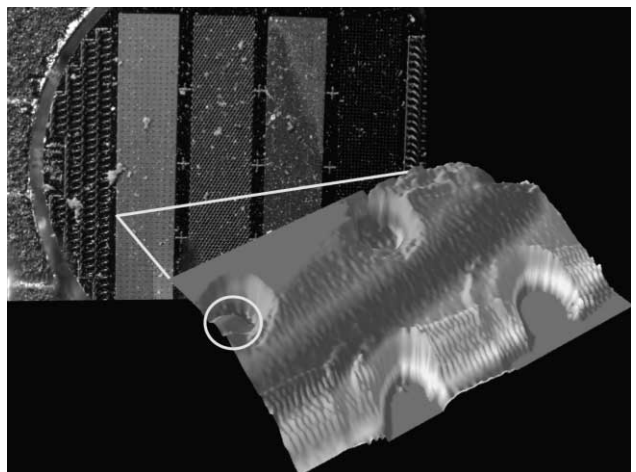
- A berendezést karcolások profiljának meghatározására is használták, hogy ebből a karcolást okozó szemcsék keménységére következtethessenek.

- Külön gondot kellett fordítani arra, hogy a berendezés sterilen kerüljön fel a Marsra. Téves következtetésekre lehet jutni a marsi életre vonatkozóan, ha a műszert az ember elszennyezi.

## Összefoglalás

A Phoenix-expedíció egy lépés ahhoz, hogy az ember majdan megvethesse a lábát a Marson. A Mars felszínén lévő finom por jellemzésére olyan miniatürizált atomerő-mikroszkópot küldtek fel, amely néhány nanométeres felbontásával a fénymikroszkóp lehetőségeit messze túlhaladja. Ez a példa arra is ráirányítja a

7. ábra. Fénymikroszkópos (fent) és atomerő-mikroszkópos kép (lent) montázsa. A körrel jelölt helyen egy marsbeli porszem AFM-képe látható. A hordozó üreges kiképzése a részecskék helyzetének stabilizálását szolgálja.





figyelmet, hogy a miniatürizálás segítségével olyan költségcsökkenést lehet elérni, ami az eddigi űrkísérletezés újragondolását teszi szükségessé.

Irodalom:

1. <http://origo.hu/tudomany/mars/>
2. <http://hirek.csillagaszat.hu/mars.html>
3. <http://www.urvilag.hu/>
4. <http://www.origo.hu/tudomany/vilagur/20080102-asztrobiologia-szelsoseges-elolenyek-es-elohelyek-a-foldon.html>

5. Kálmán Erika, Nagy Péter: Pászttázó tűszondás mikroszkópia. In: *Műszaki felülettudomány és orvosi biológiai alkalmazásai* (szerk.: Bertóti, Marosi, Tóth) B+V Lap- és Könyvkiadó Kft. 2003. 187–218.
6. Arizona University: <http://phoenix.lpl.arizona.edu/>
7. JET Propulsion Laboratory: <http://marsprogram.jpl.nasa.gov/>
8. NASA: [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/phoenix/](http://www.nasa.gov/mission_pages/phoenix/)
9. Mars Astrobiology Group Budapest, <http://www.colbud.hu/esa/>
10. Sebastian Gautsch: *Development of An Atomic Force Microscope and Measurement Concepts for Characterizing Martian Dust and Soil Particles, Dissertation*. Institute of Microtechnology University of Neuchâtel, 2002.

## KACSÓH PONGRÁC, A FIZIKUS

Oláh-Gál Róbert

Babeş–Bolyai Egyetem, Matematikai-Informatikai Kar,  
Csikszeredai Tagozat, Informatikai Rendszerek Tanszék

A *János vitéz* daljáték szerzőjének alkotói zsenije az EME Orvos-természettudományi Értesítőjében jelent meg, és ezzel az írásunkkal tisztelettel köszöntjük „Erdély Tudományos Akadémiáját”, a 150 éves Erdélyi Múzeum Egyesületet. A budapesti születésű *Kacsóh Pongrác*<sup>1</sup> Kolozsváron végezte a matematika-fizika szakot, majd beiratkozott doktorátusra *Farkas Gyulához*,<sup>2</sup> a Ferencz József Tudományegyetem felsőmennyiségtan professzorához.

Érdeemesnek tartjuk megemlíteni, hogy Kacsóh Pongrác két igen érdekes dolgozatot közölt az EME Orvos-természettudományi Értesítőjében: az egyik 1894-ben jelent meg és a címe: *Az Antolik-féle új hangskáláról* [1]. A másik dolgozatot 1896-ban közölte: *Az egyenlőségi és egyenlőtlenégi elv viszonya a mechanikában* címen [2]. Az első természetesen bizonyítja a későbbi sikeres operettszerző elméleti felkészültségét, míg a második szorosan kapcsolódik a fenn említett híres Farkas-lemmához. Ez a második Kacsóh-féle dolgozat azért fontos, mert mutatja, hogy Farkas Gyula tisztában volt az akkor mellékes eredményként kezelt lemmájának elméleti jelentőségével. (Meg kell jegyezzük, hogy Farkas Gyula lemmájáról és munkásságáról szinte semmit sem tudott a tudományos közvélemény, amíg fel nem fedez-



Kacsóh Pongrác

te az Egyesült Államokban *Albert W. Tucker* híres operációkutató. Farkas Gyula elismertetése hasonló a *Bolyaiaké*hez, mindhármuk nagyságát a külföldnek kellett felismernie. Mint ahogy a Bolyaiak hazai megismertetésében elévülhetetlen érdemeket szerzett *Schmidt Ferenc* temesvári építész, szinte teljesen hasonló módon indította el a Farkas-kultuszt Magyarországon *Prékopa András* akadémikus. Farkas Gyula sírját is hasonló módon kutatta fel *Prékopa András*, mint annak idején *Schmidt Ferenc* a Bolyaiakét. Milyen érdekes ez a világ!

Visszatérve Kacsóh Pongrácra, az igazsághoz tartozik az is, hogy *Szénássy Barna* özvegye, Vali néni fedezte fel, hogy Kacsóh Pongrác Kolozsvárott *Farkas Gyulánál* doktorált.<sup>3</sup> Ezt most azért is illendő megemlíteni, mert Szegeden a Polygon újra kiadta *A Magyarországi matematika története* cím alatt *Szénássy Barna* alapművét, amihez nagyban hozzájárult Vali néni is.

Kacsóh Pongrác doktori disszertációját is felkutatta *Prékopa András*.

Kacsóh Pongrác életéről és zenei munkásságáról részletesen olvashatunk az interneten [3]. Természetesen sok könyv is ismerteti életpályáját és zenei műveit, mi csak azt a dolgozatát ismertetjük, amely a Kacsóh-szakértők és kutatók figyelmét eddig elkerülte.

Az EME Orvosi-természettudományi Értesítője alapján három fontos adattal tudjuk kiegészíteni a Kacsóh életrajzot: két fontos dolgozattal, amely a magyar fizikátörténet szempontjából sem lebecsülendő, és azzal a ténnyel, hogy Kacsóh Pongrác rövid ideig az aradi fő-

<sup>1</sup> A régebbi közleményekben Pongrác szerepel, az újabbakban Pongrác.

<sup>2</sup> Farkas Gyula aktív szereplő volt az EME Orvos-természettudományi Szakosztályában, több éven keresztül tisztségeket is vállalt, és a matematikusok között a legtöbbet publikálók között szerepelt. (Farkas Gyula, *Klug Lipót* és *Martin Lajos* köztölték a legtöbb tudományos értekezést az EME szakosztályi értesítőjében, szám szerint 10, 8, 7 dolgozatot.)

Farkas Gyula napjainkban, az 1960-as évektől kezdve lett világhírű, a legidézettebb kolozsvári matematikus, amióta a matematikai és számítógépes programozás világláger lett. A Farkas-lemma lényegében az operációkutatás egyik alappillérenek bizonyult.

<sup>3</sup> E tény már megjelent folyóiratunkban is. Gábos Zoltán: Az erdélyi fizikusok hozzájárulása a magyar tudományhoz. *Fizikai Szemle* 50 (2000) 117.

reáliskola tanára volt. (Életrajzai egyetemi tanulmányai után egyből Budapestre helyezik.) Az is tény, hogy dr. Kacsóh Pongrác az Erdélyi Múzeum-Egylet orvos-természettudományi szakosztályának vidéki tagja volt.

„Az Antolik-féle új hangskáláról  
Kacsóh Pongrácz tanárjelölttől.

Nem sok problémája van a fizikának, a mely többször és több szempontból lett volna megvitatva, mint a zenei skálák kérdése. Azt hiszem, nem csalódunk, ha ennek okát két körülményben is keressük, részint abban, hogy a kérdés elementáris vizsgálati módszerekkel jól hozzáférhető, másrészt pedig, hogy a dolog a zenészeket és a fizikusokat egyaránt érdekelné, mindkét részről hozzá szólnak a dologhoz. Pythagoras óta kisebb-nagyobb időközökben minduntalan akad egy-egy új kutató, rendszeresen mindannyiszor megszülemlik egy új rendszer, a mely azonban csakhamar letűnik a tudomány felszínéről, hogy bevonuljon a historiai érdekességek sorába.

Alig két hónapja, hogy egy felső-magyarországi napilap, a Pozsonyban megjelenő »Grenzboote« hírt adott az ottani reáliskola igazgatójának dr. Antolik Károlynak új zenei skálájáról, melyet mint nagy horderejű, s századok óta várt felfedezést kommentált. Nem lehet a kutatónak felróni egy udvarias helyilap frázisait, annyit azonban konstatálhatok, hogy a »Grenzboote« túlságosan elismeréssel szól Antolik e tárgyban tett kutatásairól mondva: »Es ist gelungen, was Jahrhundert hindurch ein Bestreben der Wissenschaft nicht vermochte«.

Ez ugyan nem áll, de tény az, hogy Antolik egy skálát hozott javaslatba; e skála 16 hangból áll és a hangok rezgésszámai aritmetikai progressio szerint növekednek. Első megtekintésre az Antolik-féle skála igen tetszetősen tűnik fel. Az egyes hangok jelölése és rezgés számainak arányszáma u. i. a következő:

c 16/16, cis 17/16, d 18/16, dis 19/16, e 20/16, eis 21/16, f 22/16, fis 23/16, g 24/16, gis 25/16, a 26/16, ais 27/16, h 28/16, his 29/16, i 30/16, is 31/16, c 32/16, a mely kétségtelenül szabályos és a szemnek jóleső azonnal. Már csak az idea eredetiségéért, hogy t. i. számtani haladvány vétetik alapul, megérdemli az új skála a bővebb vizsgálatot az eddigiekkel szemben.”

A János vitéz 1904-es előadásában Medgyaszay Vilma (Iluska) és Fedák Sári (Kukorica Jancsi)



A továbbiakban Kacsóh Pongrác matematikailag megvizsgálja Antolik-féle hangskálát és kimutatja annak hiányosságait. Nagyon alaposan öt oldalon elemzi annak matematikai és összhangzástani nehézségeit. Majd így vonja le következtetését:

„Hogy ne csak számokban lássam, hanem fülemmel is hallhassam és demonstrálhassam a skála hibáit, 1,5 mm vastag és 1,6 cm széles vashádor lemezekből reszeléssel két oktáva (e – e') 33 Antolik-féle hangját előállítottam és az u. n. aczél-czimbalmak mintájára sorban felerősítve, s a lemezeket fakalapácsokkal megütve végig vizsgáltam a skálát és azt tapasztaltam, hogy a hangközök folytonos változása, és tisztátalansága már a kéttagú akkordokat is kellemetlenekké és lebegések által zavartakká teszi; még kellemetlenebb a hármashangzatok és a septimakkordok, melyek egy éveken át nem hangolt hamis hangú czimbalmot juttatnak a hallgató eszébe, egyszóval a tapasztalás még jobban előtérbe tolja a skála hibáit, mint a számadatok.

Az említett készülék a kolozsvári tud. egyetem fizikai intézetének tulajdonába ment át, hol én azt bárki érdeklődőnek, az intézeti főnök, nagys. Abt tanár úr engedélyével szívesen bemutatom.

Szándékosan hallgattam mostanig az új skála egy nagy hátrányáról, mely akkor esetleg még elnézhető lett volna, ha az egyébképpen jó és hasznavehető lenne.

Ez az, hogy az új skála az új i és is hangok beiktatásával 8 egész és 8 fél hangból állván, használatban vétele esetén az eddigi zenedarabokat, melyek Bach Sebestyén óta mind a temperált skálán alapulnak, nagyobbbrészt eldobhatnók s ha kis részben átalakíthatnók is, alig ismernénk rájuk, és várhatnánk ki tudja meddig, míg születnének lángelmék, akiknek darabjai pótolhatnók nekünk Bach fugáit, Beethoven symphoniáit, quartettjeit, sonatait Goldmarck és Grieg suitejeit stb. Szóval páratlan becsű, csodaszép darabok egész légióját.

S hogy megnehezede az új skálával a hangszerek technikája is!”

Végül így zárja alapos kiértékelőjét:

„Új műveket kellene hát teremteni, új összhangzatok alapján új hangszereket csinálni, új művésznemzedéket nevelni hozzájuk és mindezt miért? Hogy legyen a meglevőnél rosszabb skálánk, melyben sem transzponálni, sem modulálni, de még csak tűrhető hangzású akkordokat találni sem lehet, az egyetlen egy tonika dúr hármashangzat kivételével.”

Fontosnak tartottuk, hogy részletesen idézzük Kacsóh tanulmányát, mert benne megmutatkozik a későbbi hírneves operettszerző alapos zenei és elméleti fizika tudása. Különös büszkesége lehet az erdélyi tudományosságnak, hogy erre az EME *Orvos-természettudományi Értesítője* biztosított fórumot.

#### Irodalom

1. *EME Orvos-természettudományi Értesítő*, 1894, XIX. kötet, I., II., III. füzet, 284–293.
2. *EME Orvos-természettudományi Értesítő* XVIII. kötet I. füzet, 1–18.
3. <http://www.szineszkonyvtar.hu/contents/k-o/kacsohelet.htm>.

# VATAI ENDRE

1936–2008

Vatai Endre útja Kisújszállásról, egy nyolcgyermekes családból és az ottani gimnáziumból indulva a Lenin-grádi Egyetemen keresztül vezetett az ATOMKI-ba, amelynek 1961-től volt munkatársa.

Munkáját az intézetben a Magspektroszkópiai Csoportban kezdte (és végig ott is dolgozott), ahol a csoport munkatársaival együtt már pályája elején nemzetközileg is elismert eredményeket ért el egyes radioaktív folyamatok (belső fékezési sugárzás, elektronbefogás-bétabomlás viszonya) még ismeretlen részleteinek tisztázásában. Ezzel kapcsolatban érdeklődése egyre inkább a béta-bomlás, illetve a gyenge kölcsönhatások elmélete felé fordult. Ebben az időszakban – a hetvenes évek elején – került sor hosszabb amerikai tanulmányújtjára (Georgia Institute of Technology), majd a kandidátusi fokozat megszerzésére.

Pályájának csúcspontját az úgynevezett tükörkép atommagok béta-bomlásának és különböző más béta-bomlási jelenségeknek a vizsgálata során elért eredmények képezték. Megállapította többek között, hogy a másodfokú indukált gyenge kölcsönhatási áramok nem jelennek meg az atommagok béta-bomlásában. Ezeket az eredményeit a *Nature* szerkesztőségi cikk-

ben elemezte, méltatta. A szóban forgó eredményeket a szerkesztő jelentősnek és meglepőnek ítélte, amit azzal a fordulattal jellemezett, hogy a szerző „macskát dobott a galambok közé”.

Vatai Endre egyformán otthon volt és egyformán alkotott az elméleti és a kísérleti fizikában. Közleményei között kifejezetten instrumentális eredményekről beszámoló cikkeket is találunk, sőt az ipari alkalmazások sem voltak idegenek tőle (pl. *Komplex közetminták gyors meghatározása Si(Li) detektor felhasználásával*, vagy *Hordozható röntgenemissziós REA berendezés*).

Munkájának, életének biztos hátteret, támaszt nyújtott élete végéig családja: felesége, két fia és családjaik.

1991-ben, viszonylag fiatalon nyugdíjba kellett mennie betegsége miatt, így pályája kétségtelenül törést szenvedett, bár most visszatekintve meg kell állapítanunk, hogy maradandó eredményeket ért el. Azt is elmondhatjuk, hogy egy nem mindennapi tehetséget és egy korrekt, segítőkész, egyenes jellemű embert gyászolunk Vatai Endrében.

Berényi Dénes

## DISZKUSSZIÓ

### Hraskó Péter: AZ ANTROPIKUS ELVRŐL

(58. évfolyam, 10. szám, 321–322. oldal)

Tisztelt szerkesztőség!

Nagy örömmel szoktam olvasni lapjukat, amelyben gyakran találtam inspirációt a munkámhoz, és mindig tetszett a cikkek színvonala. Most viszont nagy csodálkozással olvastam az idei októberi szám bevezető cikkét, amely az antropikus elvről szól. Nem akarok a szerzővel most magáról az antropikus elvről vitatkozni, csupán rá szeretnék mutatni a bemutatott gondolatmenet problematikus voltára.

Röviden összefoglalva – a cikkben arról van szó, hogy van egy hipotézis **H** (antropikus elv), amely elméletileg közelebről nem tárgyalt bizonyítékok **B** halmazából következik. A bizonyítékok halmaza adatokat tartalmaz (azok hibáival), amelyeknek konkrét értékei bizonyítani hivatottak a hipotézist. A matematikai statisztika apparátusával a szerző megmutatja, hogy a hipotézis bizonyítása tautológia, vagyis körkörös

bizonyítás. Ha hiszünk a hipotézisben, vagyis az antropikus elvben, akkor azt bizonyítottak is látjuk, ha nem, akkor a fordítottját látjuk helyesnek.

A legnagyobb probléma a bemutatott gondolatmenettel az, hogy sehol sincs semmilyen konkrét specifikum, amely az antropikus elvhez kötődik. A **H** hipotézis lehet akármilyen más hipotézis is – példának megfelelő a gravitációs és tehetetlenségi tömeg ekvivalenciája. A **B** bizonyítékok halmaza is lehetne akármilyen – az adott példában például mérési adatok a klasszikus inga lengésidejéről különböző körülmények mellett. Erre a példára is ráillenek a cikkben felsorolt premisszák (1) – (3) és konklúzió (4), csak be kell helyettesíteni a szövegbe az aktuális variánst. Ebből viszont a szerző szerint furcsa dolgok következnek – ha elhiszük, hogy a gravitációs tömeg és a tehetetlenségi tömeg ekvivalensek, akkor ez igaz, és ha nem – akkor nincs bebizonyítva.

Nem szeretnék most belebocsátkozni olyan vitába, hogy hol is történt a hiba, mert matematikailag látszólag minden rendben van. A probléma megoldását valahol a természettudományos elméletek és mérések filozófiájában kell keresni. *Popper* és *Kuhn* ideje óta ma már tudjuk, hogy egy tudományos elméletet soha sem lehet végleg bebizonyítani, legfeljebb cáfolni. Egy elmélet annál szilárdabb lábakon áll, minél több cáfolási kísérletet állt ki eredményesen. Így van ez minden elmélettel – az elméletből következnek ugyan a várt mérési eredmények, de a mérési eredmények még nem bizonyítják az elméletet. Az elméletben mindig csak feltételesen bízunk meg, mert új adatok cáfolhatják ezt. A fizika történetében számos példa volt arra, hogy ugyanazokat az eredményeket egy új paradigma keretein belül, más elmélettel magyarázták.

A cikkben felhozott matematikai bizonyítás szépen illusztrálja a felvázolt filozófiai tételt, amely a tudományos elméletek körében általános érvényű. Ennek nem megfelelő módon viszont úgy volt bemutatva, mintha mindez csak az antropikus elvre lenne érvényes.

Öszinte tisztelettel

*Bánó Miklós*  
a matematikai és fizikai  
tudományok kandidátusa

Tisztelt Szerkesztő úr!

Bánó Miklós kritikája alkalmas arra, hogy a cikkemmel kapcsolatos tudományfilozófiai problémákra is kitérhessek. Az írásom célja az volt, hogy kimutassam: az erős antropikus elv premisszáiból csak abban az esetben következik az elv konklúziója (az, hogy a világ intelligens tervezettség következménye), ha ezt a konklúziót valamilyen mértékben már előzetesen elfogadjuk. Úgy gondolom – és Bánó Miklós sem vitatja –, hogy a cikkem gondolatmenete ezt valóban bizonyítja. A cikkben nem esik szó arról, hogy ez a gondolatmenet esetleg más, valóban tudományos hipotézisekre is alkalmazható lenne, és ez az, amit Bánó kifogásol. Szerinte ugyanis a gondolatmenetemben nincs semmi, ami csak az antropikus elvre lenne érvényes, ezért bármilyen hipotézisre, például a súlyos és a tehetetlen tömeg egyenlőségére is alkalmazható. „Ebből viszont a szerző szerint furcsa dolgok következnek” – írja, mert akkor egyetlen fizikai elmélet érvényessége sem alapulhat kizárólag a tapasztalati bizonyítékokon: az érvényességhez még az is kell, hogy már eleve higgyünk benne.

Ehhez az észrevételhez két hozzáfűzni valóm van, egy negatív és egy pozitív. A negatív megjegyzésem az, hogy a cikkem gondolatmenete egyáltalán nem alkalmazható egy-az-egyben a valóban tudományos hipotézisekre, mert az antropikus elv első premisszája érvénytelen rájuk. Matematikailag ezt a premisszát a val  $(\mathbf{B} | \bar{\mathbf{H}}) \ll 1$  képlet fejezi ki, amelynek az az értelme, hogy a tapasztalati tényeket (a  $\mathbf{B}$ -t) lehetetlen a  $\mathbf{H}$ -tól (az adott esetben az intelligens tervezettségtől) különböző  $\bar{\mathbf{H}}$  hipotézis alapján értelmezni. A tudományban azonban ilyen természetű feltételezésnek nincs helye.

Legyen például  $\mathbf{H}$  Newton általános tömegvonzási elmélete,  $\mathbf{B}$  pedig tartalmazza a bolygórendszer megfigyelt tulajdonságait. Több mint két évszázadon keresztül hitték azt, hogy ennél tökéletesebben lehetetlen megmagyarázni a Naprendszert, vagyis a newtoni gravitációelméletől gyökeresen különböző bármilyen  $\bar{\mathbf{H}}$  hipotézisre val  $(\mathbf{B} | \bar{\mathbf{H}})$  bizonyosan sokkal kisebb 1-nél. Azonban ma már tudjuk, hogy az általános relativitáselmélet Newton gravitációelméletének olyan  $\bar{\mathbf{H}}$  alternatívája, amelyre val  $(\mathbf{B} | \bar{\mathbf{H}})$  még sokkal közelebb van 1-hez, mint val  $(\mathbf{B} | \mathbf{H})$ .

Röviden: Az első premissza azért nem fér össze a természettudománnyal, mert kizárja a fejlődés lehetőségét, amely pedig a tudomány alapvető sajátossága.

A másik (pozitív) megjegyzésem a következő: Elfogadom és vállalom Bánó Miklós konklúzióját (noha ez az első premissza miatt szigorúan véve nem következik a cikkemből), hogy ha a tudós nem hinne eleve valamilyen mértékben a hipotéziseiben, akkor a kísérleti eredményeit önmagukban nem tekinthetné a hipotézisei igazolásának. A tudománynak ezt a sajátosságát a tudományfilozófusok az *indukció problémájára* vezetik vissza. Ezzel az elnevezéssel azt fejezik ki, hogy elszigetelt megfigyelésekből, mint amilyenek például a fizikai kísérletek, lehetetlen pusztán logikai úton általános érvényű következtetéseket levonni (kivéve talán a hipotéziseik tagadását). Ha ugyanis a  $\mathbf{H}$  hipotézisből levonhatók a  $\mathbf{B}$  következtetések (vagyis ezek a hipotézis bizonyítékai) és a kísérletek cáfolják  $\mathbf{B}$ -t, akkor a  $\mathbf{H}$  hipotézis nem lehet igaz. Ha ellenben a kísérletek során  $\mathbf{B}$  igaznak bizonyul, ebből *nem következik*, hogy akkor tehát a hipotézis bizonyosan korrekt. Nyilvánvaló ugyanis, hogy egészen más természetű hipotéziseknek is lehetnek ugyanilyen következményei. Az ilyen esetekben a  $\mathbf{B}$  kísérleti eredmény nem igazolja, hanem csupán plauzibilisabbá teszi  $\mathbf{H}$ -t. A Bayes-tétel segítségével (a cikkem gondolatmenetéhez hasonló okfejtéssel) analizálható, hogyan befolyásolják a bizonyítékok konkrét sajátosságai (mennyiségük, váratlanságuk stb.) a hipotézis hihetőségét, de az indukció problémáját ezzel a gondolatmenettel sem kerülhetjük meg. Kiderül ugyanis, hogy ha valaki egyáltalán nem bízik egy hipotézisben, a bizalmatlanságát semmilyen kísérleti eredmény sem ingathatja meg.

