

fizikai szemle



2011/3

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

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztőbizottság:

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-mail címe:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>

A címlapon:

Az ANTARES neutrínótávcső telepítése
2006 áprilisában. Foto: L. Fabre/CEA

TARTALOM

<i>John Carr:</i> Az ég feltérképezése a tenger mélyéről: neutrínocsillagászat az ANTARES kísérlettel	73
<i>Kiss Miklós:</i> Vasnál nehezebb elemek keletkezése csillagokban	78
<i>Futó Péter:</i> A Kepler-forradalom	87

A FIZIKA TANÍTÁSA

<i>Bokor Nándor:</i> A Lorentz-féle sebességtranszformáció szemléltetése energia-impulzus diagramokkal	89
<i>Vantsó Erzsébet:</i> A 2010. évi Eötvös-verseny ünnepélyes eredményhirdetése	93
<i>Bozsányi Krisztina, Major Balázs:</i> A Veres Pálné Gimnázium Galilei Tehetséggondozó Műhelye	98
<i>Kis Tamás:</i> A fa- és a vasgolyó Hevesen versenyzett	101

VÉLEMÉNYEK

<i>Szabó Árpád, Szabó Tímea:</i> Az oktatási rendszer tervezett reformjáról	104
---	-----

KÖNYVESPOLC

	106
--	-----

HÍREK – ESEMÉNYEK

<i>Kroó Norbert:</i> Kollár Jánosra emlékezem	108
---	-----

J. Carr: The ANTARES experiment of neutrino astronomy: mapping the sky by measurements beneath the sea

M. Kiss: How elements heavier than iron come about in stars

P. Futó: Our days' Kepler revolution

TEACHING PHYSICS

N. Bokor: Visualizing the Lorentz velocity transformation with energy-momentum diagrams

E. Vantsó: The solemn proclamation of the 2010 Eötvös-competition results

K. Bozsányi, B. Major: The "Fostering gifted pupils" Workshop of the Veres Pálné Gymnasium

T. Kis: The classical free fall comparison: wood sphere vs. iron sphere

OPINION

Á. Szabó, T. Szabó: The planned reform of the country's education system

BOOKS

EVENTS

N. Kroó: János Kollár, remembrance

J. Carr: Das Experiment ANTARES der Neutrino-Astronomie: Vermessung der Intensität am Himmel durch Beobachtungen auf dem Meeresboden

M. Kiss: Die Entstehung von Elementen schwerer als Eisen in Sternen

P. Futó: Die Kepler-Revolution unserer Tage

PHYSIKUNTERRICHT

N. Bokor: Veranschaulichung der Lorentz-Transformation mit Energie-Impuls-Diagrammen

E. Vantsó: Festliche Verkündigung der Ergebnisse des Eötvös-Wettbewerbs 2010

K. Bozsányi, B. Major: Der Workshop „Zur Begabten-förderung“ des Veres Pálné Gymnasiums

T. Kis: Vergleich des freien Falls von Holz- und Eisenkugeln

MEINUNGSÄUSSERUNGEN

Á. Szabó, T. Szabó: Über die geplante Reform des ungarischen Unterrichtswesens

BÜCHER

EREIGNISSE

N. Kroó: Zur Erinnerung an János Kollár

Дж. Керр: Эксперимент ANTARES нейтронной астрономии: измерение распределения интенсивности на небе – результат измерений на дне океанов

М. Киш: Об образовании элементов более тяжелых железа внутри звезд

П. Футо: Революция Кеплера наших дней

ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

Н. Бокор: Диаграммы энергия-импульс для иллюстрации Лоренцевой трансформации скоростей

Э. Ванчо: Торжественная публикация итогов конкурса им. Этвеша 2010 г.

К. Божани, Б. Майор: Отдел «Помощь одаренным ученикам» гимназии им. Вереш Пальны

Т. Киш: Эксперимент по сравнению свободного падения деревянного и железного шариков

ЛИЧНЫЕ МНЕНИЯ

А. Сабо, Т. Сабо: О запланированной реформе государственной системы обучения

КНИГИ

ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

Н. Кроо: Памяти Яноша Коллара

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



nka
Nemzeti Kulturális Alap



paksi atomerőmű

NCA
Nemzeti Civil Alaprogram



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

LXI. évfolyam

3. szám

2011. március

AZ ÉG FELTÉRKÉPEZÉSE A TENGER MÉLYÉRŐL: NEUTRÍNÓCSILLAGÁSZAT AZ ANTARES KÍSÉRLETTEL

John Carr

Centre de Physique des Particules de Marseille, Franciaország

A klasszikus csillagászati megfigyelések köre a Naphoz hasonló, látható fényt kibocsátó objektumokra korlátozódik. Az elmúlt században a teljes elektromágneses spektrumra, a rádióhullámoktól a gamma-sugárzásig kiterjesztették a megfigyeléseket. Ez az új típusú, széles hullámhossztartományon működő csillagászat sok, korábban ismeretlen csillagászati jelenséget fedezett fel, például aktív galaxismagokat és gamma-kitöréseket. A neutrínócsillagászat gondolata – a neutrínóra a fotont helyettesítő hírnökként tekintve – még tovább kiterjeszti a Világegyetem objektumainak megfigyelését. Ezen új kutatási terület 20 éve indult a BAJKAL (Szibéria) és az AMANDA (Antarktisz) kísérletekkel. Nemrég a Földközi-tengeren megépítették és elkezdték működtetni az ANTARES neutrínótávcsövet. Jelen munkában az ANTARES első neutrínómegfigyelési eredményeit, továbbá a kísérlet mélytengeri környezetéből adódó egyedi kutatásokat mutatjuk be.

Az ANTARES detektorrendszert egy multidiszciplináris mélytengeri obszervatórium és a hozzá kapcsolódó neutrínótávcső alkotja. A berendezés célja asztro-rezecskefizikai kutatás, azon belül neutrínócsillagászat. A 2008 májusában elkészült távcső tizenkét horgonykábelből áll, amelyek fénydetektorokat tartanak. A tizenkét optikai detektorkábelben tengeri és földtudományi kutatóberendezéseket is elhelyeztek. Van egy tizenharmadik kábel is, ennek feladata a tengeri környezet folyamatos megfigyelése. Az ANTARES fontos jellemzője a fentiekén kívül, hogy állandó nagy sávszélességű adatkapcsolata van a tengerparttal.

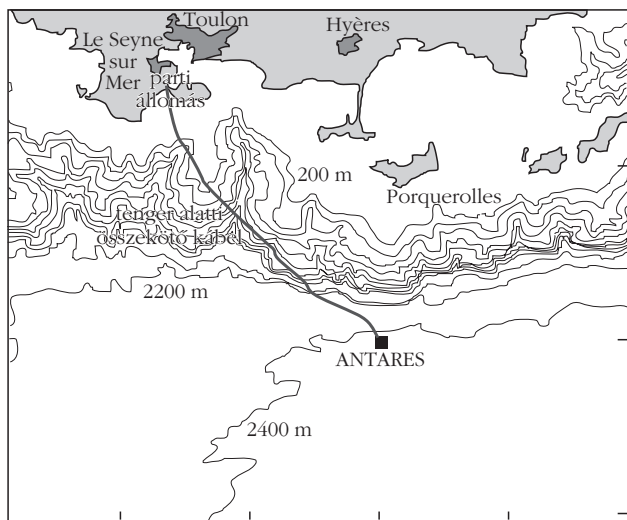
A 2010. május 20-án tartott 8. Marx György Emlékelőadás szerkesztett változata. Fordította Csanád Máté.

A mélytengeri megfigyelő állomás fejlesztése és megépítése sok évig tartott. Az első vizsgálatokat 1996-ban végezték el, ekkor különálló horgonykábeleket használtak. A parttal létesített állandó vezetékcsatlakozás 2002 novemberétől működött, és 2003-ban a horgonykábelek első prototípusait sikerült hosszabb időtartamra összekapcsolni a parttal. Később a detektor egyre több eleme elkészült, a berendezések 2003-tól oceanográfiai adatokat is szolgáltattak.

Tudományos célok

A kombinált neutrínó- és mélytengeri obszervatóriumnak a tudomány széles spektrumában lesz lehetősége, hogy nagy felfedezéseket tegyen. A neutrínó, mint a kozmosz távoli helyeinek hírnöke, egyedülálló tulajdonságai révén sokféle szempontból áttöréshoz vezet a Világegyetem megértésében. A látható fény tartományában működő hagyományos csillagászat leginkább a Naphoz hasonló csillagokat látja. A kiterjesztett, széles hullámhossztartományú csillagászat, amely rádióhullámoktól a gamma-sugarakig képes elektromágneses sugárzás észlelésére, sok új jelenséget fedezett fel: aktív galaxismagokat, gamma-kitöréseket és mikrovavarárokat. A neutrínótávcsövek továbbfejlesztik ezen újfajta csillagászat felfedezőképességét, és alapvető információval szolgálnak majd az ismert források természetét illetően. Ezen túl lehetővé teszik eddig ismeretlen források felfedezését, amelyekből a nagy anyagsűrűségű környezet hatására csak neutrínók tudnak kilépni.

A mélytengeri elhelyezés és a parttal létesített állandó kapcsolat segítségével folyamatosan, hosszú



1. ábra. Az ANTARES helyszíne Toulontól délkeletre, Franciaországban. A parti állomás és az összekötő kábel is látható a térképen.

időn át lehet mérni a tenger paramétereit. Ilyen adatok jelenleg még nem állnak rendelkezésre, így az új mérések várhatóan felfedezéseket és innovációt eredményeznek a tengertudományok széles területein is.

A detektor építésének állomásai

Az ANTARES együttműködés 1996-ban kezdte a neutrínótávcső létrehozására irányuló kutatási és fejlesztési munkát. Az első feladat az automata horgonykábelek telepítése és működtetése volt, ezekkel már lehetett vizsgálni a víz és a környezet tulajdonságait az ANTARES helyszínén, amely a francia partoknál, Toulontól délkeletre található az északi szélesség $42^{\circ} 48'$, keleti hosszúság $6^{\circ} 10'$ ponton, ahogy az 1. ábra mutatja. A terület felmérése [2–4] során hatvannál is több kábelt telepítettek. Mindenhol alapos méréseket végeztek a környezetből jövő fénysugárzás (biolumineszcencia, biolerakódások, üledék és fényszóródás) erősségét illetően.

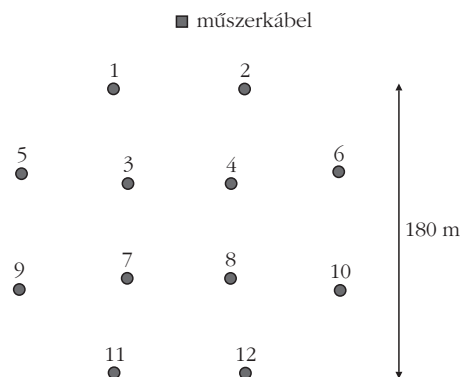
Az ANTARES első, a szárazföldi adatgyűjtő rendszerrel összekötött tesztkábelét 1999 novemberében telepítették, és „demonstrációs kábelnek” nevezték. Ez a kábel egy régi, a tengerfenéken futó France Telecom vezetékét használta, ami összekötötte a kábelt a marseille-i adatfelvevő állomással. A tesztkábel Marseille közelében, egy speciális helyszínen, 1200 méter mélyen helyezték el. Néhány hónapig tartó működtetése során a rendszer koncepciójának helyességét vizsgálták, elsősorban az akusztikus pozicionáló rendszert, de hét optikai érzékelővel a kozmikus müonok észlelhetőségét is ellenőrizték.

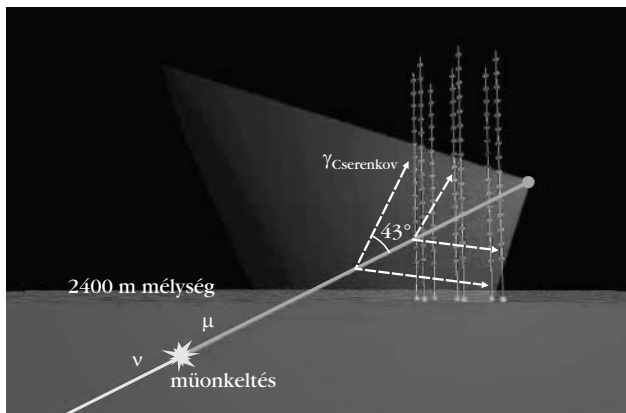
A végleges detektor felépítése 2001-ben kezdődött, ennek első lépéseként egy új vezetékot telepítettek a végleges helyszín és a La Seyne-sur-Merben lévő parti állomás között. Ezt a vezetékot, amely jelenleg a fő elektro-optikai vezeték (Main Electro-Optical Cable, MEOC), 2001 novemberében helyezték el a tengerfe-

néken. Itt a vezeték végén kezdetben csak egy visszacsatoló volt. 2002 novemberében a vezeték végét felszínre hozták, csatlakoztatták a kapcsolódobozhoz (Junction Box, JB), majd újra telepítették a tengerben. Azóta az akkumulátorral üzemeltetett kapcsolódoboz a rendszer paramétereit folyamatosan méri és elküldi a parti mérőállomásra, a rendszer működése pedig immár évek óta tökéletes.

2003-ban a végleges technológiához nagyon hasonló prototípusokat teszteltek. 2002. november és 2003. március között két kábelt telepítettek, a tesztberendezéseket tartalmazó MIL kábelt és a PSL kábelt. Az utóbbi egy tizenöt optikai szenzort tartalmazó detektorkábel volt. Ezeket 2003. május és július között üzemeltették, és a kialakítás helyességét részben igazolták, másrészt néhány problémára is fény derült: az optikai átvitelben adatvesztéséget észleltek és szivárgást találtak több helyen. Mindemellert a PSL négy hónapig mérte a beütések gyakoriságát az optikai detektorokban, és meghatározta a biolumineszcencia okozta háttérsugárzást. A MIL és PSL kábelekkel szerzett tapasztalat alapján néhány ponton megváltoztatták a detektorok felépítését. Ennek nyomán készült el a MILOM nevű kábel, amelyet 2005. március 18-án telepítettek a tengerbe, a parttal pedig április 12-én létesítettek kapcsolatot. E kábel több havi sikeres működtetéséről az [5] hivatkozásban olvashatunk. A végleges detektorkábeleket 2006. február és 2008. május között telepítették és csatlakoztatták. A telepítés a Castor hajó segítségével történt, a tengerfenéken elvégzett munkálatokban a Nautile tengeralattjáró és a francia nemzeti tengerészeti kutatóintézet (IFREMER) Victor nevű távirányítású járműve állt rendelkezésre. Az első detektorkábelt 2006. február 14-én telepítették, majd két hét múlva csatlakoztatták. A második kábel telepítésére 2006 októberében került sor. 2007 januárjában további három kábelt csatlakoztattak, majd még ötöt decemberben. A végleges konfiguráció az utolsó két kábel telepítésével lett teljes 2008 elején, a csatlakoztatás pedig 2009. május 29-én történt meg. A kábelek végleges tengeri elrendezését a 2. ábra mutatja.

2. ábra. Az ANTARES detektor tengeri elrendezése. A rendszert tizenkét neutrínódetektálásra használt kábel (körök) és egy műszerkábel (négyzet) alkotja. A detektorkábeleket 2006. március és 2008. május között telepítették, a műszerkábel két verzióját 2005. márciusban és 2007. decemberben.



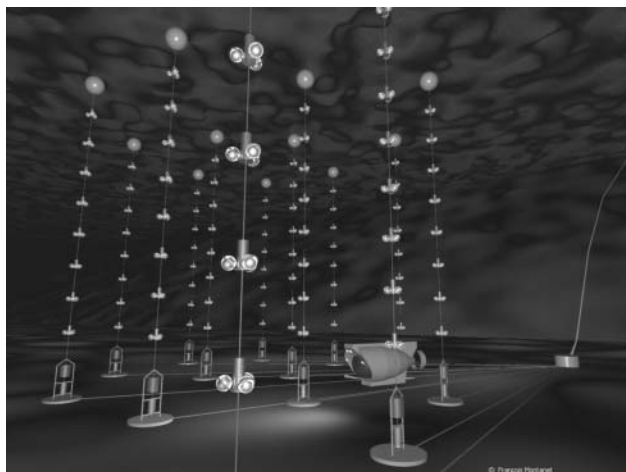


3. ábra. A neutrínók mélytengeri észlelésének elve. Az ábra alján látható, ahogy neutrínó (ν) egy müon (μ) kelt. A tengervízben látható szürke terület a müon Cserenkov-sugárzása által egy adott pillanatban lefedett tartományt jelzi, amelynek hatására több detektor ad jelet. A jobbról rekonstruálják a Föld túloldaláról érkező neutrínó irányát és energiájának nagyságát az általa kiváltott müon tulajdonságai alapján.

Az ANTARES felépítése

A mélytengeri neutrínódetektorok a rendszeren áthaladó müonok Cserenkov-sugárzását észlelik. Ezek a müonok a neutrínó és a tengervíz vagy a tengerfenék szikláinak kölcsönhatásából keletkeznek. Ezért gömb alakú fotoelektron-sokszorozók, azaz optikai modulok mátrixát [6] helyezik el a tengerfenék közelében. A müon pályája a Cserenkov-fotonok beérkezésének idejéből és az optikai modulok helyéből rekonstruálható. Ezzel indirekt módon kereshetők a neutrínók a felfelé menő müonok kiválasztásával, ezeket a müonokat ugyanis az egész bolygót átszelő neutrínók hozták létre. A bejövő neutrínó iránya majdnem párhuzamos a keletkező müonéval, így 10 TeV feletti energiájú neutrínók esetén az irány meghatározásának pontossága eléri a $0,2^\circ$ szöveget. A méretéből és a

4. ábra. A neutrínótávcső fantáziarajza mutatja a kábeleket, a tengerfenéken lévő összekötő vezetékeket, a kapcsolódobozt (JB) és a partra kimenő vezetéket (MEOC). Az érthetőség kedvéért a kábelenkénti emeletek számát csökkentve ábrázoltuk, és a méretarány is torzított.



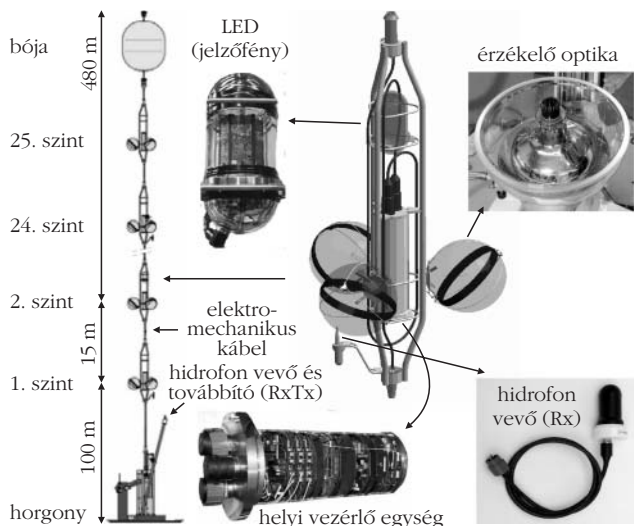
fotoelektron-sokszorozók közötti távolságból adódóan az ANTARES által rekonstruálható neutrínók minimális energiája 20 GeV. Az effektív terület a neutrínó energiájának növelése esetén gyorsan emelkedik, PeV energiájú neutrínók esetén eléri az egy négyzetmétert. A neutrínók mélytengeri detektorokkal történő észlelésének elvét a 3. ábra mutatja.

A neutrínótávcső 12 kábelből áll, amelyek egyenként 480 m hosszúak. A tizenkét kábel hasonló felépítésű: a tengerfenékhez vannak rögzítve, a tetejükön lévő, szintetikus habból készült, a vízben lebegő bója pedig közel függőleges helyzetet biztosít számukra. Az elrendezésről készített fantáziarajzot a 4. ábra, egy kábel tipikus elemeit pedig az 5. ábra mutatja. Minden kábel összesen 75 darab, emeletenként hármast tartalmazó optikai modul található. A tengerfenék a detektorrendszer helyszínén 2474 m mély, az optikai modulok 2000 m és 2400 m között helyezkednek el.