A természettudomány tehát nem az abszolút bizonyosságról szól, hanem konkrét hipotézisekről és bizonyítékaik minőségéről. Ezzel kapcsolatban szót kell ejtenünk az erős antropikus elv második premisszájáról is. Matematikailag ezt a premisszát a val  $(\mathbf{B} | \mathbf{H}) = 1$  képlet fejezi ki, amely azt jelenti, hogy a  $\mathbf{B}$  tények következnek a  $\mathbf{H}$  hipotézisből. Ilyen típusú feltevéseket (az első premisszával ellentétben) a valódi tudomány is használ. A bizonyítékok minőségét jelentős mértékben az határozza meg, hogy ezek mennyire kényszerítő erejűek. A nagyon jól megalapozott várakozásra példaként megint az általános relativitáselméletre hivatkozom (ez a  $\mathbf{H}$ ), amelyből következik, hogy a fénynek 1,75 szögmásodperc nagyságú elhajlást kell szenvednie, amikor a napkorong közelében elhalad (ez a  $\mathbf{B}$ ), és

ez csak egyike az elmélet hasonló jellegű pontos, megfigyelhető következményeinek. Mi felel meg ennek a valóban tudományos következtetésnek az erős antropikus elvben? Az, hogy ha a világ intelligens tervezettség eredménye (ez a **H**), akkor a kozmosz megfigyelt alapvető paramétereinek lényegében pontosan olyanoknak kell lenniük, mint amilyenek (ez a **B**). A két kijelentés formai azonossága ellenére nehéz megfelelő szavakat találni a minőségük közötti csillagászati távolság kifejezésére – az antropikus elv rovására.

Végül visszatérek Bánó Miklós szemrehányására, amiért „eltitkoltam”, hogy nemcsak az intelligens tervezettségben, hanem a természettudományos hipotézisekben is már bizonyos mértékig hinnünk kell ahhoz, hogy a bizonyítékaikat az igazolásuknak tekinthessük. Az „elhallgatásra” két okom is volt. Az első az, hogy csak az antropikus elv képviselői próbálják elhitetni,

hogy a Világegyetem megfigyelhető paramétereiből teljes bizonyossággal következik dédelgetett hipotézisünk, a világ tervezettsége. A természettudományok művelői ilyesmit felelősen sohasem állíthatnak a saját hipotéziseikről, mert különben nyilvánvaló ellentmondásba kerülnének a tudomány fejlődésének közismert tényeivel (a tudományos kutatással együttjáró pszichológiai nyomás azonban a praktizáló kutatót hajlamosíthatja arra, hogy abszolutizálja azokat a fontosabb hipotéziseket, amelyek a tudományterületén megszabják a kutatások fő irányát). A másik ok az volt, hogy féltem, ha nem korlátoznám magam a lényegre, ezzel szükségtelenül tompítanám a mondanivalóm élet. Reméltem, hogy ha a cikkem érdeklődést kelt, lesz még alkalmam írni a probléma többi aspektusáról is. Bánó Miklós lényegbevágó észrevétele erre adott most lehetőséget.

*Hraskó Péter*

## A FIZIKA TANÍTÁSA

# HOGYAN ÉLHETETT ERDŐS PÁL 2,5 MILLIÁRD ÉVET?

Simon Péter

Leőwey Klára Gimnázium, Pécs

*Erdős Pál* (1913–1996), a világhírű magyar matematikus a nyolcvanadik születésnapján adott tévéinterjúban közölte, hogy ő maga 2,5 milliárd éves. E meglepő kijelentés bizonyítása igen röviden a következő: „Amikor kicsi voltam, akkor a Föld 2 milliárd éves volt. Most [1993-ban] 4,5 milliárd éves.” Ez a szokatlan érvelés adta az ötletet, hogy áttekintsem, az egyes korokban mit is gondoltak a Föld koráról.

## A Biblia szerint

A zsidó-keresztény kultúrkörben a világ teremtett, amelyből óhatatlanul következik, hogy bolygónknak története és életkora is van. Az európai gondolkodásban sok mindenhez a Biblia adja a sorvezetőt. Leginkább olyan kérdésekben, amelyekre a tudomány sokáig nem tudott egzakt, minden gondolkodó által elfogadható választ adni. *Leonardo da Vinci* a tengerparttól több mint 200 km-re tengeri halak kövületeit találta. A 15. században korrekt válasznak tűnt, hogy a halak az özönvíz idején kerültek ilyen messzire a tengerparttól. Ezt a magyarázatot széles körben elfogadták, annak ellenére, hogy *Alhazan*, az arab orvos-tudós már a 11. században azt feltételezte, hogy a halak kövületei a tengerek alján a kőzetek kialakulá-

sakor keletkeztek, s a földmozgások juttatták őket a vizektől távol a szárazföld belsejébe. Hasonló feltételezést a nyugati tudományban csak *Nicolaus Steno* fogalmazott meg a 17. század második felében. Steno, egy dán orvos dolgozta ki a rétegtan alapjait.

A Biblia megkérdőjelezhetetlen tekintélyének köszönhetően a Föld korát először a Biblia alapján próbálták megállapítani. *James Ussher* ír érsek az Írásban előforduló generációkat vette sorra, s az első emberpár megjelenésének idejét i. e. 4000-re teszi. Volt nála merészebb ember is. *John Lightfoot*, a cambridge-i egyetem teológia-professzora 1654-ben kijelentette, hogy a teremtés i. e. 4004. október 26-án délelőtt 9 órakor történt. A pontos időponthoz hibahatárt sem adott meg. A földtudomány ezen az adaton természetesen már rég túllépett. Ennek a becslésnek viszont kultúrtörténeti jelentősége van, a Biblia által leírt történet hosszát adja meg.

## A földtudomány születése

Végzettségük szerint jogászok, orvosok foglalkoztak először földtudománnyal. Az ő hobbitevékenységük alapozta meg a geológiát. Egyikük, *James Hutton* (orvos, 1726–1797) a saját birtokán fedezte fel, hogy a felszíntől lefelé haladva a kőzet réteges szerkezetű. Feltételezte, hogy ezeket a rétegeket a különböző korokban keletkező üledékes kőzetek alkotják, és

A pécsi Leőwey Klára Gimnáziumban 2008. november 6-án, a Magyar Tudomány Napján tartott előadás írott változata.

nyilván a mélyebben lévő réteg keletkezett régebben. Az is feltűnt neki, hogy a rómaiak által Britanniában épített utak mennyire masszívak, a köveken a mállás nyomai sem látszanak. Ő nem akart becslést adni a Föld korára, de azt kijelentette, hogy az minden bizonytalansággal jóval több, mint néhány ezer év.

Sir Charles Lyell (jogász, 1797–1875) a kontinensen tett utazásai során figyelte meg a földtani formák változatosságát. 1830 és 1833 között írt egy háromkötetes munkát *A geológia elvei* címmel, ami alapkötetnek tekinthető a geológiában. Ebben a műben kijelenti, hogy az ismertté vált kőületek alapján nem kizárt, hogy a Föld kora meghaladja a százmillió évet is. Ezen a kijelentésen az egyház természetesen megbotránkozott.

Charles Darwin ismerte Lyell elképzelését a Föld korára vonatkozóan. A Beagle fedélzetén gyakran olvasgatta ezt a művet is. Örült ennek a jóslatnak, hisz a *Fajok eredete* (1859) című híres könyvében felvázolt evolúciós elmélet azt feltételezi, hogy az élővilág fejlődéséhez igen hosszú időre volt szükség. Két tudományág – a geológia és a biológia – egyetértett a Föld korát illetően. Korrekt bizonyítás nélkül azt mondták, hogy a Föld több mint 100 millió éves. És beleszóltak a vitákba a fizikusok.

## Termodinamikai megfontolások

Először a termodinamika felől közelítettek a kérdéshez a fizikusok. Isaac Newton az 1687-ben megjelent *Principiában* adott egy becslést, amely szerint a Föld izzó állapotából körülbelül 50 ezer év alatt hűlhetett le. Newton főműve a mechanika alaptörvényeiről, a mozgást leíró törvényekről vált ismertté. A Földre alkalmazott termodinamikai modell kevés figyelmet kapott.

Buffon gróf (George-Louis Leclerc, 1707–1788) a problémán való gondolkodáson túl már kísérletet is végzett. Párizs mellett nagy átmérőjű agyag-, illetve vasgömböket hevített, s azok hűlését tanulmányozta. Ezen vizsgálatok után jelentette ki, hogy a Föld kora 75 ezer év.

A Föld kora nyilván kapcsolódik a Naphoz. A Napot a 19. század elején égő szénegmbnek vélték, amely sugárzása révén veszíti el energiáját. A napsugárzás teljesítménysűrűsége a Földön  $1400 \text{ W/m}^2$  (napállandó). Tétélezzük fel, hogy ez az intenzitás a jövőben sem csökken. A Nap tömege  $2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ , távolsága a Földtől  $1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$ , a szén fűtőértéke  $30 \text{ MJ/kg}$ . Mennyi ideig sütné még a Nap, ha valóban égő szénből állna? Ezzel a kérdéssel 200 éve még komoly tudósok foglalkoztak, ma már egy ügyes középiskolásnak is megoldható feladat. (*KöMaL* 2002/03, P. 3518.)

Az égő szénegmb hipotézise szerint a Nap rendelkezésre álló teljes energiája:

$$E = L_{\text{szén}} \cdot m = 3 \cdot 10^7 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ kg} = 6 \cdot 10^{37} \text{ J}$$

lenne. A napsugárzás intenzitását a Nap–Föld távolsággal egyenlő sugarú gömb felszínével megszorozva

megkapjuk a jelenlegi ( $T_0 = 6000 \text{ K}$  hőmérsékletű) Nap teljes sugárzási teljesítményvesztését:

$$P_0 = I \cdot A = 1400 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 4 \cdot (1,5 \cdot 10^{11} \text{ m})^2 \cdot \pi = 4 \cdot 10^{26} \text{ W}.$$

A teljes energia kisugárzásához szükséges idő:

$$t = \frac{E}{P_0} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ s} \approx 4800 \text{ év}.$$

Ha elhanyagoljuk a már kiégett, de még forró (izzásban lévő) parázs kihűléséhez szükséges időt, akkor csupán ilyen rövid ideig, nem egészen ötezer évig „sütné” a Nap.

Ehhez közeli szám szerepel *Madách* drámájában, *Az ember tragédiája* (1860) 13. színében (Lucifer):

„S felested-é már a tudós szavát,  
Ki felszámolta, hogy négy ezredévre  
Világod megfagy – a küzdés eláll?”

A Napot egy  $6000 \text{ K}$  hőmérsékletű, homogén izzó gázgömbnek is tekinthetjük, amely  $\text{H}_2$  molekulákból áll és a hőszugárzás során lassan hűl. Most ismét felhasználjuk, hogy a napsugárzás intenzitása a Földünk távolságában jelenleg  $1400 \text{ W/m}^2$ . Becsüljük meg, mennyi idő múlva sötétülne el a Nap, vagyis csökkenne a hőmérséklete körülbelül  $1000 \text{ K}$ -re? (*KöMaL* 2002/04, P. 3529.)

A Nap sugárzásának jelenlegi teljesítménye ismét:

$$P_0 = I \cdot A = 1400 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 4 \cdot (1,5 \cdot 10^{11} \text{ m})^2 \cdot \pi = 4 \cdot 10^{26} \text{ W}.$$

Ha az  $m$  tömegű Napot  $T$  hőmérsékletű hidrogéngáznak tekintjük, és belső energiáját az ideális gázokra érvényes  $E = c_v \cdot m \cdot T$  képletből számítjuk, valamint a fajhőt a földi hőmérsékleten érvényes  $c_v = 10^4 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$  értékkel közelítjük:

$$E_{(T)} \approx 10^4 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ kg} \cdot T = 2 \cdot 10^{34} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot T = K \cdot T.$$

Ha a sugárzás erőssége nem csökkenne, akkor a  $\Delta T = 5000 \text{ K}$  hőmérséklet-változáshoz szükséges idő a  $P \cdot \Delta t = K \cdot \Delta T$  alapján:

$$\Delta t = \frac{K \cdot \Delta T}{P} = \frac{2 \cdot 10^{34} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 5000 \text{ K}}{4 \cdot 10^{26} \text{ W}} = 2,5 \cdot 10^{11} \text{ s} \approx 8000 \text{ év}.$$

Ez a meglepően kicsiny érték a meglehetősen durva közelítésnek köszönhető. Vegyük figyelembe a teljesítmény hőmérsékletfüggését!

Amennyiben a Nap hőmérséklete csökken, akkor a Stefan–Boltzmann sugárzási törvénynek megfelelően csökken a teljesítménye is:

$$P_{(T)} = P_0 \cdot \left( \frac{T}{T_0} \right)^4.$$

A hűlés időtartamának meghatározásához integrálszámítást kell használnunk:

$$\begin{aligned} t &= \int dt = - \int_{T_0}^{T_1} \frac{K}{P} dT = - \frac{K \cdot T_0^4}{P_0} \cdot \int_{T_0}^{T_1} \frac{1}{T^4} dT = \\ &= \frac{K \cdot T_0}{3 \cdot P_0} \cdot \left( \frac{T_0^3}{T_1^3} - 1 \right). \end{aligned}$$

A  $t$  értéke  $T_1 = 1000$  K-nél körülbelül 700 000 év.

Ez azt jelenti, hogy ha a Nap az izzó gázgömb energiáját sugározná ki, akkor még 700 ezer évig sütné.

A  $T_1 \rightarrow \infty$  határérték képzésével azt az időtartamot is megkaphatjuk, ami alatt a tetszőleges nagy hőmérsékletű Nap a jelenlegi  $T_0 = 6000$  K hőmérsékletűre hűl. A megdöbbenő

$$t = - \frac{K \cdot T_0}{3 \cdot P_0}$$

érték kevesebb, mint 4 ezer év. Tehát ezen modell szerint a Nap kora kevesebb mint 4 ezer év. Ez alapján az ószövetségi történet közben keletkezett volna a Napunk. Ez nyilván ellentmond a tapasztalatnak

*Lord Kelvin* (William Thomson, 1824–1907) a 19. század nagy brit fizikusa más oldalról közelítette meg ezt a kérdést. Szerinte a Nap által kibocsátott energia a gravitációs összehúzódásból ered. A csillag teljes energiája megegyezik az öt alkotó részecskék  $E_{\text{belső}}$  kinetikus energiájának összegével, valamint a részecskék  $E_{\text{pot}}$  gravitációs potenciális energiáinak összegével:  $E = E_{\text{belső}} + E_{\text{pot}}$ . A viriál-tétel értelmében egy zárt rendszer kinetikus energiája a gravitációs potenciális energia nagyságának felével egyenlő. Vegyük figyelembe még azt is, hogy a Napot alkotó gáz adiabatikus állapotváltozást szenved. Így a teljes energiájára a következő adódik:

$$E = - \frac{3}{4} \cdot \gamma \cdot \frac{M^2}{R}.$$

Amennyiben a gázgömb összehúzódik, a teljes energiája csökken. A Nap teljes energiájának a megváltozása biztosítja a Nap energiatermelését:

$$P = - \frac{dE}{dt} = - \frac{3}{4} \cdot \gamma \cdot \frac{M^2}{R^2} \cdot \frac{dR}{dt},$$

ahonnan

$$\frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dt} = - \frac{4}{3} \cdot \frac{P \cdot R}{\gamma \cdot M^2}$$

következik. A Nap adatait behelyettesítve:

$$\frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dt} = 4 \cdot 10^{-8} \frac{1}{\text{év}}.$$

A fenti egyenletet átrendezve, valamint a Nap teljes sugarára integrálva megkapjuk azt az időtartamot, amennyi alatt a Nap elsötétül:

$$t = \int dt = \frac{1}{4 \cdot 10^{-8} \frac{1}{\text{év}}} \cdot \frac{1}{R} \cdot \int dR = 2,5 \cdot 10^7 \text{ év}.$$

Tehát, ha a Nap a gravitációs összehúzódásból nyerné energiáját, akkor a jelenlegi sugárzás mellett 25 millió év alatt sötétülne el. Lord Kelvinnek és a fizika egzaktságának olyan nagy tekintélye volt, hogy 1860-ban Darwin visszavonta a *Fajok eredetében* írt feltételezést, hisz szerinte a földi élet evolúciójához több mint 100 millió évre volt szükség.

*Thomas C. Chamberlin* (amerikai geológus, 1843–1928) 1899-ben fogalmazta meg: „Ha a fizika a Föld korára ilyen rövid időt ad meg, akkor a fizikának nincs igazsága.”

## Megoldás: radioaktív kormeghatározás

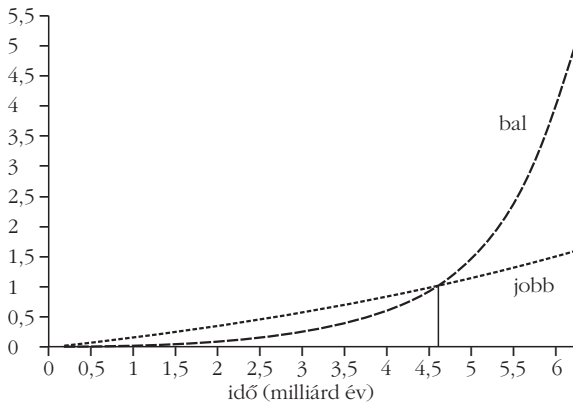
A geológusok és a fizikusok időskálája közötti nagy különbségnek a radioaktivitás felfedezése vetett véget. *Henri Becquerel* (1852–1908) francia fizikus uránnal végzett kísérletei során 1896-ban felfedezte a radioaktivitást. *Marie és Pierre Curie* 1903-ban kimutatta, hogy a radioaktivitás exoterm, azaz hőfelszabadulással járó folyamat. Az  $\alpha$ -bomlás során keletkező He a kőzet megszilárdulásakor fogságba kerül. *Ernest Rutherford* ezt felismerte, és a kőzetbe zárt hélium mennyisége alapján ásványok és kőzetek korát határozta meg (500 millió év). Ugyanebben az évben *Berttram Boltwood* megállapította, hogy az urán radioaktív bomlásának stabil végterméke az ólom. Ez alapján a kőzetek korára 410–535 millió évet kapott. Az első geológiai korszaklát *Arthur Holmes* 1913-ban állította össze (ebben az évben született Erdős Pál), amelyben a legidősebb kőzet 1600 millió éves. Mai tudásunk szerint a legpontosabb radioaktív kormeghatározás izotóparányok vizsgálatával történik.

### A Föld korának meghatározása izotóparányokból

Tételezzük fel, hogy a Föld keletkezésekor a  $^{238}\text{U}$  és a  $^{235}\text{U}$  izotópok jelen voltak, bomlástermékeik viszont hiányoztak. A  $^{238}\text{U}$  és a  $^{235}\text{U}$  bomlását használjuk fel a Föld  $T$  életkorának meghatározásához.

A  $^{238}\text{U}$  izotóp felezési ideje  $4,5 \cdot 10^9$  év. A bomlástermékek felezési ideje ehhez képest olyan rövidnek tekinthető, hogy létezésüket első közelítésben elhanyagolhatjuk. A bomlási sorozat a stabil  $^{206}\text{Pb}$  izotópban végződik. A  $^{235}\text{U}$  izotóp  $0,71 \cdot 10^9$  év felezési idővel rövid felezési idejű bomlástermékeken keresztül stabil  $^{207}\text{Pb}$  izotópot eredményez.

A Föld korának jelenlegi legjobb közelítését a *Patterson-féle* (1956) meteoritmódszer szolgáltatja. *Patterson* azt feltételezi, hogy a meteoritok a Földdel azonos őssanyagból egyidejűleg képződtek, majd a képződés után elszakadtak. Ezen meteoritok jelenlegi ólomizotóp összetétele nyilvánvalóan két tényezőtől függ: egyrészt a keletkezésük pillanatában már meglévő őslólm-összetételüktől, másrészt a keletkezésük pillanatában meglévő



1. ábra. A vizsgált exponenciális egyenlet bal és jobb oldalát, mint függvényeket közös koordináta-rendszerben ábrázoljuk. A két grafikon metszéspontjának helye az egyenlet megoldását adja.

U és Th mennyiségétől, hisz ezek is ólomizotópokat termelnek. Válasszunk ki olyan meteoritot, amelyben nincs, vagy elhanyagolhatóan kevés az U és a Th. Ez a meteorit az űsólom-izotóp összetételét őrzi.

Uránércet tömegspektrométerrel vizsgáltak. A  $^{204}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}$  és  $^{207}\text{Pb}$  izotóp relatív koncentrációjának mérése az adott atomok számának következő arányát eredményezte:  $1,00 : 29,6 : 22,6$ . A  $^{204}\text{Pb}$  izotópot használtuk referenciaként, mivel ez az izotóp nem radioaktív eredetű. Az uránmentes meteorit (tiszta ólomérc) vizsgálata a következő arányokat eredményezte:  $1,00 : 17,9 : 15,5$ .

A bomlási törvény szerint a kezdetben  $N_0$  darab U izotópból  $t$  idő múlva keletkező  $^{206}\text{Pb}$  száma:

$$^{206}\text{N} = N_0 - N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} = ^{238}\text{N} \cdot \left(2^{\frac{t}{4,50}} - 1\right), \quad (1)$$

ahol  $^{238}\text{N}$  a jelenlegi U izotópok számát jelöli. Az előzőkhez hasonlóan  $^{235}\text{U}$  izotópból  $t$  idő múlva keletkező  $^{207}\text{Pb}$  száma:

$$^{207}\text{N} = ^{235}\text{N} \cdot \left(2^{\frac{t}{0,71}} - 1\right). \quad (2)$$

Az urán-ólom keverékekben (ahol a radioaktív bomlások során folyamatosan keletkeznek ólomatomok), a különböző tömegszámú ólomizotópok számának aránya:

$$204 : 206 : 207 \Rightarrow 1,00 : 29,6 : 22,6.$$

A tiszta ólomban a megfelelő arányok:

$$204 : 206 : 207 \Rightarrow 1,00 : 17,9 : 15,5.$$

A fenti arányszámok különbségét képezve látható, hogy a radioaktív bomlásokból származó ólomizotópok aránya:

$$206 : 207 \Rightarrow 11,7 : 7,1.$$

Az (1) és (2) egyenlőségek hányadosát képezve:

$$\frac{^{206}\text{N}}{^{207}\text{N}} = \frac{^{238}\text{N}}{^{235}\text{N}} \cdot \frac{2^{\frac{T}{4,5}} - 1}{2^{\frac{T}{0,71}} - 1}.$$

Helyettesítsük be a radioaktív bomlásokból származó ólomizotópok arányát, valamint a  $^{238}\text{N} : ^{235}\text{N}$  jelenlegi  $137 : 1$  értékét!

A Föld  $T$  életkorára a következő egyenletet kapjuk:

$$\frac{11,7}{7,1} = 137 \cdot \frac{2^{\frac{T}{4,5}} - 1}{2^{\frac{T}{0,71}} - 1},$$

Vagyis

$$0,012 \cdot \left(2^{\frac{T}{0,71}} - 1\right) = 2^{\frac{T}{4,5}} - 1.$$

Feltételezve, hogy  $T \gg 4,5 \cdot 10^9$  év, a fenti formulában a zárójelekben az 1-eseket elhanyagolhatjuk, s  $T$ -t milliárd években könnyen kifejezhetjük:

$$T^* = \frac{\ln 0,012}{-0,822} = 5,38.$$

Láthatjuk, hogy ez a közelítő érték nem sokkal nagyobb, mint a hosszabb felezési idő. Tehát a kiszámítása során alkalmazott elhanyagolás nem volt jogos! Viszont felhasználható egy pontosabb  $T$  érték meghatározására. Jelöljük a Föld életkorára durva közelítésben kapott 5,38 milliárd évet  $T^*$ -gal, s az eredeti egyenlet helyett tekintsük a

$$0,012 \cdot \left(2^{\frac{T}{0,71}} - 1\right) = 2^{\frac{T^*}{4,5}} - 1$$

egyenletet. Ez zárt alakban megoldható, így  $T$ -re  $4,80 \cdot 10^9$  év adódik. Ha ezen értéket írjuk  $T^*$  helyébe,  $T$ -re még jobb közelítést,  $4,62 \cdot 10^9$  évet kapunk. Ezt a (fokozatosan közelítő) eljárást tovább folytatva az eredmények  $4,52 \cdot 10^9$  évhez konvergálnak.

Ezt a sok, kényelmetlen számolást szívesen elvégzi helyettünk a számítógép. A Mathematica program segítségével pillanatok alatt megkapjuk a fenti exponenciális egyenlet megoldását például 5 tizedesjegy pontossággal.

Megadjuk az egyenlet megoldására vonatkozó utasítást...

FindRoot[0.012 (-1+2^(T/0.71))=-1+2^(T/4.5),{T,5}]  
... és pillanatok alatt megkapjuk az eredményt:  
{T=4.56178}.

A grafikus megoldással (Excel) is kaphatunk egy közelítő megoldást (1. ábra).

(Az imént tárgyalt probléma a XXXI. Fizikai Diákolimpia [Leicester, 2000] egyik feladatáént szerepelt.)



A Föld koráról vallott elképzelések igen érdekesen változtak az elmúlt száz 400 évben. A naivitás és a feltétlen tekintélytiszteltet szülte a bibliai alig 6000 éves kort. A geológia és a biológia igényelt volna 100 millió évet, csak igazolni nem tudta. A radioaktivitás ismerete adott lehetőséget a ma helyesnek gondolt 4,5 milliárd éves életkor meghatározására.

## Irodalom

1. Marx Gy.: *Atommag-közelben*. Mozaik Kiadó, Szeged, 1996.
2. Marik M.: *Csillagászat*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1989.
3. Mészáros E.: A Geológiai idő és a Földtudományok fejlődése. *Ezredforduló* 2003/3.
4. *KöMaL* 2000/08.
5. *KöMaL* 2002/03.
6. *KöMaL* 2002/04.