A kábel felett a bóják szabadon úsznak, így a kábelek a tengerárammal együtt mozognak. Ezen mozgások – a tengeráramok esetén tipikusnak mondható 5 cm/s sebesség mellett – néhány méteresek. Az optikai modulok helyzetét a kábeleken és a tengerfenéken elhelyezett akusztikus jelátvitelű és jelfeldolgozó ellenőrzik, továbbá iránytűk és dőlésszögmérők is vannak minden emeleten. Ez a pozicionáló rendszer valós idejű helyzetmérést tesz lehetővé. Többnyire két percenként történik egy ilyen mérés, amelynek során minden optikai modul helyzete 10 cm pontossággal meghatározható.

Az ANTARES alapértelmezett működési módja során minden optikai modul esetén az egyharmad fotoelektronnak megfelelő szintet meghaladó jeleket és a hozzájuk tartozó időt továbbítja. Az időmérés referenciapontja egy központi órajel, amelyet minden elem felé továbbítanak. A jeleket a partra lévő számítógépfarmra küldi a rendszer, ami majd a müonoknak, vagy más, fényt létrehozó fizikai folyamatnak megfelelő beütési mintázatot keres. Az optikai modu-

5. ábra. Az ANTARES neutrínótávcső egyik kábele, mellette az egyik szint műszeregyüttese. Az érthetőség kedvéért a 25-ből csak négy emeletet mutat az ábra, nem méretarányosan.

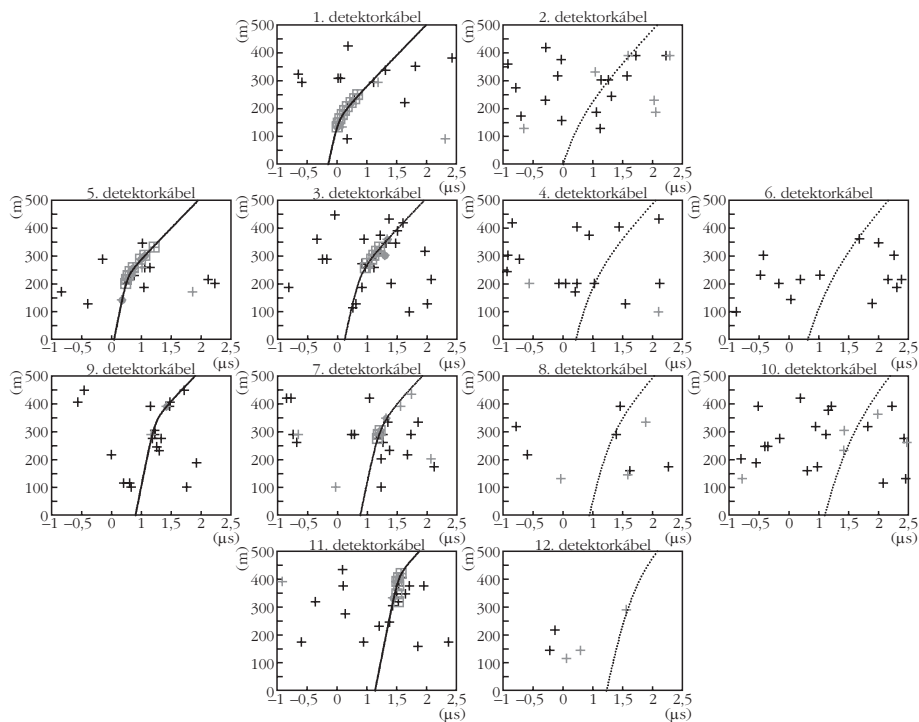
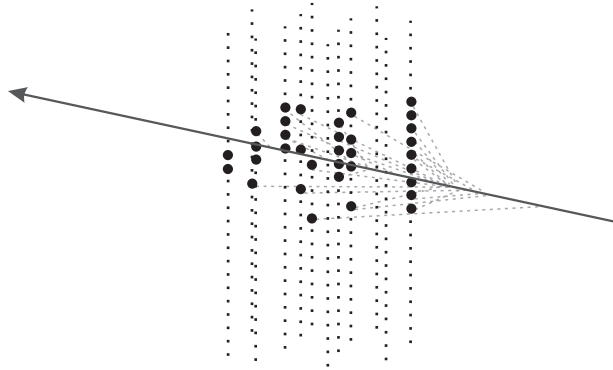


lok hármas csoportosítása lokális coincenciafeltétel felállítását teszi lehetővé, megkönnyítve ezzel a mintázatkeresést. A front-end elektronika (amely a beérkező jeleket feldolgozza) lehetővé teszi a teljes jelalak vizsgálatát, 128 mintára bontva, amelyek egyenként 2 ns eltéréssel érkeznek be. Ez az elektronika kalibrációja során nyújt segítséget.

Az ANTARES tizenharmadik kábele egy műszerkábel, amelynek fő feladata a neutrínótávcső kalibrálása, de több tenger- és földtudományi mérőeszközt is tartalmaz. Ezt az IL07 jelű kábelt a fent említett, 2005. március és 2007. június között üzemelő MILOM kábelből alakították ki, és 2007. decembere óta működik.

A MILOM-on négy optikai modul volt, egy hármas modul a második emeleten és egy egyedüli modul a legfelső szinten. A kábelen három erős fényforrás is található, főként a modulok időzítésének kalibrációja céljából: egy lézer irányfény a kábel alján lévő csatlakozón (Bottom String Socket, BSS) és két optikai LED irányfény a legelső és a legfelső emeleten. A kábel alakjának meghatározásához a MILOM minden emeletét ellátták két duplatengelyes dőlésszögmérővel és iránytűkkel. Ezen felül elhelyeztek két akusztikus pozicionáló modult is minden emeleten: egy adó-vevő modult (RxTx) jelátalakítóval a BSS-en, és egy hidrofonnal ellátott vevő modult (Rx) a legelső emeleten.

A fent említett kalibrációs műszereken kívül (amelyek a neutrínótávcső céljait szolgálják) a MILOM több környezeti megfigyelésekre szolgáló berendezést is tartalmazott. Elhelyeztek rajta egy akusztikus Doppler-elvű áramlásprofil mérőt (Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP) a mélytengeri áramlások irányának és intenzitásának mérésére; egy hangsebességmérőt (a lokális hangsebesség mérésére); egy műszert a tengervíz vezetőképességének és hőmérsékletének mérésére (Conductivity and Temperature Probe). A MILOM része volt továbbá egy átvitmérő a víz fényelnyelésének vizsgálatára; egy hidrofon (Spy Hydrophone), amellyel a pozicionáló berendezések, a felület vagy biológiai források akusztikus aktivitását mé-

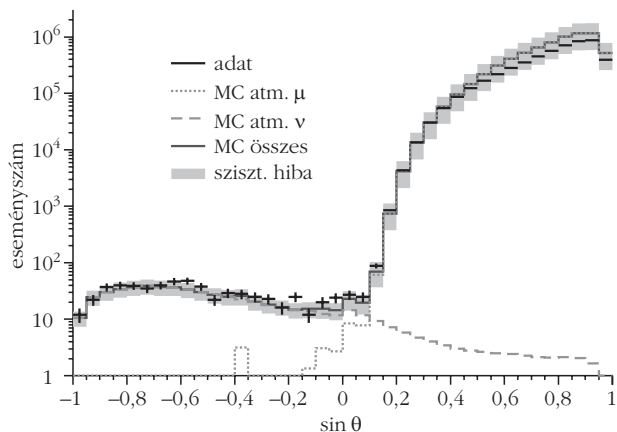


6. ábra. Egy neutrínó esemény. Fent: a beütések háromdimenziós szemléltetése és a rekonstruált pálya. A szürke szaggatott vonalak a pályáról az optikai modulokba beérkező fotonokat mutatják. Lent: A kétdimenziós ábrák mindegyike egy-egy detektorkábelre vonatkozik. A függőleges tengelyeken a beütést észlelő optikai modul vertikális pozíciója, míg a vízszintes tengelyeken a foton beérkezésének ideje látható. A pontok az észlelt fotonoknak felelnek meg, a vonalak a rekonstruált pályának.

rik; végül egy szélessávú szeizmométer, amelyet a tengerfenék üledékében helyeztek el, 50 méterre a MILOM-tól, és a területen mérhető szeizmikus aktivitást vizsgálja.

A neutrínótávcső által felvett adatok

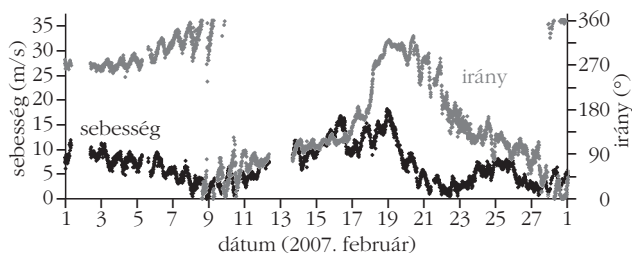
A neutrínótávcső fő célja a távoli kozmoszból érkező neutrínók észlelése. A 6. ábra egy felvett neutrínó eseményt mutat. A kísérletek távlati célja neutrínókat kibocsátó távoli csillagászati objektumok, például aktív galaxismagok vagy mikrovazárok azonosítása. Ezek az objektumok az égbolt egy adott pontjáról jövő eseményként jelennek meg a kísérletben. A detektorok fotoelektron-sokszorozója a Föld felé fordul, mert a kísérlet a bolygót átszelő neutrínók azonosítá-



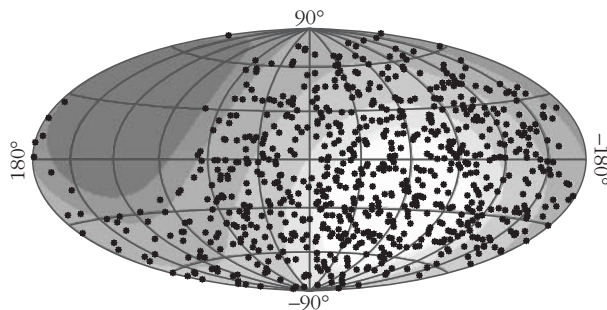
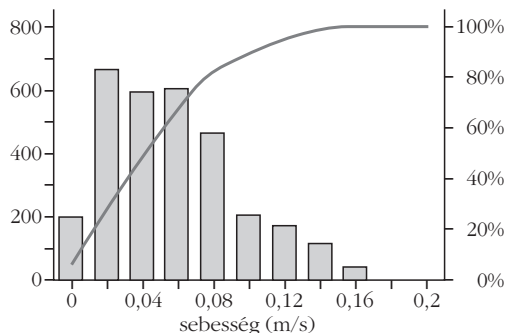
7. ábra. Rekonstruált események eloszlása a vízszintessel bezárt θ szög szinuszának függvényében. Negatív érték felfelé menő pályának felel meg, és többnyire neutrínókból származik. Az adatokat feketével, a Monte Carlo (MC – atmoszférikus müonokra és neutrínókra) szimulációkat szürkével ábráztuk, ahogy a jelmagyarázat mutatja.

sára koncentrálnak. A 7. ábra a 2007 és 2008 során felvett és rekonstruált neutrínóesemények szögeloszlását mutatja. A felfelé menő (a Földet átszelő) események többnyire neutrínókból származnak, míg a lefelé menő pályák leginkább a tengerbe a detektor mélységéig behatoló kozmikus müonokból adódnak. A felfelé menő események galaktikus koordináta-rendszerben vett beérkezési irányát mutatja a 8. ábra. Jelen állás szerint az ANTARES által felvett események eloszlása konzisztensen magyarázható kizárólag a Föld légkörébe érkező kozmikus sugárzásból keletkező neutrínókkal és müonokkal.

9. ábra. Az ábrán MILOM kábelre szerelt ADCP-vel egy egyhónapos mérési periódus során mért áramlási sebesség (fekete) és irány (szürke) látható.



10. ábra. Az előző ábrával megegyező időtartam során mért sebességek eloszlása. A vastag szürke vonal a hisztogram integrálját jelenti; ennek segítségével megállapítható, hogy az időszak 75%-ában az áramlási sebesség 8 cm/s alatt volt.



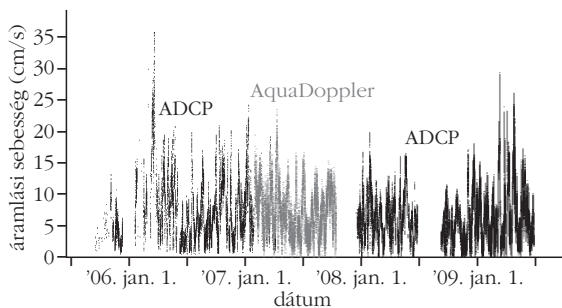
8. ábra. Az észlelt neutrínóesemények eloszlása a 2007-ben és 2008-ban felvett adatok alapján. A koordináta-rendszert a Tejútrendszer jelöli ki: a galaxisunk középpontja az origó, míg a síkja az x tengely mentén van. (A tudományos következtetések levonását elkerülendő a mérési pontok valamelyest elkenve vannak ábrázolva.)

A környezetfigyelő műszerek adatmintái

A parttal vezetékcsatlakoztatásban álló mélytengeri megfigyelőállomás kivételes lehetőséget kínál a különféle tengertudományi területek számára. Az állandó összeköttetés eredményeként lehetséges az adatok valós idejű feldolgozása. A mélytengeri környezet megfigyelése mellett a valós idejű adatfelvétel lehetővé teszi az adatminőség és különféle átviteli paraméterek folyamatos ellenőrzését. Az ANTARES műszereinek többségét a fizikus és a tengertudós közösség is használja, de vannak külön oceanográfiai vagy biológiai kutatásokra kifejlesztett eszközök is. Kulcsfontosságú a tengertudományok számára az is, hogy a multidiszciplináris megfigyelőállomáson hosszú távú mérések is elvégezhetők. Az adatfelvételi paramétereket is folyamatosan állítani lehet, a tipikus mintavételi idő egy perc és fél óra között változik a használt eszköztől függően.

Az óceánok áramlása – és globális változásokra való hatása – szempontjából kiemelkedő fontosságú a tengeráramlatok vizsgálata. Az állomás helyszínén 2005. március óta folyamatosan mérik az áramlási sebességet, különböző műszereket használva: az ADCP a MILOM kábelre, a két ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler, lásd fent) az IL07-en, ezen felül az ötös számú kábelre elhelyeztek egy Aquadopp áramlásmérőt is. Az ADCP típusú áramlásmérők a sebesség nagyságát és irányát nagyfrekvenciás hanghullámok Doppler-eltolódásával mérik. Az ANTARES ADCP berendezései 300 kHz frekvenciával végzik méréseiket, és 150 méter magas oszlopban megadják a tengeráramlatok paramétereit. A 9. ábra egy egyhónapos mérési időszak adatait, az áramlás sebességét és irányát ábrázolja. Tisztán kivehető az áramlás 17 órás periódusidővel történő oszcillációja. A különböző sebességértékek eloszlását a 10. ábra mutatja.

A 11. ábra a négyéves adatfelvételi periódus során mért áramlási sebességek egy sorozatát mutatja. Az áramlási irányok polárkoordináta-rendszerben vett eloszlását a 12. ábra mutatja. Az eloszlást a földrajzi helynél ábráztuk, így látható, hogy esetenként ellentétesre forduló, többnyire kelet-nyugati áramlást tapasztaltunk.



11. ábra. A 2005 júliusa óta mért áramlási sebességek. Az adatok többnyire az ADCP-től származnak, de 2007. június és december között az ANTARES ötös számú kábelén található Aquadopp mérési adatait ábráztuk.

Összegzés

Többévi kutatás és fejlesztés után 2008. márciusban az ANTARES neutrínótávcső tervezése és megépítése befejeződött. A detektor különféle elemei több mint négy éven át megbízhatóan működtek, és mind a neutrínócsillagászat, mind a környezetkutatás számára rengeteg adat gyűlt össze. Az eredmények a hosszú időtartamra tervezett, akár állandó mélytengeri tudományos megfigyelőállomások jogosultságát bizonyítják.

Irodalom

1. M. Ageron et al.: Performance of the First ANTARES Detector Line. *Astroparticle Physics* 31 (2009) 277.



12. ábra. A tengeráramlás irányeloszlása az ANTARES helyszínén.

2. P. Amram et al. (ANTARES Collaboration): Sedimentation and fouling of Optical Modules at the ANTARES site. *Astropart. Phys.* 19 (2003) 253.
3. P. Amram et al. (ANTARES Collaboration): Background light in potential sites for the ANTARES undersea neutrino telescope. *Astropart. Phys.* 13 (2000) 127.
4. J. A. Aguilar et al. (ANTARES Collaboration): Transmission of light in the deep sea at the site of the ANTARES neutrino telescope. *Astropart. Phys.* 23 (2005) 131.
5. J. A. Aguilar et al. (ANTARES Collaboration): First results of the Instrumentation Line for the deep-sea ANTARES neutrino telescope. *Astropart. Phys.* 26 (2006) 314.
6. J. A. Aguilar et al. (ANTARES Collaboration): Study of large hemispherical photomultiplier tubes for the ANTARES neutrino telescope. *Nucl. Inst. Meth. A* 555 (2005) 132.
7. J. A. Aguilar et al. (ANTARES Collaboration): The data acquisition system for the ANTARES Neutrino Telescope. *Nucl. Inst. Meth. A* 570 (2007) 107.

A VASNÁL NEHEZEBB ELEMÉK KELETKEZÉSE CSILLAGOKBAN

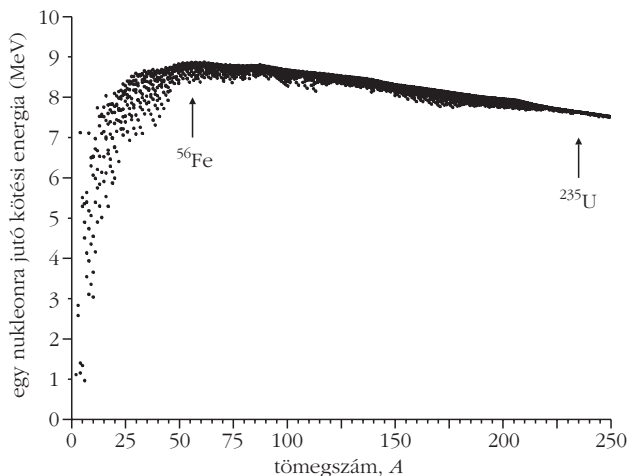
Kiss Miklós

Berze Nagy János Gimnázium, Gyöngyös és
Debreceni Egyetem, Fizikai Tudományok Doktori Iskola

Izgalmas kérdéscsoport, hogy honnan származik a környezetünket és bennünket felépítő anyag, hol, mikor és hogyan keletkezett. Melyik elemből mennyi van, és miért pont annyi? Mai tudásunk szerint ezekre a kérdésekre meggyőző választ lehet adni: a csillagokban az energiatermelés forrása az atommagok fúziója, amelynek során könnyebb magok egyesülése révén nehezebb magok jöhetnek létre. A nehezebb magokban az egy nukleonra eső kötési energia a tömegszámmal együtt nő egészen a vasig, ezért a vasnál együttesen könnyebb két atommag összeolvadása erősebben kötött atommagot hozhat létre sugárzási energia kibocsátása mellett. Ez alapján még mindig nyitott kérdés, hogy hol és hogyan keletkeznek a vasnál nagyobb tömegszámú elemek.

Köszönöm Trócsányi Zoltánnak a cikk gondos áttanulmányozását, tartalmának és formájának kialakításához adott hasznos ötleteit, tanácsait, segítségét.