# GALILEI SZEREPE A MAI, MODERN VILÁGKÉPÜNK KIALAKULÁSÁBAN – I.

Radnóti Katalin  
ELTE TTK Fizikai Intézet

Írásunkban konkrét példák elemzésével szeretnénk bemutatni, hogy a tudománytörténetnek milyen szerepe lehet a fizikaórákon. Ennek illusztrálására idézzünk néhány gondolatot az 2007-ben elfogadott Nemzeti alaptanterv *Ember a természetben* fejezetében megfogalmazottakból: „a tudomány, a tudományos kutatás, mint társadalmi tevékenység bemutatása, [...] a tudomány természetére, történetére és a kiemelkedő alkotók munkásságára vonatkozó ismeretek alakítása, [...] az előzetes elképzelések formába öntése, a hipotézisalkotás, a megfigyelések és a kísérletek tervezése, [...] tájékozódás a tudomány – technika – társadalom kölcsönhatásairól, a természettudományról, a tudomány és a tudományos megismerés természetéről” [1].

A 2006-ban lebonyolított PISA-mérés központi témája a természettudomány volt. Az eredmények elemzése azt mutatta, hogy a magyar diákoknak hiánynosságai vannak a fent említett területeken. Nem igazán tudtak válaszolni az olyan jellegű kérdésekre egy-egy konkrét példa kapcsán, mint:

- mit is jelent egy kérdést tudományos vizsgálat tárgyává tenni,
- mi a kontrollkísérlet szerepe,
- mit jelent egy vizsgálat megtervezése, majd abból következtetések levonása,
- ok-okozati viszonyok felismerése,
- mi tekinthető természettudományos bizonyítéknak?

Diákjaink nem ismerik fel a természettudományos problémákat, amelyeket tudományosan lehet vizsgálni, például kísérletet tervezni, majd elvégezni, a kapott adatokból következtetéseket levonni [2].

A tudomány történetének tanulmányozása, egy-egy felfedezés lépéseinek nyomon követése fontos szerepet tölthet be a fent említett területeken. A kiválasztott felfedezés kapcsán célszerű megvizsgálni a tanórákon (szakkör, fakultáció), hogy az milyen társadalmi környezetben jött létre, milyen addig létező elméleteket, gondolkodási rendszereket, szemléletmódot váltott fel? Milyen előzményei voltak a felfedezésnek? Hogyan, milyen módszerrel történt a felfedezés? Milyen további kutatásokat indukált, majd pedig annak következményeképp milyen változások jöttek létre magában a tudományban, illetve esetlegesen az emberiség életében? Hogyan fogadta a tudományos közösség a felfedezést? Fontos tanári feladat a reális tudománykép kialakítása a tudományos kutatásról és a kutatókról, annak bemutatása, hogy a tudomány változó rendszer. Természetes módon fordul elő, hogy egy hosszú ideig létező elméletet megcáfolnak az újabb felfedezések, és az eközben előforduló tévedések természetes velejárói a folyamatnak.

A legtöbb fizika tankönyvben szerepel *Galilei* arcképe és alatta néhány mondat, jobb esetben pár be-

kezdés életéről és munkásságáról, általában apróbetűs, kiegészítő részként. Legnagyobb felfedezése, a szabadesés leírása természetes módon tananyag már az általános iskolában.

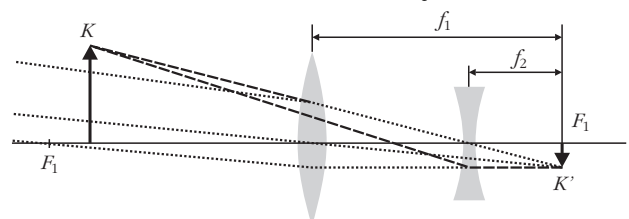
Jelen írásunkban azt mutatjuk meg, hogy a fentieknél jóval nagyobb szerepet lehetne juttatni Galilei munkássága ismertetésének, esetleg néhány „leckét” maradéktalanul alapvető gondolatai bemutatásának szentelni, hiszen ezeknek óriási jelentőségük van mai világképünk kialakulásában. A fizikaoktatás célja nem csak az, hogy képesek legyünk néhány kiválasztott jelenséget magyarázni, pár számításos feladatot megoldani; ennél sokkal fontosabb a természettudományos szemlélet bemutatása. Miként is nyúl a természettudós egy problémához, hogyan kezdi el azt vizsgálni, miként fogalmazza meg a kérdést, milyen egyszerűsítő feltételeket vezet be?

## Galilei életének főbb állomásai

Galileo Galilei 1564. február 15-én született Pisában. A család hamarosan Firenzébe költözött, Galilei már ott járt iskolába, majd 1580-ban beiratkozott a Pisai Egyetem orvostudományi karára. Egyetemi évei alatt behatóan foglalkozott matematikával is, tanulmányozta *Eukleidész* geometriáját. 1585-ben fejezte be tanulmányait, majd visszatért Firenzébe, ahol néhány tehető polgárnak adott matematikaórákat. 1589-ben a Pisai Egyetem professzora lett. 1592-ben a Padovai Egyetemen kapott katedrát, ahol a dinamika kérdéseivel kezdett foglalkozni. Itt ismerkedett meg élettársával, akitől három gyermeke született [3].

1595-ben megállapította az ingamozgás törvényszerűségeit, 1600-ban pedig felismerte a tehetetlenség törvényét, de erről részletesen csak az 1632-ben megjelent *Dialogó*ban szólt. (Ezt ma *Newton* első törvényének nevezzük.) 1609-ben elsőként végzett egy valószínűleg általa átalakított távcső segítségével csillagászati megfigyelést (magát a távcsövet az azt megelőző években holland optikusok alkották meg, s elsősorban a tengeri hajózásnál használták). Az 1609-es Galilei-féle csillagászati megfigyelések emlékére a 2009-es évet az ENSZ a Csillagászat Nemzetközi Évnek nyilvánította.

1. ábra. A Galilei-féle távcső képkalkotása





2. ábra. A Galilei által felfedezett Jupiter-holdak (Io, Europa, Ganymedes, Callisto)

A Galilei-féle (holland) távcsőben (1. ábra), illetve az egyszerű színházi távcsőben az objektív gyűjtőlencse, az okulár szórólencse. Egyenes állású látszólagos képet ad. A távcső hossza a két gyűjtőtávolság különbsége ( $L = f_1 - f_2$ ).

Szögnagyítása a tárgylencse ( $f_1$ ) és a szemlencse ( $f_2$ ) gyűjtőtávolságának hányadosa.  $N_s = f_1 / f_2$ .

Távcsővel 1610-ben felfedezte a Jupiter négy holdját (2. ábra). Ez az eredmény megerősítette hitét a kopernikuszi világgép helyességében, mert észrevette, hogy a holdak időnként eltűnnek, amit annak tulajdonított, hogy keringenek a Jupiter, mint centrum körül.

Még ugyanebben az évben felfedezte a Szaturnusz gyűrűjét és a napfoltokat. Távcsövén keresztül tisztán látta a Hold hegyeit (3. ábra). A Vénuszt is megfigyelte, és észrevette, hogy – hasonlóan a Holdhoz – különböző fázisok jellemzik. Azt is megállapította, hogy a Tejútrendszer csillagokból áll. Ezek a megfigyelések abban a korban nagy szenzációt keltettek – nem csak a művelt világ, de az utca embere is erről beszélt. Megfigyeléseit írásban is közreadta, a *Sidereus Nuncius* (Csillagok hírnöke) nagy siker volt.

#### Kis tudománytörténeti kitérő

A fénysebesség mérése a Jupiter-holdak mozgásán alapult. Römer 1676-ban a Jupiter holdjainak fogyatkozási idejét tanulmányozta. Azt mérte meg, hogy a holdak, miközben a bolygó körül keringenek, mennyi időt töltenek a bolygó árnyékában (4. ábra). Römer úgy találta, hogy amikor a Föld az ábra szerinti A helyzetben van a  $J_1$  Jupiterhez képest, illetve amikor a Föld és a Jupiter C és  $J_2$  helyzetben van, akkor különbség van a hold eltűnése és felbukkanása között, és a késések fél év alatt 1000 s-ot tesznek ki.

Ennek megmagyarázásához feltételezte, hogy a fény véges sebességgel érkezik a Jupitertől a Földre, és mivel a Föld C-ben van legmesszebb a Jupitertől, a megfigyelt késés az az idő, ami a fénynek a többlet út megtételéhez szükséges, vagyis amíg a fény a Föld pályájának átmérőjével megegyező távolságot megteszi. Ebből a mérésből (akkoriban a földpálya sugarát sem ismerték pontosan) a fénysebesség ma ismert értékénél mintegy 30%-kal kisebb értéket kapott.



Egy kor új elméletét a régi elmélet hívei általában nehezen fogadják el, sőt, mint látni fogjuk, még az új tan megalkotója sem képes mindig a teljes, zárt elmélet létrehozására-befogadására. Az arisztotelészi tanok buzgó hívei közül többen egyszerűen nem is akartak olyan tapasztalatokat szerezni, amelyek ellentmond-

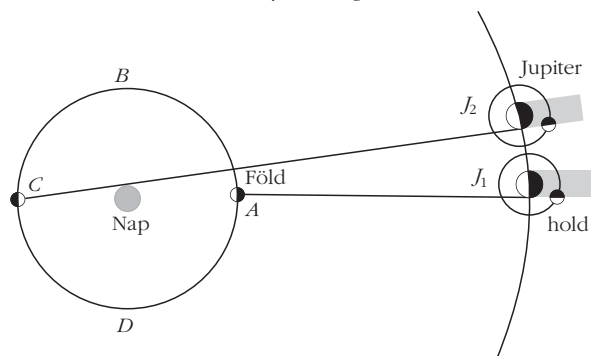


3. ábra. A Hold hegyei Galilei rajzain

hattak az elfogadott elméletnek. Akadt, aki még belepillantásra sem tartotta érdemesnek Galilei távcsövét, mondván, hogy amit az égen látni lehet, az úgyis olvasható *Arisztotelész* írásaiban, amiről viszont nem ír, az nem is létezik. De így voltak ezzel mások is: ha beillesztett az új felfedezés a Világmindenségről alkotott elképzeléseikbe, akkor elfogadták, de ha nem, akkor többnyire figyelembe sem vették azt.

Mind a ptolemaioszi, mind a kopernikuszi rendszer matematikai konstrukció. Az egyház problémája Galileivel kapcsolatban az volt, hogy *Kopernikusz* 1543-ban publikált elméletét teljes igazságként állította be, és nem csak mint egy lehetséges elméletet tárgyalta. Abban az időben a csillagászok – minden bizonynyal – nem hittek a kristályszférákban, mégis azokkal dolgoztak, ugyanis

4. ábra. Römer fénysebességmérésének elve





5. ábra. A *Discorsi* két oldala

kielégítően írták le az égitestek megfigyelhető helyzetét. A Galilei által igazságnak beállított kopernikuszi modell alátámasztásához abban az időben hiányoztak a megfelelő tapasztalatok. Amennyiben a Föld kering a Nap körül, akkor a csillagok helyzetének periodikusan változni kellett volna (parallaxis). Ez így is van, de abban a korban nem voltak olyan érzékeny módszerek a szögmérésre, hogy ezt meg lehetett volna figyelni.

Galilei nem tudott az ellenfelei számára meggyőző, elfogadható kísérleti bizonyítékokat szolgáltatni elmélete helyességének bebizonyítására. Ezért arra utasította az inkvizíció, hogy elméletét csak mint egy lehetséges hipotézist említheti. 1615-ben feljelentették az inkvizíciónál, majd 1616-ban írásban is közölték vele, hogy Kopernikusz tanait, mint kizárólagos igazságot bármilyen formában tilos tanítania, Kopernikusz könyvét pedig betiltották [4].

1624-ben fogott hozzá a *Dialogo* megírásához, amely 1632-ben jelent meg Firenzében. VIII. Orbán pápa eredetileg támogatta Galileit a könyv megírásában, Galilei ellenlábasai azonban azt sugallták a pápának, hogy Simplicio alakját a szerző magáról a Szentatyáról formálta, aki ezek után betiltatta a könyvet. Galileit a Szent Hivatal Kollégiuma elé idézték, 1633. június 22-én olvasták fel az inkvizíció ítéletét, amelynek megfelelően Galilei élete hátralévő részét egyfajta nem szigorú házi őrizetben töltötte. Az ítélet lényege azonban az, hogy egyetemen nem hirdethette tanait. Ekkor írta meg élete másik fontos művét, a *Discorsit* (5. ábra), amely 1638-ban külföldön jelent meg. Galilei könyvét részletekben csempészték ki Itáliából Leydenbe. Írásunk további részében eredeti idézetekkel mutatjuk be ezt a két korszakalkotó könyvet [5].

## A Dialogo és a Discorsi felépítése

Galilei mindkét könyvében lépésről lépésre vezet az olvasót [6, 7]. A könyvek tudománytörténeti érdekessége mellett didaktikai mondanivalójára is érdemes felfigyelni. Bennük három ember beszélget négy-négy napon keresztül, és a beszélgetésekben ráismerhetünk az oktatásban is használatos kérdve kifejtő, valamint a felfedezettő módszerre. Minden napnak más-más a témája.

Nagyon fontos a beszélgetések szerepe, a különböző nézőpontok számbavétele az oktatásban is. Ez kicsit hasonló ahhoz, amelyet napjaink egyik divatos pedagógiai elmélete, a konstruktivizmus hirdet. A beszélgetések segítenek a meglévő előzetes tudás felszínre hozásában, majd pedig az új tudás megkonstruálásában, amely jelen esetben a kopernikuszi világképet, illetve a gyorsuló mozgás leírását jelenti.

A három beszélgető partner: *Salviati*, aki valójában Galilei érveit, felfedezéseit mondja el; *Sagredo*, a pártatlan beszélgetőpartner és *Simplicio*, aki az arisztotelészi nézeteket képviseli. A szerző vele szerkeszteti meg a kopernikuszi elképzelést.

A beszélgető partnerek közül kettő valódi személy volt, Galilei tanítványai és barátai. *Filippo Salviati* (1582–1614) előkelő firenzei patrícius volt, Galilei lakott is nála, amikor Firenzébe költözött, hogy a herceg szolgálatába álljon. *Giovanfrancesco Sagredo* (1571–1620) pedig velencei nemes volt, Galilei a Padovai Egyetemen tanította. Valójában Simplicio alakja is kapcsolatba hozható egy, a 6–7. században élt *Simplicio* nevű Arisztotelész kommentátorral. A könyvek címodalain Galilei hivatkozik arra is, hogy ő az Accademia dei Lincei tagja, amelyet az 1630-ban meghalt *Cesi* herceg alapított, és halála után már nem működött, de Galilei mégis élete végéig büszkén használta a címet.

## Szemelgetés a Dialogóból

A mű teljes címe: *Párbeszéd a két legnagyobb világregszerről, a ptolemaiosziról és a kopernikusziról* (6. ábra). A könyv óriási jelentősége az, hogy a tudományt ideológiává léptette elő. Olasz nyelven íródott, hogy a „művelt nagyközönség” és a „nép” fiai közül is minél többen olvashassák. A könyv Toszkána nagyhercegéhez szóló ajánlással kezdődik, majd az olvasóhoz írott előszavával folytatódik. Ezekben leszögezi könyve fő témáját, a kopernikuszi és a ptolemaioszi rendszer pártatlan összehasonlítását érvek és ellenérvek felsorakoztatásával, amelyben Galilei, a szerző nem kíván állást foglalni. Könyvében több esetben le is írja: „A döntést azonban mások ítéletére bízom.” A könyvből vett idézeteket *Zemplén Jolán* fordításában közöljük.

Vázlatosan nézzük végig az egyes napok témáit, kiemelve azokat, amelyek az oktatás számára is érdekesek lehetnek, illetve a későbbi műben leírtak gondolati előfutárainak tekinthető részeket!

Az *első nap* beszélgetései során fogalmazza meg Sagredo a *sebesség-idő* „függvényt”, a sebességet, mint egy folytonosan változó mennyiséget, amely fontos lépés lesz majd a szabadesés leírásában. A jelenség a következő: egy ágyúgolyót lőnek ki a talajra merőlegesen a magasba, vagyis függőleges hajtásról van szó.

„A szóban forgó ágyúgolyó, még mielőtt végleg elérné a nyugalom állapotát, átmegy az egyre nagyobb lassúság minden fokán, következésképp olyan fokán is, amellyel ezer év alatt sem tudna megtenni egy

araszt sem. Ha azonban ez így van – márpedig így van – nem szabad csodálkoznod rajta, ha a lefelé való visszatéréskor ugyanez a golyó a nyugalom állapotából kiindulva, úgy éri el ismét a sebességét, hogy a lassúság fenti fokozatain ismét átmejj, amelyeken felfelé való mozgása során átment, nem pedig úgy, hogy a lassúság minden magasabb fokát, amelyek a nyugalom állapotához közelebb vannak, kihagyja és ugrásszerűen átmejj egy távolabbira.”

Még ezen a napon beszélgetnek a *nappoltokról* is, amelyek létezésében Galilei kortársai közül sokan kételkedtek, a távcső okozta tévedésnek, illetve atmoszférikus zavaroknak tartva azokat, vagy a Nap előtt keringő kis égitesteknek. Galilei azonban megmutatja, hogy ezeknek a Nap felületén kell lenniük. Erre a gömbfelületen való mozgásukból következtet, amellyel egyben felfedezi a Nap saját tengelye körüli forgását is. Ezt követően a *Hold alakját* beszélik meg, hogy azon hegyek és síkságok is vannak, hasonlóan, mint a Földön. Tehát valószínű a feltevés, hogy a Föld is égitest.

A második napon következik a *Föld forgómozgásának* részletes tárgyalása, amely sokak számára elképzelhetetlen volt abban az időben. Ugyanis nem értették, hogy ha a Föld forog, akkor miért nem repülnek le róla a tárgyak. Ez számunkra már természetes. Mi már tudjuk, hogy a Föld forgásából adódó centrifugális gyorsulás értéke több nagyságrenddel kisebb, mint a nehézségi gyorsulás értéke. A nehézségi gyorsulás  $9,81 \text{ m/s}^2$ , míg a centrifugális még az Egyenlítőn is csupán  $0,037 \text{ m/s}^2$ . De ezt Galilei még nem tudta így bemutatni. Érdekességként megemlíti *Bolyai Farkas* számítását, hogy a Földnek 17-szer kellene gyorsabban forognia ahhoz, hogy az egyenlítőn súlytalanok legyenek a tárgyak, amint ez a *Fizikai Szemle* 2007/8-as számában olvasható [8].

A beszélgetés során Sagredo mondja el, hogy ahhoz, hogy a Föld nyugalomban maradjon, az egész Világegyetemnek kellene mozognia. A beszélgetések közt nyilvánvalóvá teszi, hogy ő, mármint Galilei, nincs Arisztotelész ellen, hanem az nem tetszik neki, hogy régi írásait dogmaként tisztelik. Szerinte, ha Arisztotelész értesülne az új csillagászati felfedezésekről, akkor minden bizonnyal megváltoztatná véleményét és kiigazítaná könyveit. „Követői ruházták fel Arisztotelészt tekintéllyel, ő nem követelt vagy tulajdonított önmagának tekintélyt.” Sőt, Galilei kifejezetten büszke arra, hogy ő ismeri Arisztotelészt, a peripatetikusok gondolkodását. Ezt sok esetben ki is használta életében a viták során, mivel ellenzőit úgy „győzte le”, hogy éppen saját gondolkodásuk ellentmondásos voltára világított rá. Ezt persze sokan rossz néven vették. Vannak, akik azt gondolják, hogy Galileinek ez a kellemetlen vitastílusa vezethetett végül is ahhoz, hogy perbe fogták.

Ezen a napon beszélnek meg azt a híres jelenséget is, hogy a *torony mellett feldobott kő* amikor leesik, akkor is szorosan a *torony mellett esik le*. Majd Salviati elmondja, hogy a Földdel kapcsolatos jelenségek az egyenesen mozgó hajóval analóg módon játszódhatnak le.

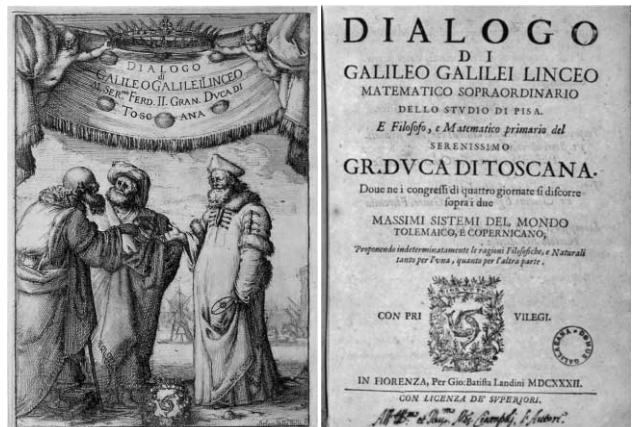
A beszélgetések során felvetődik a *tehetetlenség kérdése* is, amelyet a lejtőn legördülő testekkel kapcsolatban beszélnek meg. Eszerint „a súlyos test önként legördül egyenesen gyorsuló állandó mozgással, és ahhoz, hogy megállítsuk, erőt kell kifejteni; az emelkedő lejtőn pedig viszont ahhoz kell erő, hogy felfelé mozogjon...” A gondolat úgy folytatódik, hogy amennyiben síkon mozog a test, akkor mozgása állandóan tart. „Tehát egy hajó, amely a nyugodt tengeren halad, olyan test, mely egy se nem ereszkedő, se nem emelkedő felületen mozog, amilyenről szó volt. Arra törekszik tehát, hogy ha minden támadható külső akadályt eltávolítottunk, a vele egyszer közölt kezdősebességgel folytonosan és egyenesen mozogjon.”

Már Galilei felismerte, hogy vannak olyan vonatkoztatási rendszerek, amelyekhez viszonyítva nem tudjuk megmondani azt, hogy maga a rendszer nyugvó-e, vagy pedig egy másik hasonló rendszerhez képest egyenes vonalú egyenes mozgást végez. Ez a híres Galilei-féle *relativitási elv*.

„Zárkózzál be egy barát társaságában egy nagy hajó fedélzete alatt egy meglehetősen nagy terembe. Vigyél oda szúnyogokat, lepkéket és egyéb röpködő állatokat, gondoskodjál egy apró halakkal telt vízedényről is, azon kívül akassz fel egy kis vödört, melyből a víz egy alája helyezett szűk nyakú edénybe csöpög. Most figyelj meg gondosan, hogy a repülő állatok milyen sebességgel röpködnek a szobában minden irányba, míg a hajó áll. Meglátod azt is, hogy a halak egyformán úszkálnak minden irányban, a lehulló vízcseppek mind a vödör alatt álló edénybe esnek. Ha társad felé hajtasz egy tárgyat, mind az egyik, mind a másik irányba egyforma erővel kell hajtani, feltéve, hogy azonos távolságról van szó. Ha, mint mondani szokás, páros lábbal ugrasz, minden irányba ugyanolyan messzire jutsz. Jól vigyázz, hogy mindezt gondosan megfigyeld, nehogy bármi kétely támadhasson abban, hogy az álló hajón mindez így történik.

Most mozogjon a hajó tetszés szerinti sebességgel: azt fogod tapasztalni – ha a mozgás egyenes és nem ide-oda ingadozó –, hogy az említett jelenségek-

6. ábra. A *Dialogo* címoldala és belső címlapja



ben semmiféle változás nem következik be. Azoknak egyikéből sem tudsz arra következtetni, hogy mozog-e a hajó, vagy sem. Ha ugrasz, ugyanakkora távolságra fogsz jutni, mint az előbb, és bármilyen gyorsan mozog a hajó, nem tudsz nagyobbat ugrani hátrafelé, mint előre: pedig az alattad levő hajópadló az alatt az idő alatt, míg a levegőben vagy, ugrásoddal ellenkező irányban elmozdul előre. Ha társad felé hajítasz egy tárgyat, nem kell nagyobb erővel hajítanod, ha barátod a hajó elején tartózkodik, mint akkor, amikor hátul van. A cseppek éppen bele fognak hullani az alsó edénybe mint előbb, egyetlen egy sem fog az edény mögé esni, pedig az, míg a csepp a levegőben van több hüvelyknyi utat tesz meg. A halaknak sem kell az edényben nagyobb erőt kifejteni, hogy az edény elejére úszhassanak, és ugyanolyan könnyedséggel fognak táplálék után menni, ha az az edény bármely részén van is. Végül a szúnyogok és lepkék is különbség nélkül fognak bármely irányba repkedni. Sohasem fog előfordulni, hogy a hátsó falhoz nyomódnak, mintegy elfáradva a gyorsan haladó hajó követésétől, pedig míg a levegőben tartózkodnak, el vannak választva tőle. Ha egy szem tömjént elégetünk, egy kevés füst képződik, mely felszáll a magasba és kis felhő gyanánt lebeg ott, és nem mozdul el sem az egyik, sem a másik irányba. A jelenségek ez egyformaságának az az oka, hogy a hajó mozgásában minden rajta levő tárgy részt vesz, beleértve a levegőt is.”

Majd ezután a *harmadik* napon következik a *Föld Nap körüli keringésének* bemutatása, a kopernikuszi modell felvázolása, amelyet Simplicio tesz meg Salviati kérdéseire adott válaszai segítségével. Belátja, hogy a Merkúr és a Vénusz csak a földpályán belül keringhet, míg a többi bolygó pályájának a földpályán kívül kell lennie. A „belső” bolygók nem távolodnak el a Naptól jobban, mint körülbelül  $40^\circ$ , fázisaik vannak, továbbá sohasem kerül a bolygó a Nappal szembe. Ellenben a „külső” bolygók oppozícióba is kerülnek a Nappal, tehát szükségszerűen körülveszik a Föld pályáját. Felmerül természetesen az a kérdés, hogy a Föld eme mozgása miért nem látható az égbolton a csillagok helyzetében (parallaxis), és ezt miért nem figyelték még meg. Erre Galilei válasza csak annyi, hogy ezek nem feltűnő változások.