Manapság már nemcsak a csillagbéli fúziós folyamatokról vannak részletes ismereteink, hanem a vason túlvezető neutronbefogásos folyamatokról is. Az ezekre alapuló elemkeletkezési modell alapjait Burbidge, Burbidge, Fowler és Hoyle (szokásos rövidítéssel B²FH) fektették le 1957-ben [1]. (Tudománytörténeti érdekesség, hogy munkájuk fő célkitűzése az állandó állapotú Világegyetemre vonatkozó elméleti modell „védelme” volt az akkoriban egyre inkább tért nyerő Ósrobbanással szemben, amiről azóta már tudjuk, hogy nem járt sikerrel.) A B²FH elképzelés lényege, hogy a vasnál nagyobb tömegszámú (vagy a szokásos, a címbeli kicsit pongyola szóhasználattal: a vasnál nehezebb) stabil elemek az úgynevezett *asztrofizikai s-folyamat* egyes lépéseiben keletkeznek. Az s-folyamat lényege, hogy a csillagban repkedő szabad neutronok befogásával egy stabil atommagból eggyel nagyobb tömegszámú instabil mag keletkezik, amely béta-bomlás során csakhamar eggyel nagyobb rend-



1. ábra. Az egy nukleonra jutó kötési energia nagysága a tömegszám függvényében.

számú stabil atommagba alakul át. A folyamat tehát a stabilitási völgy mentén húzódó *s-úton* lépked az egyre növekvő rendszámok felé. Az *s* betű az angol *slow*, azaz lassú szóra utal, ami azt jelzi, hogy a folyamat viszonylag lassan zajlik, mert a neutronok sűrűsége egy csillagban sok nagyságrenddel kisebb, mint a csillag életének végét jelző szupernóva- robbanásban, amelyet a nagy neutronsűrűség miatt a gyors neutronbefogással jellemzett *r-folyamat* kísér (*r* = rapid, azaz gyors). Az *s*-folyamatot elég jól értjük, segítségével a környezetünk elemgyakoriságát néhány százalékos pontossággal meg lehet jósolni. A részletekről azonban a közelmúltban is születtek meglepően új eredmények. Ilyenek például az úgynevezett aszimptotikus óriásági (Asymptotic Giant Branch, röviden AGB) csillagokban lezajló folyamatokról való új ismereteink, amelyek nemcsak a csillagok fejlődése szempontjából érdekesek, hanem az elemkeletkezés jelentős helyszínei lehetnek.

Írásunkban áttekintjük a nehéz elemek keletkezésének fizikai alapjait. A szokásos *s*-folyamat és *r*-folyamat mellett bemutatjuk saját modellünket [2] is, amely simán átvezet a két szélsőség között, bármilyen neutronsűrűség esetén alkalmazható.

Az elemek és atommagok rendszerezése

Manapság 118 elemet ismerünk, amelyek közül a Földön természetes módon 90 fordul elő. Az elem fajtáját az atommagjában található protonok száma határozza meg. Az *izotóp* fogalma közismert, az elemfogalomhoz kötődik. Az elemek relatív atomtömege nem egész szám, és ennek az az oka, hogy az adott elem atommagjában a *Z* darab *proton* mellett különböző mennyiségű *neutron* állhat. A természetben fellelhető anyag ezen izotópok keveréke. Így a relatív atomtömeg többnyire nem egész szám, mert egy elem izotópjainak keveréke, amelyek kémiai szempontból egyenértékűek. Az izotópok egy része stabil, vagy nagyon lassan *bomlik*. Az hidrogénnek két stabil izotópja (a prócium és a deutérium), valamint egy bomló

izotópja (a trícium) közismert. Az ónnak (*Z* = 50) ugyanakkor tíz stabil izotópja van, míg a technéciumnak (*Z* = 43) és a prométiumnak (*Z* = 61) egy sincs. Ezért ismerünk csak kilencven természetes elemet és nem kilencvenkettőt. Az elemeket kémiai tulajdonságaik alapján *Mengyelejev* rendszerezte a jól ismert periódusos rendszerbe.

Kevésbe közismert az *atommagok* táblázata [3]. Egy atommag *Z* db protonból és *N* db neutronból áll. Az izotóp azt jelenti, hogy *Z* = állandó (vízszintesen vannak egymás mellett az izotópok) például $^{98}_{50}\text{Sn}$ és $^{100}_{50}\text{Sn}$, vagy közismertebb példa $^{12}_6\text{C}$ és $^{13}_6\text{C}$. Ha *N* = állandó, akkor a megfelelő magokra az *izotón* szót használjuk (függőlegesen egymás fölött) például $^{13}_7\text{C}$ és $^{14}_7\text{N}$. Itt a jelölést teljessé tettük a neutronok számának megadásával. Nincs stabil izotón *N* = 19, 35, 39, 45, 61, 71, 89, és 123 esetén. Szokás még beszélni *izobár* magokról, ekkor a tömegszám, *A* = *Z* + *N* az állandó (a magok átlósan helyezkednek el) például $^{13}_6\text{C}$ és $^{13}_7\text{N}$. A negyedik lehetőség, amikor az *N* - *Z* mennyiség állandó (ez a másik 45°-os átló) nem kapott külön nevet, nincs különösebb jelentősége.

A magok tömegéből következtethetünk a mag kötési energiájára. A magok tömege ugyanis kisebb, mint az alkotórészek tömegének összege:

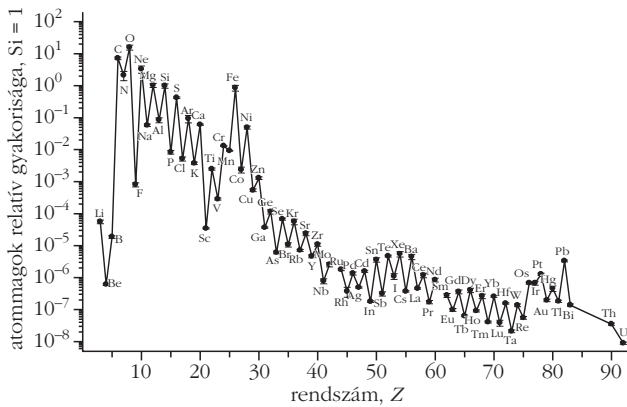
$$m(Z, N) = Z m_p + N m_n - \Delta m.$$

A különbségből számolható a kötési energia az $E = mc^2$ összefüggést figyelembe véve, ha *m* helyére a tömeghiányt írjuk: $E_k = \Delta mc^2$.

Az egyes magokat jellemezhetjük azzal, hogy mennyi bennük az egy nukleonra (nukleon: proton, neutron) jutó kötési energia. Ehhez a kötési energiát kell osztanunk *A*-val, a tömegszámmal, ami éppen a nukleonok száma. Stabil magok esetére ennek nagyságát az 1. ábrán láthatjuk [4], amely mutatja, hogy mennyire kötöttek az egyes nukleonok. A maximumból látható, hogy átlagosan a vas 56-os izotópjának ($^{56}_{26}\text{Fe}_{30}$) nukleonjai vannak a legmélyebb energiájú állapotban. Az ábráról azt olvashatjuk, hogy könnyebb magok egyesítése energianyereséges egészen addig, amíg nem lépünk túl a vason (fúzió), illetve, hogy a nagyon nehéz magok kettébontása (maghasadás) is energianyereséges. Egy nehéz mag alkotórészeinek összes energiája csökkenhet, ha elbomlik, és így két mélyebben kötött mag jöhet létre.

Az elemek keletkezése szempontjából lényeges, hogy amíg a kötési energia negatív, addig az adott mag létezhet. Ha tehát az említett vas izotóphoz hozzáveszünk még egy neutron, akkor ott már az egy nukleonra eső kötési energia ugyan nem lesz minimális, de attól még az a mag létrejöhet. (Az ábrán a kötési energia nagysága látható, ez maximális, ha a kötési energia minimális.)

Az egyes izotópok naprendszerbeli gyakoriságát (hidrogén és hélium nélkül) a 2. ábra mutatja [4]. Az Ősrobbanáskor keletkező hidrogénből és héliumból a többi elemnél sokkal több van. A fő irány, hogy a gyakoriság a rendszámmal csökken, de az egyes elemek



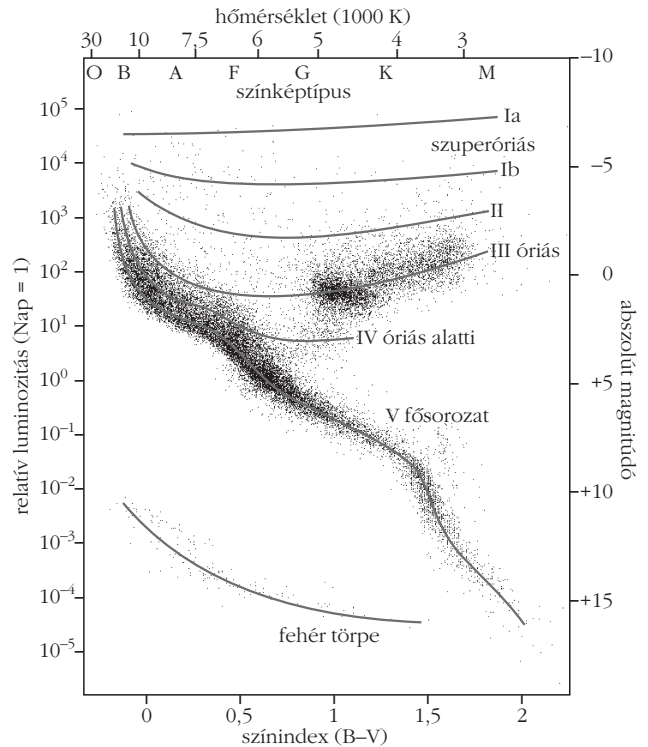
2. ábra. Az elemek Si atomra vonatkoztatott viszonylagos gyakorisága a Naprendszerben a rendszám függvényében; a H és He gyakoriságát nem tüntették fel.

gyakorisága fűrészfogszerűen ingadozik, és van néhány elem, amely kilóg a sorból. Némelyikből kevés van (lítium, berillium, bór), másokból sok (vas, platina, ólom), legalábbis az ábra fő irányát alapul véve.

Csillagfejlődés

A csillagok rendszerezhetőek, ha fényességük és felszíni hőmérsékletük alapján ábrázoljuk őket. Így kapjuk a Hertzsprung–Russell-diagramot (HRD, 3. ábra), amelyben a csillagok elsődlegesen három területen helyezkednek el: a fősorozaton, felette jobbra a vörös óriások, alatta balra a fehér törpék. Egyes csillagok fényesebbek és vörösebbek, ugyanakkor hidegebbek, mások halványabbak, kékebbek és forróbbak, mint a főszorozatbeliek. A HRD egy pillanatfelvétel a csillagok állapotáról. Ha egy területen sok csillag látható, az azt jelenti, hogy adott pillanatban, ebben a fejlődési állapotban sok csillag van, vagyis ez az állapot hosszú ideig tart. Láthatóan a fősorozaton, valamint a vörös óriás állapotban van a legtöbb csillag.

Az elemek keletkezése az Ősrobbanás után kezdődik, az úgynevezett elsődleges atommag-keletkezéssel, amikor kialakul a hidrogén és a hélium, pontosan



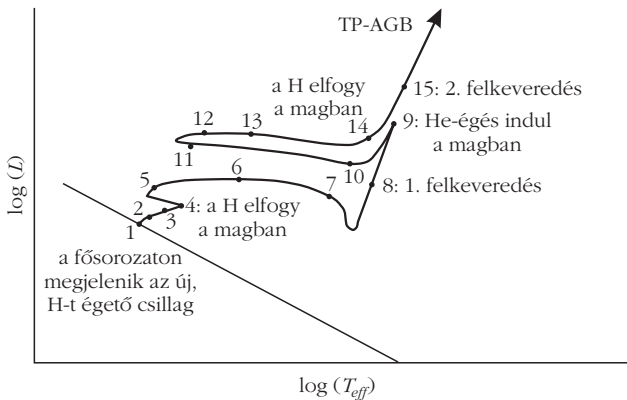
3. ábra. A Hertzsprung–Russell-diagram [4].

sabban a hélium egy része. A történet a csillagokban folytatódik. A bennük zajló energiatermelő folyamatok során felépülnek az elemek a hidrogéntől lényegében a vasig.

A csillagok fejlődése a gravitációs összehúzódással keletkező anyagmennyiség tömegén múlik. Az összehúzódó anyag főleg hidrogénből és héliumból áll, de a keletkezés időpontjában már korábbi csillagfejlődésben keletkezett anyag is bekerülhet a gázfelhőbe. A héliumnál nehezebb elemeket asztrofizikai szóhasználatnál egyszerűen fémnek (metálnak) nevezzük. Hogy ezekből mennyit tartalmaz a csillag, a fémesség (metallicitás) fogalmával jellemezzük.

Az elemkeletkezéssel kapcsolatos legfontosabb csillagfejlődési lehetőségeket az 1. táblázatban fog-

1. táblázat				
Az egyes tömegtartományokba eső csillagok fejlődése				
kezdeti tömeg	elsődleges energiatermelő folyamat	fúziós folyamatokban keletkező nehezebb elemek	másodlagos elemkeletkezés	végállapot
$< 0,08M_{\odot}$				barna törpe
$0,08M_{\odot}$	H égetés p-p, vagy CNO	He		He fehér törpe
$0,5M_{\odot}$	He égető 3α	C, N, O	s-folyamat	CNO fehér törpe
$0,8-8M_{\odot}$	AGB	He, C, N, O	s-, illetve m-folyamat	He, vagy CNO fehér törpe + planetáris köd
$> 8M_{\odot}$	C égetés	Ne, Na, Mg	s-folyamat	
$> 10M_{\odot}$	Ne égetés, O égetés	Mg	s-folyamat	
$> 11M_{\odot}$	Si égetés	Mg, S, Ar, Ca, Ti, Cr, Fe, Ni	s-, majd r-folyamat	szupernóva, majd neutroncsillag vagy fekete lyuk



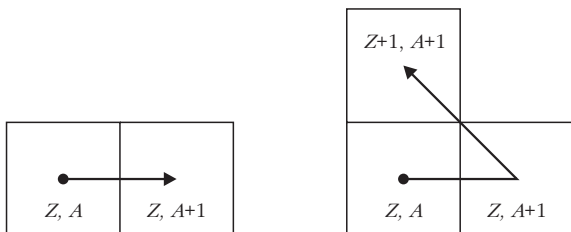
4. ábra. Egy $5M_{\odot}$ tömegű csillag fejlődése a HRD-n.

lajjuk össze. A nehéz elemek keletkezése jellemzően a napnál nagyobb tömegű csillagokban lehetséges, ezért részletesebben csak ezekkel foglalkozunk. A csillagok fejlődési üteme tömegfüggő: minél nagyobb a tömegük, annál gyorsabbak a folyamatok. A Napnál sokkal nehezebb csillagok életideje néhány tízmillió év.

A HRD fősorozatán levő csillagok p-p ciklusának első lépésében két protonból egy deutron keletkezik. Eközben az egyik protonnak pozitív béta-bomlással neutronná kell alakulnia, aminek valószínűsége kicsi, ezért ez a folyamat lassú. A csillagok emiatt a fősorozaton teljes élettartamukhoz képest sokáig tartózkodnak. A hidrogénetető csillagok a fősorozaton tartózkodnak egészen addig, amíg a hidrogén-átalakulás a csillag magjában zajlik. Ezután a hidrogén a mag körüli héj mentén alakul át, a csillag vörös óriássá válik. A 80-as évek kutatási eredményei alapján a csillag fejlődése, ha a tömege $0,8-8M_{\odot}$ tartományba esik, a vörös óriás állapot után az aszimptotikus óriáságon (AGB) folytatódik. Az elnevezést a HRD-n való elhelyezkedésük indokolja. A 4. ábrán egy $5M_{\odot}$ tömegű csillag vándorlása látható a HRD-n [5]. (A T_{eff} effektív hőmérsékletet a csillagfelszín hőmérsékletének jellemzésére használják. A csillaggal megegyező sugarú és luminozitású fekete test hőmérsékletét értjük rajta.)

Az AGB csillagok magjuk héliumkészletének kimerülése után érdekes fejlődést mutatnak. A mag ekkor szénből és oxigénből áll. A csillag a mag körüli vékony héjban héliumot éget, egy külső héjon hidrogént. A rövid héliumégési szakasz (thermal pulse, TP) után a héjak közötti tartomány felkeveredik a külső hidrogénburokba (TDU = third dredge up). Ezt egy hosszabb, nyugodt hidrogénetető sza-

5. ábra. A klasszikus folyamat két alaplépése.



kasz követi a külső héjon (IP = interpulse). A TP-AGB állapot a 4. ábrán a 15. pontnál kezdődik. A hélium-, illetve hidrogénhéj-égések, a TP, TDU, IP felváltva követik egymást, a csillag tömegétől függetlenül tízszer-százsor [4, 5].

Nyolc naptömegtől kezdve várható további fejlődés. A felmelegedő magban további fúziós folyamatok következnek be. Tizenegy naptömegtől kezdve, ha a visszamaradó mag tömege meghaladja a Chandrasekhar-határt ($= 1,4$ naptömeg), a mag egyesülési folyamatok tovább folytatódnak: két szénből neon, nátrium, magnézium keletkezhet. E folyamatok egészen a nikkelig ($^{56}_{28}\text{Ni}$) vezetnek, ami vassá bomlik le ($^{56}_{26}\text{Fe}$). Miután a csillag fejlődése eljut eddig a pontig, megszűnik a fúziós energiatermelés további lehetősége, a csillag összeomlik, és szupernóvává válik (SN II). A robbanás következtében vasnál nehezebb elemek is létrejönnek.

A szupernóváknak másik fajtája (SN Ia) olyan fehér törpe és vörös óriás komponensekből álló kettőscsillagoknál alakul ki, ahol elegendő a fehér törpe tömege (nagyobb, mint a Chandrasekhar-határ). Ezeknél anyag áramlik át a vörös óriásról a fehér törpére, és ez vezet a robbanásszerű átalakuláshoz. Itt az elemek a vasig elmaradt fejlődést folytatják, vasnál nehezebb elemek nem jönnek létre.

Túl a vason

A vason túl fúzióval már nem keletkeznek magok (legfeljebb protonbefogással), az építkezés fő lehetősége a neutronbefogás. Fontos kiemelni, ami B²FH eredeti cikkében is szerepel, hogy a neutronbefogás könnyebb magok esetén is lehetséges folyamat, tehát már a vas előtt is. Ehhez csak az kell, hogy valamelyik neutrontermelő folyamat működésben legyen. Az egyes csillagok színképében megfigyelt technécium, amelynek nincs stabil izotópja, tehát ott keletkezik neutronbefogással.

A klasszikus megközelítés

Két mennyiség egyértelműen jellemzi a magokat: a protonok száma (Z), és a neutronok száma (N). Az s-folyamatban csak a kettő összegével, a tömegszámmal (A) jellemezzük a stabil atommagokat. A folyamat két fő lépése a neutronbefogás és a béta-bomlás.

Neutronbefogásnál eggyel nő a neutronok száma. Ha a keletkező mag stabil, újabb neutron foghat be, ha nem stabil és béta-bomlással elbomlik, akkor a rendszám eggyel növekszik. Csak neutronbefogással egyet jobbra, a két folyamattal együtt egyet felfelé léphetünk az elemek létráján (5. ábra).

Ez a két folyamatból álló lépés megismétlődhet, a folyamat folytatódhat, amíg a keletkező új elem stabil. Az s-folyamat során tehát egy adott A tömegszámú mag mennyisége (N_A) két ok miatt változik: (1) az $A-1$ tömegszámú atommag egy neutron befog,

2. táblázat

A folyamatok összehasonlítása

	s-folyamat	r-folyamat
időviszonyok	$\tau_n \gg \tau_\beta$	$\tau_n \ll \tau_\beta$
neutronbefogási idő	$\tau_n \approx 10$ év	$\tau_n \approx 10^{-3}$ s
neutronsűrűség	$N_n = 10^8$ cm $^{-3}$	$N_n = 10^{20}$ cm $^{-3}$

(2) az A tömegszámú atommag egy neutron befog (akár stabil, akár nem a neutronbefogással keletkező új mag):

$$\frac{dN_A}{dt} = N_n(t) N_{A-1}(t) \langle \sigma v \rangle_{A-1} - N_n(t) N_A(t) \langle \sigma v \rangle_A \quad (1)$$

ahol N_n a neutronok sűrűsége, $\langle \sigma v \rangle$ a sebességre átlagolt befogási hatáskeresztmetszet. Bevezetve a $\lambda_n = N_n \langle \sigma v \rangle$ jelölést, az (1) egyenlet a

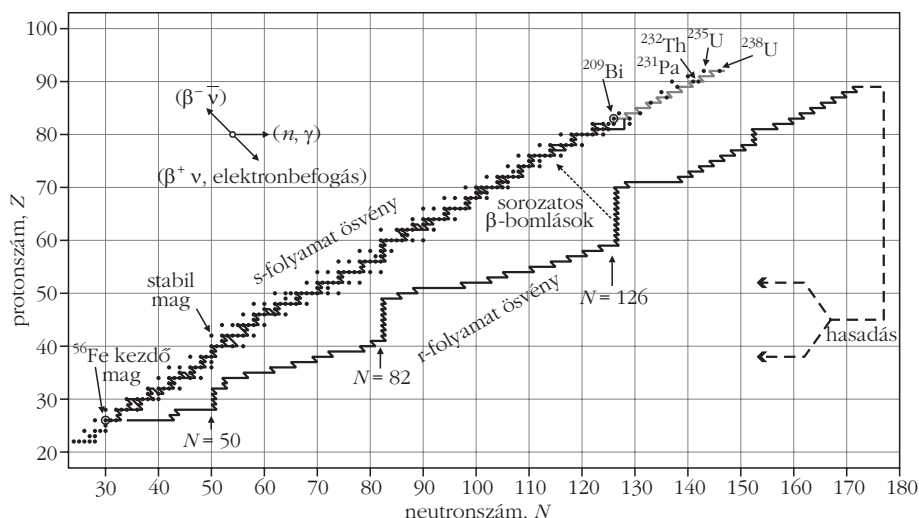
$$\frac{dN_A}{dt} = \lambda_{n, A-1} N_{A-1}(t) - \lambda_{n, A} N_A(t) \quad (2)$$

alakban írható ($\tau_n = 1/\lambda_n$ a mag keletkezésétől a neutronbefogásig eltelt átlagos idő). Az összes magot figyelembe véve (2) egy csatolt differenciálegyenlet-rendszert jelent, amelyet minden magra egyszerre kell megoldani [6].