Érdekes, hogy Galilei mindenhol kifejezetten a bolygók körpályáiról beszél, és hogy ezek középpontjában a Nap található. A bolygók mozgásánál nála csak az egyenletes körmozgás jöhetett szóba. Holott Kopernikus is tudta, hogy ez nem írja le jól a tapasztalatot. És különösen, hogy *Kepler* 1. és 2. törvénye közel negyed százada ismert volt már akkor. Levezettek is, Kepler küldött Galileinek könyvéből. Galilei ráadásul úgy állította be a fent említett egyszerűsített kopernikuszi modellt, mintha az lenne a bizonyított teljes igazság. A tudománytörténet egyik nagy kérdése, hogy miért? *Arthur Koestler* szerint ez egyszerűen tudományos csalás. De lehet, hogy a „nép” számára bevezetett egyszerűsítés? *Simonyi Károly* azt tartja inkább valószínűnek, hogy Galilei itt is úgy gon-

dolkodhatott, mint a szabadesésnél, amelyet a *Dialogóban* fejtett ki, hogy a légellenállás, mint zavaró tényező másodrendű és elhanyagolható, nem érinti a dolog lényegét. Valójában Galilei számára az egyenletes körmozgás volt a „tökéletes”, és ezért nem tudta elfogadni az ellipszispálya gondolatát. Keplert pedig nem tartotta sokra.

Azt gondolom, hogy a fenti lépések az iskolai oktatás során sem takaríthatók meg.

A *negyedik* napon az *árapályjelenségeket* beszélnek meg. Galilei azt állítja, hogy egyetlen olyan jelenség van a Földön, melyet kizárólag a Föld Nap körüli keringésével, vagyis a kopernikuszi rendszerrel lehet magyarázni, és ez az árapály jelensége. A könyvnek ez a része rendkívül fontos a per szempontjából is. Galilei Simplicio szájába adta ugyanis a következőket: „... természetfeletti jelenségről van szó, tehát csodáról, amely kifürkészhetetlen az emberi szellem számára, mint sok egyéb dolog is, amelyet Isten mindenható keze mozgat.” Ugyanis ezek a szavak tulajdonképpen VIII. Orbán pápa véleményét tükrözik, amelyet egy beszélgetés alkalmával mondott el Galileinek.

Ebben a fejezetben érhetjük tetten Galilei Kepler iránti ellenszenvének egyik megnyilvánulását is. Ugyanis Kepler az árapály jelenséget a Hold tömegvonzásaként értelmezte, amelyet Galilei teljes mértékben elutasított.

„... jobban csodálkozom Kepleren, mint bárki más. Hogyan is tudott egy olyan szabadgondolkodású és átható éleslátással megáldott ember, mikor a Föld mozgásáról szóló tan már a kezében volt, eltűnni és méltányolni olyan dolgokat, mint a Hold uralma a víz felett, s a rejtett tulajdonságok, amelyek nem egyebek gyermekségekénél?”

A tömegvonzás első gondolata Keplernél merült fel, melyet az *Astronomia Nova* bevezetésében (idézi Koestler [4]) írt le:

„Ha két követ bárhol az űrben, ahol semmiféle harmadik test nem hat rájuk, egymás közelébe helyezünk, a két kő egymás felé fog közeledni, s találkozni fognak – akárcsak a mágnesek – egy közbelső pontban, mely a kövek tömegével arányosan a súlyosabbikhoz lesz közelebb.”

## Irodalom

1. *Nemzeti alaptanterv 2007.*
2. Balázi Ildikó, Ostorics László, Szalay Balázs: *PISA 2006. összefoglaló jelentés.* Oktatási Hivatal, Budapest, 2007.
3. Simonyi Károly: *A fizika kultúrtörténete.* Gondolat Kiadó, Budapest, 1978.
4. Koestler, Arthur: *Alvajárók.* (ford.: Makovecz Benjamin) Európa Könyvkiadó, Budapest, 1996.
5. Vekerdí László: *Így él Galilei.* Typotex Elektronikus Kiadó, Budapest, 1997. (valamint: mek.oszk.hu)
6. Galileo Galilei (1632): *Párbeszéd. A két legnagyobb világrendszerről a ptolemaiosziról és a kopernikusziról.* (ford.: M. Zemplén Jolán) Kriterion Könyvkiadó, Bukarest, 1983.
7. Galileo Galilei (1638): *Matematikai érvelések és bizonyítások két új tudományág, a mechanika és a mozgások köréből.* (ford.: Dávid Gábor, jegyzetek: Gazda István, Pesthy Mónika, utószó: Vekerdí László) Európa Könyvkiadó, Budapest, 1986.
8. Gündischné Gajzágó Márta: Mit tanított Bolyai Farkas a gravitációról? *Fizikai Szemle* 57/8 (2007) 266–272.

# A TORRICELLI-KÍSÉRLET

Szabó László Attila, Batsányi János Gimn. és Szakközépiskola, Csongrád  
Szittyai István, Németh László Gimn. és Ált. Iskola, Hódmezővásárhely  
Sükösd Csaba, BME, Nukleáris Technika Tanszék

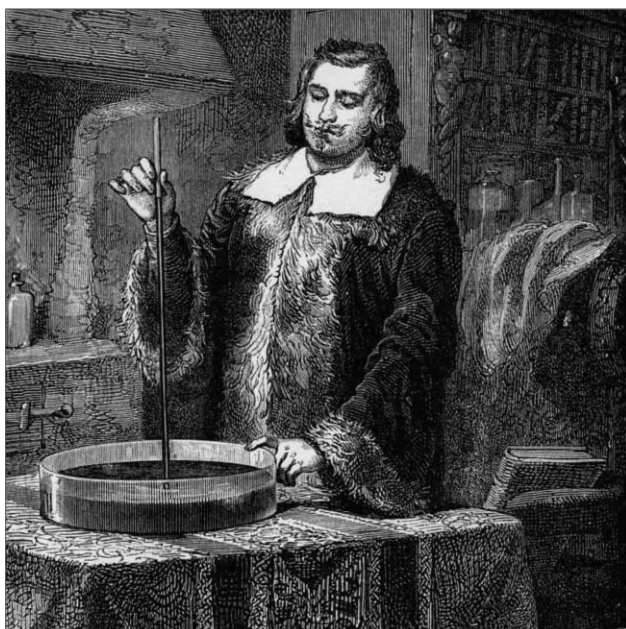
2008. augusztus 16–24. között magyar fizikatanárok egy újabb csoportja látogatott el a CERN-be egyhetes továbbképzésre. Az út előtt, alatt és után *Torricelli* kísérletét több alkalommal is elvégeztük, mint ahogy azt a korábbi években a továbbképzésen résztvevő tanársoportok is tették. Ez alkalommal azonban egy újabb ötlet nyomán a kísérlet elvégzésekor más módszert is kipróbáltunk. Ez indokolja, hogy ismét beszámoljunk erről a kísérletről.

Manapság Torricellinek (1. ábra) szokás tulajdonítani a barométer elvének fölfedezését, ugyanakkor vitatható az elsőbbsége, és a pontos időpont is kérdéses. Az ok egyszerű: a barométer a vákuum létezésének igazolására irányuló erőfeszítések közben született mint „melléktermék”. Az arisztotelészi világbkép egyik fontos eleme, a vákuum létezésének tagadása a 17. században került újra előtérbe, amikor a kor nagy elméi közül többen is vákuumot véltek létrehozni. *Beeckman* már 1618-ban megállapította, hogy a vízszivattyú csövében a víz csak 18 könyök (kb. 10 méter) magasságig emelkedik és ezt azzal magyarázta, hogy a levegő csak eddig nyomja föl.

A század 30-as éveiben a firenzei szökőkutak építői ugyanezt tapasztalták, és állítólag ők fordultak *Galilei*hez a kérdéssel. Érdekes, hogy például *Descartes* a jelenség okát – helyesen – a légnyomásban látta, ám a vákuum létezését még tagadta.

Bár a „horror vacui” korábban is foglalkoztatta (mérési elrendezést is javasolt annak mérésére), *Galilei* nem tudott elszakadni a dogmáktól és részben

1. ábra. Evangelista Torricelli

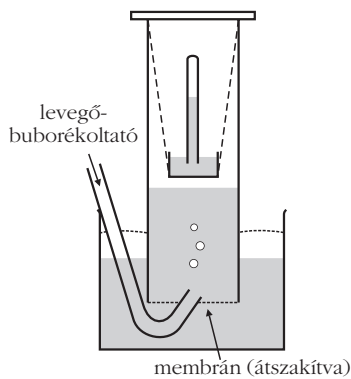


helytelen magyarázatot adott. Megosztotta viszont a problémát kortársaival, így jutott el a kérdés *Gasparo Berti*hez Rómába, aki 1639-ben komoly kísérletezésbe fogott. *Rafael Magiottival* egy 36 láb magas ólomcsövet erősítettek egy épülethez, megtöltötték vízzel (2. ábrán jobbra, fönt), felső végét lezárták, alsó végét vízbe állították. A víz egy része kifolyt, de körülbelül 34 láb magas vízoszlop a csőben maradt (ez a magasság jó egyezésben volt a firenzei tapasztalatokkal). Heves vitákat váltottak ki azzal, hogy azt állították: a csőben a víz fölött vákuum van [1].

*Galilei* utóda a toszkánai herceg udvari tudósaként *Evangelista Torricelli* lett, aki tovább vizsgálta a problémát. Ő már nemcsak vákuumot akart létrehozni, hanem bizonyítani akarta, hogy a vízoszlopot a légnyomás tartja meg. 1643–44-ben *Vivianival* elvégezték azt a kísérletet (2. ábrán az alsó sorban), amelyet ma mindannyian Torricelli-kísérletként ismerünk. Víz helyett higanyal dolgoztak, mivel (jól) sejtették, hogy a folyadék sűrűségének fontos szerepe van. Másrészt üvegcsővel, ami lehetővé tette, hogy a jelenség jól látható legyen. A higanyszál körülbelül 76 cm-nél állt meg, a higany feletti

2. ábra. Gaspar Schotti: *Technica Curiosa* (Würzburg, 1664.) könyvének címlapja és a benne szereplő római Berti-kísérlet (jobbra fönt), valamint Torricelli és Viviani kísérlete higanyal (alsó sor).





3. ábra. Pascal: „űr az űrben”

úgynevezett Torricelli-űr a következő évtized legszenvedélyesebb vitáinak tárgya lett. Mind a mibenléte, mind az oka megosztotta a korabeli tudósokat: vákuum vagy sem, illetve légnomás vagy a horror vacui? A jelenség alapos vizsgálata és tudományos közkinccsé tétele *Pascal*nak köszönhető.

Pascal egyik híres kísérlete az „űr az űrben” (3. ábra) döntő bizonyítékot szolgáltatott arra, hogy a jelenséget a levegő nyomása okozza [2]. A folyadék sűrűségétől való függést is ő mutatta be vízzel és vörösborral. Egy mozgatható hajóárbochoz erősített két csövet. Az egyiket vízzel, a másikat vörösborral töltötte meg, majd felvette a kérdést az 500 főnyi tömegnek: Melyik folyadék fog mélyebbre süllyedni? A nyilatkozók legtöbbször a vörösbor mellett szavazott, mondván, hogy abban több a „szellem”, és így a Torricelli-űrben nagyobb nyomást fog kifejteni. A kísérletben – a többség várakozásával el-

4. ábra. A világ jelenlegi legnagyobb „vizes” barométere



lentében – a víz süllyedt mélyebbre. A jelenség magasságfüggésének kimutatása is Pascal nevéhez fűződik: útmutatásai alapján sógora, *Perier* 1648-ban a kísérletet gondosan elvégezve a Puy de Dôme hegyen és a hegy lábánál, 8 cm magasságkülönbséget tapasztalt [3]. Megemlítendő, hogy Pascal is kísérletezett vízzel telt csővel (1646), rajta kívül még *Otto von Guericke* állított föl egy ilyen szerkezetet magdeburgi házábanál 1654-ben.

Érdekességképpen megemlítjük, hogy a világ jelenlegi legnagyobb „vizes” barométere (4. ábra) Ausztráliában működik, látványosságként. *Bert Bolle* valósította meg régi álmát a megépítésével [4]. 2007 augusztusában nyitották meg a nagyközönség számára. Ciklikusan működik: egy számítógép által vezérelt vákuumpumpa „emeli föl” a vizet a csőben, 2 perc alatt 55 litert. 5 perc után levegőt engednek a csőbe, a víz lefolyik a tartályba, majd minden kezdődik előlről [5].

## Torricelli kísérlete vízzel, hagyományos módon

A fent említett kísérletek közül hármat elvégeztünk a CERN-i kirándulás alatt. A kísérlethez egy 11 m hosszú, 8 mm belső átmérőjű, 1 mm falvastagságú átlátszó műanyag csövet használtunk. A cső egyik végére egy üvegcsövet erősítettünk. Ennek csak annyi szerepe van, hogy így könnyebb a cső végét gumidugóval lezárni. A cső másik végét egy pillepalackban rögzítettük, amiben kálium-permanganáttal festett ioncserélt víz volt. Az elrendezést szivornyaként működtetve könnyen elérhető, hogy a csövet a folyadék buborékmentesen töltsük ki. Az üvegcső végét bedugaszoltuk. Ezután spárgát kötöttünk rá, amivel függőleges helyzetbe tudtuk hozni. Lassan emelve a csövet

5. ábra. A forrásban lévő – buborékoló – festett desztillált víz a műanyag csőben (balra) és a Torricelli-kísérlet helyszíne, egy tűzlépcső a CERN-ben (jobbra)





6. ábra. Pascal boros kísérletének utolsó fázisa: a kékfrankos elfogyasztása (balra), és a légnyomás magasságfüggésének igazolása a francia Alpokban (jobbra)

körülbelül 7 méteres magasságnál észrevehető, hogy a víz forrásba jön (5. ábra bal oldala).

Mi a CERN-ben egy tüzlépcsőn (5. ábra jobb oldala) körülbelül 10 méter magasra húztuk fel a cső végét. Ekkor pár percet vártunk, hogy a forrás csillapodjon. Ezután lemértük a folyadékoszlop magasságát: 938 cm-t kaptunk. Természetesen most a víz felett nem vákuum van, hanem a víz telített gőze és a vízből kiforrt oldott gázok. A telített gőz nyomása táblázatból kinézhető, de az oldott gázok nyomását nem lehet tudni. E tényező zavaró hatását úgy próbáltuk csökkenteni, hogy a folyadékfelszín alatt pár cm-rel elszorítottuk a csövet, majd emeltünk rajta. Megint forrásba jött a víz, de már koránt sem olyan hevesen, mint az előbb. Néhány perc elteltével a folyadékoszlop magassága 959 cm volt. A mérést szép napos időben végeztük, 25 °C volt a hőmérséklet. Mérésünkéből a légnyomásra 972,45 hPa adódott.

$$\begin{aligned}
 p &= p_{\text{vízoszlop}} + p_{\text{vízgőz}} = \rho_{\text{víz}} \cdot g \cdot h + p_{\text{vízgőz}} = \\
 &= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 9,59 \text{ m} + 3167,5 \text{ Pa} = \\
 &= 97245,4 \text{ Pa}.
 \end{aligned}$$

Az egyik kollégánknál lévő GPS 1030 hPa-t mutatott. Mi ennél 5,5%-kal kevesebbet mértünk.

A kísérletet többször elvégeztük – Magyarországon is –, a hiba minden esetben 5–6% körüli volt, és *mindig kevesebbet mértünk a valódi értéknél*.

## Pascal-kísérlet

Augusztus 20-án Pascal „boros” kísérletét is elvégeztük. Csövünket Csongrádi Kékfrankossal töltöttük fel, egyébként mindent ugyanúgy végeztünk, mint a „vizes” kísérletben.

Mi – Pascallal ellentétben – azt az eredményt kaptuk, hogy a féledes vörösbor mélyebben állapodott meg (828 cm), mint a víz. Talán a mi borunkban tényleg volt szellem?

Ha csak a vörösbor sűrűségét vennénk figyelembe – ami méréseink szerint  $990 \text{ kg/m}^3$  –, akkor tényleg a

bornak kellene magasabban állnia. De a másik két tényezőt sem szabad figyelmen kívül hagyni: a bor telített gőzének és a belőle kiforrt gázoknak a nyomását. Esetünkben ezek okozhatták azt, hogy alacsonyabb folyadékoszlopot mértünk. A sikeres mérést és az Államalapítást a kísérleti folyadék elfogyasztásával ünnepeltük meg (6. ábra bal oldala).

## A légnyomás magasságfüggésének igazolása

A légnyomás magasságtól való függését is igazoltuk. A kísérletet augusztus 25-én a Mont Blanc mellett, az Aiguille du Midi csúcson végeztük (6. ábrán jobbra). Ez 3842 méterrel emelkedik a tengerszint fölé. A levegő hőmérséklete a napos oldalon, ahol a mérést végeztük, 2 °C volt. (Árnyékban fagyponthoz alacsonyabb hőmérséklet.)

A vízoszlop magassága 611 cm volt. Ebből kiszámítható a légnyomás. Ha a telített vízgőz nyomását 700 Pa-nak vesszük, akkor a légnyomás 60639,1 Pa. Sajnos a GPS képtelen nyomásértéket mutatott, ezért eredményünket nem tudtuk összevetni a valós nyomásértékkel. A barometrikus magasságformulából kiszámítható, hogy ebben a magasságban a légnyomás:

$$\begin{aligned}
 p &= p_0 \cdot \exp\left(-\frac{\rho \cdot g \cdot h}{p_0}\right) = \\
 &= 101325 \text{ Pa} \cdot \exp\left(-\frac{1,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3842 \text{ m}}{101325 \text{ Pa}}\right) = \\
 &= 62475,23 \text{ Pa}.
 \end{aligned}$$

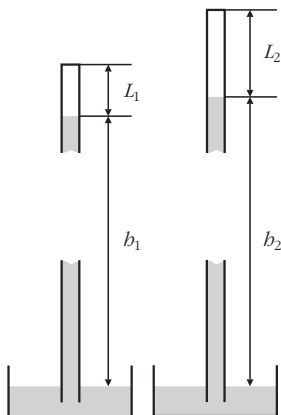
Ha ehhez az értékhez hasonlítjuk mérésünket, akkor 3%-os eltérést kapunk.

## Torricelli kísérlete módosítva

A fentiekből látszik, hogy a légnyomás meghatározásának legnagyobb bizonytalansága onnan ered, hogy nem tudjuk pontosan a folyadékoszlop fölött lévő gáz (vízgőz és a kiforrt gázok) nyomását.

Sükösd Csabának volt egy ötlete arra, hogyan lehetne *megmérni* a folyadékoszlop fölött lévő gáz nyomását, és így még pontosabban meghatározni a légnyomást. Nemcsak azt mérjük meg, hogy mekkora a vízoszlop magassága, hanem azt is, hogy mekkora a vízoszlop fölött lévő gáztér nagysága. Ez utóbbit változtatni is tudjuk azzal, hogy a csövet valamivel magasabbra emeljük, vagy mélyebbre süllyesztjük (7. ábra). Ha ebben a térben vákuum lenne, akkor a vízoszlop magassága nem változna meg attól, hogy a vízoszlop fölött mekkora térfogat van. A valóságban azonban változik, mégpedig azért, mert a vízoszlop fölé a vízből kiforrt gáz és vízgőz került. Adott hőmérsékleten az oda szorult anyag mennyiségét két érték, a térfogat és a nyomás meghatározza. A térfogatot ismerjük, a nyomást viszont nem (éppen ez lesz az,





7. ábra. A módosított Torricelli-kísérlet

amivel korrigálni kell majd a vízoszlop magasságát). Két méréssel, két különböző hosszúságú „üres” szakasszal, azonban a keresett gázmennyiség – és ezzel annak nyomása is – meghatározható. Közben persze feltesszük, hogy a két mérés között bekövetkező nagyon kis nyomásváltozás már nem befolyásolja lényegesen a vízből a gáztérbe kilépő anyag mennyiségét, azaz *a víz fölött lévő gáz mennyisége állandó*.

Két mérést végzünk. Az első kísérletben a vízoszlop magasságát jelöljük  $b_1$ -gyel, a folyadék fölött lévő gáztér „hosszát” pedig  $L_1$ -gyel. A második kísérletben a hasonló mennyiségek  $b_2$ , illetve  $L_2$ .

A gáztérben lévő gázt ideális gáznak feltételezve a gáz nyomására kapjuk (mindkét kísérletre igaz a megfelelő indexekkel):  $p_g \cdot L \cdot A = N \cdot k \cdot T$ , (itt  $A$  a cső keresztmetszete). Ebből átrendezve adódik:

$$p_g \cdot L = N \cdot \frac{k \cdot T}{A} = C = (\text{konstans}). \quad (1)$$

A két kísérletben a nyomások egyenlősége:

$$\begin{aligned} \rho \cdot g \cdot b_1 + p_{g1} &= p_{\text{atm}}, \\ \rho \cdot g \cdot b_2 + p_{g2} &= p_{\text{atm}}. \end{aligned} \quad (2)$$

Itt  $p_{\text{atm}}$  a külső levegő mérendő nyomása.

Helyettesítsük be most az (1) egyenletből a gáz két állapotbeli nyomását!

$$\begin{aligned} \rho \cdot g \cdot b_1 + \frac{C}{L_1} &= p_{\text{atm}}, \\ \rho \cdot g \cdot b_2 + \frac{C}{L_2} &= p_{\text{atm}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Ezekben az egyenletekben két ismeretlen van,  $C$ , és  $p_{\text{atm}}$ . A felső egyenletet  $L_1$ -gyel, az alsót  $L_2$ -vel megszorozva, és a két egyenletet egymásból kivonva  $C$  kiejthető, és kapjuk:

$$\rho \cdot g \cdot (b_1 L_1 - b_2 L_2) = p_{\text{atm}} \cdot (L_1 - L_2),$$

amiből végül

$$p_{\text{atm}} = \rho \cdot g \cdot \frac{b_1 L_1 - b_2 L_2}{L_1 - L_2} \quad (4)$$

adódik.



8. ábra. A módosított Torricelli-mérés a csongrádi Batsányi János iskola aulájában

A mérést Csongrádon, a gimnázium aulájában végeztük el diákok segítségével (8. ábra).

A már leírt módon megtöltöttük a csövet festett vízzel. Ezután a mérőszalagot a cső végéhez erősítettük, így húztuk fel a csövet körülbelül 9 méter magasra. Megvártuk, hogy a forrás lecsendesedjen, közben a cső falát folyamatosan ütögettük, hogy a rajta lévő buborékok leváljanak. Ezután lemértük a folyadékoszlop és a gáztér hosszát. Feljebb húztuk a csövet, és gyorsan megint leolvastuk az adatokat. Az eljárást még egyszer megismételtük. A méréseink eredményeit az 1. táblázat tartalmazza.

A (4) képletbe beírva az első két mérés eredményeit ( $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ), a légnyomásra

$$p_{\text{atm1}} = 97330,29 \text{ Pa}$$

értéket kapjuk. Ha a (4) képletbe az 1. táblázat utolsó két sorának eredményeit írjuk, akkor:

$$p_{\text{atm2}} = 97595,49 \text{ Pa}$$

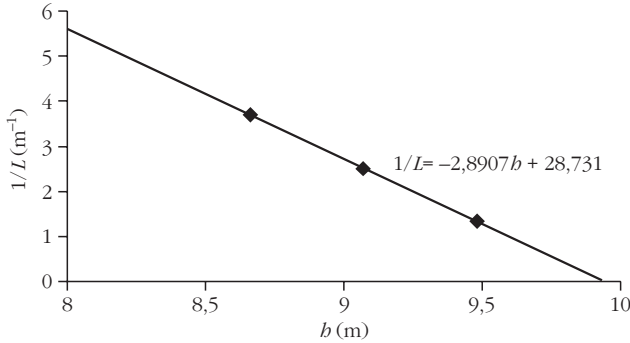
Vegyük e két nyomásérték átlagát:

$$p_1 = \frac{p_{\text{atm1}} + p_{\text{atm2}}}{2} = 97462,89 \text{ Pa}.$$

Ezeket az eredményeket az épület tetején lévő meteorológiai állomás barométerének (meteo.bjg.hu) adataival vetettük össze. A mérés közben a légnyomás 1003,3 hPa volt.

Mivel három mérési pontunk van, így azt is ellenőrizhetjük, hogy a különböző mérések között a gáztérben lévő anyag mennyisége nagyjából állandó. Ha

1. táblázat			
A módosított Torricelli-kísérlet eredményei			
	$b$ (m)	$L$ (m)	$1/L$ (m <sup>-1</sup> )
1. mérés	8,66	0,27	3,70
2. mérés	9,07	0,40	2,50
3. mérés	9,48	0,75	1,33



9. ábra. A víz feletti gáz ideális voltának ellenőrzése

ez a feltevés igaz, akkor  $C$  valóban konstans, és akkor (3) összefüggésből kapjuk:

$$y = \frac{1}{L} = \frac{p_{\text{atm}}}{C} - \frac{\rho \cdot g}{C} \cdot b = b + m \cdot b, \quad (5)$$

azaz  $1/L$  a  $b$ -nak lineáris függvénye. Az 1. táblázat értékeit ábrázolva kapjuk 9. ábra grafikonját.