Az s-folyamat akkor lehetséges, ha a neutronok sűrűsége nem túl nagy, és így a neutronbefogással keletkező új, béta-bomló mag újabb neutronbefogás előtt bomlik, azaz a béta-bomlás ideje sokkal kisebb a befogási időnél (2. táblázat). Ha a nagy neutronsűrűség következtében a béta-bomlást újabb többszörös neutronbefogás előzi meg, akkor a folyamat gyors, azaz r-folyamat.

Érdekes a Z - N síkon áttekinteni a folyamatokat (6. ábra). A lassú folyamat a stabil magok közelében halad – a béta stabilitás völgyében, a gyors pedig a völgytől jobbra, a neutronsűrű magok mentén.

6. ábra. Az s- és r-útvonal [6].



A távolodás csak a kis befogási hatáskeresztmetszetű magokon akad el a telített neutronhéjú magoknál, az úgynevezett mágikus számoknál: 50, 82, 126. A lassú folyamat a bizmutnál (^{209}Bi) véget ér. Az urán pedig csak gyors folyamatban keletkezik.

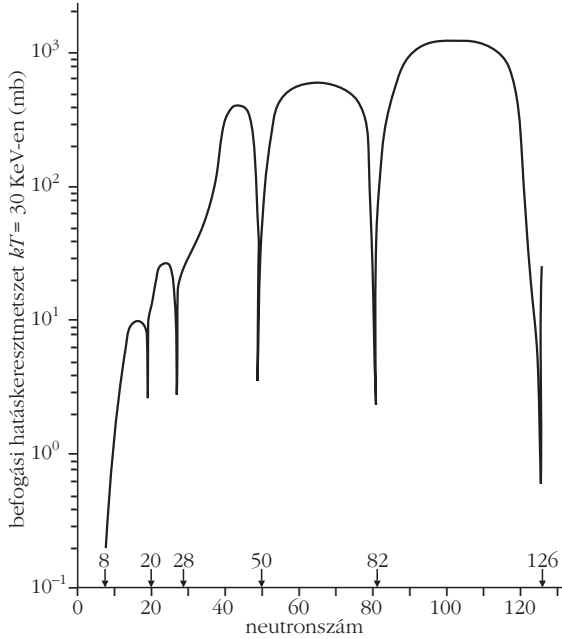
A vasnál nehezebb elemek gyakoriságának mintegy felét az s-folyamatnak köszönhetjük a Tejútrendszerben [4, 7].

Elemek keletkezésének modellezése közelítő feltevések nélkül

Az előbbi részben ismertetett B²FH-féle osztályozás érthető és célszerű, mert analitikus megoldást lehet találni. Ami meglepő, hogy ez az értelmezés nem finomult az irodalomban napjainkig (2010) [8, 9], annak ellenére, hogy a mai számítógépekkel az egyszerűsítő feltevések nélkül kapható differenciálegyenlet-rendszer is megoldható. Az s-folyamat, r-folyamat felosztás 1957-ben nagyon célszerű volt, és ma is hasznos, ha mint határesetekre tekintünk az egyes magok keletkezésével kapcsolatban.

Ha a konkrét neutronbefogási lehetőségeket tekintjük, akkor a magok nagy számából adódó egyensúlyi koncentrációt kell tekintenünk, vagyis a statisztikus megközelítést [2]. Hogy ez célszerű, arra jó példa a 3α folyamat első lépése: a szinte azonnal kettéváló berillium ($T \approx 10^{-15}$ s) egyensúlyi koncentrációjának köszönhetően jöhet létre a szén ($^6\text{Be}(\alpha, \gamma)^{12}\text{C}$). Ehhez hasonlóan a csillagokban bekövetkező neutronbefogást nem csak a stabil, vagy hosszú életű magokban követheti újabb. A magok egy része akkor is befog újabb neutron, ha a béta-bomlás gyors. A magok nagy része elbomlik, ahogy a B²FH cikkben, és azóta még sokszor leírták. Ugyanakkor valamennyi mag bármilyen rövid felezés mellett befoghat újabb neutron, és ilyen befogások meg is történnek. Ennek jelentősége mennyiségileg természetesen a csillagbeli körülményektől és az egyes magok átlagos élettartamától függően változik. A csillagbeli körülmények jellemzése szempontjából fontos tényezők a fémesség és a neutrontermelés.

A Nap összetételéről tudjuk, hogy tömegarányban 70% hidrogén, 28% hélium, és 2% fém (nehezebb elem) [9]. Az utóbbiak csak úgy kerülhetnek bele, hogy életciklusukon végigjutott csillagokban keletkeztek. Erre az Ósrobbanás óta elegendő idő állt rendelkezésre. Ebből az következik, hogy a csillagok jelentős részében jelen van a vas is, és más nehezebb elemek. Így, ha a neutronforrások kinyílnak, lehetségessé válik a neutronbefogás.



7. ábra. Neutronbefogási hatáskeresztmetszetek N függvényében.

A neutrontermelés a csillagok héliumégetési szakaszától kezdve folyamatos. A két fő neutrontermelő folyamat: $^{23}_{10}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}_{12}\text{Mg}$ és $^{13}_6\text{C}(\alpha, n)^{16}_8\text{O}$. Az első folyamat nagy tömegű, héliumégető csillagoknál, illetve AGB csillagok TP-állapotánál van jelen, míg a második AGB csillagoknál a TP-t követő felkeveredés – TDU – után áll rendelkezésre.

A különböző csillagokban található neutronsűrűségek [7]: vörös óriásban $N_n \sim 10^7\text{--}10^8 \text{ cm}^{-3}$, AGB csillag termális pulzusában $N_n \sim 10^{10}\text{--}10^{14} \text{ cm}^{-3}$, szupernóvában $N_n \sim 10^{20}\text{--}10^{25} \text{ cm}^{-3}$. A neutronbefogási időtartamot befolyásolják még a befogási hatáskeresztmetszetek, amelyeknek a magok neutronszámától való függésének fő jellegzetességei a 7. ábrán láthatók [6].

Tekintsünk tehát minden olyan átalakulást, amely egy adott mag mennyiségét megváltoztatja: béta-bomlással érkező is lehet egy magba, de az alfa-bomlás is növelheti és csökkentheti a magok számát. Ez a kiindulási lehetőség már Clayton alpművében benne van [10], azonban klasszikus s-folyamatokra nem használható ki. További lehetséges folyamatok: elektronbefogás, pozitív béta-bomlás, alfa-bomlás, protonkibocsátás, kettős béta-bomlás (negatív vagy pozitív), spontán hasadás (8. ábra). Ezek az átalakulások többnyire jelentéktelenek, noha bizonyos magoknál jelentősek is lehetnek.

Az összes folyamatot tartalmazó teljes átalakulási egyenlet kezdete:

$$\begin{aligned} \frac{dN_{Z,N}}{dt} = & N_n(t) N_{Z,N-1}(t) \langle \sigma v \rangle_{Z,N-1} + \\ & + \lambda_\beta N_{Z-1,N+1}(t) + \lambda_\alpha N_{Z+2,N+2}(t) - \\ & - N_n(t) N_{Z,N}(t) \langle \sigma v \rangle_{Z,N} - \\ & - \lambda_\beta N_{Z,N}(t) + \lambda_\alpha N_{Z,N}(t), \end{aligned} \quad (3)$$

ahol a paraméterek értékei az adott (Z, N) -magra vonatkoznak. Az egyenletet még folytatni lehet a többi

folyamattal. Ha pontos számítást szeretnénk, akkor minden lehetőséget figyelembe kell vennünk. Meghagyjuk a rendszernek adott körülmények között a saját fejlődés lehetőségét, azaz egy magról tetszőleges irányba lehetnek elágazások. A csatolt differenciálegyenlet-rendszer megoldása számítógéppel lehetséges. Válasszuk egy időalapot (τ). Nézzük, hogy ezalatt hány és milyen átalakulás következik be. Induljunk ki csak vasból, de kövessük az összes mag hozamának változását, és használjuk a két lépést váltakozva.

1. lépés: neutronbefogás. Egy közbülső helyen tároljuk a τ időtartam alatt átalakuló magokat, a maradékot természetesen meghagyva a helyén, majd az átalakult magokat hozzáadjuk a megfelelő új helyhez (készletezés).

$$N_{\text{befog}} \approx N_0 \lambda_n \tau, \quad (4)$$

$$N_{\text{megmaradó}} \approx N_0 (1 - \lambda_n \tau).$$

A használt elsőrendű közelítés érvényes, ha $\lambda_n \ll 1$, ami $\tau = 1$ s időalapot és a csillagokban jellemző paramétereket, $kT = 30 \text{ keV}$, $\sigma = 100 \text{ mb}$ feltételezve mintegy $N_n = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ neutronsűrűségig jól teljesül, $\lambda_n = 2,5 \cdot 10^{-17} N_n \text{ cm}^3/\text{s}$.

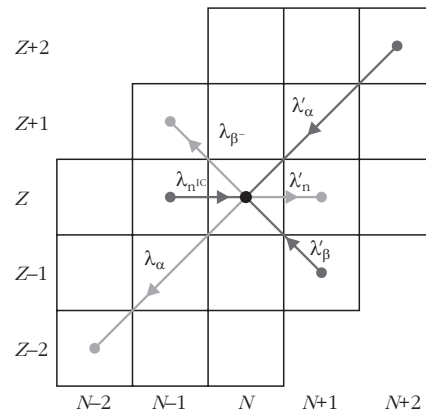
2. lépés: bomlás. Most a magokat a rájuk jellemző, τ időtartam alatt bekövetkező bomlásnak megfelelően készletezzük, megint minden magnál a rá jellemző adatokat használjuk. Először áttöltjük az átalakult magokat, megőrizve azokat, amelyek megmaradtak, azután a célhelyre mindegyiket hozzáadjuk. Ezeket a lépéseket a mag felezési ideje ($T = \ln 2 / \lambda$) és a bomlási arányok alapján megtehetjük. Mivel véges időalappal dolgozunk, át kell gondolnunk, hogy a felezési idők hosszának megfelelően hogyan járunk el. A használt három eset a következő. Ha a felezési idő közepes, akkor a pontos bomlási törvényt használjuk:

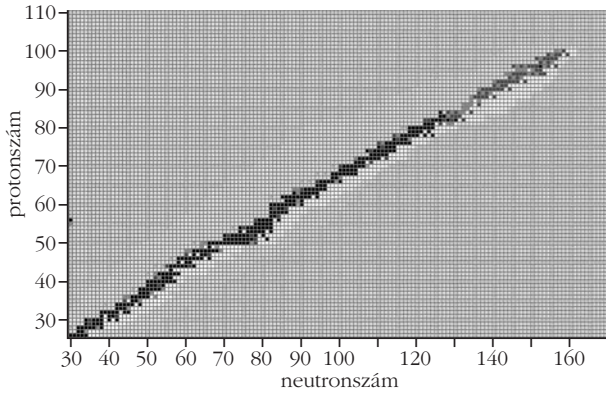
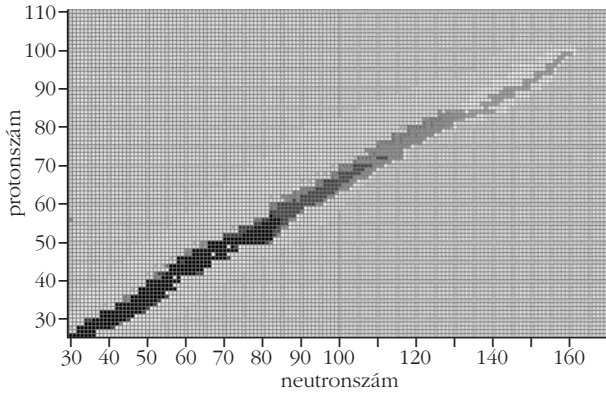
$$N_{\text{megmaradó}} = N_0 e^{-\lambda \tau}, \quad (5)$$

$$N_{\text{átalakuló}} = N_0 (1 - e^{-\lambda \tau}).$$

(Az alkalmazás pontos feltétele, hogy $0,01 < \exp(-\lambda \tau) < 0,99$, ami $\tau = 1$ s lépésközt alkalmazva: a felezési

8. ábra. Lehetséges magátalakulási folyamatok ($\lambda_n = N_n \langle \sigma v \rangle$).





9. ábra. Pillanatfelvételek: keletkezés és utána bomlás, a sötétebb árnyalat nagyobb gyakoriságot jelent.

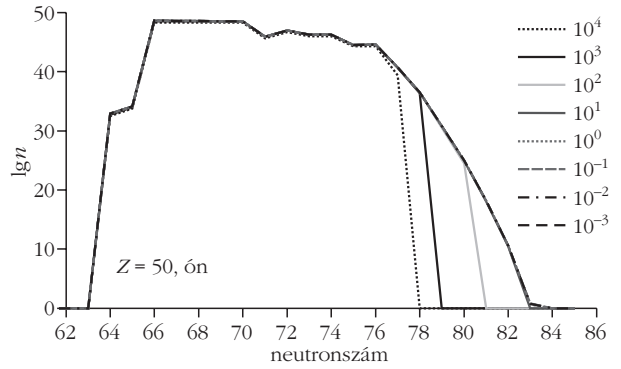
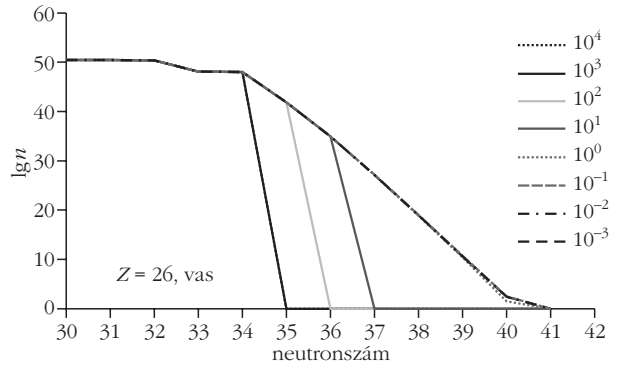
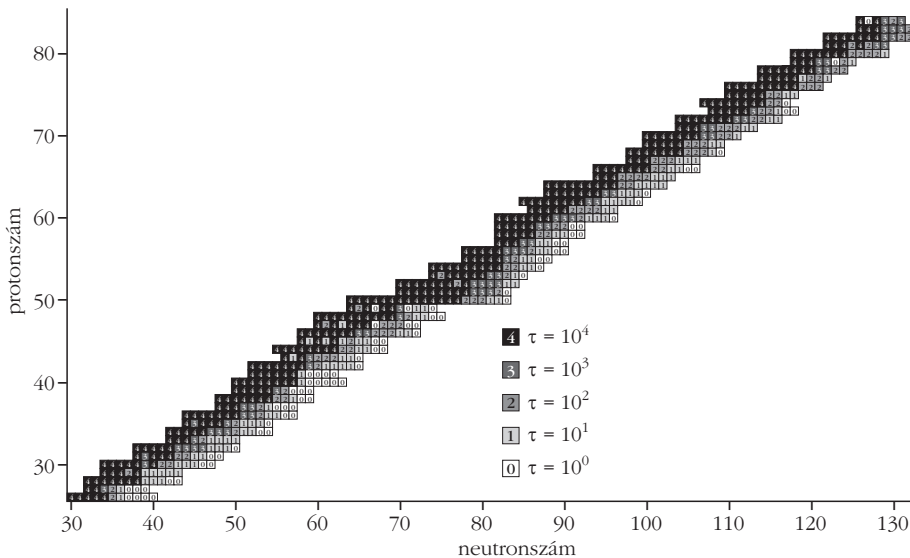
időre a $0,15 \text{ s} < T < 69 \text{ s}$ tartományt jelenti. Egy másodperces lépésköz esetén, ha $T > 69 \text{ s}$, akkor az elsőrendű közelítést használjuk,

$$\begin{aligned} N_{\text{megmaradó}} &\approx N_0 (1 - \lambda \tau), \\ N_{\text{átalakuló}} &= N_0 \lambda \tau. \end{aligned} \quad (6)$$

Ha pedig $T < 0,15 \text{ s}$: feltesszük, hogy minden részecske elbomlik.

Ahhoz, hogy a számolást ténylegesen elvégezhessük, szükség van az egyes magokat jellemző neutron-

10. ábra. A fejlődés völgye az időalap függvényében.



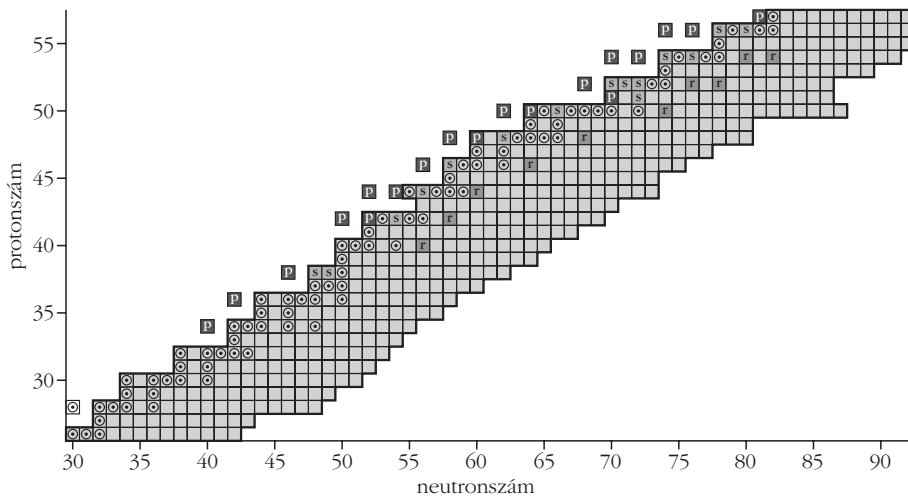
11. ábra. Izotópok hozamai különböző időalapok (10^i s , $i = -3 - +4$) használata esetén.

befogási és bomlási adatokra. Ez elég sok adat, főként, ha figyelembe vesszük, hogy magonként legalább kettő (stabil magok esetén a stabilitás jelölése és a befogási hatáskeresztmetszet, σ), de esetleg öt adat (felezési idő, egyik és másik bomlási mód, elágazási arány, σ) is szükséges lehet. A figyelembe vett 2096 magra mintegy 10 500 adatot használunk [2]. Az elemek keletkezésének követése grafikus felülettel nagyon látványos. Láthatjuk az épülést és az azt követő bomlást is (9. ábra).

Ha a bomlásnál hosszabb időt várunk, néhány elem – azok, amelyeknek nincs stabil izotópja, például a technécium – el is tűnik. (A 43. elem az s-folyamat észlelési bizonyítéka.) Ugyanakkor a folyamatokat célszerűen is vizsgálhatjuk, elemezhetjük. Ezeket itt nem soroljuk fel, csak néhány tapasztalatról írunk.