A három mérési pontra illeszkedő egyenes egyenlete:

$$y = \frac{1}{L} = -2,89 b + 28,73. \quad (6)$$

Az illesztést súlyozott legkisebb négyzetek módszerével végeztük. A leolvasási hibát 0,5 cm-nek becsültük valamennyi mérési pontnál, a súlyokat ebből számítottuk. A korrelációs együtthatót és az illesztett paraméterek szórását is meghatároztuk. A lineáris korreláció értéke:  $r = 0,999932$ .

Valóban jó közelítéssel igaz, a gáztérben lévő anyag mennyisége állandó, azaz  $C$  konstans. Ugyanis a három pont  $r = 1,0$ -nél fekédné pontosan egy egyenesen.

A grafikon segítségével meghatározhatjuk a légnyomást ( $p_{\text{atm}}$ ) is. Azt kell megnézni, hogy milyen  $b_0$  érték mellett lesz  $y = 0$ . Ugyanis, ha  $y = 0$ , akkor az (5) egyenletből:

$$\frac{p_{\text{atm}}}{C} = \frac{\rho \cdot g}{C} \cdot b_0,$$

azaz egyszerűsítés után:  $p_{\text{atm}} = \rho \cdot g \cdot b_0$ .

Utánagondolva ez szinte természetes, hiszen  $y = 0$  annak felelne meg, hogy a folyadékoszlop fölött „végtelen” nagy térrész van, abban pedig a maradék gáz nyomása nyilván csak 0 lehet.

A (6) egyenletből,  $y = 0$  helyettesítéssel kapjuk:  $b_0 = 9,94$  m, és ezzel a külső légnyomás:

2. táblázat			
A „vörösboros” módosított Torricelli-kísérlet eredményei			
	$b$ (m)	$L$ (m)	$1/L$ ( $\text{m}^{-1}$ )
1. mérés	8,95	0,45	2,22
2. mérés	9,38	0,72	1,39
3. mérés	9,59	1,10	0,91

$$p_{\text{atm}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 9,94 \text{ m} = 97511 \text{ Pa.}$$

A légnyomás hibája  $b_0$  szórásából ( $\sigma_{b_0}$ ) adódik. Az (5) egyenletből  $b_0 = -b/m$ , ezért:

$$\sigma_{b_0} = \sqrt{(\sigma_b)^2 + (\sigma_m)^2}.$$

A mért értékek alapján:  $\sigma_m = 0,06$ ,  $\sigma_b = 0,55$  így

$$\sigma_{b_0} = \sqrt{0,55^2 + 0,06^2} = 0,55.$$

Így a légnyomás meghatározásának hibája:

$$\sigma_{p_{\text{atm}}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,55 \text{ m} = 5427 \text{ Pa.}$$

A mért légnyomás tehát:  $p_{\text{atm}} = 97511 \pm 5427$  Pa. Ez körülbelül 5,6%-os hiba.

Ez nagyon jó egyezésben van a „hivatalosan” mért 1003,3 hPa értékkel (különösen, ha tekintetbe vesszük, hogy a „hivatalos” műszernek is van hibája).

A jó eredményen felbuzdulva másnap vörösborral – a jól bevált Csongrádi Kékfrankossal – megismételtük a kísérletet. Eredményeinket a 2. táblázat tartalmazza.

A (4) képletbe beírva az első két mérés eredményeit, a légnyomásra kapjuk:

$$p_{\text{atm}3} = 98057,81 \text{ Pa.}$$

Ha a (4) képletbe a 2. és 3. mérés eredményeit írjuk:

$$p_{\text{atm}4} = 97001,43 \text{ Pa.}$$

Két mérésünk átlaga:

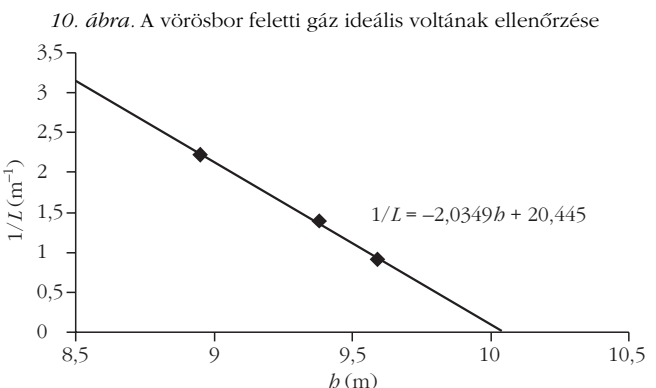
$$p_2 = \frac{p_{\text{atm}3} + p_{\text{atm}4}}{2} = 97529,62 \text{ Pa.}$$

A méréskor a barométer 1008 hPa-t mutatott.

A fenti gondolatmenetet vörösborra is megismételhetjük. A 2. táblázat értékeit ábrázolva kapjuk a 10. ábra grafikonját.

A három mérési pontra illeszkedő egyenes egyenlete:

$$y = \frac{1}{L} = -2,03 b + 20,45.$$



10. ábra. A vörösbor feletti gáz ideális voltának ellenőrzése

A lineáris korreláció:  $r = 0,998261$  még itt is nagyon jó. Most  $h_0 = 10,047$  m, ebből a légnyomás:

$$p_{\text{atm}} = 990 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10,047 \text{ m} = 97575 \text{ Pa.}$$

A légnyomás hibája itt is  $h_0$  szórásából adódik. Most  $\sigma_m = 0,032$  és  $\sigma_b = 0,303$  így

$$\sigma_{h_0} = \sqrt{0,303^2 + 0,032^2} = 0,304.$$

Így a légnyomás meghatározásának hibája:

$$\sigma_{p_{\text{atm}}} = 990 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,304 \text{ m} = 2959 \text{ Pa.}$$

A mért légnyomás tehát:  $p_{\text{atm}} = 97575 \pm 2959$  Pa. Ez körülbelül 3%-os hiba. Itt a kissé kisebb hiba abból

adódik, hogy ebben az esetben nagyobb különbség volt az első és a harmadik mérés között ( $L_3 - L_1 = 0,65$  m, az előző mérésnél pedig  $L_3 - L_1 = 0,48$  m). Ezért az egyenes adatai annak ellenére pontosabban, hogy a három pont kevésbé esik egy egyenesre, mint a víz esetében (a korrelációs együttható valamivel kisebb).

A „hivatalosan” mért 1008 hPa ismét jól összefér az általunk meghatározott értékkel.

Források, irodalom:

1. [http://en.wikipedia.org/wiki/Gasparo\\_Berti](http://en.wikipedia.org/wiki/Gasparo_Berti)
2. <http://www.kfki.hu/~cheminfo/hun/olvaso/histchem/simonyi/vakuum.html>;  
Simonyi Károly: *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat kiadó, Budapest, 1981.
3. <http://www.strange-loops.com/scibarometer.html>
4. <http://www.bertbolle.com/>
5. [http://www.youtube.com/watch?v=5J\\_r-sbSnYk](http://www.youtube.com/watch?v=5J_r-sbSnYk) – Bert Bolle barométere

## ÚJ UTAK A FIZIKA TANÍTÁSÁBAN

Paizs Ottó  
Duráczy József Pedagógiai Fejlesztő  
és Módszertani Központ, Kaposvár

*Egy animáció többet mutat ezer képnél*  
(közmondás után, szabadon)

A 2006-os PISA-felmérés szerint természettudományi területen a magyar diákok az OECD-államok között a középmezőnyben végeztek. A természettudományok, ezen belül a fizika és a kémia tanításának régóta alkalmazott módszerei mellett szükség van olyan új módszerekre és eszközökre, amelyekkel megújíthatjuk az oktatást, és felzárkózhatunk a világ élvonalához. Írásomban az animációk alkalmazásának előnyeire szeretném felhívni a kollégák figyelmét. Elsősorban a fizikai és a kémiai kísérletek animációs feldolgozása mellett szeretnék érvelni.

„Egy kép többet mond ezer szónál” – tartja a közmondás. Ezzel talán mindenki egyetért. Kicsit átalakítva, én így mondanám: *egy animáció többet mutat ezer képnél*. Első hallásra talán túlzónak tűnhet a kijelentés, de biztosíthatom az olvasót, hogy vannak helyzetek, amikor nem az.

Akkor tehetjük igazán színessé a fizika és a kémia tanítását, ha óráinkon sok-sok kísérletet mutatunk be. Ezt mindannyian tudjuk. A kísérletek előkészítése és bemutatása azonban időt, energiát, és sokszor nem kevés anyagi áldozatot követel. Különösen akkor, ha a kísérleteket szeretnénk többször megismételni.

Milyen jó lenne olcsóbban, rövidebb idő alatt, de mégis látványosan bemutatni a kísérleteket! Ezt a lehetőséget kínálja számunkra az animáció. Persze egy animáció nem csak időt és energiát takaríthat meg nekünk. Ennél sokkal többet is elvárhatunk tőle.

A kísérletek többségében, akár élőben végezzük a gyerekek előtt, akár videón nézzük meg azokat, számtalan, egyébként nagyon fontos részlet rejtve

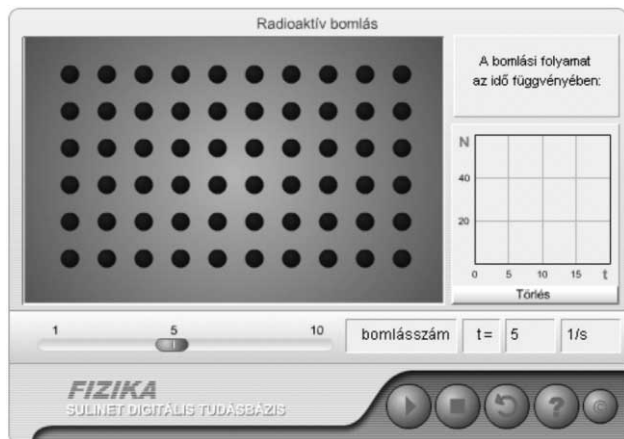
marad. Nem láthatjuk az elektronok áramlását a vezetőekben, az ionok mozgását az elektrolitban, a fotónokat az optikai kísérletekben. Nem láthatjuk a szilárd fázis rezgő atomjait és a gázok rohanó, ütköző részecskéit. Nem lehet szemléltetni a működő transzformátorban a váltakozó elektromágneses mezőket. A sort a végtelenségig lehetne folytatni; a valós kísérletekben mi mindent nem, vagy csak nehezen tudunk megmutatni.

Ezeknek az egyébként nem látható jelenségeknek a bemutatására kiválóan alkalmas az animáció. Segítségével kihangsúlyozhatjuk azokat a jellemzőket, amelyekre fel kívánjuk hívni a tanulók figyelmét. Ugyanakkor a kevésbé fontos vagy zavaró részleteket tompíthatjuk, vagy teljesen kizárhatjuk a szemléltetett jelenségből.

Animációinkban szabadon választhatunk időskálát. Eltérhetünk a valóságos időintervallumoktól. Bizonyos eseményeket felgyorsíthatunk, másokat lelassíthatunk, attól függően, hogy mit szeretnénk hangsúlyozni. Tetszőleges sebességgel mutathatjuk be a fizikai, kémiai változásokat, kölcsönhatásokat.

Az animált kísérletek paraméterezhetők. A paraméterek megváltoztatásával megismételt kísérletek teljesebbé tehetik a bemutatókat. A kísérletek tetszőleges számban ismételhetők. A már elkészült anyagokat újra felhasználhatjuk és továbbfejleszthetjük.

Lássunk két egyszerű példát. Sajnos a mozgás élményét itt nem tudom visszaadni, de remélem, hogy sikerül felkeltenem a kollégák érdeklődését és ellátogatnak a Sulinet digitális tudásbázisába (<http://sdt.sulinet.hu>),



1. ábra. Radioaktív bomlás animációjának nyitó képe (forrás: <http://sdt.sulinet.hu>)

ahol az alábbiakban bemutatottakon kívül még számos fizikai és kémiai témájú animáció elérhető. Az SDT-ben található animációk non-profit jelleggel felhasználhatók oktatási és tudományos kutatási célokra.

A radioaktív elemek bomlásának bemutatásakor láthatóvá tehetjük az atomokat és a véletlen folyamatot, ahogy az végbemegy (1. ábra). A jobb alsó sarokban található a kezelőgombok. Rendkívül egyszerűek és egyértelmű a funkciójuk. Az első gombbal elindíthatjuk, a másodikkal megállíthatjuk az animációt. A harmadik gombbal az elejéről kezdhetjük nézni a bemutatót, a negyedikkel szöveges magyarázatot és segítséget kaphatunk. A kék háttér előtt látható piros golyók jelképezik az atomokat. Ezek véletlenszerűen tűnnek el, ahogy a radioaktív atomok is véletlenszerűen bomlanak el. Az atomok alatt látható csúszkán lehet beállítani 1-től 10-ig a bomlászámot, ami a másodpercenkénti bomlások számát adja meg. Az ábra jobb felső részében egy grafikon rajzolódik ki, amely a bomlások számát mutatja az idő függvényében.

Ködkamrával kevés intézmény rendelkezik. A valódi élményt nem adhatjuk vissza, de a lényegét egy animációval is bemutathatjuk (2. ábra). A zöld színű részecskeforrásból érkeznek az elektronok, a hélium-ionok és a semleges atomok. „Rádiós” gombokkal választhatunk a lehetőségek közül. A kísérletet elvégezhetjük mágne-



2. ábra. Bomló semleges részecske a ködkamrában (forrás: <http://sdt.sulinet.hu>)

ses mezőben is. A képen látszanak a részecskék mágneses mezőben elgörbült pályavonalai.

További lehetőséget nyújthat számunkra a fizika és az informatika összekapcsolása. Egy-egy kisebb projekt keretében akár maguk a gyerekek is készíthetnek rövid animációkat. Ezzel nemcsak természettudományos tudásukat fejleszthetik, hanem informatikával, algoritmuskészítéssel és tervezéssel kapcsolatos ismereteiket is bővíthetik.

Külön bekezdést érdemel az animációk hallássérültek oktatásában való felhasználása. Azért is szívügyem ez, mert magam is tanítok súlyosan nagyothaló gyerekeket. Tapasztalából tudom mennyire nehéz számukra érthető formában eljuttatni egy kísérlet tartalmát, mondanivalóját. Ugyanakkor könnyedén megértik azt, ha látják azokat a lényeges folyamatokat, amelyeket a demonstrációk során szeretnénk megértetni velük. A videók és az élő bemutatók is jó megoldások, de egy animációval kiegészítve sokkal többet nyújthatunk nekik is.

Mindazonáltal nem szeretném az animációkat a valós kísérletekkel szembeállítani. Ahol és amikor lehet, mutassuk be élőben a kísérleteinket, de használjunk egyre több animációt a részletek bemutatására, a fontos jellemzők kihangsúlyozására és a figyelem felkeltésére.

## A TERMÉSZETTUDOMÁNYOS KÖZOKTATÁS JAVÍTÁSÁÉRT

*Ha az utóbbi 25 év adataiból olyan grafikonokat készítenénk, amelyek a természettudományos tárgyak óraszámának, a friss diplomás fizika- vagy kémiatanárok számának alakulását ábrázolnák az évek függvényében, akkor néhány év múlva az extrapoláció már nullát adna. És ez csak két kiragadott példa – nem lenne nehez további, rövid időn belül zérus-*

*hoz tartó grafikonot szerkeszteni az emelt szintű fizika érettségét vállalók számától a korszerű természettudományi ismeretek alakulásáig. Ebben az esetben arra sem hivatkozhatunk, hogy így van ez másutt Európában is, mert nincs így. Ez a szerencse, mert legalább példákat láthatunk magunk előtt, és talán egy kevés segítségben is bízhatunk. De alapjában,*

meghatározó módon csak magunkban, a természettudományt művelő és tanító emberekben.

Ennek a felismerésnek mentén fontos elemzések és javaslatok születtek az utóbbi hónapokban. A történekek összefoglalása olvasható az alábbiakban, a részletek iránt érdeklődőket az interneten eligazító címmel együtt. Kertész János akadémikus bevezetőjéből kiderül, milyen út vezetett az Országos Köznevelési Tanács által elfogadott és a bevezető után itt közölt javaslatokhoz. Ezeket követi az Eötvös Loránd Fizikai Társulat állásfoglalása, majd ezzel összhangban a Magyar Tudományos Akadémia Elnöki Bizottságának és a gazdasági élet négy kiemelkedő személyiségének állásfoglalása az OKNT javaslatokról.

## A természettudományos közoktatás helyzetének javítása<sup>1</sup>

A természettudományos közoktatás problémái egyre nyilvánvalóbbak. Az Akadémiától az olyan szakmai szervezetekig, mint az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, számos fórum hallatta hangját ebben az ügyben. Az utóbbi időben már a gazdasági élet szereplői is megkongatják a vészharangot: a fejlődés fő akadálya immár nem annyira a tőke hiánya, hanem a megfelelő számú és színvonalú szakembereké. A PISA-felmérések eredményei kijózanítóan hatottak azokra, akiknek még illúzióik voltak a természettudományos közoktatás hatékonyságával kapcsolatban. A 2008. évi, botránysan alacsony felvételi pontszámok már a bulvársajtónak is témát adtak.

A fizika és a kémia tárgyak, de a biológia modern vonatkozásai is a középiskolát végzők túlnyomó többségében csupán azt az emléket hagyják, hogy ezektől szorongani kellett és valahogy túl kellett őket élni. A túlterhelt tanárok frusztráló helyzetben szinte megoldhatatlan feladat előtt állnak: olyan tananyagot kell már-már ellenséges közegben közvetíteniük, amely nem igazodott megfelelően a középiskolát végzők számának robbanásszerű növekedéséhez és a tanórák számának drasztikus csökkenéséhez. Kísérletezésre alig van mód, a tananyag elszakad a hétköznapi tapasztalatoktól. A másik oldalon az OECD-statisztika áll arról, hogy Magyarországon kirívóan alacsony a természettudományos és műszaki diplomát szerzők száma (miközben a diplomázók aránya fokozatosan eléri a fejlett országok szintjét). Ráadásul az egyetemeken joggal panaszkodnak, hogy még a kevés számú jelentkező felkészültsége is gyenge, és állandóan romlik. (Természetesen változatlanul működik néhány kiemelkedő iskola, ahonnan a versenyezők győztesei, az olimpikonok kikerülnek.) Mindezzel összefügg és tovább súlyosbítja a helyzetet, hogy mintegy tíz éve fokozatosan csökken a fizika és kémia szakos tanári pályára jelentkezők száma, és mára szinte elfogytak.

Az Országos Köznevelési Tanács (OKNT, a közoktatásért felelős miniszter tanácsadó testülete) tagjaként még 2006-ban javasoltam, hogy a Tanács tűzze napirendre a természettudományos közoktatás helyzetének vizsgálatát. Erre akkor nem került sor, és időközben tagságom is véget ért. Az Akadémia delegáltja az újonnan alakult OKNT-ben *Csermely Péter* (Sem-

melweis Egyetem) lett, akivel közösen írtunk egy előterjesztést. Ennek eredményeképpen az OKNT ad hoc bizottságot alakított a fenti céllal, és felkért bennünket, hogy legyünk a bizottság társelnökei.

A bizottság 2008 májusában megalakult, tagjai általános és középiskolai tanárok, a tanárképzés és a pedagógia tudomány felsőoktatási szakemberei, valamint a természettudomány képviselői voltak. A munka jelentős része munkacsoportokban folyt: a biológia vezetője *Baranyai József* (Bolyai Gimnázium, Szombathely), a fizikáé *Ádám Péter* (PTE/SZFKI), a kémiáé *Szalay Luca* (ELTE) volt. A bizottság összetétele, a legfontosabb dokumentumok a lábjegyzetben megadott honlapon megtalálhatók.

Kezdetől fogva úgy fogtuk fel feladatunkat, hogy nemcsak a problémák azonosításával kell foglalkoznunk, hanem a lehetséges megoldásokon is kell gondolkoznunk. A munkát így két szakaszra bontottuk: az elsőben a helyzetfelmérést végeztük el, a másodikban pedig javaslatokat dolgoztunk ki. Ezt tükrözi az OKNT-nek 2008. november 10-én átadott jelentés szerkezete is.

A saját internetes felmérésünket, valamint a hazai és külföldi publikációkat felhasználó helyzetelemzés rámutatott a problémák társadalmi, gazdasági gyökereire és súlyos gondokat tárt fel számos területen. Többek között megállapította, hogy a tananyag és a tankönyvek nem tükrözik a megváltozott társadalmi helyzetet, a természettudományos műveltség kialakítása helyett fogalom- és ismeretáradat a jellemző. A természettudományi tagozatos osztályok kialakítása nem motivált. Módszertani és oktatástechnológiai kérdésekben a magyar természettudományos oktatás számos vonatkozásban elmaradt a fejlett országok gyakorlatától (pl. tanulóközpontú oktatási technikák, korszerű kísérletes eszközök, korszerű időszervezés). A tehetséggondozás nem éri el a tanulók döntő hányadát. A bolognai rendszerű tanárképzésben tapasztalható bizonytalanság tovább csökkenti az egyébként is kisszámú fizika-, illetve kémiatanári pályára jelentkező egyetemi hallgatók számát; ezen a területen a tanárutánpótlás kritikus helyzetbe került. A természettudományos tantárgyakból érettségizők aránya alacsony, az emelt szintű érettségizőké rendkívül alacsony. A természettudományos tantárgyakat oktató tanárok munkakörülményei sok tekintetben kedvezőtlenek: a kísérletes többletvelé-kenységet figyelmen kívül hagyják a terhelésnél,

<sup>1</sup> Az összefoglaló az OKNT-bizottság munkájáról megtekinthető a következő honlapon: <http://www.phy.bme.hu/~termtud/>

asszisztencia alig van, a továbbképzés és a szaktanácsadás nem megfelelő, az alacsony óraszámok a nevelőmunkát nehezítik.

A javaslatoknál figyelembe kellett venni a magyar közoktatás sajátos, liberális jellegét: nagyon kevés központi szabályozásra van lehetőség. Sem a tantervek, sem a tankönyvek, de az óraszámok sem írhatók elő. A központi elemek a rendkívül általános szinten szabályozó Nemzeti alaptantervre (NAT) és az érettségi követelményekre korlátozódnak. Ugyanakkor a minisztériumi kerettantervek, noha nem kötelezőek, igen széles körben használatosak – a mindennapos szóhasználat „központi kerettantervek” is nevezi őket.

A problémák megoldásánál egymásnak ellentmondó feltételeket kell kielégíteni. Úgy kell szerethetővé tenni a természettudományos tantárgyakat a tanulók lehető legszélesebb körében, hogy a műszaki-természettudományos pályákra készülő kisebb hányad szakmai kompetenciája növekedjék. Ezt nyilván differenciált oktatással lehet elérni – ami viszont a nemkívánatos korai pályaválasztás és a szegregáció irányába hat. Igyekeztünk olyan kompromisszumos javaslatokat kidolgozni, amelyek a legkisebb áldozat árán a legjobban segítik a következő, legsúlyosabb gondok megoldását:

1. a természettudományos közoktatás a tanulók széles rétegei számára (számos okra visszavehetően) nem hatékony;

2. a természettudományos tanári pályák vonzereje csekély, a fizika és a kémia területén válságos helyzet alakult ki;

3. a műszaki-természettudományos pályákra jelentkező hallgatók száma és általános felkészültsége nem kielégítő.

A helyzetelemzésből és a javaslatokból álló jelentés tervezetét az interneten nyilvánosságra hoztuk, és a Fazekas Gimnáziumban 2008. november 5-én nagy érdeklődéssel kísért szakmai fórumot rendeztünk róla. Ezen ismertette állásfoglalását *Pálinkás József*, az MTA elnöke, és részt vett az Innovációs szövetség elnöke, a MOL képviselője, számos pedagógus, felsőoktatási szakember. A fórumot figyelembe véve készült el a jelentés végleges változata.

Az OKNT a jelentés vitáját 2008. november 13-ra tűzte ki, de akkor csak arra jutott idő, hogy ismertessük a bizottság munkáját. Ezért az OKNT 2008. november 27-re rendkívüli ülést hívott össze, amelyet kizárólag a jelentésnek szentelt. A rendkívül élénk, helyenként éles hangú vita után az a határozat született, hogy az OKNT egyrészt megköszönte és értékesnek tartotta a bizottság munkáját, másrészt a korábbi társelnökök vezetésével és a vitában kulcsszerepet játszó résztvevők bevonásával szerkesztő bizottságot hozott létre, amelynek feladat volt, hogy a jelentés és a vita alapján az OKNT által elfogadható javaslatokat állítson össze. Az előterjesztett anyagot azután az OKNT kis módosításokkal 2008. december 11-i ülésén egyhangúlag elfogadta és a javaslatként az oktatási miniszter elé terjesztette. Ez az anyag olvasható a *Fizikai Szemle* jelen számában.

A bemutatott javaslatrendszer többszörös kompromisszum eredménye. Ennek vannak előnyei és hátrányai. Előny a széles támogatottság és az, hogy az eredeti javaslatok túlnyomó többsége megmaradt. Nagy jelentőséget tulajdonítok önmagában annak, hogy a fent említett három fő probléma kiemelten szerepel az elfogadott dokumentumban. Hátrány, hogy néhány fontos elem kikerült a javaslatok közül: a kötelező érettségi egy természettudományos tárgyból, és a felsőoktatás kiemelt szerepe az érettségi, a továbbképzés, a szaktanácsadás és a minőségbiztosítás területén nem kapott támogatást. Mindezzel együtt nagyon előremutató javaslatrendszer született, amelynek mentén el lehet indulni a természettudományos közoktatás gyökeres átalakítása irányában. Fontos feladatnak tartom a döntéshozók befolyásolását a javaslatok elfogadásának érdekében. Erre szükség van, ha azt akarjuk, hogy a felnövekvő nemzedék természettudományos műveltsége és ezáltal állampolgári kompetenciája európai színvonalú legyen, ha azt akarjuk, hogy mérnökeink, tudományos kutatóink segítségével növekedjék a versenyképességünk, és ha azt akarjuk, hogy legyenek lelkes, korszerű módszerekkel érdekes természettudományt tanító tanáraink.