1. 1090 mag keletkezik normál s-folyamatra jellemző neutronűrűséget ($N_n = 10^8 \text{ cm}^{-3}$) alkalmazva.

2. A program időalapja jelentős hatással van a futásra. A fejlődés mindig sávos. A sáv szélességét a számítás időalapja befolyásolja. Azonban τ -nak fizikai tartalma nincs, csupán számolási paraméter. Az időalaptól függő sávok a



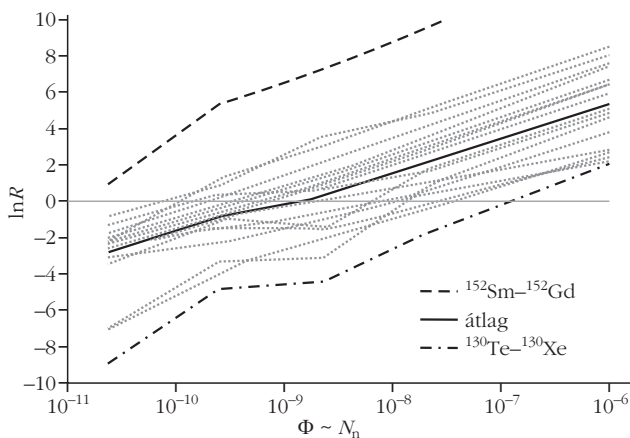
12. ábra. A fejlődés völgye nagy neutronfluxus esetén szélesebb.

10. ábrán láthatók. A futások összesen ugyanannyi fizikai ideig tartottak. Látható, hogy ha nagy időalappal számolunk, keskeny sávban, szinte a béta-stabilitás völgyében halad a folyamat. Ha rövid időalapot választunk, a sáv kiszélesedik. A kép árnyalásához a 11. ábrán a vas és az ón izotópjainak gyakorisági profilját láthatjuk. A logaritmikus skála lehetővé teszi, hogy az eltérő nagyságrendek ellenére minden izotóp mennyisége láthatóan megjelenjen.

Adott pillanatban bomlékony izotópokból nagyon kevés van, de hosszú idő alatt ezeken keresztül sok mag alakul át. Az ábrák pillanatfelvételek, és az egyensúlyi koncentrációkat mutatják. Például a vasnál, ha $N = 38$, akkor minden másodpercben mintegy 10^{20} db $^{64}\text{Fe}_{38}$ izotóp van, ami nagyon kevés ($10 \mu\text{g}$). Ha a tekintett idő ezer év, tehát nagyjából $3,1 \cdot 10^{10}$ s, akkor $1,1 \cdot 10^{30}$ db magátalakulás történik ezen az átalakulási csatornán, ami azért is érdekes, mert elvileg azt gondolnánk, hogy a $^{64}\text{Fe}_{38}$ nem is létezik. Nagyobb neutron-sűrűség ($N_n > 10^8 \text{ cm}^{-3}$) esetén a hozzájárulás még jelentősebb.

3. A neutron-sűrűség és így a neutronfluxus már fizikai körülmény. A nagy fluxus nagyon kiszélesíti a fejlődési sávot (képszerűen „erős neutron-sél messze elfújja a magokat a völgyből”) a nagy neutron-számú

13. ábra. Az r- és s-magpárok aránya a Naprendszerben tapasztalt arányhoz viszonyítva.



magok felé. A 12. ábrán más is látható. Bejelöltük a stabil magokat, kiemelve a hagyományos megközelítés szerinti keletkezési módjukat: s-mag, r-mag, p-mag. Például az s-mag onnan kapta nevét, hogy csak s-folyamatban keletkezik, mert egy stabil mag leárnyékolja az r-folyamatban való keletkezés előtt. Az s- és az r-magok többnyire párba állíthatók, például ^{132}Te – ^{132}Xe , ^{152}Sm – ^{152}Gd , ^{192}Os – ^{192}Pt .

4. A programmal a neutron-sűrűséget változtatva vizsgálhatjuk, mennyi lesz az r-magok és az s-magok mennyiségének aránya: R . A 13. ábrán a modellben jósolt R és a Naprendszerben észlelt arány hányadosát ábrázoljuk a neutron-sűrűséggel arányos neutronfluxus függvényében. A legtöbb pár gyakoriságaránya a megfigyelt értékhez viszonylag közelinek adódik $N_n = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ neutron-sűrűség esetén.

5. A klasszikus s-folyamat a polónium gyors alfa-bomlása miatt a bizmutnál véget ér (14. ábra). Ahogy a polónium keletkezik, rögtön el is bomlik, így gátat szab a további elemkeletkezésnek. Amennyiben a neutron-sűrűséget egy küszöbnél nagyobbak választjuk, $N_n \geq 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, akkor a széles sáv miatt elkerülhető a polónium csapdája, ha van elég idő a fejlődésre. A fejlődésnek ebben az esetben csak a fermium spontán hasadása vet véget. Az AGB csillagokban a termális pulzusok alatt van ilyen körülmény [5, 7].

6. A fejlődés és a sáv-szélesség szempontjából további fontos paraméter, hogy mennyi vas áll rendelkezésre a neutronbefogási folyamat kezdetén. E paraméterre a csillagtömeg és a fémesség alapján következtethetünk.

7. A számítások nagyon függenek a befogási hatáskeresztmetszetektől, amelyek $Z = 83$ -ig (bizmut) állnak rendelkezésre. A bizmutnál nehezebb elemek esetén csak kevés adat van. Korszerű kutatások eredményeként egyre több és pontosabb neutronbefogási hatáskeresztmetszet és atommagbomlási adat áll rendelkezésre, ezért a modellszámítás eredménye folyamatosan javítható.

Összegzés

Az itt leírtak alapján a csillagokbeli elemkeletkezés a stabilitási völgy mentén húzódó széles sávban történik, amelynek leírására egyszerű fizikai alapokon nyugvó modellt – nevezhetnénk sáv-modellnek (*band-process*, *b-process* = *b-folyamat*) – javasoltunk. Modellünk alapján azt is meg tudjuk mondani, hogy a klasszikus s-folyamat akkor látható a sávmodell alapján, ha nagyon nagy az időalap ($\tau > 10^4 \text{ s}$). Ha azonban rövid (1 s, vagy rövidebb) időalapot használunk,

határozottan széles a sáv még kisebb neutron-sűrűség esetén is. (A nagyon rövid időalap ára a nagyon hosszú számítási idő.) Mondhatjuk, hogy valójában az s-folyamat a b-folyamat idealizált széle.

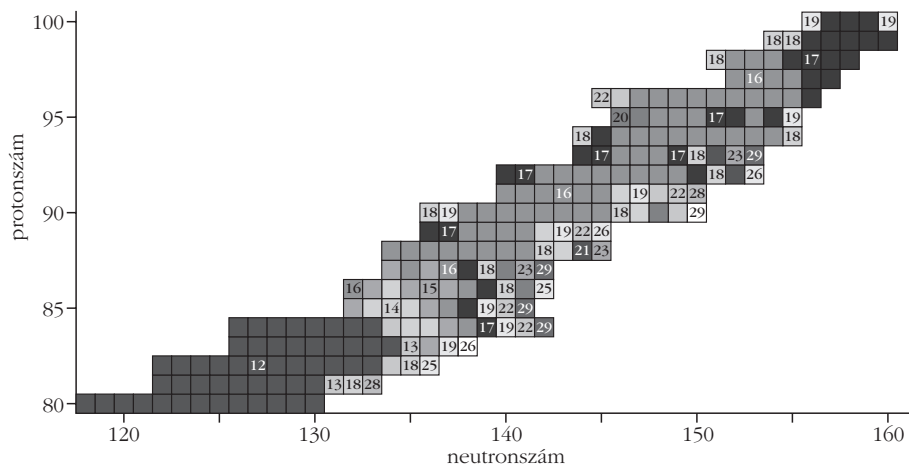
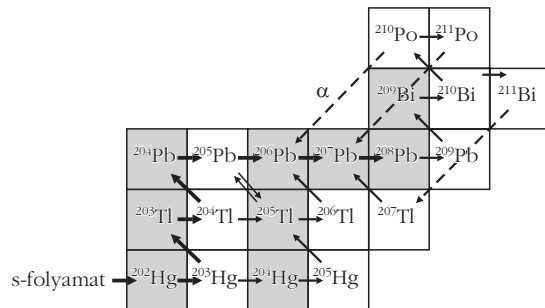
A hagyományos megközelítés hiányossága, hogy bizonyos feltevésekkel (a felezési idő sokkal kisebb, mint a befogási idő) a magok jelentős részét kizárja a fejlődésből. Ha azonban az s-folyamaton a kis neutron-sűrűség mellett bekövetkező neutronbefogási folyamatot értjük ($N_n \sim 10^7 - 10^8 \text{ cm}^{-3}$), és r-folyamaton a nagy ($N_n \sim 10^{20} - 10^{25} \text{ cm}^{-3}$) neutron-sűrűség mellett bekövetkező neutronbefogási folyamatot, akkor értelmezni kell a köztes sűrűségeken, $N_n \sim 10^{10} - 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ -en lehetséges folyamatot is. Az utóbbiak jellemző helyszínei az AGB csillagok TP állapota [5].

Modellünkben, a differenciálegyenletekben az egyes magokat mind a rendszám, mind a neutronszám szerint megkülönböztetjük, nem korlátozzuk a neutron-sűrűség lehetséges értékét. Az elemkeletkezést a felezési idő, a hatáskeresztmetszet, a neutron-sűrűség és az adott magot szülő mag mennyisége (átlépési küszöb) határozza meg.

A modell ellenőrzésére több lehetőség van. A már említett r- és s-magpárok aránya mellett főként a gyakoriságok reprodukálása jelentheti a modell jóságát. Utóbbi azonban sok más paramétertől is függ, hiszen az elemek különböző állapotú csillagokban, eltérő körülmények között keletkeznek.

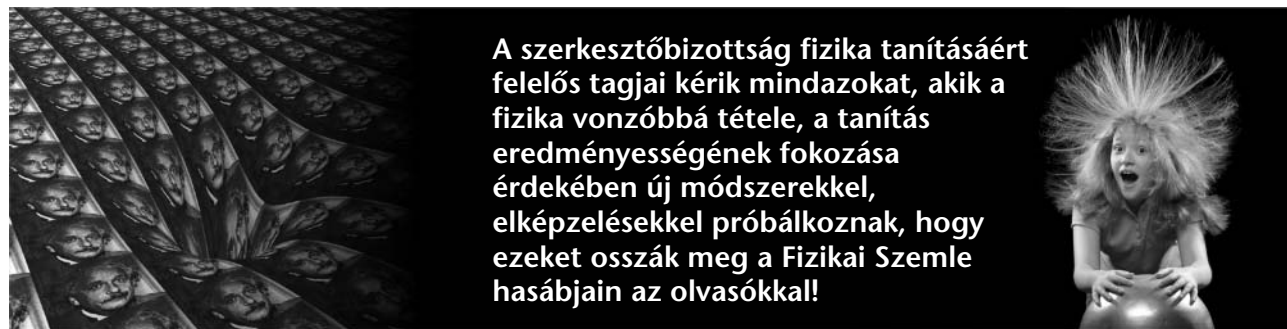
Irodalom

1. Burbidge M. E., Burbidge G. R., Fowler W. A., Hoyle F.: Synthesis of the elements in stars. *Rev. Mod. Phys.* 29 (1957) 547.
2. Kiss M., Trócsányi Z.: A unified model for nucleosynthesis of heavy elements in stars. *Journal of Physics: Conference Series* 202 (2010) 012024



14. ábra. A bizmut körüli klasszikus kép és a modell egy lehetősége.

3. <http://ie.lbl.gov/toips/greatch.pdf>
<http://ie.lbl.gov/toi/pdf/chart.pdf>
<http://nucldata.nuclear.lu.se/NuclearData/toi/pdf/chart.pdf>
4. Jeffery C. S.: Stellar Structure and Evolution: an Introduction. In *Principles and Perspectives in Cosmochemistry*. Goswami A., Reddy B. E. (editors), Springer 2010.
5. Habing H. J., Olofsson H.: *Asymptotic Giant Branch Stars*. Springer, 2004.
6. Rolfs C. E., Rodney W. S.: *Cauldrons in the Cosmos*. The Univ. of Chicago Press, 1988.
7. Lugaro M., Karakas A. I., Bisterzo S.: *Models and observations of the s process in AGB stars*. NIC X, Mackinac Island, Michigan, USA, 2008.
8. Käpeller F., Beer H., Wisshak K.: S-process nucleosynthesis – nuclear physics and the classical model. *Rep. Prog. Phys.* 52 (1989) 945–1013.
9. Pagel B. E. J.: *Nucleosynthesis and Chemical Evolution of Galaxies*. Cambridge University Press, 2009.
10. Clayton D. D.: *Principles of Stellar Evolution and Nucleosynthesis*. Univ. of Chicago Press, 1968, 1983.
11. Tuli J. K.: *Nuclear Wallet Cards 2005*. Brookhaven National Laboratory.



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

Napjainkban már elmondhatjuk, hogy nagy vonalokban feltérképeztük a Világegyetem általunk belátható tartományát, és egyre inkább a részletek tanulmányozására helyeződik át a hangsúly. A mai legmodernebb megfigyelési technikákkal meglepő részletességgel tanulmányozhatjuk a csillagok keletkezési környezetét, és bepillantást nyerhetünk a távoli bolygórendszerek fejlődésébe is. E naprendszerek vizsgálata során számos kérdésre választ remélhetünk, és egyre inkább felárul előttünk a természet roppant változatosága.

A más csillagok körül keringő ismert exobolygók száma a földi távcsövek és a modern űreszközök egyre pontosabb mérései révén rohamosan növekszik. A felfedezett bolygók nagy része a Neptunusznál (17,1 földtömeg) is nagyobb, a Jupiter tömegével összemérhető tömegű óriás gázbolygó. Ezek tömege Földünknek több százszorosa, de akár négyezerszeresét is meghaladhatja. Az óriásbolygókhoz viszonyítva jelenleg még csekély a Neptunusznál kisebb tömegű ismert planéták száma, azonban arányuk a javuló érzékenységű mérés technikák egyre szélesebb körű alkalmazásával fokozatosan nő. Főként az exobolygó-keresés szolgálatában álló űrcsillagászati műszerek érzékenysége terén tapasztalható nagyarányú javulás.

A bolygókereső Kepler-űrtávcső

A NASA 2009 tavaszán pályára állította bolygókereső műszerét, a Kepler-űrtávcsövet (1. ábra). A program fő célja a Földhöz hasonló méretű bolygók kimutatása a csillagok lakhatósági zónájában, és e kis tömegű planéták gyakoriságának meghatározása a Tejútrendszerben. A Kepler 1,4 méter átmérőjű főtükre és rendkívül érzékeny fotométere a csillagok előtti bolygóátvonulások (tranzitok) okozta kis mértékű fényesség-

1. ábra. A Kepler-űrtávcső fellövése.



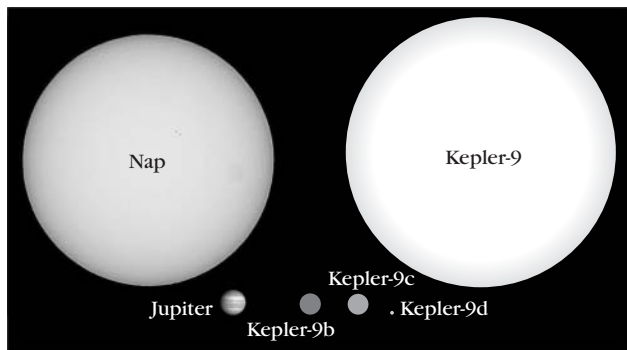
csökkenések nagy pontosságú mérését teszi lehetővé. A távcső nagyon fontos egysége a 42 elemből álló, összesen 95 megapixel kapacitású CCD-érzékelő, amely a látható fény hullámhossztartományában a 9–15 magnitúdó közötti fényességű csillagok fotometriai vizsgálatát teszi lehetővé. Példának okáért a Kepler fotometriai érzékenysége olyan mértékű, hogy a 12 magnitúdós Nap-szerű csillagok fényessége $2 \cdot 10^{-5}$ nagyságrendű csökkenésének mérésére is képes. Ebben az esetben egy, a Földhöz hasonló méretű bolygó tranzitja 84 ppm (part per million) fényességváltozást idézne elő [1]. Ez a nagyfokú mérési precizitás alkalmas arra, hogy egy adott csillag – asztroszeizmológiai vizsgálatokat követően modellezett – átmérőjének és a fényességcsökkenés mértékének ismeretében akár 1%-os pontossággal meg lehessen határozni az adott bolygó átmérőjét. Az ily módon felfedezett planéták tömegét pedig érzékeny spektrográffal felszerelt távcsövek alkalmazásával határozzák meg. A viszonylag pontos átmérő- és tömegadatok felhasználásával kiszámítható a bolygók átlagsűrűsége, amelyből következtetni lehet összetételükre, és modellek állíthatók fel belső szerkezetükre.

A Kepler által felfedezett, eddig bejelentett exobolygók nagy tömegük révén a Jupiterre és a Szaturnuszra hasonlítanak leginkább. 2010 nyarán az első 43 nap adatsorait publikussá téve a NASA bolygójelöltek számainak kimutatását jelentette be, amikor 706 csillag fényességváltozásában találtak bolygófedésre utaló jelet. Ezek tényleges létezésének bizonyítása további alapos vizsgálatokat tesz szükségessé. A 706 csillagból 306 adatait tették közzé, azonban ezen jelöltek többsége már a Neptunuszhoz mérhető, illetve kisebb méretű exobolygó, ami nem zárja ki, hogy később a hosszabb keringési periódusú planéták között a Földünkéhez hasonló átmérőjű bolygókat találjunk.

A tranzitok tudományos jelentősége

A csillaguk előtt átvonuló bolygók által okozott fizikai hatás megfigyelésén alapuló bolygókereső módszer utolérhetetlen előnye a bolygóméretnek viszonylag pontos meghatározásának lehetősége. Ez azért is fontos, mert így egy adott bolygó esetében meglehetősen kis hibával terhelt átlagsűrűség számítható, ami által jobb közelítés adható az összetételre és a belső szerkezetre. Ezen kívül a mérési adatok felhasználásával egyéb fizikai paraméterek is modellezhetők, így például az idealizált bolygófelszínre vonatkoztatott nehézségi gyorsulás átlagos értéke is.

A világűrben alkalmazott nagy pontosságú fotometria lehetővé teszi a Neptunusznál kisebb, sőt Föld méretű bolygók detektálását is. Egy Nap-szerű csillag esetén egy Jupiter méretű objektum 10^{-2} , egy Földhöz hasonló méretű planéta pedig 10^{-4} – 10^{-5} nagyságrendű



2. ábra. A Kepler-9 csillag és ismert bolygóinak mérete a Nap és a Jupiter méretéhez viszonyítva.

fényességcsökkenést idéz elő a fedés alkalmával. A Kepler fotometriai érzékenysége megfelelő az ilyen kis méretű bolygók felfedezéséhez, sőt adott esetben akár Földünk sugarának 80%-át kitevő átmérőjű bolygókísérők is kimutathatók. Természetesen minél kisebb a megfigyelt csillag átmérője, annál nagyobb például egy előtte átvonuló Föld méretű bolygó által okozott fényességcsökkenés. Egy ilyen méretű objektum átvonulásakor a vörös törpék esetében a megfigyelhető változás a Nap típusú csillagokkal ellentétben 10^{-4} – 10^{-5} helyett $2 \cdot 10^{-3}$ – 10^{-4} közötti nagyságrendű. Ennélfogva a vörös törpecsillagok ígéretesebb vizsgálati célpontnak mutatkoznak nagyobb tömegű társaiknál, ráadásul ezek a leggyakoribb csillagtípusok, és a körülöttük keringő bolygók periódusideje is rövidebb. Azonban halványosságuk miatt csillagászati értelemben csupán viszonylag kis távolságokban lehetséges a tranzitok megfigyelése.

A tranzitok másik nagy jelentősége abban rejlik, hogy a fedések alkalmával a csillag fénye az előtte átvonuló bolygó légkörén is áthalad, így annak lenyomata a csillag spektrumán marad, és lehetségessé válik a bolygó légkör kémiai összetételének meghatározása. Ennek pedig elsősorban az esetleges életjelek kutatása terén van nagy szerepe. A közeljövő infravörös tartományban működő űrteleszkópjai képesek lesznek kimutatni egy csillaga előtt átvonuló exobolygó légkörében az élet esetleges jelenlétére utaló gázokat (biomarkereket). A kutatóknak a szuper-Földek közül elsőként a 42,4 fényévre lévő vörös törpecsillag körül 1,58 nap periódusidővel keringő GJ 1214b jelű exobolygó légkörét sikerült elemezniük. Eredményeik szerint ennek az 5,69 földtömegű és 2,75 földátmérőjű planétának vízgőzben gazdag légköre van.

A Kepler-program első szuper-Földjei

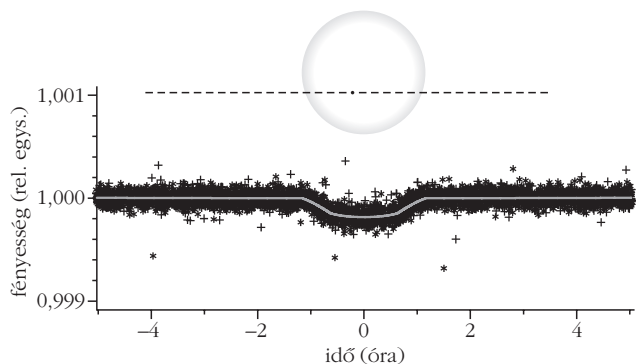
A bolygók tömegspektrumának 1 és 10 földtömeg (M_{\oplus}) közötti kategóriájába tartozó égitesteket szuper-Földek néven említi a szakirodalom. A szuper-Földek lehetnek Föld típusú, főként szilikátos összetételű bolygók. Ezekon kívül minden bizonnyal léteznek jelentős víztartalmú képviselőik is, amelyeknek fémes magja és szilikát köpenye felett vízjégből álló gömbhéj helyezkedik el [2].

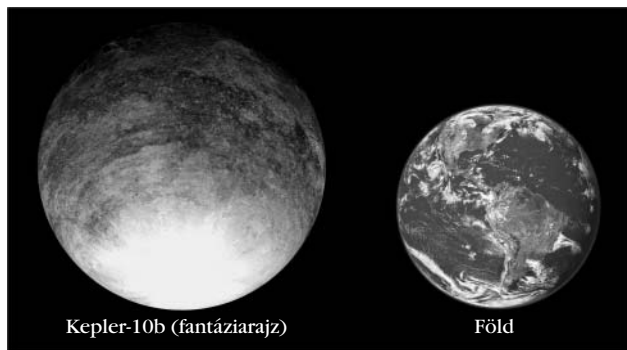
2010 augusztusában a NASA egy többszörös fedéseket mutató bolygórendszer felfedezését jelentette be (2. ábra). Az 1 naptömegű és 1,1 napátmérőjű Kepler-9 csillag fényességét két Szaturnuszhoz hasonló méretű óriásbolygó csökkenti a fedések alkalmával. A 19,2 napos periódussal keringő Kepler-9b jelű exobolygó átmérője közel 5%-kal nagyobb mint a Szaturnuszé, tömege azonban 84%-a annak. A 38,9 nap keringési idejű Kepler-9c sugara 2%-kal haladja meg a naprendszerbeli óriásbolygó sugarát, tömege pedig csupán a Szaturnusz 57%-a. A c jelű planéta tehát kétszer annyi idő alatt kerüli meg szülőcsillagát, így e két bolygó 2:1 rezonanciában áll egymással.

A rendszerre vonatkozó Kepler-adatsorok még egy harmadik objektum létezésére is utaltak, amely a fénygörbe jellegzetességei alapján egy szuper-Föld méretű bolygó. Ez a Kepler-9d jelű planéta nagyon közel kering a központi csillaghoz, mintegy 1,59 nap alatt kerüli meg azt. Emiatt felszíni rétege nagyon forró lehet, amely egyaránt lehet lávatenger és forró vízpára-légkör is. A bolygó átmérője 1,64-szerese Földünkének, és a tömegét egyes források 7 földtömegre becsülik (bár e sorok írásakor még nincs megbízható adatunk a tömegre). Összehasonlításképpen: egy, a Földhöz hasonló összetételű, de nála 5-ször nagyobb tömegű bolygó átmérője 1,537-szerese lenne bolygónkénak [3]. A Kepler-9d-hez fizikai vonatkozásokban hasonló exobolygó a CoRoT-7b, amelynek átmérője 1,68-szorosa a Földének, tömege pedig a földtömeg 4,8-szeresének bizonyult. A megfigyelt fizikai paraméterek alapján valószínű, hogy a Kepler-9d egy Föld típusú bolygó.

Az Amerikai Csillagászati Társaság Washington-állambeli Seattle-ben tartott 2011. januári találkozásán egy újabb kisméretű exobolygó, a Kepler-10b (3. ábra) felfedezését jelentették be. A szuper-Föld családba sorolható planéta átmérője a mérések alapján 1,416 földátmérőnek (4. ábra), tömege pedig 4,56 földtömegnek adódott, ami alapján kőzetbolygó-jellegre következtethetünk. A Kepler-10b majdnem hatvanszor közelebb kering a Naphoz hasonló csillagához, mint a Föld-Nap távolság. Emiatt felszíni hőmérséklete mintegy 1550 °C, így nagy valószínűség szerint a felszínt láva borítja. A bolygó átlagsűrűsége több mint 8,8 g/cm³, ezért a megfigyelési adatokból

3. ábra. A Kepler-10b jelű kis tömegű exobolygó által előidézett fényességcsökkenés görbéje [4].





4. ábra. A Kepler-10b bolygónkéhez viszonyított mérete.

számított tömeg-sugár reláció alapján úgy tűnik, hogy a planéta vasmagja a teljes bolygótömeghez viszonyítva valamivel nagyobb, mint a Földé (bolygónk vas-nikkel magja a teljes tömeg 32,6%-a).

Összegzés

Az igazán nagy jelentőségű felfedezés az olyan Földhöz hasonló méretű bolygók megtalálása volna, amelyek csillaguk lakhatósági zónájában keringenek. Azonban nemcsak a Földünk méretével megegyező planéták lehetnek érdekesek, hanem a nála nagyobb kőzetbolygók is, hiszen ezek megfelelő környezeti feltételek teljesülése esetén szintén életet hordozhatnak felszínükön. Az összetételre vonatkozó számítási eredmények felhasználásával nagyszerű összehasonlításokat végezhetünk a nagy tömegű kőzetbolygók és a mi Földünk tulajdonságai között. A Földhöz hasonló felépítésű, de annál nagyobb tömegű szuper-Földek geológiai értelemben aktívabb égitestek, hiszen magasabb belső hőmérsékletük intenzívebb geodinamikát tarthat fenn, elősegítve ezzel a hatékonyabb le-

meztectonikát. Számos kutatás pedig alátámasztani látszik azt a feltételezést, amely szerint a lemeztectonika léte elősegítette a földi élet fejlődését. Így a szuper-Földek – megfelelő kritériumok teljesülése esetén – akár kedvezőbb feltételeket is nyújthatnak az olyan típusú élet számára, mint amit mi itt a Földön megismertünk. Az élet jellegét meghatározó vagy befolyásoló fizikai paraméterek közül pedig az egyik legfontosabb a felszíni nehézségi gyorsulás értéke, mivel ez szabja felső határt az élőlények tömegének és méretének egy adott planéta bioszférájában.

A Kepler-úrtávcső mérései által a Földünkhöz hasonló és a nála nagyobb méretű bolygók esetén a várható felfedezések száma akár a több százat is elérheti, amely adattömeg már segíti a szakembereket a Tejútrendszerbeli potenciálisan lakható bolygók lehetséges számának becslésében. A 2010-es év összes bejelentett exobolygó-felfedezése száz körül volt, és ebből 8 az elsőként a Kepler-úrtávcsővel detektált planéta, amely arány növekedésére lehet számítani a következő években. Mivel a kis tömegű exobolygókat illetően is tömeges felfedezések várhatók, a Kepler valószínű forradalmat indíthat el az exobolygó-kutatás területén.

Linkgyűjtemény:

Kepler: <http://www.kepler.nasa.gov/Mission/discoveries/>

Kepler-9d: <http://arxiv.org/abs/1008.4393v3>

Exobolygó enciklopédia: <http://exoplanet.eu/>

Irodalom

1. Szabó R.: Bolygóáradat és asztroszeizmológia. *Fizikai Szemle* 59/4 (2009) 121–126.
2. Futó P.: Szuper-Földek. *Természet Világa* 141 (2010) 520.
3. P. Futó: Detailed internal structure model for super-Earths in case of Earth-like composition. *Lunar and Planetary Science XLI*. (2010) #1024, Houston.
4. N. M. Batalha: Kepler's First Rocky Planet: Kepler-10b. *Astrophys. J.* 729 (2011) 27.

A FIZIKA TANÍTÁSA

A LORENTZ-FÉLE SEBESSÉGTRANSZFORMÁCIÓ SZEMLÉLTETÉSE ENERGIA-IMPULZUS DIAGRAMOKKAL

Bokor Nándor
BME, Fizika Tanszék

Furcsa és kicsit egzotikus példa a relativisztikus jelenségek energia-impulzus diagramokkal [1] való szemléltetésére a Lorentz-féle sebességtranszformációs képlet levezetése. Egy tisztán kinematikai kérdést ugyanis dinamikai fogalmak segítségével (energiamegmaradás, impulzusmegmaradás) szemléltet és vezet le.

Az [1] cikkhez hasonlóan itt is $c = 1$ egységeket használok. A sebességek tehát dimenzió nélküli szá-

mok, amelyek csak (-1) és 1 közötti értékeket vehetnek fel; a tömeg, impulzus és energia pedig mind ugyanabban az egységben mérendő.

Egy S vonatkoztatási rendszerben egy meteor v sebességgel mozog balra, egy űrhajó pedig u sebességgel jobbra. A kérdés: mekkora v' sebességgel mozog balra a meteor az űrhajóhoz képest, azaz az űrhajóhoz rögzített S' vonatkoztatási rendszerben?

(A balra irányuló v és v' sebességeket negatívnak, a jobbra irányuló u -t pozitívnak tekintem.)

A levezetéshez *odaképzélünk* egy harmadik objektumot: egy űrkabint, amely a meteorral együtt v sebességgel mozog balra, és amelynek m^* tömegét az alábbi szempont szerint választjuk meg: S legyen éppen az a vonatkoztatási rendszer, amelyben az m^* tömegű űrkabinból és az m tömegű űrhajóból álló rendszer tömegközéppontja nyugszik! Nyilván tetszőleges u , v és m mellett található ilyen m^* tömeg (még ha esetleg nem realiztikus is egy ilyen tömegű űrkabin), és ha a képzeletbeli űrkabinra levezetjük a $v'(v, u)$ sebességtranszformációs összefüggést, ugyanaz a képlet automatikusan érvényes lesz a vele együtt mozgó meteorra is.

Az 1. ábrán látható az űrhajó-űrkabin rendszer energia-impulzus diagramja az S vonatkoztatási rendszerből nézve. Az ábráról leolvasható, hogy

1) A rendszer eredő energia-impulzus vektora – az ábrán a szaggatott vonallal jelölt vektor – függőleges (hiszen S a tömegközépponti rendszer);

2) Az űrhajó energia-impulzus vektora az m -hez tartozó hiperbolára mutat;

3) Az űrkabin energia-impulzus vektora a vektor-kivonás szabályainak megfelelően automatikusan kiadódik (ez a β dőlésszögű vektor az ábrán).

Az űrhajó és az űrkabin energia-impulzus vektorának dőlésszöge adja meg az S -ben mért sebességüket:

$$u = \tan \alpha \quad (1)$$

$$v = -\tan \beta \quad (2)$$

A (2)-ben szereplő mínusz előjel oka, hogy v negatív szám, az ábrákon szereplő hegyesszögeket viszont az átláthatóság kedvéért mind pozitívnak veszem.

Az S tömegközépponti rendszerben az impulzus- és energiamegmaradás egyenletei:

$$\frac{m u}{\sqrt{1-u^2}} + \frac{m^* v}{\sqrt{1-v^2}} = 0, \quad (3)$$

$$M = \frac{m}{\sqrt{1-u^2}} + \frac{m^*}{\sqrt{1-v^2}}, \quad (4)$$

ahol M az ábra szerinti felső hiperbolához tartozó tömegérték, a „rendszer össztömege”.

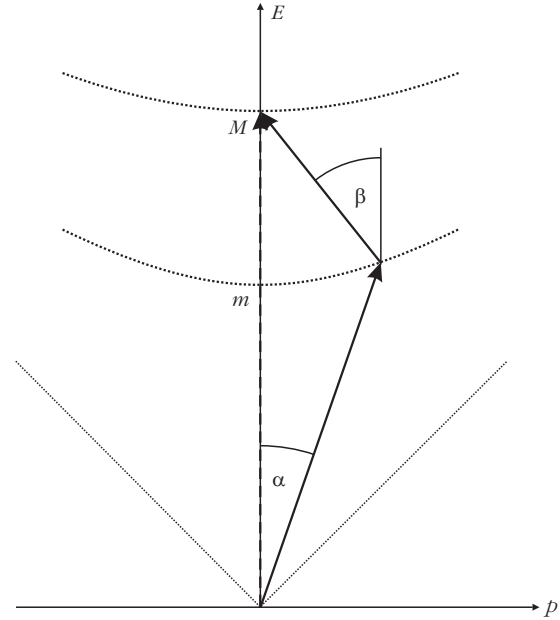
(3) és (4) kombinálásával m^* könnyen kiküszöbölhető:

$$M = \frac{m}{\sqrt{1-u^2}} \left(1 - \frac{u}{v} \right). \quad (5)$$

Mi az 1. ábra energia-impulzus diagramjának megfelelője az űrhajóhoz rögzített S' vonatkoztatási rendszerben? Az S' -beli új ábra megszerkesztéséhez az alábbi gondolatmenettel jutunk el. Az S' rendszerben

1) az m tömegű űrhajó áll, tehát az ő energia-impulzus vektora lesz függőleges;

2) az űrhajó-űrkabin rendszer tömegközéppontja éppen $(-u)$ sebességgel mozog balra (hiszen S -ben

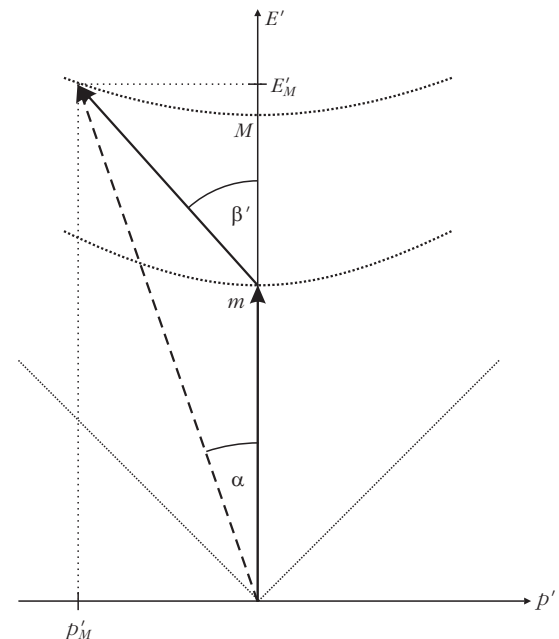


1. ábra. Az űrhajó-űrkabin rendszer energia-impulzus diagramja S -ből nézve.

állt), tehát a tömegközéppont energia-impulzus vektora α szöggel dől *balra* az E -tengelyhez képest.

A helyzetet a 2. ábra mutatja. A tömegközéppont energia-impulzus vektorát természetesen olyan hosszúra kell rajzolni, hogy az M -hez tartozó hiperbolára illeszkedjen. Az ábrán ilyen módon – két vektor különbségeként – ismét automatikusan kiadódik az űrkabin energia-impulzus vektora is, amely most β' szöggel dől az E -tengelyhez képest. A β' dőlésszög *különbözik* az 1. ábra β -jától: éppen ezt fejezi ki a sebességtranszformáció. A sebességtranszformációs képlet levezetése ezek után nem más, mint az 1. és 2. ábrákon szereplő α , β és β' szögek tangensei közötti összefüggés megtalálása.

2. ábra. Az űrhajó-űrkabin rendszer energia-impulzus diagramja az űrhajó vonatkoztatási rendszeréből, S' -ből nézve.



A keresett v' sebesség ugyanis a

$$v' = -\tan\beta' \quad (6)$$

alakba írható (a mínusz előjel oka ismét az, hogy az ábrákon szereplő hegyesszögeket következetesen pozitívnak, a balra mutató sebességeket viszont negatívnak tekintem).

A 2. ábrából – ügyelve az előjelekre – egyszerűen felírhatók a tangensek (és ezzel a sebességek):

$$u = \tan\alpha = -\frac{p'_M}{E'_M}, \quad (7)$$

$$v' = -\tan\beta' = \frac{p'_M}{E'_M - m}, \quad (8)$$

ahol p'_M és E'_M a tömegközéppont impulzusa, illetve energiája az S' vonatkoztatási rendszerben.

E'_M -re, (5) felhasználásával

$$E'_M = \frac{M}{\sqrt{1-u^2}} = \frac{m}{1-u^2} \left(1 - \frac{u}{v}\right) \quad (9)$$

adódik. (8)-at és (7)-et elosztva, (9) felhasználásával a következőt kapjuk:

$$\begin{aligned} \frac{v'}{u} &= -\frac{E'_M}{E'_M - m} = -\frac{1}{1 - \frac{m}{E'_M}} \\ &= -\frac{1}{1 - \frac{1-u^2}{1 - \frac{u}{v}}} = \frac{v-u}{u-u^2v}, \end{aligned} \quad (10)$$

amelyből adódik a Lorentz-féle sebességtranszformációs képlet:

$$v' = \frac{v-u}{1-uv}. \quad (11)$$

Kitérő

Ha a speciális relativitáselmélet helyett egy olyan furcsa elmélet lenne érvényes, amely szerint az 1. és 2. ábrákon a hiperbolák helyett vízszintes egyenesek szerepelnének, akkor a 3. ábrán látható diagramot kapnánk (az ábra helytakarékosági okokból egymásra vetítve mutatja az S és S' rendszerbeli szituációkat).

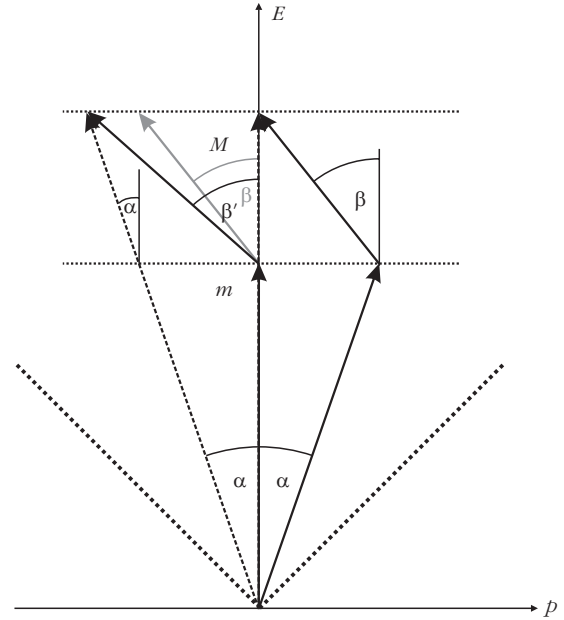
Ez esetben – amint az ábráról leolvasható – a tangensek közötti összefüggés egyszerűen

$$\tan\beta' = \tan\alpha + \tan\beta \quad (12)$$

lenne, amiből a

$$v' = v - u \quad (13)$$

Galilei-féle sebességtranszformáció adódna.



3. ábra. „Furcsa elmélet.”

A helyes elmülethez visszakanyarodva: ott is a 3. ábrához hasonló helyzet alakul ki *kis sebességeknél*. Olyankor ugyanis az energia-impulzus vektorok nagyon kis szöggel dőlnek az E -tengelyhez képest, tehát a hiperboláknak csak a középső, gyakorlatilag vízszintes egyenessel helyettesíthető része kap szerepet. (Ilyenkor természetesen (12) helyett nem csak a tangensek, hanem közelítőleg maguk a szögek is additívak.)