Budapest, 2009. január 9.

*Kertész János*

## Az OKNT javaslatai a természettudományos közoktatás helyzetének javítására

Az elmúlt évtizedek társadalmi-gazdasági-kulturális átalakulásának számos eleme világszerte hátrányosan hat a kultúra természettudományos komponenseinek széleskörű érvényesülésére. Különös okokból a volt szocialista országok, köztük hazánk e téren – a korábbi eredmények ellenére – hihetetlen deficitet halmoztak fel. A társadalmi haladás ipari-mezőgazdasági alapját meghatározó, világra szóló természettudományos-műszaki eredmények csupán maroknyi értelmiségi elit tudásába épülnek be, és ez alapvetően járul hozzá Ma-

gyarországon a kulturális olló veszélyes szétnyílásához. Egy ideje a szakmai szervezetek, a felsőoktatás képviselői, az Akadémia, és újabban a versenyszféra szereplői is súlyos gondokat fogalmaznak meg a természettudományos közoktatással kapcsolatban.

Az OKNT, felismerve a kérdés fontosságát, ad hoc természettudományos bizottságot alakított a helyzet felmérése céljából. A bizottság elkészítette a jelentését, amit OKNT részletesen megvitattott ([www.phy.bme.hu/~termtud/](http://www.phy.bme.hu/~termtud/)).

A természettudományos közoktatás gondjai rendkívül összetettek, és sok ponton kapcsolódnak az általános közoktatási problémákhoz. Ugyanakkor a területre speciálisan jellemző okok miatt az utóbbi időben itt romlott leginkább a helyzet.

A gondok közül az OKNT kiemelten fontosnak tartja a következőket:

1. *A természettudományos közoktatás a tanulók széles rétegei számára nem elég hatékony.*

Ezen, számos okra visszavezethető jelenség súlyos következménye, hogy a természettudományos műveltség nem kielégítő színvonalú. Ahhoz, hogy a tanulókból tudatos, felelős állampolgárok válhassanak, akik nincsenek kiszolgáltatva a demagógiának és az áltudományoknak, szerethető és hatékony természettudományos oktatásra van szükség.

2. *A természettudományos tanári pályák vonzereje csekély, a fizika és a kémia területén válságos helyzet alakult ki.*

A fizika és a kémia területén a tanárszakra jelentkezők száma az elmúlt évtizedben ijesztően csökkent, a tanári korfa erősen torzult, és az utánpótlás nem biztosított. Sürgős beavatkozásra van szükség az oktatás folytonosságának biztosítása érdekében.

3. *A műszaki-természettudományos pályákra jelentkező hallgatók száma és általános felkészültsége nem kielégítő.*

Magyarországon a természettudományos diplomák aránya az OECD-országok között a legalacsonyabb, és a műszaki területen is az utolsó között vagyunk. A felsőoktatásba kerülő hallgatók tudásának átlagos színvonala alacsony és romló. Mélyreható változásra van szükség a természettudományos közoktatásban annak érdekében, hogy hazánk versenyképessége javuljon és az európai munkamegosztásban a magas hozzáadott értéket tartalmazó feladatokat tudjuk vállalni.

Az OKNT szerint ezen problémák megoldása megfontolt és határozott cselekvést tesz szükségessé. Ennek érdekében az oktatásért felelős miniszterhez javaslatokkal fordul.

A hatékony megvalósítás lehetőségének érdekében a javaslatrendszer az érvényes szabályozásból és az általános gyakorlatból indul ki. Különös súlyt helyez a központosítandó feladatokra, miközben szem előtt tartja, hogy mélyreható változások csak az érintettek aktív együttműködésével valósíthatók meg. Kiemelten fontos szerepe van a megújulási folyamatban a szakmai irányításnak, az ellenőrzésnek és a támogató környezetnek.

Az OKNT meggyőződése, hogy a kormányzatnak a természettudományos közoktatás javítása érdekében halaszthatatlan teendői vannak, amelyeket egy hosszú távú programba kell illeszteni. A javaslatrendszer megvalósítása szükséges ahhoz, hogy a felnövekvő nemzedék természettudományos műveltsége és ezáltal állampolgári kompetenciája európai színvonalú legyen, hogy mérnökeink, tudományos kutatóink segítségével növekedjék a versenyképességünk, és hogy legyenek lelkes, korszerű módszerekkel érdekes természettudományt tanító tanáraink.

## Javaslatok

1. *Az OKM készíttesse az általános iskolák számára integrált szemléletű, a középiskolák számára pedig az „általános” tanterv mellett „humán” és „reál” típusú, integrált szemléletű természettudományos tantárgyi kerettanterveket.* Az OKM általában is ösztönözze a tanári közösségeket, műhelyeket ilyen szellemiségű (keret)tantervek, tankönyvek és oktatási segédletek elkészítésére. Az általános iskolák és a középiskolák számára készítendő, az életkori sajátosságokat messzemenően figyelembe vevő, új kerettantervekben az összehangolt tantárgyi koncentráció révén valósuljon meg a természettudományos tantárgyak tananyagának „integrált szemléletű” modernizációja, és négy éven belül készüljenek megfelelő korszerű módszertani kultúrát tükröző tankönyvek, módszertani segédanyagok, programcsomagok.

Az általános iskolák hatodik évfolyamáig meglévő integrált természettudományos oktatáshoz szervesen kapcsolódó, integrált szemléletű kerettantervek kidolgozására van szükség az egyes természettudományos tantárgyakból. Az OKNT javasolja a miniszternek, hogy a középiskolák számára az OKM kerettanterv-rendszerét tegye differenciáltabbá, hangsúlyeltolódásokat képviselő kerettantervek kidolgoztatásával. A tehetséggondozó és az általános kerettantervek mellett szükség van közbelső, az iskolák széles köre által megvalósítható szintre, amely a hangsúlyeltolódás mellett szélesebb műveltség megszerzését teszi lehetővé, és nagyobb teret enged a választásnak és az átjárhatóságnak.

Az egyes tantárgyak kerettanterveit, valamint a matematikai ismereteket a kidolgozás során kell összehangolni. A nemzetközi gyakorlattal összhangban célszerű, hogy a konkrét természettudományos szaktárgyi ismeretek mellett nagyobb szerepet kapjanak a mindennapjainkban megjelenő, gyakran több tudományterülethez kapcsolódó, gyakorlati, életszerű kérdések, problémakörök, beleértve a társadalmi-környezeti-egészségvédelmi vonatkozásokat. Ugyancsak nagyobb hangsúlyt kell helyezni a tananyagokban az ismeretek megszerzési technikáinak elsajátítására, a természettudományos gondolkodás gyakorlatban, valós élethelyzetekben történő alkalmazási képességének fejlesztésére, a csoportmunkára. Az általános iskolák kerettanterveiben, illetve a középiskolák természettudományos tantárgyainak humán jellegű kerettanterveiben az általános kompetenciák fejlesztésének, az általános természettudományos műveltség közvetítésének kell dominálnia. A középiskolai reál és általános tantervekben fokozatosan kapjon egyre nagyobb hangsúlyt a szakmai kompetenciák fejlesztése, ötvözve a társadalomorientált, a fenntarthatóság szempontjából fontos tartalmakkal és módszerekkel.

2. *A nem természettudományos tantárgyak kerettanterveinek, programcsomagjainak fejlesztésénél a Kerettantervi Bizottság fokozottan kérje számon a NAT-ban is hangsúlyozott természettudományos kompetenciafejlesztést. A helyi tantervek fenntartói ellenőrzése során legyen ez kiemelt szempont.*

A természettudományos tudás-, illetve kompetenciafejlesztés a hatályos Nemzeti Alaptanterv szerint a kiemelt kulcskompetenciák fejlesztésének körébe tartozik. Ezért e fejlesztések nem csupán a hagyományos természettudományi tantárgyakon kérhetők számon, e kompetencia fejlesztése az iskolai világ valamennyi mozzanatában érvényesíthető és érvényesítendő alapelv. A nem természettudományos kerettanterveket át kell vizsgálni abból a szempontból, hogy ezek a tantárgyak, továbbá más műveltségi tartalmakra szerveződő iskolai tevékenységi formák miképp építenek be saját konstrukcióikba természettudományos kompetenciafejlesztő mozzanatokat, feladatrendszereket tantárgyi koncentrációként, „cross-curriculum”-ként. Mindennek kiemelt jelentősége van a tanulók természettudományos tantárgyi attitűdjének megváltoztatása szempontjából. Mivel végső soron a helyi tanterveknél dől el, hogy az iskolákban mit és hogyan tanítanak, ezek összeállítása, ellenőrzése az említett szempontból kiemelten fontos. Ugyanakkor a természettudományos kerettanterveken és oktatási segédanyagokon is számon kell kérni a nem természettudományos (pl. társadalmi-történelmi, vagy esztétikai) kulcskompetenciákat.

3. *Az érettségi követelményeket összhangba kell hozni az 1.–3. pontokban tett javaslatokkal. Ezeket a változtatásokat az érettségi rendszer közép és hosszú távú fejlesztési elképzeléseinek megfelelően kell végrehajtani (lásd FTT-nek az érettségi vizsga szakmai fejlesztésére vonatkozó anyaga, illetve Zöld Könyv [2008]). A felvételi szabályozást úgy kell megváltoztatni, hogy az egyetemek érdekelték legyenek a felvételi tárgyakból az emelt szintű érettségi megkövetelésében.*

A jelenleg érvényben lévő szabályozás kétszintű érettségit definiál. A középszintű érettségi elsősorban az általános természettudományos műveltség ellenőrzésére összpontosítson, míg az emelt szintű érettségi kérje számon a szakmai kompetenciákat is. Mindkét szinten jelenjenek meg korszerű, alkalmazásokhoz közelálló tartalmak. Az egyetemek vonatódása az emelt szintű érettségi megkövetelésével kapcsolatban a normatív finanszírozásra vezethető vissza. Alkalmos változtatással, például a felvételi pontszámok figyelembe vételével a természettudományos-műszaki normatívánál, az egyetemek ösztönözhetőek lennének a felvételi követelmények emelésére.

4. *Szükség van a természettudományos közoktatás folyamatos, tudományos szintű vizsgálatára. Legyen Magyarországon rendszeres és általános természettudományos kompetenciamérés.*

A természettudományos közoktatás kiemelt jelentőségének, sajátos módszereinek megfelelő, nemzetközi színvonalú kutatás személyi és egyéb feltételeit meg kell teremteni. A mérések elengedhetetlen, szükséges feltételei mind a tudományos vizsgálatoknak, mind pedig a rájuk támaszkodó döntéseknek. A minisztérium háttérintézményei stratégiai terv szerint tervezzenek és folytassanak folyamatos kutatásokat, hatásvizsgálatokat a természettudományos nevelés-

oktatás-tehetséggondozás, a természettudományos értelmiség, természettudományos utánpótlás feltétel- és eszközrendszerének működéséről. A kormányzat segítse elő a természettudományos oktatással foglalkozó, magas színvonalú tudományos műhelyek kialakulását és fejlődését.

5. *A természettudományos területen javasoljuk elektronikus szaktanácsadói rendszer létrehozását és finanszírozását. Meg kell újítani a szaktanácsadói rendszer egészét, beleértve a működési (anyagi) feltételeket, és ennek a természettudományos közoktatás átalakulásában különösen nagy szerepe van. Támogatni kell a horizontális, hálózatszerű szerveződést. A minőségbiztosítást összhangba kell hozni a szaktanácsadói rendszerrel.*

Működő szaktanácsadói rendszer a természettudományi területen alapvetően segítené a javasolt tartalmi-módszertani fejlesztések, a paradigmaváltás megvalósítását a természettudományos területen. Egy ilyen rendszer a kétirányú információáramlást és ezen keresztül a visszacsatolást teszi lehetővé. Az elektronikus rendszer viszonylag rövid időn belül, csekély ráfordítással megvalósítható hatékony eszköz, noha nem helyettesíti a személyes kapcsolatokat.

6. *A természettudományos tanártovábbképzés rendszerét meg kell újítani.*

A természettudományos tanártovábbképzés rendszerét át kell tekinteni és ösztönző-motiváló elemeket kell bevonni. Meg kell teremteni a tanárok számára a továbbképzésen való részvétel feltételeit. Át kell tekinteni az akkreditációs rendszert és tartalmi (módszertani és szaktudományos) alapra kell helyezni.

7. *A természettudományos szaktanárok óraterhelésénél vegyék figyelembe a kísérleti munkával járó sajátosságokat, valamint a tanórákon kívüli tehetésgondozásra fordított időt. Támogatni kell az aszszisztensek alkalmazását. Az óraszámok meghatározása és az órák elosztása során legyen szempont a nevelőmunkához szükséges minimális számú kontaktóra kialakítása. Intézkedéseket kell hozni a tanárok kutatómunkájának, PhD-fokozat szerzésének megkönnyítésére.*

Ezek az intézkedések a természettudományos tanárok speciális problémáinak megoldását segítik.

8. *Fokozott figyelmet és megfelelő forrásokat kell fordítani a gyermekeket elérő média világára annak érdekében, hogy a természettudományok megjelenítése, a tudományos ismeretterjesztés súlya és szakmai színvonala javuljon. A kormányzat kiemelten támogassa a nem iskolai természettudományos kultúrákövetítést (tudományos ismeretterjesztés modern formái, Csodák Palotája, médiafelületek, múzeumi és kutatóhelyi közművelődés, tudomány-népszerűsítés stb.). Orientálja a nyilvános szakmai közbeszédet a megújulási folyamat érdekében.*

A modern médiának különösen nagy szerepe van egy olyan világban, amikor a gyermekek az információ jelentős részét nem az iskolában vagy a szülőktől szerzik. Ugyanakkor nélkülözhetetlenek ahhoz is, hogy a természettudománnyal szembeni általános közhangula-



tot kedvező irányban befolyásolják. De ide kell érteni a megújulási folyamat bemutatását rendszeres elemzését és vitáját a pedagógiai szaksajtóban, ami a tanárok mozgósításának fontos eszköze lehet.

9. *A kormányzat a költségvetésből, illetve európai uniós forrásokból a természettudományos közoktatás fejlesztésére rövid és középtávon különítsen el támogatási összeget. Ezt pályázatokkal, széleskörű szakmai ellenőrzés mellett kell eljuttatni az iskolába és a tanárokhöz. Javasoljuk, hogy a természettudományos tanári pályára készülő jó képességű egyetemi hallgatókat kollégiumi kedvezményekkel és fokozott mértékű speciális ösztöndíjakkal támogassa a OKM. Meg kell találni versenyszféra szereplői számára a természettudományos közoktatás támogatási formáit.*

A természettudományos közoktatás minőségének, eredményességének javításához a szerkezeti, tartalmi, módszertani, szemléleti fejlesztések mellett alapvetően szükséges a természettudományos tárgyakat tanító tanárok helyzetének, munkakörülményeinek, és az oktatás feltételeinek a javítása. A korábbi pontokban említett javaslatok anyagi vonatát kell első helyen említeni: órakedvezmény a természettudományos tanároknak a kísérleti oktatásra tekintettel; a szakasszisztensek alkalmazásának finanszírozása; a tehetséggondozás anyagi elismerése, és a természettudományos szaktanácsadói rendszer, az ESZR költségei, de értelemszerűen ide tartozik az eszközfejlesztés és az infrastruktúra-fejlesztés is. A pályázatok nem csak az élvonalbeli iskolák továbbfejlesztését, hanem a lemaradók felzárkóztatását is szolgálják, azt, hogy minden iskolában teljesüljön egy természettudományos infrastrukturális minimum. Mindezek szervezeti, többnyire iskolai szintű pályázati tevékenységet feltételeznek.

Fontos eleme a javasolt rendszernek, hogy a szaktanárok közvetlenül is részesülhessenek személyi támogatásban oktatásfejlesztési tevékenységért, eredményes oktatásért, sikeres tehetséggondozásért, felzárkóztatásért, valamint a továbbképzéseken, szakmai fórumokon való aktív részvétel finanszírozása céljából. Ez a természettudományos tanárok anyagi helyzetét kedvezően befolyásoló pályázati elem sem csupán az „elit” támogatását szolgálja. Egyének és munkacsoportok pályázhatnak az előző pontokban javasolt tartalmi, módszertani fejlesztések, tantervek, tankönyvek, oktatási segédanyagok kidolgozásának finanszírozására.

Nagy jelentőséget tulajdonítunk annak, hogy a rendelkezésre bocsátott forrásokat széleskörű szakmai ellenőrzés mellett használják fel. A beszerzett kísérleti berendezéseket, oktatási anyagokat, a kidolgozott tanterveket működtetni kell, és ennek ellenőrzésére csak szakmai grémium alkalmas.

10. *A közoktatásért felelős miniszter hozzon létre általános, középiskolai és szakiskolai tanároknak, pedagógiai, módszertani és szaktudományos felsőoktatási szakembereknek, a természettudományos kultúra közvetítőinek, valamint a versenyszféra képviselőinek az együttműködésén alapuló szervezetet a természettudományos közoktatás megújulási folyamatának koordinálása, ellenőrzése, a munkaerő-piaci jelzések elemzése és az esetleges korrekciók szükségességének a megállapítása céljából.*

A természettudományos közoktatásban végrehajtandó, paradigmaváltást jelentő megújulási folyamat csak elkötelezett szakmai irányítás mellett valósítható meg. Ebből a célból a miniszter hozzon létre tanácsadó és ellenőrző funkciókat ellátó bizottságot vagy kuratóriumot.

## Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat állásfoglalása az OKNT-nek a természettudományos közoktatásra vonatkozó határozatáról, valamint a fizika tantárgy jelenlegi helyzetéről

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Elnöksége és Fizika-tanári Szakcsoportjai az elmúlt hónapokban többször is foglalkoztak a természettudományos tantárgyak, ezen belül a fizika tanításának helyzetével. Megállapításaikat csak megerősítette az OKNT-bizottság komoly háttérmunkával elkészített helyzetelemzése, amelynek létrejöttében meghatározó szerepet játszott az ELFT elnökségének több tagja. A helyzetelemzés számos pontját, a javaslatok több elemét a Társulat tanári ankétjain, illetve a Társulat tanári levelező listáján fogalmazták és vitatták meg először. Ezek a körülmények is úgy hatottak, hogy a javaslatok döntő többsége megfelel a Társulat elképzeléseinek.

Az OKNT helyzetértékelésével és javaslataival alapvetően egyetértünk. A javaslatok jók és előremutatóak, azonban csak akkor vezethetnek eredményre,

ha a kormány komolyan veszi azokat és határozatot hoz megvalósításukra. A siker előfeltétele, hogy a természettudományos közoktatás hatékonyságát javító nemzeti program megvalósításában a kormányzat, az oktatási bürokráciát megelőzve, a szakmai közösségekre támaszkodjon.

Az ipar és a műszaki élet képviselői ismételtelen komoly szakemberhiányt prognosztizáltak, amennyiben nem történnek gyors és hathatós lépések a felsőfokú műszaki és természettudományos képzésben résztvevők számának növelésére, illetve az ipar igényeinek jobban megfelelő tudású szakemberek képzésére. Az államilag finanszírozott hallgatói keret növelése ellenére a műszaki szakemberek utánpótlására jelentkezők száma további drasztikus csökkenést mutat. A fizikára épülő vagy a fizika jelenségkörét és törvényeit erősen

felhasználó szakokon továbbtanulók esetében elhelyezkedési gondok gyakorlatilag nincsenek, diplomás munkanélküliségről a műszaki és természettudományos szakterületeken nem beszélhetünk. Az érdeklődés hiányát nem indokolják a munkaerőpiac visszajelzései.

A fő ok az, hogy a közoktatásban támasztott engedékeny általános követelmények nem teszik lehetővé az elmélyült tanulmányi munkát, különösen a természettudományos tantárgyak rendszeres elsajátítását. A műszaki és természettudományos felsőoktatásba bekerülők tudása és alapvető készségei nem felelnek meg a társadalmi szükségleteknek.

Mindezek miatt a létszámgondokat az oktatási piac csak korlátozottan oldhatja meg, nem egyszerűen a hallgatói létszám átcsoportosítására van szükség. A jelen körülmények között a megnövelt hallgatólétszám a műszaki és természettudományos területeken csak még tömegesebb lemorzsolódásra, elvesztegetett tanév tízezrekre vezethet.

A matematika-, a kémia- és a fizikaoktatás problémái nem oldhatók meg azonnal, még akkor sem, ha immár a problémák akut munkaerő-piaci gondokban is megjelennek. Szisztematikusan, sok évre előretekintő, a közoktatás egészét és a közhangulatot megváltoztató, a kemény tanulmányi munkával szerzett készségek és ismeretek becsületét visszaadó munka elindításához kívánunk hozzájárulni.

Mindezek alapján hangsúlyosan kívánjuk kifejezni az Eötvös Loránd Fizikai Társulat részvételi készségét abban a létrehozandó együttműködési szervezetben, amely a természettudományok közoktatása megújításának nemzeti programját megfogalmazza és megvalósítását irányítja.

A továbbiakban néhány konkrét kiegészítést kívánunk tenni az OKNT javasolataihoz:

A helyzetértékelés első pontja megállapítja, hogy a természettudományos közoktatás nem elég hatékony, aminek az a következménye, hogy a természettudományos műveltség nem kielégítő színvonalú. Ennek azonban nem pusztán az a következménye, hogy a közoktatásból kikerülő tanulók nem válnak tudatos, felelős állampolgárokká. Ennél súlyosabb, hogy azok, akik nem tanulnak tovább, csekély eséllyel tudják megállni helyüket a munkaerőpiacon. Ugyanis a természettudományok döntően hozzájárulnak, hogy a tanulóknban a logikus gondolkodás, a következetesség és a tények tisztelete alapján kifejlődjene azok a kompetenciák, amelyek a munkaerőpiacon elengedhetetlenül szükségesek.

A megoldásra tett javaslatok első pontjával, azaz a „humán” és „reál” típusú természettudományos kerettantervek, tankönyvek és oktatási segédletek elkészítésének szükségességével messzemenően egyetértünk. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat felajánlja aktív részvételét ennek a feladatnak a megoldásában. Természetesen elsősorban a fizika tárgy tekintetében vállalhatunk vezető szerepet, de szívesen együttműködünk a természettudományos tárgyak összhangjának és egységes kompetenciáinak kidolgozásában is. Újszerű és ígéretes az OKNT javaslatok második pontjában említett feladat:

a nem természettudományos tantárgyak természettudományos kompetenciáinak kidolgozása.

A javaslatok harmadik pontjában megfogalmazott érettségi követelményekkel kapcsolatban az Eötvös Loránd Fizikai Társulatnak az a határozott véleménye, hogy *egy kötelezően választható természettudományos tárgynak feltétlenül szerepelnie kell az érettségi tárgyak között.*

Ugyanebben a pontban szerepel a felsőoktatási felvételi szabályozás megváltoztatására, az emelt szintű érettségi megkövetelésére vonatkozó javaslat. Erre a határozat a hallgatói normatíva differenciálásával akarja ösztönözni az egyetemeket. Ezt elfogadva hangsúlyozzuk, hogy *a felsőoktatási felvételi követelmények lényeges elemének tartjuk a választott BSc-szaknak megfelelő, ahhoz illeszkedő szakirányú érettségi vizsga letételét.* Ennek bizonyos képzési ágakban a jelenlegi szabályozásnál következetesebb érvényesítését az adott területen oktató felsőoktatási intézményeknek javasolni fogjuk. A felsőoktatási felvételi szabályozásához az Eötvös Loránd Fizikai Társulat kiegészítő javaslatot is kíván fűzni. Határozottan javasoljuk, hogy a felvételi pontszámokba számítsanak be – az OKTV-n túl – egyes magas színvonalú, a szakma által elismert tanulmányi versenyeken elért eredmények is. Ez lehetővé tenné a magas színvonalú tehetséggondozás megőrzését azokon a területeken, ahol ilyen a múltban kialakult. A fizika területére vonatkozó konkrét javaslatunkat már több alkalommal is elküldtük az OKM megfelelő fórumaira.

A negyedik pontban említett tevékenységekkel kapcsolatban a természettudományos közoktatás hatékonyságának tudományos vizsgálatával és a természettudományi kompetencia mérésekkel az Eötvös Loránd Fizikai Társulat egyetért, és aktív partnerként felajánlja segítségét. A kompetencia rendszeres mérése legyen a kiindulópontja a tanári munka minősége megítélésének, a tanulói teljesítményekben jelentkező eltérések földrajzi és szociális háttere feltárásának, az iskolán kívüli (pl. tömegkommunikációs) hatások megismerésének. Mindezekre (együtt a nemzetközi felmérések tanulásaival) építhetők a további határozatpontokban javasolt differenciált minőségjavító programok.

Az ötödik pontban említett elektronikus szaktanácsadói rendszer létrehozását és különösen finanszírozását örvendetes előremutató javaslatnak, a szakmai önképzés eszközének tekintjük. *Az oktatás minőségbiztosításának alapvető fontosságát szem előtt tartva támogatjuk az OKNT törekvését a szaktanácsadói rendszer megújítására és megerősítésére.* A módszertani megújulás az önképzésen túl csak szervezeten, szakmailag elismert tanárok élő, személyes és rendszeres tanácsadásával valósítható meg. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat és annak Középiskolai Szakcsoportja a fizika tantárgy területén javaslataival és tapasztalatának felhasználásával mindenképpen részt kíván venni a rendszer létrehozásában.