A fényről

A (11) sebességtranszformációs képlet nem csak tömegpontok sebességére működik, hanem helyesen adja vissza a relativitáselmélet egyik alap-posztulátumát, a *fénysebesség* mért értékének inerciarendszertől független voltát is: például $v = -1$ érték mellett v' -re is (-1) -et ad.

Kifogásolható, hogy a (11)-et eredményező levezetés csak anyagi pontok esetére érvényes, hiszen a (3) és (4) egyenletekben szereplő impulzus- és energia-kifejezés fénysugárra nem írható fel (a fényre vonatkozó $m^* = 0$ és $|v| = 1$ miatt). Ha azonban az

$$\frac{m^* v}{\sqrt{1-v^2}} \quad \text{és} \quad \frac{m^*}{\sqrt{1-v^2}}$$

kifejezéseket egyaránt p_f -fel helyettesítjük – p_f a fényrészecske impulzusát jelöli, ami egyenlő az E_f energiájával –, a levezetés expliciten fénysugárra is könnyen végigvihető (a kezdő lépéseket lásd később).

Tanulságos megnéznünk, hogyan viselkedik az 1. és 2. ábra, ha az eredeti meteor helyett *fényrészecske* a balra haladó objektum. Az S -beli helyzetet a 4. ábra mutatja. Az általánosság ismét semmit sem sérül, ha az űrhajó tömegét akkorának feltételezzük,

hogy az űrhajó-fényrészecske rendszer *eredő* energia-impulzus vektora *függőleges* legyen, ahogy az ábra mutatja.

Az S' -beli energia-impulzus diagram szerkesztése – ezt az 5. ábra mutatja – teljesen a 2. ábra mintájára történik. Csakhogy most, mivel az S -beli ábra β -jét 45° -osra választottuk, automatikusan – a hiperbolák *geometriai tulajdonságaként* – adódik az az eredmény, hogy az S' -beli ábrán is $\beta' = 45^\circ$ -os szögben fog dőlni a fényrészecske energia-impulzus vektora az E -tengelyhez képest. Az energia-impulzus diagramok világában a fénysebesség invarianciája tehát *geometriai szerkesztésként* adódik.

A 4. és 5. ábrákon ugyanakkor az is látszik, hogy a fényrészecske S -beli és S' -beli energia-impulzus vektora *nem ugyanolyan „hosszú”* (precízebben: nem ugyanakkora energiát képvisel). Mekkora a két energia aránya? Az S -beli impulzus- és energia-megmaradás egyenletei a következők (vesd össze (3) és (4) egyenleteket):

$$\frac{m u}{\sqrt{1-u^2}} - p_f = 0, \quad (14)$$

$$M = \frac{m}{\sqrt{1-u^2}} + p_f, \quad (15)$$

amelyekből p_f kiküszöbölésével

$$M = \frac{m}{\sqrt{1-u^2}} (1+u) = m \sqrt{\frac{1+u}{1-u}} \quad (16)$$

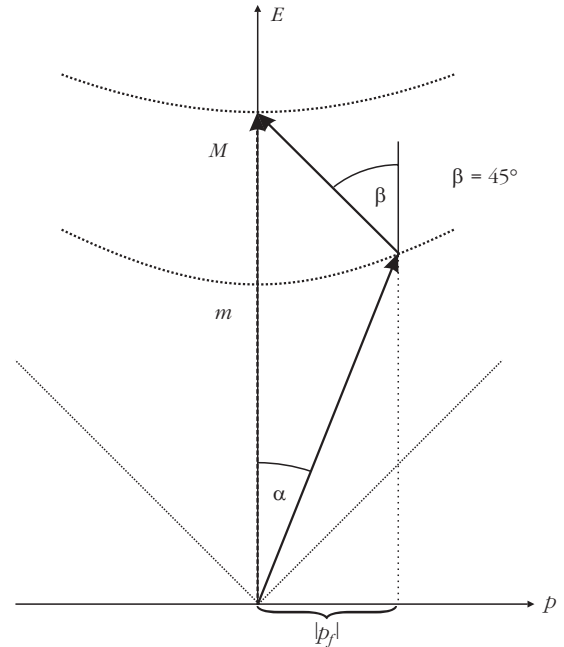
adódik (ezt kapnánk (5)-ből is, $v = -1$ helyettesítéssel). A fényrészecske S' -beli és S -beli *energiájának aránya*:

$$\frac{E'_f}{E_f} = \frac{|p'_f|}{|p_f|}. \quad (17)$$

A számlálóban szereplő p'_f (ahogy az 5. ábrából leolvasható) nem más, mint az M tömegű űrhajó-fényrészecske rendszer impulzusa S' -ben, míg a nevezőben szereplő p_f (ahogy a 4. ábrán látszik) egyenlő az m tömegű *űrhajó* S -beli impulzusával. Ebből:

$$\frac{E'_f}{E_f} = \frac{\frac{M u}{\sqrt{1-u^2}}}{\frac{m u}{\sqrt{1-u^2}}} = \frac{M}{m} = \sqrt{\frac{1+u}{1-u}}, \quad (18)$$

ahol az utolsó lépésben felhasználtam a (16)-ot. A (18) képlet ($E'_f = hf'$, $E_f = hf$ helyettesítéssel) éppen a fényhullámra vonatkozó *Doppler-effektus* képlete. Ha az S rendszerben a fény frekvenciáját f -nek mérjük, akkor a fénysugárral szemben haladó S' űrhajó-beli megfigyelő a (18) képlet szerinti mértékben *nagyobb f'* frekvenciájának észleli a fénysugarat. Mint a (18) egyenlet utolsó lépéséből látszik, a két frekvencia aránya közvetlenül is leolvasható a 4. (vagy az 5.)

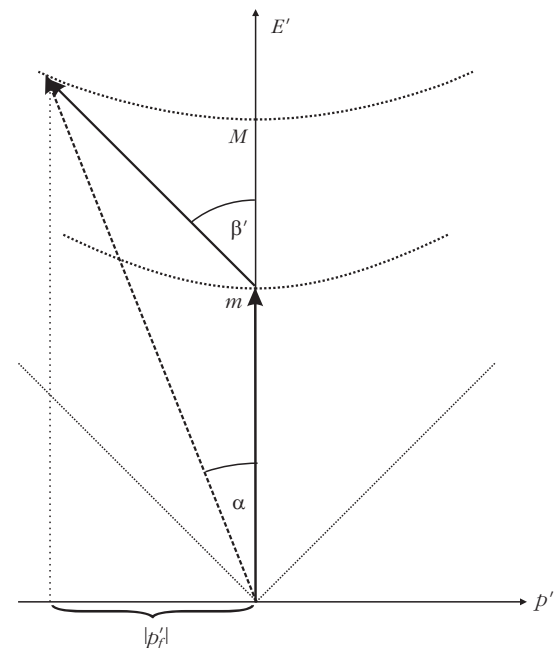


4. ábra. Az űrhajó-fényrészecske rendszer energia-impulzus diagramja S -ből nézve.

ábra energia-impulzus diagramjáról, mint a két hiperbolához tartozó M és m tömegek aránya. (Természetesen a Doppler-effektus, mint alapvetően kinematikai effektus – amely legszorosabban az idődilatacióhoz kötődik – a *téridőbeli* (t, x) Minkowski-diagramon is szemléltethető és levezethető [2].)

Irodalom

1. Bokor N.: Ütközések elemzése energia-impulzus diagramokkal. *Fizikai Szemle* 61 (2011) 54–60.
2. Bokor N.: Az elektromágneses és az akusztikai Doppler-effektus elemzése geometriai diagramokkal. *Fizikai Szemle* 58 (2008) 142–146.
5. ábra. Az űrhajó-fényrészecske rendszer energia-impulzus diagramja az űrhajó vonatkoztatási rendszeréből, S' -ből nézve.



A 2010. ÉVI EÖTVÖS-VERSENY ÜNNEPÉLYES EREDMÉNYHIRDETÉSE

Vantsó Erzsébet
Budapest

A 2010. november 25-én az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Bolyai termében lezajlott rendezvény – szokásosan – nem pusztán megoldás-ismertetés és eredményhirdetés, jutalomosztás volt, hanem ünnepi alkalom is. Nemcsak a megjutalmazottak és tanáraik, hanem a fizika és a fizikatanulás ünnepe is. A felsoroltak mellett ezette az érdekes fizikai tartalom. *Radnai Gyula*, a versenybizottság elnöke, a délután előadója ezt az alkalmat is felhasználta a fizika és a fizikusi életpálya népszerűsítésére, gondot fordított arra, hogy motiváló érdekességek hangozzanak el, és látványosságban sem volt hiány.

A 2010-es versenyen többségükben középiskolai tanulók indultak, nagyobb számban Budapesten, Pécsen, Szegeden és Debrecenben. Az ünnepelőben megjelent díjazottakon, tanáraikon, az emlékező és a segítő közreműködőkön kívül érdeklődő diáktársak, versenyekre felkészítő tanárok vettek részt a délutánon.

A már több éves gyakorlatnak megfelelően – a részletes eredmények izgatottan várt ismertetését megelőzve – az 50, illetve a 25 év előtti Eötvös-versenyről való megemlékezésre került sor.

Az 1960. évi Eötvös-verseny feladatai

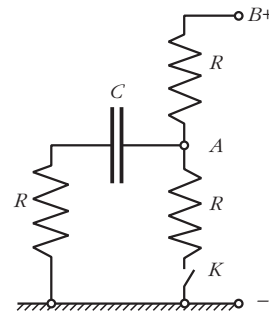
1. $M = 40$ kg tömegű, igen hosszú kocsi vízszintesen elhelyezett sínen súrlódás nélkül gurulhat. Az álló kocsi vízszintes tetejére, ezzel egy magasságban, a sínnel párhuzamosan repülve $v_0 = 25$ m/s sebességgel $m = 10$ kg tömegű lövedék érkezik, amely csúszva halad tovább a kocsin, miközben azt súrlódása folytán mozgásba hozza. A súrlódási együttható a lövedék és a kocsi között $\mu = 0,255$. Mi történik? Mi történik, ha a kocsi csak 80 m hosszú? Mi történik, ha a

1. kép. Dálnoki (Elsner) Gábor és Radnai Gyula.



kocsi is súrlódik a sínen $\mu_2 = 0,0425$ súrlódási együtthatóval? (A súrlódási együtthatók függetlenek a sebességtől.)

2. A rajz szerinti kapcsolásban a föld és a B pont közé hosszabb idő óta 200 V egyenfeszültség van kapcsolva. Az R ellenállások értéke $1\text{ M}\Omega$, a C kondenzátor kapacitása $1\text{ }\mu\text{F}$. A vezetéklet a K kapcsolóval hirtelen megszakítjuk. Kérdés: mennyivel ugrik az A pont feszültsége közvetlenül a megszakítás után (például egy ezredmásodpercen belül)?



3. A sima Csendes-óceán fölött 20 km magasságban repülőgép repül. A Hold éppen függőlegesen felette van. Mekkora látja a pilóta a tengerben tükröződő Holdat a tényleges Hold látszólagos nagyságához viszonyítva? (A Föld radiusza 6370 km, a Hold távolsága a Föld középpontjától 380 000 km.)

50 évvel ezelőtt a versenybizottság elnöke *Vermes Miklós* volt, a feladatok kitalálói nem ismertek. A *Fizikai Szemlé*ben közzétett beszámolóiból megtudhatjuk, hogy 1960-ban még csak érettségizettek versenyezhetek, középiskolai tanulók nem. Az Eötvös Társulat, amint ez több évben is előfordult, 1960-ban sem adta ki az első díjat, mert nem volt olyan versenyző, aki mindhárom feladatot hibátlanul oldotta volna meg. A második díjat *Elsner Gábor* budapesti fizikus hallgató kapta, aki Budapesten a Petőfi Gimnáziumban érettségizett, *Szondy Lajos* tanítványa volt. A harmadik díjat *Mezei Ferenc* nyerte el, szintén az ELTE TTK fizikus hallgatója, aki a budapesti II. Rákóczi Ferenc Gimnáziumban érettségizett, *Kozma Péter* tanítványa volt. Dicséretet kaptak (jutalommal) *Grad János*, a BME Villamosmérnöki Karának hallgatója, aki a budapesti Kölcsey Gimnáziumban *Urbán János* tanítványa volt, és *Hild Erzsébet*, a Debreceni Kossuth Lajos Tudományegyetem fizikus hallgatója, aki a békéscsabai Rózsa Ferenc Gimnáziumban *Molnár László* tanítványa volt.

A már kialakult szokásokhoz híven Radnai tanár úr felkutatta az akkori díjazottakat, és sikerült megtalálnia néhányukat.

A második helyezett Dálnoki (Elsner) Gábor (1. kép) visszaemlékezésében elmondta, hogy számára akkor az elektromosságtani példa volt könnyű, mert már akkor is, mint mondta, „drótos” ember volt. Gyakorlati érdeklődése később is megmaradt, a Műszaki Fizikai Intézetben volt kutató, majd elektromérnök-ként dolgozott, és a digitális mérnöki kiegészítő képzés megszerzése után a mikroelektronikába csöppent, jelenleg is hardveresként dolgozik.

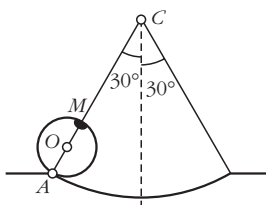
A harmadik díjas Mezei Ferenc nemzetközi hírfizikus, akadémikus, jelenleg Berlinben lakik és dolgozik, és noha gyakran jár haza, ezúttal nem tudott jelen lenni.

A dicséretet kapottak közül Hild Erzsébet nyugalmazott fizikus nem tudott részt venni a megemlékezésen, Grad János viszont szívesen beszélt emlékeiről (2. kép). A feladatok közül neki éppen a középső, elektromosságtani feladat okozta a legnagyobb gondot, pedig későbbi villamosmérnöki szakmájának megfelelő volt. Ő a Budapesti Műszaki Egyetem elvégzése után egy ideig a Tungsramban, majd a Távközlési Kutatóintézetben dolgozott. Az 1990-es évektől az államigazgatásba került, jelenleg a Nemzeti Hírközlési és Médiahatóság szakértője.

A 25 évvel ezelőtt, 1985-ben rendezett versenyen már indulhattak középiskolások, a díjazottak közé még harmadik osztályos gimnazista is bekerült.

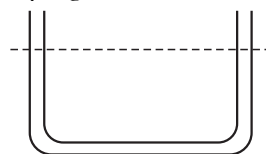
Az 1985. évi Eötvös-verseny feladatai

1. Adva van egy vízszintes síkban folytatódó körlejtő, sugara $AC = R = 0,9$ méter, $\alpha = 30^\circ$. Egy abroncs sugara $AO = r = 0,1$ méter. Az abroncs kerületére vele egyenlő tömegű nehezéket erősítettünk (M). Az abroncsot úgy helyezzük a lejtőre, hogy az M nehezék az AC egyenesen legyen (az *ábra* szerint). Az abroncsot elengedjük és az mindvégig csúszás nélkül gördül. Milyen magasra jut az abroncs középpontja a körlejtőn való végigfutás után?



2. Egy $d = 2 \mu\text{m}$ rácsállandójú rácsra $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$ hullámhosszú fény esik úgy, hogy a beeső fénysugarak $\varphi = 30^\circ$ -os szöget zárnak be a rács síkjára merőleges egyenessel. A fénysugarak merőlegesek a rács réseire. Mekkora szöget zárnak be az eredeti iránnyal az első erősítések felé haladó fénysugarak?

3. Egy U alakú csőben folyadék van egyensúlyban. Ezután a bal oldali szár alá igen nagy tömegű golyót helyezünk. Hogyan változnak meg a folyadékszintek?



A feladatok kítűzői sorrendben: Vermes Miklós, Radnai Gyula, *Károlyházy Frigyes*. A versenybizottság elnöke ez évben is Vermes tanár úr volt, ő számolt be a *Fizikai Szemlé*ben az eredményekről.

Az első feladatra 11, a másodikra 8, a harmadikra 25 helyes megoldás érkezett.

Első díjat hárman kaptak, egyenlő helyezésben: *Kaiser András*, a budapesti Fazekas Mihály Gyakorló Gimnázium IV. osztályos tanulója, *Horváth Gábor* tanítványa, *Kós Géza*, a budapesti Berzsényi Dániel Gimnázium IV. osztályos tanulója, *Papné Kovács Katalin*



2. kép. Grad János és Tasnádi Tamás.

tanítványa, és *Pfeil Tamás*, az ELTE TTK hallgatója, aki Dunaújvárosban, a Münnich Ferenc Gimnáziumban érettségizett, *Székelyi Sándorné* tanítványaként.

Második díjat kapott *Tasnádi Tamás*, a budapesti I. István Gimnázium III. osztályos tanulója, *Moór Ágnes* tanítványa.

Harmadik díjat hárman kaptak, egyenlő helyezésben: *Matyási Gábor*, a kazincbarcikai Ságvári Endre Gimnázium IV. osztályos tanulója, *Pászty Györgyné* tanítványa, *Német-Bubín Ákos* honvéd, aki a budapesti Fazekas Mihály Gyakorló Gimnáziumban érettségizett, *Tóth László* tanítványa volt, és *Papp Zoltán*, a budapesti József Attila Gimnázium IV. osztályos tanulója, *Sarkadi Ildikó* tanítványa.

A 25 évvel ezelőtti verseny legtöbb nyertese egyben a *KöMaL* sikeres megoldója volt. A *KöMaL*-ban róluk közzétett egykori fényképeket most kivetítve láthatták a megjelentek.

Az 1985-ös feladatoknak – megoldás nélkül való – ismertetése után az egykori díjazottak visszaemlékezéseire került sor.

Kós Géza (3. kép) csak a harmadik feladatra emlékezett, mert sok versenyen vett rész akkoriban. Kicsit könnyűnek érezte az egykori feladatokat, a pusztá feladatmegoldói rutin segített a megoldásukban. Matematikus lett, jelenleg valós analízist, komplex függvény-

3. kép. A figyelmes közönség, elől: Pfeil Tamás és Kós Géza.



tant tanít az Eötvös Loránd Tudományegyetemen, éppen az eredményhirdetés épületében. Jelenleg ő a *KöMaL* pontversenyében kitűzött nehéz matematika feladatok gondozója. Felesége is matematikus, a *KöMaL* titkárnője. Mint vérbeli tanár, tanácsokkal is szolgált a jelenlévőknek további eredményes versenyzésükhöz. Tapasztalata szerint esélytelen, aki nem tud többet, mint a középiskolás tananyag, valamint „a fizikához is kell a matek”. A többet tudóknak sem szabad leállniuk az egyetemi évek kezdetén: kérdésekkel kell bombáznunk a tanárt, könyveket kell kérni, részt kell venni a tudományos diákköri munkában.

Radnai tanár úr a beszámolóhoz hozzáfűzte, hogy Kós Géza egymás után két évben nyerte meg a versenyt – harmadszor talán csak azért nem, mert elnézte az időpontot.

Pfeil Tamás (3. kép) szintén az ELTE oktatója. Matematikusként végzett, az Alkalmazott Analízis és Számítástechnika Tanszéken dolgozik. Személyes, versenyzői és később szakmai életét is befolyásoló emlékként említette meg, hogy igen jó közösség alakult ki a középiskolás országos (központi) felkészítő szakköri körön. Így dunajvárosi diákként találkozhatott és barátságot köthetett az országban máshol élő, matematikát-fizikát szerető és magas szinten művelő diákokkal. Tanácsa: ha lehet, a mai versenyzők is használják ki a hasonló alkalmakat.

Tasnádi Tamás (2. kép) szintén sok versenyen vett részt középiskolás korában, így a feladatok emlékeztében összekeverednek más versenyekéivel, de a 3. feladatra jól emlékszik. Ez harmadik gimnazistaként szokatlan volt számára: nem számolást, hanem diskussziót igényelt. Ő szintén az ELTE-n, fizikusként végzett, ott doktorált, és egy ideig ott is dolgozott. Jelenleg a BME Analízis tanszékén oktat, és oktatóként máig is igyekszik olyan feladatokat találni, amelyekben fizikai tartalom is van. Tanácsként felhívta a figyelmet arra, hogy a boldoguláshoz nem elég a tehetség, sok munka és szorgalom is szükséges.