A természettudományos tanártovábbképzés rendszerének megújítását feltétlenül támogatjuk és *java-*

soljuk, hogy a tanárok továbbképzésének súlyponti intézményei a tanárképzéssel foglalkozó egyetemek legyenek.

Egyetértünk és támogatjuk a hetedik pontban említett törekvéseket a természettudományok (fizika) tanításával kapcsolatos sajátos problémák megoldására, és reméljük, hogy a kormányzat a törekvéseket sajátjának elfogadva módot talál majd azok megvalósítására.

A nyolcadik pontban a természettudományos ismeretterjesztés fontosságát részletezi a javaslat. Ezen a téren az Eötvös Loránd Fizikai Társulat mindig élen járt és a továbbiakban, ha ehhez további támogatást kap, még hatékonyabban fog ezen a területen tevékenykedni.

Csak támogatni tudjuk a kilencedik pontban megfogalmazott javaslatot, amely szerint a kormány különítsen el a természettudományos oktatás fejlesztésére fordítandó támogatási összegeket. A hazai és európai kormányzati eszközöket célszerűen kiegészíthetik az érdekelt ipari és műszaki munkaadók kedvezményekkel ösztönzött céltámogatásai.

Külön kitérünk az egyetemi természettudományos tanárképzés helyzetére. A tanárképzés jelenlegi kétszintes formáját alkalmatlannak tartjuk nagy tudású szaktanárok képzésére. Az eddigi tapasztalatok egyértelműen arra utalnak, hogy a tanári természettudományos MSc-szakra jelentkezők szakmai színvonala és létszáma nem felel meg a társadalmi igényeknek. Sokkal hatékonyabb lenne olyan rendszer, amelyben a tanárképzés egységes ötéves és kétszakos formában valósulna meg, az egységes jogász- és orvosképzés fennmaradt létező példáihoz hasonlóan. A bolognai rendszer központi gondolatát, a mobilitás célját elegendően szolgálná, ha a pedagógiai és szakmódszertani tárgyak tanulását megelőző első egyetemi év után történhetne meg az ilyen tanári szakokra való jelentkezés.

Véleményünket összefoglalva megállapíthatjuk, hogy az OKNT javaslatainak megvalósulását az Eötvös Loránd Fizikai Társulat örömmel üdvözölné és jelentős kiinduló lépésnek tekintené a természettudományos közoktatás helyzetének javítása érdekében.

Az OKNT határozatának szellemében, de az ott megfogalmazotknál egyértelműbb hangsúllyal a következő kiegészítő javaslatokat tesszük:

1. Egy kötelezően választható természettudományos tárgy felvételét az érettségi tárgyak közé feltétlenül szükségesnek tartjuk. Így az érettségi hozzájárulhat a végzett tanulók munkaerő-piaci versenyképességének javításához.

2. A felsőoktatási felvételi követelmények lényeges elemének tartjuk a választott BSc-szaknak megfelelő, ahhoz illeszkedő szakirányú érettségi vizsga letételét. A tehetséggondozás szinten tartására szükségesnek tartjuk egyes szakmai tanulmányi versenyeken elért eredményeknek a felvételi pontszámokban való megjelenését.

3. Szükségesnek tartjuk az elektronikus szaknácádói rendszer létrehozását, a személyes szaknácádói hálózat megújítását és megerősítését az oktatás minőségbiztosítási színvonalának helyreállítása céljából.

4. A természettudományos tanárképzés egységes öt-éves (1+4 éves) és kétszakos rendszerének bevezetését javasoljuk az orvosi és jogász képzéshez hasonlóan.

5. A tanárok továbbképzésének súlyponti intézményei a tanárképző egyetemek legyenek.



Állásfoglalásunkat megküldjük *Hiller István* oktatási és kulturális miniszternek, tájékoztatásul eljuttatjuk *Loránd Ferenc*nek, az OKNT elnökének és *Pálinkás József* akadémikusnak, az MTA elnökének.

## Magyar Tudományos Akadémia Közoktatási Elnöki Bizottsága állásfoglalása a természettudományos közoktatásról

A Magyar Tudományos Akadémia 2008. szeptember 16-án újjáalakult Közoktatási Elnöki Bizottsága (MTA-KEB) megvizsgálta és elemezte a hazai természettudományos közoktatás helyzetét, és ajánlásait 2008. december 15-én állásfoglalásban összegezte.

Az MTA-KEB megállapította, hogy hasonlóan a nemzetközi tapasztalatokhoz, ez a terület a magyar közoktatásnak is kritikus problématerülete. Az MTA-KEB azt is megállapította, hogy a természettudományos közoktatás a hazai közoktatás általános problémáit meghaladóan súlyos és speciális gondokkal küzd.

A helyzet súlyosságát növeli az a tény is, hogy a 21. században a természettudományos műveltség már nem csupán az általános kulturális tájékozottság fontos része, hanem az állampolgárok felelősségteljes cselekvéséhez elengedhetetlenül szükséges tudás is. A globális társadalmi-környezeti problémák műszaki

természettudományos vonatkozásainak megértése nélkül nem várható a jövőt szem előtt tartó, tudatos viselkedés.

A társadalmi haladás gazdasági hátterének feltétele a versenyképesség növekedése. Ma Magyarországon egyre inkább a megfelelő számú és színvonalú műszaki szakember hiánya jelenti a versenyképesség fejlődésének legfőbb akadályát.

A természettudományos közoktatás színvonala és hatékonysága meghatározó ezen kérdések szempontjából. Súlyos gondot jelent, hogy a természettudományos tanári pályák vonzereje csekély, a kémia és a fizika területén pedig gyakorlatilag nincsen tanárutánpótlás.

A szakmai szervezetekhez és a felsőoktatási intézményekhez hasonlóan az MTA vezetése és testületei már többször hangot adtak azon véleményüknek, hogy sürgős és mélyreható változásokra van szükség a természettudományos közoktatásban. Az MTA-KEB

örvendetesnek tartja, hogy olyan szervezetek, mint az Országos Köznevelési Tanács, a Gazdasági és Szociális Tanács, a Magyar Innovációs Szövetség folyamatosan keresik a megoldást a súlyos problémákra. Ezek az erőfeszítések teljesen összhangban vannak az Európai Unió megfelelő kezdeményezéseivel.

Az MTA Közoktatási Elnöki Bizottsága a következő ajánlást teszi a felelős döntéshozóknak:

1. Elő kell segíteni a természettudományos közoktatás magas színvonalú, tudományos vizsgálatát.

2. Legyen egy természettudományos tantárgyból kötelező érettségi vizsga.

3. Támogatjuk az érettségi rendszer továbbfejlesztését, az emelt szint bevezetésével meghonosított kül-

ső (független bizottság előtt letett) vizsga általánossá tételét, a középszintnek az emeltbe integrálásával a rendszer egységesítését.

4. Ameddig a kétszintű érettségi rendszer működik, a felsőoktatási intézmények egyetemi fakultásain kerüljön bevezetésre az emelt szintű érettségi, mint felvételi követelmény.

5. Elengedhetetlen a természettudományos normatíva felvételi pontszámától való függésének bevezetése, illetve az ilyen irányú döntés hatásának előzetes elemzése.

6. Kiemelt ösztöndíjakkal, célzott anyagi támogatással kell motiválni a természettudományos tanári pálya mint élethivatás választását.

## A természettudományos képzést erősítenék a gazdaság szereplői – állásfoglalás a magyarországi természettudományos oktatás helyzetéről

A gazdasági élet szereplőit aggodalommal tölti el a szakoktatás, a természettudományos és műszaki képzés magyarországi helyzete. Az oktatás e területein a nemzetközileg megfigyelhető, káros, a szakképzést és a természettudományos közoktatást érintő tendenciák Magyarországon fokozott mértékben jelentkeznek. A diákok és a szülők túlnyomó része nem érti, hogy a matematika, a fizika, a kémia tantárgyak által kifejlesztett készségek, és ezekben átadott alapvető ismeretek nélkül a fiataloknak nincs esélyük a munkaerőpiacon, a magyar gazdaságnak nincs esélye a világv versenyben.

Jó minőségű oktatás nem létezik jó tanárok nélkül. Különösen aggasztó, hogy a bolognai rendszerű tanárképzésben tapasztalható bizonytalanság tovább csökkenti az egyébként is kisszámú fizika, kémia és újabban a matematika tanári pályára jelentkező egyetemi hallgatók számát, és ez hátrányosan befolyásolja a tehetséges hallgatók ilyen jellegű pályák iránti érdeklődését.

A szakképzéstől jól képzett és fejlődni képes szakmunkások képzését, a természettudományos közoktatástól a mindennapi életben hasznosítható és megújítható tudás, természettudományos műveltség közvetítését várjuk el, amelyre alapozva a fiatalok kellő számban folytathatják tanulmányaikat a természettudományos-műszaki területen.

Anélkül, hogy a nevelés és oktatás szakmai részletkérdéseiben állást foglalnánk, a magyar gazdaság megújítása érdekében határozottan kérjük a kormányt

és a parlamenti pártokat, hogy kezdeményezzenek azonnal intézkedéseket:

1. A természettudományos tantárgyak óraszámainak növelésére, e tárgyak tananyagának ésszerűsítésére, gyakorlatiasabbá tételére, és a tantárgyak tananyagainak összehangolására.

2. Az érettségi vizsgakövetelmények olyan átalakítására, amely a magasabb színvonalú szakmunkásképzéshez és a műszaki, természettudományos területeken való felsőfokú tanulmányokhoz egyaránt elengedhetetlen kompetenciák fejlesztésére, a természettudományos műveltség elsajátítására ösztönöz.

3. Az érettségi vizsga olyan szabályozására, hogy a magyar nyelv és irodalom, a matematika, a történelem és társadalmi ismeretek, egy (választható) természettudományos tárgy és egy (választható) idegen nyelv legyenek a kötelező vizsgatárgyak minden tanuló számára.

4. A természettudományi, műszaki végzettségűek számának növelése érdekében a fizika, a kémia és a matematika szakos tanári pálya vonzóbbá tételére.

*Futó Péter*, elnök,

Munkaadók és Gyáriparosok Országos Szövetsége,

*Parragh László*, elnök,

Magyar Kereskedelmi és Iparkamara

*Szabó Gábor*, elnök,

Magyar Innovációs Szövetség

*Takács János*, elnök,

Menedzserek Országos Szövetsége

A természettudományos oktatás helyzetének javítása az utóbbi hetekben sokak ügyévé lett. Egyebek között az *Élet és Irodalom*ban jelent meg *Rádai Eszter* interjúja *Kertész Jánossal Szerethető fizikát és kémiát! – Ez lenne a cél* címen (<http://www.es.hu/index.php?view=doc;22062>), *Szerényi Gábor* cikke a *Természet Világában Gondolatok a középiskolai természettudományos oktatásról* címen (<http://www.termeszetvilaga.hu>), valamint a Debreceni Egyetem,

a Magyar Rektori Konferencia és a Magyar Mérnökakadémia állásfoglalása (<http://ametist.detek.unideb.hu/allasfoglalas>), amelyhez már ezren csatlakoztak 2009. február 20-ig és továbbra is folyamatosan lehet hozzá csatlakozni.

Tudomásunkra jutott, hogy az Oktatási és Kulturális Minisztérium államtitkári értekezlete is foglalkozott a természettudományos közoktatás korszerűsítésének kérdésével.

# XI. SZILÁRD LEÓ NUKLEÁRIS TANULMÁNYI VERSENY

Beszámoló, I. rész

Sükösd Csaba  
BME Nukleáris Technika Tanszék

Szilárd Leó születésének centenáriuma alkalmából, Marx György professzor kezdeményezésére 1998-ban került először megrendezésre a Szilárd Leó Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny. Azóta a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat minden évben megrendezi a versenyt. 2006 óta határon túli magyar anyanyelvű iskolák tanulói részére is megnyitottuk a részvétel lehetőségét. Az idén ezzel három erdélyi iskola, a Báthory István Elméleti Líceum (Kolozsvár), a János Zsigmond Unitárius Kollégium (Kolozsvár), valamint a Nagykárolyi Elméleti Líceum (Nagykároly) élt, ahonnan összesen tizenkét első kategóriás (11–12. osztályos), és huszonkilenc junior kategóriás tanulót neveztek be a versenybe. Sajnos Felvidékről, Vajdaságból és Kárpátaljáról 2008-ban sem kaptunk nevezéseket. Összesen 215 első kategóriás és 113 junior kategóriás nevezés érkezett.

A 2008. február 25-én megtartott első forduló (válogató verseny) tíz feladatát az iskolákban lehetett megoldani három óra alatt. Kijávitás után a tanárok azokat a megoldásokat küldték be a BME Nukleáris Technika Tanszékére, ahol a 9–10. osztályos (junior) versenyzők legalább 40%-os, a 11–12. osztályos (I. kategóriás) versenyzők legalább 60%-os eredményt értek el. Ezeket ellenőrizve egy egyetemi oktatókból álló bírálóbizottság a legjobb 10 junior és a legjobb 20 első kategóriás versenyzőt hívta be a paksi Energetikai Szakközépiskolában 2008. április 19-én megrendezett döntőre. A döntőn minden behívott versenyző megjelent. Az idén négy lány is bejutott a döntőbe, mindannyian az I. kategóriában. A verseny fordulóin (mobiltelefon és internet kivételével) bármilyen segéd-eszköz használható volt.

Az alábbiakban ismertetjük a válogató verseny, valamint a döntő feladatait, és röviden a megoldásokat. Valamennyi feladatra 5 pontot lehetett kapni.

## A válogató verseny (I. forduló) feladatai

### 1. feladat

a) Miért állította le az USA Reaktorbiztonsági Bizottsága a grafit moderátoros, vízhűtésű reaktorokat már 1953-ban?

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

*Megoldás:* a) Mert a grafitall moderált és vízzel hűtött reaktoroknak pozitív üregtényezője lehet, amely a reaktor biztonságos üzemét veszélyeztetheti. b) *Teller Ede.*

### 2. feladat

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

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

Mi lehet a magyarázata a fenti idézetnek?

*Megoldás:* A kémiai kezeléssel az urán bomlási sorának többi elemét távolították el. A maradék tiszta urán már alig mutat radioaktivitást. Pár hónap múlva ismét felszaporodnak a bomlástermékek, ezért nő meg a minta aktivitása. Az eltávolított bomlástermékek felezési ideje jóval kisebb, mint az uráné, ezért azok aktivitása gyorsan csökken.

### 3. feladat

Az  $\alpha$ -bomlást gyakran kíséri negatív  $\beta$ -bomlás, de pozitív  $\beta$ -bomlás és elektronbefogás nem. Mi lehet ennek az oka?

*Megoldás:* Az  $\alpha$ -bomlás a nehéz elemek tulajdonsága, és ezeknél az atommagoknál az energiavölgy már jócskán elhajlik a  $Z = N$  egyenestől a neutrontöbblet felé. A bomlás során a protonok és a neutronok száma ugyanannyival (kettővel) csökken, ezért a neutron/proton arány növekszik. A neutrontöbblet relatív növekedése miatt a negatív béta-bomlás közelebb visz az egyensúlyi állapothoz, hiszen a neutronok száma csökken, a protonok száma pedig nő. Pozitív béta-bomláskor és elektronbefogáskor a neutronok száma nőne és a protonok száma csökkenne, ezért ez az egyensúlyi helyzettől még távolabb vinne.

### 4. feladat

Egy röntgenszó másodpercenként  $10^{15}$  darab, átlagosan 150 pm hullámhosszúságú fotont bocsát ki, ha 100 kV feszültségen 50 mA áramot vesz fel. Mekkora határfokkal működik a cső? Mire fordítódik a felvett energia jelentős része?

*Megoldás:* A felvett teljesítmény:  $P_{fel} = U \cdot I = 100 \text{ kV} \cdot 50 \text{ mA} = 5000 \text{ W}$ , a leadott hasznos teljesítmény (az 1 s alatt kibocsátott fotonok által elvitt energia):

$$P_{le} = N \cdot h \cdot f = N \cdot h \cdot \frac{\lambda}{c} = 1,36 \text{ W.}$$

A hatásfok tehát:

$$\frac{P_{le}}{P_{fel}} = \frac{1,326}{5000} = 2,65 \cdot 10^{-4}.$$

A felvett energia legnagyobb része az anód anyagát melegíti!

### 5. feladat

Torinóban őriznek egy leplet, amelyről sokan azt gondolják, hogy Krisztus halotti leple volt. A lepel korát  $^{14}\text{C}$  vizsgálattal kívánták meghatározni. A mérés szerint a lepel a XIV. század közepéből (kb. 1350-ből) származik. Hogy aránylik egymáshoz a minta  $^{14}\text{C}$  aktivitása és az, ami akkor lenne, ha a lepel valóban 2000 éves lenne?

**Megoldás:** Az aktivitás az időnek exponenciális függvénye.  $A(t) = A(0) \cdot 2^{-t/T}$ , ahol  $T = 5568$  év, a radiokarbon felezési ideje. Ebből:  $A(2000) = A(0) \cdot 2^{-2000/5568}$ , illetve  $A(650) = A(0) \cdot 2^{-650/5568}$ . A két aktivitás aránya:

$$\frac{A(2000)}{A(650)} = \frac{0,7796 \cdot A(0)}{0,9223 \cdot A(0)} = 0,845.$$

Tehát, ha 2000 éves lenne, akkor a jelenlegi aktivitás 0,845-szörösét kellene mutatnia.

A megoldás során feltételeztük, hogy a lepel kezdeti aktivitáskoncentrációja  $A(0)$  független attól, hogy mikor készült a lepel.

### 6. feladat

Határozd meg egy ciklotronból kilépő protonok *maximális* mozgási energiáját, ha tudjuk, hogy a ciklotron átmérője  $d$ , a gyorsítófeszültség frekvenciája pedig  $f$ .

**Megoldás:** A ciklotronban a protonok körpályán tartásához szükséges centripetális erőt a mágneses Lorentz-erő biztosítja. Az erők abszolút értékére vonatkozó egyenlet:

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

(mivel a sebesség és a mágneses mező merőlegesek egymásra). Ebből kapjuk:

$$v = \frac{e B R}{m} \quad (*)$$

A maximális mozgási energiához  $v_{\max}$  kell, ami akkor következik be, amikor a protonok pályasugara a lehető legnagyobb:  $R = d/2$ . Így kapjuk:

$$E_{kin(\max)} = \frac{m v_{\max}^2}{2} = \frac{1}{2} m \left( \frac{e B d}{2 m} \right)^2 = \frac{e^2 B^2 d^2}{8 m}.$$

A gyorsítás feltétele, hogy az alkalmazott feszültség periódusideje ( $1/f$ ) egyezzen meg a protonok körülfordulási idejével, azaz

$$\frac{1}{f} = \frac{2 \pi R}{v}.$$

Ide (\*)-ból behelyettesítve a sebességet kapjuk

$$f = \frac{e B}{2 \pi m}.$$

Ebből  $e B = 2 \pi \cdot f \cdot m$ , amelyet a maximális energia kifejezésébe helyettesítve kapjuk:

$$E_{kin(\max)} = \frac{4 \pi^2 f^2 m^2 d^2}{8 m} = \frac{1}{2} \pi^2 d^2 f^2 m.$$

### 7. feladat

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

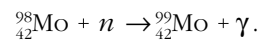
A  $^{99}\text{Tc}$  izotópnak van egy körülbelül 6 óra felezési idejű gerjesztett (metastabil) állapot  $^{99m}\text{Tc}$ , amelyből  $\gamma$ -sugárzás kibocsátásával bomlik el. Emiatt, és egyéb tulajdonságai miatt is, alkalmas szív- és érrendszeri diagnosztikai vizsgálatokra. (Teller Edénél is alkalmazták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

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

b) Mi lehet a „szülő” atommag (amelynek a bomlásából a  $^{99m}\text{Tc}$  keletkezik)?

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

**Megoldás:** a) A „kezdő”-mag a molibdén ( $Z = 42$ ) 98-as tömegszámú stabil izotópjá lehet, mert reaktorban neutronnal besugározva nem stabil 99-es izotópot kapnak az alábbiak szerint:



b) A „szülő”-mag természetesen a  $^{99}_{42}\text{Mo}$  radioaktív mag a következők szerint  $^{99}_{42}\text{Mo} \rightarrow ^{99m}_{43}\text{Tc} + \beta^-$  (a Tc metastabil gerjesztett állapotban keletkezik, ezt jelzi az „m”)  $^{99m}_{43}\text{Tc} \rightarrow ^{99}_{43}\text{Tc} + \gamma$  (felezési idő kb 6 óra). A vizsgálatban ezt a  $\gamma$ -sugárzást detektálják. A Mo-Tc rendszerben körülbelül egy nap alatt beáll a radioaktív egyensúly. A keverékből a technéciumot kémiai módszerekkel a kórházban elválasztják, és így használják nyomjelzésre.

c) A vizsgálat szempontjából az a jó, ha a beadott radioaktív izotóp felezési ideje rövid, mert ekkor kis mennyiség is viszonylag nagy aktivitású, viszont hamar lebomlik, és nem terheli sokáig a beteg szervezetét. A szülő-izotóp esetében viszont nem szabad túl rövidnek lenni a felezési időnek, mivel ezt *el kell szál-*

lítani a reaktortól a kórházba, és közben nem szabad nagyon lebomlania. Túl hosszú felezési idő sem jó, mert akkor a szükséges aktivitás eléréséhez nagy anyagmennyiségre lenne szükség. A  $^{99}\text{Mo}$  felezési ideje 66 óra, ami egy ésszerű kompromisszum.

### 8. feladat

Hidrogénatom gerjesztett elektronja az  $n = 5$  állapotból az  $n = 1$  állapotba kerülve kibocsát egy fotont. Legfeljebb mekkora mozgási energiájú fotoelektront képes ez a foton kiváltani fém nátriumból? A nátrium kilépési munkája 2,75 eV.

*Megoldás:* A hidrogénatomban lévő elektron energiája alapállapotban:  $E_1 = -2,19$  aJ. Az  $n = 5$  gerjesztett állapotban az energia  $E_n = E_1/n^2$ , azaz  $E_5 = -2,19/25$  aJ. Az energiakülönbség, és egyben a kilépő foton energiája:  $\Delta E = E_5 - E_1 = 2,1$  aJ. A nátrium kilépési munkája:  $W_{ki} = 2,75$  eV =  $4,4 \cdot 10^{-19}$  J = 0,44 aJ. A maximális mozgási energia nyilván a két energia különbsége, azaz 1,66 aJ.

### 9. feladat

a) Becsüld meg, mekkora sugárdózist jelenthet egy 50 kg tömegű ember számára percnként a tőle 1 méterre álló, 20 MBq aktivitású jódizotóppal kezelt beteg, ha feltételezzük, hogy annak testét a 356 keV energiájú fotonok fele hagyja el, és az emberünket érőknek is a fele nyelődik el benne? (Vegyük úgy, hogy az ember a testének 1 m<sup>2</sup>-nyi felszínét fordítja a sugárforrás felé.)

b) Hány vízmolekula felbontásához lenne elegendő ez az energia? (Adatok a függvénytáblázatban.)

*Megoldás:* Az egy perc alatt keletkezett fotonok összes energiája  $6,8 \cdot 10^{-5}$  J. Ennek csak fele lép ki, azaz a kilépő energia percnként  $3,4 \cdot 10^{-5}$  J. A jód az ember pajzsmirigyében nyelődik el, ezért pontszerű sugárforrásnak tekinthető. Emiatt az összes kibocsátott foton  $F/(4\pi R^2) = 1/(4\pi)$ -ed része esik az emberre (mivel  $F = 1$  m<sup>2</sup> és  $R = 1$  m). A testét elérő fotonoknak (és így az energiának is) csak a fele nyelődik el, tehát az elnyelt energia

$$\frac{1}{4\pi} \cdot 3,4 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{2} \text{ J} = 1,36 \cdot 10^{-6} \text{ J}.$$

Az elnyelt dózis:

$$D = \frac{1,36 \cdot 10^{-6} \text{ J}}{50 \text{ kg}} = 2,71 \cdot 10^{-8} \text{ Gy}.$$

A víz kötési energiája 498 kJ/mol, tehát egy vízmolekula elbontásához

$$\frac{498 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^{23}} \text{ J} = 8,3 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

energia kell. Így az egész testben elnyelt energia

$$n = \frac{1,36 \cdot 10^{-6}}{8,3 \cdot 10^{-19}} \approx 1,64 \cdot 10^{12}$$

vízmolekulát tud elbontani.

### 10. feladat

A Genf melletti CERN-ben épül a világ legnagyobb részecskegyorsító berendezése, az LHC (Nagy Hadronütköztető). A föld alatti alagútban lévő gyorsító gyűrűnek 27 km a kerülete, és benne 7 TeV (=  $7 \cdot 10^{12}$  eV) energiájú protonok keringenek majd. Mekkora mágneses indukciót kell létrehozni az eltérítő mágnesekben a protonok körpályán tartásához, ha az 1232 db eltérítő mágnes mindegyike 14,3 m hosszú?

*Megoldás:* A 27 km kerületű LHC-nek vannak egyes szakaszai is, ezért nagyobb a kerülete, mint a mágnesek teljes hosszúsága! A „körpályán” tartás azonban csak az eltérítő mágnesekben történik. A mágnesek teljes hossza  $1232 \cdot 14,3 \text{ m} = 17617,6 \text{ m}$ . Ez azt jelenti, hogy ha a mágneseket egymás mellé helyeznénk, akkor egy ekkora kerületű kört kapnánk. Ennek a körnek a sugara:  $R = 2804 \text{ m}$  lenne. A körpályán tartáshoz szükséges centripetális erőt a mágneses Lorentz-erő biztosítja:

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

Ebből kapjuk:

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

Itt  $p$  a részecske lendületét jelenti. A protonok nyugalmi tömegére  $mc^2 \sim 0,938 \text{ GeV} \sim 0,001 \text{ TeV}$ . Ezért a 7 TeV-es protonok erősen relativisztikus részecskék, így lendületükre nagyon jó közelítéssel:  $p = E/c$ . Ezt beírva kapjuk:

$$B = \frac{E}{q R c}.$$

Az ismert mennyiségek behelyettesítésével egyszerűen adódik:  $B = 8,32 \text{ T}$ . Ilyen nagy mágneses indukciót csak szupravezető mágnesekkel lehet előállítani.

Az elődöntő feladatait 51 fő I. kategóriás, és 16 fő junior versenyző teljesítette olyan szinten, hogy dolgozataikat a javító tanárok tovább tudták küldeni a BME Nukleáris Technika Tanszékére további rangsorolás végett. A beküldött dolgozatokból választotta ki a zsűri a legjobb húsz I. kategóriás, és a legjobb tíz junior versenyzőt, akiket behívtak a döntőbe.

### A döntő versenyfeladatai

Ezen a versenyen is, mint az első Szilárd Versenyen (valamint 2004 óta ismét), a Junior kategória versenyfeladatai részben eltértek az I. kategória (11–12. osztályosok) feladataitól.

#### 1. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

Mikor, hol és kivel együtt kezdett el foglalkozni Teller Ede a magfúzióval? Milyen felismerésekre vezetett ez?

*Megoldás:* 1938-ban George Gamow-val dolgozta ki a magfúzió elméletét, ezzel magyarázták meg a csillagok energiatermelését. Ekkoriban Gamow és Teller a

George Washington Egyetemen tanított. A Manhattan-projekt során *Fermi* tette fel neki a kérdést, hogy egy atombombával be lehetne-e indítani a magfúziót (1942). Ez az ötlet vezetett el a hidrogénbombához (első amerikai kísérleti robbantás 1952. november 1-jén volt).

### 2. feladat (kitűzte: *Sükösd Csaba*)

A napállandó értéke  $1388 \text{ W/m}^2$ . Ezt az adatot (valamint a Nap működésének ismeretét) felhasználva határozzuk meg, hogy másodpercenként hány, a Napból származó neutrínó szeli át testünk minden négyzetcentiméterét!

**Megoldás:** A Nap fúzióból nyeri az energiáját. Ennek során (több részfolyamat eredményeképpen) gyakorlatilag 4 protonból keletkezik egy darab  ${}^4\text{He}$  mag, „meléktermékként” pedig két neutrínó és  $26,71 \text{ MeV} = 4,2794 \text{ pJ}$  energia. Feltesszük, hogy a neutrínók és az energia kibocsátása egyaránt izotróp, és hogy terjedésük az űrben egyformán  $1/R^2$ -es törvény szerint gyengül. Ekkor azt lehet mondani, hogy minden  $2,1397 \text{ pJ}$ -os energiacsomag mellé egy neutrínó is társul. Ez adja meg az összefüggést az energia és a neutrínószám között. Eszerint egy négyzetméterre másodpercenként  $N = 1388 / (2,1397 \cdot 10^{-12}) = 6,486 \cdot 10^{14}$  darab neutrínó jut, ami egy négyzetcentiméterre számolva  $64,86$  milliárd neutrínó másodpercenként.

**Megjegyzés:** A megoldás során feltételeztük, hogy a felszabaduló energia teljes egészében olyan formában sugárzódik ki, ami beleszámít a napállandó értékébe. Ez a valóságban nincs így, mert a kisugárzott neutrínók is visznek el több-kevesebb energiát (a részfolyamattól függ, hogy éppen mennyit).

### 3. feladat (kitűzte: *Czifrus Szabolcs*)

A közeli jövő egyik legnagyobb neutronfizikai kutatócentruma az ESS (Európai Spallációs Forrás) lesz, amely reményeink szerint Magyarországon fog megépülni. A berendezésben egy protonnyalábbal valamilyen nehézfémről készült céltárgyat bombáznak, amelyből a protonok neutronokat váltanak ki. A protonok energiája  $1 \text{ GeV}$ , a protonnyaláb árama  $150 \text{ mA}$ . A nyaláb impulzusszerűen működik, másodpercenként  $16$ -szor  $2 \text{ ms}$  időtartamra. Tegyük fel, hogy az ehhez szükséges elektromos energia atomerőműből származik. Évente hány mol uránt kell elhasítani az erőműben az ESS nyalábjához szükséges elektromos energia biztosítására, ha az atomerőmű hatásfokát  $33\%$ -nak tekintjük? Hogyan aránylik az ezekben a hasadásokban másodpercenként keletkező neutronok száma az ESS-ben keletkező neutronok számához képest? (Az ESS-ben  $1$  proton becsapódása átlagosan  $30$  neutront vált ki.)

**Megoldás:** Az ESS-ben egy impulzus teljesítménye  $1 \text{ GV} \cdot 150 \text{ mA} = 0,15 \text{ GW}$ . Egy másodperc alatt csak  $16 \cdot 2 \text{ ms} = 32 \text{ ms}$ -ig működik a nyaláb, tehát az átlagos teljesítmény  $P = 0,032 \cdot 0,15 \text{ GW} = 4,8 \text{ MW}$ . Az átlagos áram  $4,8 \text{ mA}$ , amiből kapjuk, hogy a céltárgyba átlagosan becsapódó protonok száma  $4,8 \cdot 10^{-3} / (1,602 \cdot 10^{-19}) \sim 3 \cdot 10^{16}$  proton/s. Tehát a neutronok átlagos forrásereősége (azaz a másodpercenként kibocsátott neutro-

nok száma) az ESS céltárgya mögött ennek körülbelül harmincszorosa, vagyis nagyjából  $9 \cdot 10^{17}$  neutron/s.

Számoljuk ki, hogy másodpercenként hány hasadás kell ehhez a teljesítményhez! Egy hasadásban  $198 \text{ MeV}$  energia szabadul fel, ami  $3,17 \cdot 10^{-11} \text{ J}$ . Nekünk másodpercenként  $3 \cdot 4,8 \text{ MJ}$  hasadásból származó energiára van szükségünk (figyelemmel az atomerőmű hatásfokára), amihez másodpercenként  $4,54 \cdot 10^{17}$  hasadás kell. Az összes felszabaduló neutronszám ekkor átlagosan ennek  $2,4$  szerese, azaz  $1,09 \cdot 10^{18}$  neutron másodpercenként. Látható, hogy ez a szám alig  $20\%$ -kal nagyobb, mint az ESS-ben egy másodperc alatt felszabaduló neutronszám. Mivel a láncreakció fenntartásához hasadásonként egy neutronra szükség van, és a neutronok jó része el is nyelődik, ezért nyilvánvaló, hogy a spallációs forrás ilyen felépítésben hatékonyabban „konvertálja” a nukleáris energiát neutronokká, tehát hatékonyabb neutronforrás, mint egy reaktor. (Sőt, nem beszéltünk még arról, hogy az ESS-ben átlagos fluxust számoltunk. Az impulzuscsúcsban körülbelül harmincszor nagyobb lehet a forrásereősége!)

A feladat kérdezi még az évente elhasítandó urán mennyiségét. A másodpercenkénti hasadások számából ez könnyen adódik:  $23,769 \text{ mol } {}^{235}\text{U}$  mag hasad el azért, hogy biztosítsa az ESS nyalábjához szükséges energiát.

### 4. feladat (kitűzte: *Papp Gergely*)

Mi történne, ha a paksi reaktorokban a hűtésre és moderálásra szolgáló vizet nehézvízre cserélnénk? (A deutérium tömegét közelíthetjük a hidrogén tömegének kétszeresével.)

**Megoldás:** A feladat szövege utal rá, hogy a deutérium tömege szerepet játszik. Mint tudjuk a deutérium jobb moderátor mint a víz, mivel nem nyeli el a neutronokat. A kétszeres tömeg miatt azonban egy ütközésben átlagosan kevesebb energiát veszít a neutron, mint víz esetében. Ezért a lassulásig megtett út megnő. A paksi reaktorokban a fűtőelempálcák távolsága könnyű vízre van optimalizálva, ezért ha nehézzvízzel töltenénk fel, akkor a neutronok még nem lennének termikusak, amikor eléri a következő fűtőelempálcát. Így a reaktorokat valószínűleg el sem lehetne indítani.

### 5. feladat (kitűzte: *Papp Gergely*)

Magyarország éves energiaigénye  $\sim 3 \cdot 10^{10} \text{ kWh}$  (mindenféle energia, nemcsak villamosenergia). Tegyük fel, hogy ennyi energiát tisztán szabályozott magfúzióból szeretnénk felszabadítani. A zárt rendszerben lejátszódó folyamatok:  ${}^6\text{Li} + n \rightarrow \text{He} + \text{T} + 4,8 \text{ MeV}$ ,  $\text{D} + \text{T} \rightarrow \text{He} + n + 17,62 \text{ MeV}$ . Itt D és T a deutériumot, illetve tríciumot jelzi. Számoljuk ki, hogy hány kg  ${}^6\text{Li}$  és hány liter nehésvíz lenne szükséges ehhez! Hány kg héliumgáz keletkezik? (A nehésvíz sűrűsége  $1100 \text{ kg/m}^3$ .)

**Megoldás:** Az egy reakcióban összesen felszabaduló energia  $E_{\text{tot}} = (4,8 + 17,62) \text{ MeV} = 2,242 \cdot 10^7 \text{ eV}$ , azaz  $3,592 \cdot 10^{-12} \text{ J}$ . Mivel az energia megtermeléséről (és nem villamosenergia termeléséről) szól a feladat, ezért a hatásfok  $100\%$ . Az éves energiaigény  $3 \cdot 10^{10} \text{ kWh} = 1,08 \cdot 10^{17} \text{ J}$ . Ebből látható, hogy évente  $3,0 \cdot 10^{28}$  fúziós reakcióra van szükség. Ez  $A \sim 50\,000$  molnyi reakció.



Egy fúziós reakcióhoz egy darab lítium atom és egy darab deutérium atom szükséges, és két hélium atom keletkezik. Tehát szükség van  $A$  mol  ${}^6\text{Li}$ -ra,  $A/2$  mol  $\text{D}_2\text{O}$ -ra, és  $2A$  mol He keletkezik.  $M_{\text{Li}} = 6$ ,  $M_{\text{He}} = 4$ ,  $M_{\text{D}_2\text{O}} = 20$ . Tehát  $m_{\text{Li}} = 300$  kg,  $m_{\text{He}} = 400$  kg és  $V_{\text{D}_2\text{O}} = 500/1,1 = 455$  liter. (Nem kérdeztük, de a természetes lítiumban csak 7,6% a  ${}^6\text{Li}$  részaránya, így jóval több természetes lítiumra lenne szükség!)

### 6. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

Az alábbi táblázat a természetes uránban előforduló uránizotópok néhány adatát tartalmazza:

izotóp	százalék	felezési idő
${}^{238}\text{U}$	99,275	4,51 milliárd év
${}^{235}\text{U}$	0,72	0,71 milliárd év
${}^{234}\text{U}$	0,0055	247 000 év

Adjunk magyarázatot ezeknek az izotópoknak az előfordulási gyakoriságára!

**Megoldás:** A két gyakoribb izotóp arányára magyarázatot ad a felezési idejük és a Föld kora. (Ezek különböző bomlási sorok tagjai, egymást nem befolyásolják.) A  ${}^{234}\text{U}$  izotóp azonban nem magyarázható így, ő ugyanis a 238-as urán bomlási sorának tagja. Felezési ideje jóval kisebb annál, így a  ${}^{238}\text{U}$ -nal radioaktív (szekuláris) egyensúlyban van. (A Föld keletkezése óta elegendő idő eltelt ahhoz, hogy ez beálljon.) A két izotóp összaktivitása meg kell egyezzen, amit ellenőrizhetünk is: a felezési idők aránya meg kell egyezzen a koncentrációk arányával.

$$\frac{99,275}{0,0055} \cdot 247\,000 \text{ év} = 4,458 \text{ milliárd év.}$$

Ez elég jó egyezés.

### 7. feladat (kitűzte: Kopcsa József)

A Paksi Atomerőmű egy blokkjának átlagos teljesítménye 480 MW, hatásfoka 34%.

a) Mennyivel csökken a fűtőanyag tömege 1 nap alatt?  
b) Naponta mekkora tömegű kohókokszt elégetésével lehetne ezt a teljesítményt biztosítani?

c) Mekkora tömegű  $\text{CO}_2$ -dal szennyeznék a légkört naponta a b) esetben számított kohókokszt elégetésével? (A kohókoksztot tekintjük tiszta szénnek; égéshője 29,75 MJ/kg.)

**Megoldás:** A maghasadásból származó teljesítmény  $480/0,34 = 1411,76$  MW. Ez egy nap alatt  $1,2197 \cdot 10^{14}$  J energia felszabadítását jelenti. Ezt elosztva  $c^2$ -tel kapjuk, hogy a fűtőanyag tömege naponta 1,357 grammal csökken. Az egy nap alatt megtermelendő energiát elosztva a kohókokszt égéshőjével kapjuk, hogy naponta 4100 tonna kocszra lenne szükség. A széndioxid mennyiségét a moláris tömegek arányából kapjuk: 15 033,3 tonna  $\text{CO}_2$  keletkezne.

### 8. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

Ha a KI (káliumjodid) kristályból eltávolítunk egy jodid iont, akkor az üresen maradt helyet egy – ugyancsak negatív töltésű – elektron foglalhatja el („elektron-színcentrum”). Ezt az elektront úgy tekinthetjük, mint ha egy  $2d$  oldalélű kocka alakú dobozba lenne bezárva, ahol  $d = 0,7$  nm a KI-kristály rácsállandója. Milyen hullámhosszúságú fényt képes elnyelni a kristály?

**Megoldás:** A dobozba zárt elektron energiája:

$$E_{x,y,z} = \frac{h^2}{2 m_e} \left[ \frac{(n_x + 1)^2 + (n_y + 1)^2 + (n_z + 1)^2}{4 D^2} \right] =$$

$$= \frac{h^2}{8 m_e D^2} \sum_{i=1}^3 (n_i + 1)^2.$$

Itt  $D = 1,4$  nm a kocka oldaléle,  $n_i$  az adott tengelyre merőleges csomósíkok száma,  $m_e$  az elektron tömege, és  $h$  a Planck-állandó. Vegyük a legegyszerűbb,  $E_{000} \rightarrow E_{100}$  átmenetet. Ekkor az első szumma értéke 6, a másodiké 3, tehát a keresett frekvencia

$$f = \frac{3 h}{8 m_e D^2} = 1,39 \cdot 10^{14} \text{ Hz.}$$

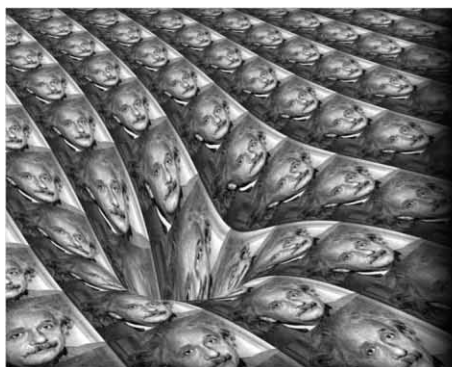
Ennek a hullámhossza:

$$\lambda_1 = \frac{c}{f} = 2160 \text{ nm.}$$

Ez még erősen az infravörös tartományba esik. A látható fény tartományába esne például az  $E_{000} \rightarrow E_{300}$  átmenet, hiszen ekkor a szummák értékei 18 és 3, a különbség 15. Az ennek megfelelő hullámhossz értéke:

$$\lambda_3 = \frac{3}{15} \lambda_1 = 433 \text{ nm.}$$

*A folytatás a februári számban következik.*



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



## A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

### Közgyűlés, 2009

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat elnöksége értesíti a tagságot, hogy a Társulat éves közgyűlését 2009. május 23-án, szombaton szándékozunk megtartani. A szokásos éves programpontok (beszámoló jelentések, vita, tisztújítás, díjkiosztás stb.) mellett ebben az évben két fontos megemlékezésre is sort kerítünk.

– A Nemzetközi Csillagászati Unió és az UNESCO a *Csillagászat Nemzetközi Évének* nyilvánította a 2009. évet „Az Univerzum: Benne élsz, fedezd fel!” jelmondat jegyében. A közgyűlés szokásos napirend előtti előadása a Csillagászati Szakcsoportunkkal, vezető csillagászokkal egyeztetett csillagászati tárgyú előadás lesz.

– Megemlékezünk arról, hogy *Eötvös Loránd* 90 éve halt meg és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 60 éve vált önálló civil szervezetté. Megpróbáljuk felkutatni és meghívni azokat a még élő tagtársainkat, akik 1949-ben már tagjai voltak a Társulatnak, mint például *Gergely György*, a tavalyi Társulati emlékérem kitüntetettje. Kérjük azokat, akik ismernek hasonlóan „régóta fiatal” tagtársa(ka)t, értesítsék az elnökség, vagy a szak-, illetve területi csoportok tisztségviselőit.

A nyilvános közgyűlés részletes napirendjét a *Fizikai Szemlében* közölni fogjuk és a meghívókat időben elküldjük a megválasztott küldötteknek.

*Kádár György* főtktár

### Felhívás javaslatételre

A korábbi évekhez hasonlóan az idén is szándékunkban áll kiosztani az Eötvös Loránd Fizikai Társulat érmeit és díjait. Ezúton is kérem a Társulat szakcsoportjait, a területi szervezeteket és a Társulat valamennyi tagját, hogy a Társulat díjainak odaítélésére vonatkozó javaslataikat (pályázatukat) 2009. április 5-ig szíveskedjenek eljuttatni a Társulat titkárságára (1027 Budapest, Fő utca 68., postacím: 1371 Budapest, Pf. 433).

A díjak odaítélésével kapcsolatban az Alapszabály vonatkozó rendelkezései az irányadóak, a díjak kiosztására az előreláthatóan 2009. május 23-án megrendezendő küldöttközgyűlés keretében kerül sor.

#### Az Eötvös Társulat kitüntetései és díjai

##### Tudományos díjak

A Eötvös Loránd Fizikai Társulat az alábbi tudományos díjakat adományozhatja:

- *Bródy Imre-díjat* annak a személynek, aki a fizika alkalmazásának területén,
- *Budó Ágoston-díjat* annak a személynek, aki az optika, molekulafizika vagy a kísérleti fizika területén,
- *Detre László-díjat* annak a személynek, aki a csillagászatban, valamint bolygónkkal és annak kozmikus környezetével foglalkozó fizikai kutatások területén,
- *Gombás Pál-díjat* annak a személynek, aki az alkalmazott kvantumelmélet kutatása területén,
- *Gyulai Zoltán-díjat* annak a személynek, aki a szilárdtestfizika területén,
- *Jánossy Lajos-díjat* annak a személynek, aki az elméleti és kísérleti kutatások területén,

- *Novobátzky Károly-díjat* annak a személynek, aki az elméleti fizikai kutatások területén,
- *Schmid Rezső-díjat* annak a személynek, aki az anyag szerkezetének kutatása területén,
- *Selényi Pál-díjat* annak a személynek, aki a kísérleti kutatás területén,
- *Szalay Sándor-díjat* annak a személynek, aki az atom- vagy atommag-fizikában, illetve ezek interdiszciplináris alkalmazási területén,
- *Szigeti György-díjat* annak a személynek, aki a lumineszcencia- és félvezető-kutatások gyakorlati alkalmazásában,
- *Bozóky László-díjat* annak a személynek, aki a sugárfizika és a környezettudomány területén,
- *Felsőoktatási Díjat* annak a személynek, aki a felsőoktatás területén kimagasló eredmény ért el.

##### Társulati díjak

- *Eötvös Loránd Fizikai Társulat Érem* a Társulat azon tagjának adható, aki a fizika területén hosszú időn keresztül folytatott kutatási, alkalmazási vagy oktatási tevékenységével, és a Társulatban kifejtett munkásságával kiemelkedően hozzájárult a fizika hazai fejlődéséhez.
- A Társulat *Prometheusz* éremmel – „A fizikai gondolkodás terjesztéséért” – tüntetheti ki azt, aki a fizikai műveltség fokozásához országos hatással hozzájárult.
- A Társulat *Eötvös Plakett* emléktárgya annak a tagnak/személynek ítéhető oda, aki rendkívüli mértékben nyújt segítséget a Társulat célkitűzéseinek megvalósításához, neves külföldi vendégnek a Társulat valamely rendezvényén tartott előadása alkalmából.

A Társulat díjaira az Alapszabály szerint a Társulat szakcsoportjai és területi szervezetei, valamint a Társulat tagjai tehetnek javaslatot, de minden társulati tag maga is pályázhat a díjakra. A díjak elnyerésének a társulati tagság nem feltétele. A javaslatokat és a pályázatokat az illetékes szakcsoportok véleményével

együtt a [www.elft.hu](http://www.elft.hu) weblapról letölthető, vagy a titkárságon beszerezhető úrlap felhasználásával kell a Társulat titkárságára eljuttatni.

A díjazottak személyéről a Díjbizottság javaslatára a Társulat Elnöksége dönt.

Kádár György főtitkár

## AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

### Erdélyi kirándulás

Az MTA Műszaki Tudományok Osztálya keretében működő Anyagtudományi és Technológiai Bizottság (ATB) 2008. január 24-i, kecskeméti ülésen *Kolozsváry Zoltán* javaslata alapján úgy határozott, hogy a hazai tudományos műhelyek felkeresésének gyakorlatát kiterjesztve, kihelyezett bizottsági ülés keretében meglátogatja az ATB erdélyi tagjainak kutatóhelyeit. Ez a döntés időben szorosan követte az MTA új területi bizottsága, a Kolozsvári Akadémiai Bizottság (KAB) közelmúltbeli megalakulását.

A bizottsági ülés időpontját a nyár végére egyeztették, és az útiterv ismeretében fél-fél napos programot szerveztek a helyi kollégák Kolozsvárról és Marosvásárhelyen. Az MTA Határon Túli Magyarok Titkársága pénzügyi támogatással és reprezentatív ajándékok biztosításával támogatta a programot. Ilyen előzmények után jött létre – minden valószínűség szerint első alkalommal az MTA gyakorlatában – egy hazai tudományos bizottság látogatása a határon túl élő magyarság tudományos műhelyeibe. ([www.mta.hu](http://www.mta.hu))

## HÍREK A NAGYVILÁGBÓL

### A változó bomlási állandók rejtélye

Jól ismert, hogy a radioaktív anyagok bomlását exponenciális törvény írja le, és a bomlási állandó, amely összefüggésben van a bomló állapot élettartamával, *Rutherford*, *Chadwick* és *Ellis* eredeti megfogalmazása szerint „minden körülmények között állandó”. Az állítás igazát vitatják *E. Fischbach* és *J. Jenkins*, a Purdue Egyetem kutatói. Szerintük bizonyos bomlási állandók értékét befolyásolja a Nap. A meghökkentő állítást a fizikusok igen vegyes érzelmekkel fogadták. *Fischbach* a 80-as években azzal szerzett ismertséget, hogy felvetette a négy alapvető kölcsönhatás mellett egy „ötödik erő” létezésének lehetőségét *Eötvös Loránd* korabeli mérési adatainak újra elemzése alapján. A feltevés általában bizonyult, nincs ötödik erő!

*Fischbach* és *Jenkins* figyelmét 2006-ban egy a Brookhaven Nemzeti Laboratóriumban (BNL) elvégzett kísérlet keltette fel. A BNL kutatói azt találták, hogy 1982 és 1986 között végzett méréseknél a  $Si^{32}$  bomlási állandójának mért értéke 0,1% ingadozást mutatott. Az ingadozás továbbá korrelált a Nap–Föld távolság válto-

zásával: a bomlás gyorsabb volt januárban, amikor a Föld a legközelebb volt a Naphoz, míg júliusban, amikor a távolság a legnagyobb, a leglassúbb volt.

A kutatók elkezdték vizsgálni más izotópok, köztük a  $Mn^{54}$  bomlási állandói mért értékeinek fluktuációit, és bizonyos változások megjelenését erős napkitörésekkel hozták kapcsolatba. Ez utóbbi eredményeket beküldték a *Physical Review Letters* folyóiratnak, azonban a szerkesztő – megfelelő elméleti interpretáció hiányában – a közlést elutasította. A szerzők tovább folytatták kutatásaikat, míg egy hasonló kísérletre bukkantak, amelyben a Physikalisch–Technische Bundesanstalt kutatói 15 éves mérésoroztatban a  $Ra^{226}$  bomlási állandójának fluktuációját vizsgálták. Ezen eredmények alapján állítják, hogy „a bomlási állandók nem a természet alapvető állandói”. Magyarozatként azt tételezik fel, hogy a Nap által kibocsátott neutrínók befolyásolják a radioaktív atommagok bomlását. Az elképzelést a kísérleti fizikusok többsége nagy kétkedéssel fogadja. (<http://physicsworld.com/>)

**Fizikai Szemle**  
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



**nka**  
Nemzeti Kulturális Alap

**mym**  
paksi atomerőmű

**NCA**  
Nemzeti Civil Alapprogram





ISSN 0015325-7



9 770015 325009 09001