A jó hangulatú visszaemlékezésekben a humor is helyet kapott: Tasnádi Tamás megkérdezte Kós Gézát, igaz-e az egykori versenyzők között elterjedt hiedelem, hogy Géza annyi üveg kólát visz a versenyre,

4. kép. Radnai Gyula magyaráz.



ahány példa van, minden megoldott feladat után megiszik egyet, így az időzavarral küzdő versenytársak mindig tájékozva lehetnek arról, hol tart a megoldásban a legfőbb vetélytárs. Géza szerint azonban ez csak legenda, egyszer történt így, a Kürschák-versenyen. Megnyerte.

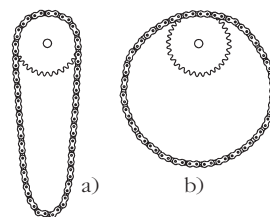
Kaiser András, aki 1985-ben első helyezett volt, matematikusként sokat jár külföldre. Őt nem lehetett elérni, és más helyezettek sem vettek részt a megemlékezésen.

Következett a 2010-es Eötvös-verseny feladatainak bemutatása és megoldása. A részletes megoldásokat a *KöMaL* 2011. márciusi száma közli, így ezek ismertetésére itt nem kerül sor.

A 2010. évi Eötvös-verseny feladatai

1. feladat

Egy fogaskerék tengelyét vízszintesen rögzítjük és ráhelyezünk egy kerékpárláncot az *a)* ábrán látható módon, majd a fogaskereket a tengelye körül óvatosan forgatni kezdjük. Milyen alakot vesz fel a lánc, amikor a fogaskerék már állandó szögsebességgel egyenletesen forog?



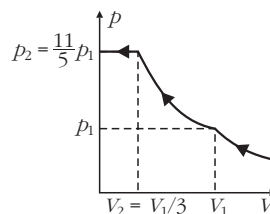
Marci szerint a lánc alakja és helyzete ugyanolyan marad, mint volt, csupán annyi a változás, hogy a láncszemek körbeszáguldanak az eredeti alak mentén. Karcsi ezt nem hiszi, szerinte a lánc a forgás következtében kikerekedik, és közelítőleg kör alakú lesz a *b)* ábra szerint.

Marcinak vagy Karcsinak van igaza? (Bizonyítsuk be az egyik állítást, vagy legalább mutassuk meg, hogy a másik állítás nem lehet igaz!)

A feladat dinamikai megoldásába könnyen bele lehet bonyolódni. Egy megoldást Radnai Gyula ismertetett (4. kép), majd a feladat kitűzője, Vigh Máté kapott szót. Kitért néhány olyan versenyzői megoldásra, amelyek a középiskolai tananyagon túlmutató ismereteket használtak fel, majd egy másfajta, szintén a megoldáshoz vezető megfontolást mutatott be. (Vigh Máté 2010-ben végezte az egyetemet az ELTE TTK fizikus szakán, és jelenleg a Komplex rendszerek fizikája Tanszéken dolgozik. A *KöMaL*-ban a „nehéz” feladatokat az ő neve szokta fémjelezni.)

2. feladat

Egy dugattyúval ellátott tartályban $T = 77,4$ K hőmérsékletű nitrogén- és oxigéngáz keveréke található. A hőmérsékletet állandó értéken tartva a gázelegyet lassan összenyomjuk. A keverék nyomása az ábrán látható módon változik a térfogat függvényében, ahol $V_1 = 15$ dm³ és $p_1 = 56,3$ kPa.



a) Milyen fizikai jelenségek rejlenek az izotermán látható furcsa töréspontok mögött?

b) Mennyi nitrogén és mennyi oxigén van a tartályban?

A feladat megoldásának a lényege, hogy figyelni kellett: gázkeverékről van szó, alkotói az összenyomáskor más-más állapotban kezdenek lecsapódni, és hogy melyik előbb, azt a jelenlevő gázmennyiségek mólszámának aránya határozza meg. E témában *Honyek Gyula*, a feladat kitűzője fűzött kiegészítéseket a feladathoz, majd ehhez kapcsolódó demonstráció következett (5. kép), amelyben jelentős szerepet kapott a 2010-es Fizikai Diákolimpián ajándékba kapott, folyékony nitrogén felfogására szolgáló pohár, valamint a családi teáskanna. A folyékony nitrogénnel apránként megtöltött fém teáskanna lehűlt, felületén a környező levegő csapódott le. A 2. feladat kiegészítésében elhangzott feltételeknek megfelelően ebben az esetben a lecsapódó levegő-összetevő az oxigén, ez csepegett egy kis főzőpohárba. Az ott ismét gázzá párolgó anyag valóban oxigén voltát a pohárba dugott, parázsló próbapálca végének látványos fellángolása jelezte.

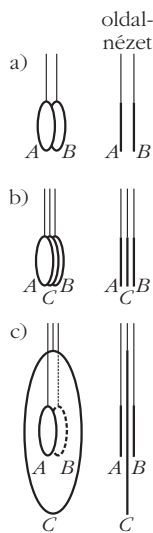
3. feladat

Két egyforma, mondjuk 5 cm átmérőjű, vékony lemezből készült fémkorong (A és B) szigetelő fonálon függ pontosan egymással szemben, párhuzamosan, egymáshoz közel, például 2 mm távolságban, az *a)* ábrán látható módon. Mindkét korongnak ugyanakkora, kellőképpen kicsiny q elektromos töltést adunk. (Mivel q kicsi, sem a korongok parányi elmozdulása, sem a levegőn át történő kisülések veszélye nem okoz bonyodalmat.) Kezdetben természetesen mindkét korongra hat a másik korong taszító ereje.

Fizika szakkörön az elektromos árnyékolás a téma. A két korongot nézve Beának az az ötlete támad, hogy ha az A és B korong közé óvatosan (ügyelve, hogy egyikhez se érjen hozzá) egy ugyanolyan, de elektromosan semleges C fémkorongot eresztünk be szigetelő fonálon a *b)* ábrának megfelelően, akkor az „leárnyékolja” mindkét eredeti korongnak a másikra gyakorolt hatását, ezért mind az A -ra, mind a B -re ható erő gyakorlatilag nullára csökken.

Gabi figyelmezteti rá, hogy az elektromos mező nagyobb tartományra terjedhet ki, mint a töltött testek mérete, ezért Bea ötletét úgy módosítja, hogy a C korong átmérője legyen például 25 cm, ahogy a *c)* ábrán látható. (Az ábra nem méretarányos.) Gabi szerint csak ekkor csökken elhanyagolható értékre az A -ra, illetve B -re ható elektromos erő.

a) Mit tapasztalunk, ha Bea ötletét követve A és B közé velük egyenlő méretű, semleges C fémkorongot engednénk, majd megmérnénk az A -ra, illetve B -re ható erőt?



5. kép. Vigh Máté segít Honyek Gyulának.

b) Mi lenne az eredmény, ha Gabi javaslatát ellenőriznénk mérésrel?

c) Elképzelhető-e olyan méretű C semleges korong, amelynek alkalmazásával az A -ra, illetve a B -re ható erő pontosan zérussá válik?

A feladat kitűzője Károlyházy Frigyes. A megoldás segítésére érdemes méretarányos ábrákat készíteni. E feladathoz is kapcsolódott demonstráció – erre az eredmények ismertetése után került sor. A feladatbeli elrendezés eredeti méretben történő kísérleti megvalósításában lézersugaras fénymutató segítségével lehetett kimutatni a kis, kerek lemezek elmozdulását (az erőhatás felléptét), a megfelelő esetben.

A díjátadás

Az ez évi verseny támogatói a MOL Nyrt., Ramasoft Zrt., Vince Kiadó, Typotex Kiadó és a Matfund Alapítvány voltak. A felkészítő tanárok díját a MOL Magyar Olaj- és Gázipari Nyrt. ajánlotta fel, a vállalat képviselőiben megjelent *Fekete László*, a MOL magyarországi HR (humán erőforrás-fejlesztési) igazgatója, és *Holló Krisztina* HR munkatárs.

Az okleveleket és a díjakat a versenyzőknek és megjelent tanáraiknak a Társulat nevében *Kádár György*, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat főtítkára, a támogató MOL nevében *Fekete László* HR igazgató adta át (6. kép).

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat ez évben sem adta ki az első díjat, mivel mindhárom feladatra hibátlan megoldást adó dolgozat nem érkezett.

Egyenlően második díjban részesült öt versenyző. Harmadik díjra szintén nem javasolt senkit a versenybizottság. Dicséretet és egyenlő jutalmat kapott 11 versenyző.

Második díjat kaptak (névsorban):

Backhausz Tibor, a Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Gimnázium 12. osztályos tanulója, tanára Horváth Gábor;

Böröcsök Bence, a szegedi Radnóti Miklós Kísérleti Gimnázium 12. évfolyamos tanulója, tanára *Mező Tamás*;



6. kép. Kádár György és Fekete László.

Budai Ádám, a miskolci Földes Ferenc Gimnázium 12. évfolyamos tanulója, tanárai *Bíró István* és *Záborszky Ferenc*;

Kalina Kende, a Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Gimnázium 12. évfolyamos tanulója, tanárai Horváth Gábor és *Csefkő Zoltán*;

Varga Ádám, a szegedi Ságvári Endre Gyakorló Gimnázium 12. évfolyamos tanulója, tanárai *Tóth Károly* és *Hilbert Margit*.

Dicséretet kaptak (névsorban):

Almásy Gergő ELTE fizika BSc hallgató, aki a budapesti Radnóti Miklós Gyakorló Gimnáziumban érettségizett, tanárai voltak *Szabóki Dezső* és *Markovits Tibor*; *Ágoston Tamás* 11. évfolyamos tanuló, Fazekas Mihály Fővárosi gyakorló Gimnázium, tanára *Dvorák Cecília*; *Benedek Ádám* 11. évfolyamos tanuló, Nagykánizsa, Batthyány Lajos Gimnázium, tanára *Dénes Sándorné*; *Béres Bertold* 12. évfolyamos tanuló, Budapest, Puskás Tivadar Távközlési Technikum, tanárai *Bereg-szászi Zoltán* és *Alapiné Ecseri Éva*; *Kéri Zsófia Nóra* ELTE fizika BSc hallgató, aki a budapesti Trefort Ágoston Gyakorló Gimnáziumban érettségizett, tanára *Kovács Géza* volt; *Kószó Simon* 12. évfolyamos tanuló,

7. kép. A díjazottak (balról jobbra): első sor: Backhaus Tibor, Kalina Kende, Varga Ádám, Budai Ádám, Börcsök Bence; második sor: Ágoston Tamás, Vona István, Várnai Péter, Benedek Ádám, Major Attila, Kószó Simon; harmadik sor: Pácsonyi Imre, Szikszai Lőrinc, Kéri Zsófia Nóra, Béres Bertold, Almásy Gergő.



Szeged, Radnóti Miklós Kísérleti Gimnázium, tanára Mező Tamás; *Major Attila* 11. évfolyamos tanuló, Szeged, Radnóti Miklós Kísérleti Gimnázium, tanára Mező Tamás; *Pácsonyi Imre* 13. évfolyamos tanuló, Zalaegerszeg, Zrínyi Miklós Gimnázium, tanára *Pálovics Róbert*; *Szikszai Lőrinc* 12. évfolyamos tanuló, Miskolc, Fráter György Katolikus Gimnázium, tanára *Edöcsény Levente*; *Várnai Péter* 12. évfolyamos tanuló, Budapest, Apáczai Csere János Gyakorló Gimnázium, tanárai *Pákó Gyula* és *Flórik György*; *Vona István* 11. évfolyamos tanuló, Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Gimnázium, tanára Dvorák Cecília.

A helyezettek pénzjutalmat, a dícsértek szakkönyv jutalmat kaptak. A MOL jóvoltából a díjazott és dícsért tanulók tanárai egyenként 25 ezer forint értékű kedvezményt kaptak a 2011-es Országos Középiskolai Fizikatanári Ankéton való részvételükhöz.

A felkészítő tanárok számára a Vince Kiadó (Budapest) értékes művészeti könyveket ajánlott fel, amelyekből a résztvevők választhattak. Köszönet a támogatóknak!

Kádár György főtktár gratulált a díjazottaknak és megköszönte a MOL támogatását.

Fekete László kifejtette, a MOL, mint a legnagyobb nemzeti vállalat, erkölcsi kötelességének érzi, és stratégiai céljának tekinti a természettudományos oktatás támogatását, hogy jól képzett szakemberek biztosítsák majd 10–20 év múlva az ipari termelőképeséget.

A díjak átadása után Radnai Gyula, a versenybizottság elnöke felolvasta azt a levelet, amit felkérésére *Veres Gábor* egykori Eötvös-versenyző küldött Genfből, ahol a CERN-ben (Európai Nukleáris Kutatási Szervezet) egy izgalmas kutatási feladaton dolgozik a nehézfém-ionok ütköztetésével kapcsolatban. Veres Gábor üzenetet küldött a versenyzőknek, ebből idézzük: „...ne ellenfélként, hanem barátként tekintsenek egymásra, és örüljenek egymás sikerének. A fizikai kutatásba való bekapcsolódáshoz a kísérleti részecskefizika területén most jön el a legjobb alkalom, hiszen a Nagy Hadronütköztető várható felfedezéseit

jórészt a fiatal diákok munkája teszi lehetővé, akik nyitott gondolkodására, lelkesedésére, versenyszellemére óriási szükség van. Az Eötvös-verseny ... bizonyára a mai diákokat is az izgalmas kutatói pálya felé irányíthatja....”

A díjazott versenyzőkről közös fénykép készült (7. kép). A fényképezést követő kis állófogadás oldott beszélgetéssel, ismerősök emlékidézésével telt. Főszereplője – a szendvicsek mellett – a maradék folyékony nitrogén volt, amely jelenlétének, a Honyek tanár úr vezette egyéni kísérletezés lehetőségének minden jelenlévő igencsak örült.

A VERES PÁLNÉ GIMNÁZIUM GALILEI TEHETSÉGGONDOZÓ MŰHELYE

Bozsányi Krisztina, Major Balázs
Veres Pálné Gimnázium, Budapest

Galileo Galilei a kísérletezéssel és megfigyeléssel, az ezekre való támaszkodással új gondolkodásmódot vezetett be a természettudományba. Ez a szemléletmód a mai napig környezetünk megismerésének alapja.

A *Fizikai Szemle* 2009/1-es számában [1] foglalkozott a természettudományos oktatás javításával és közölte az OKNT javaslatait. A Veres Pálné Gimnázium természettudományos tantestületét már régóta foglalkoztatják a javaslatban felmerült problémák és azok lehetséges megoldásai, így törekszik a javaslatok gyakorlati megvalósítására. Ezért 2010 áprilisában elindítottuk a Galilei Tehetséggondozó Műhelyt az Oktatásért Közalapítvány Nemzeti Tehetség Program keretében kiírt NTP-OKA-III. számú pályázatának segítségével [2]. A Műhely munkájának alap gondolata az, hogy a diákok csoportos munkában, közvetlenül tapasztalják meg a természet tudatos megismerésének folyamatát. Olyan témaköröket, feladatokat, méréseket és megfigyeléseket válogattunk össze, ahol a diákok számára ez a folyamat elérhető, az általuk ismert vagy könnyen megismerhető eszközökkel mérhető, *így a természettudományos szemlélet gyakorlatban alkalmazható.*¹

Természettudományos oktatás a Veres Pálné Gimnáziumban

A Veres Pálné Gimnáziumban 22 osztály van. A négy párhuzamos osztályból egyikbe a humán, másikba a reál tárgyak iránt érdeklődő tanulókat veszünk fel, két-többen pedig hat évfolyamos képzés folyt a 2006/2007-es tanévig. A 2007/2008-as tanévtől az egyik hat évfolyamos osztályt öt évfolyamos nyelvi előkészítő osztály váltotta fel. A reál, valamint az öt és a hat évfolyamos osztályokban csoportbontások teszik lehetővé a természettudományos tárgyak magasabb szintű oktatását és a változatos tanulókísérleteket. Iskolánk igazgatója és a fenntartó Fővárosi Önkormányzat támogatja ezt. A 11. és 12. évfolyamon két-két fakultációs csoport működik fizikából és biológiából, és egy-egy kémiából. A 2009/2010-es tanévben három fizika, két kémia és egy természetjáró szakkört hirdettünk meg.

Szertárunk magas színvonalú felszerelését részben az iskola költségvetéséből, részben pályázati pénzekből oldjuk meg. Segíti a munkánkat, hogy fenntartóink egy félállású fizika oktatástechnikust és egy félállású kémia laboránszt alkalmaz, ők gondoskodnak az eszközök beszerzéséről, karbantartásáról, előkészítéséről.²

¹ OKNT javaslatai a természettudományos közoktatás helyzetének javítására: 1. pont

² Ugyanott, 7. pont

³ Ugyanott, 8. pont

A természettudományos oktatás során arra törekszünk, hogy minél több, tanuló által elvégzett kísérletre kerüljön sor. Ezt egyrészt tanórai keretek között valósítjuk meg: ebben az esetben a tanulók az órán elvégzik a kísérletet, majd otthon jegyzőkönyvet készítenek. Másrészt diákjaink rendszeresen kapnak olyan feladatokat, amelyek során otthon kell kísérletezni, méréseket végezni és ezeket jegyzőkönyvben rögzíteni.

Tanórákon kívül gyakran visszük tanítványainkat érdekes helyekre, így *támogatjuk a nem iskolai természettudományos kultúrák közvetítését.*³ Minden évben látogatást szervezünk a BME tanreaktorába, laboratóriumba, a Paksi Atomerőműbe, a Csodák Palotájába, a Planetáriumba, a Magyar Elektrotechnikai Múzeumba, a Kelenföldi Erőműbe. 2007-ben a CERN-be is eljutottunk. A legérdekesebb programokról a gyerekek beszámolókat írnak gimnáziumunk honlapjára.

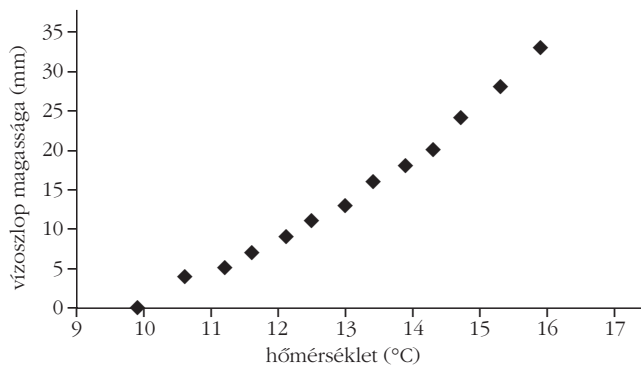
Nyaranta iskolánk évek óta tanulmányi táborokat szervez Balatonfenyvesen. A korábbi években – többek között – csillagászat, fizika, fizika-média foglalkozásokat tartottunk a gyerekeknek. Ezekről iskolánk honlapján beszámolók találhatók. A 2009/2010-es tanév nyarán az Oktatásért Közalapítvány NTP-OKA-III. számú pályázata segítségével folytattuk a táborban a tehetséggondozást, ahol most komplex természettudományos programokat hirdettünk a Galilei Tehetséggondozó Műhely formájában.

A Galilei Tehetséggondozó Műhely

A Műhely két korcsoportban folytatta a tehetséggondozó munkát fizika és biológia témakörben. A *junior* csoport tagjai a 7. és 8. évfolyamból, a *senior* csoport

John Milton angol költő meglátogatja az idős Galileit a Firenze melletti d'Arcetri villájában. Tito Lessi (1858–1917) festménye.





1. ábra. A víz hőtágulásának mérése: a mérőeszköz és az eredmény.

kockákat tettek, a víz alá pedig néhány hipermangán kristályt. Az áramlásról mozgóképeket készítettek. A következő foglalkozáson megfigyelték a víz rossz hővezetőségét. Lufiba vizet és nehezékként egy nagyobb csavart tettek, majd ezt lefagyasztották. A fagyott lufikat ezután főzőpohárba kellett tenni, és tetejét merülőforralóval forrásig melegíteni. A lufiban lévő jég alig olvadt meg.

tagjai a 9. és 10. évfolyamból kerülnek ki. A program 2010. áprilistól októberig tartott. Első közös megmozdulásként a műhelytagokkal a Csodák Palotájában voltunk, amit az érdekességen túl a csoportmunka fontosságának bemutatására szántunk.

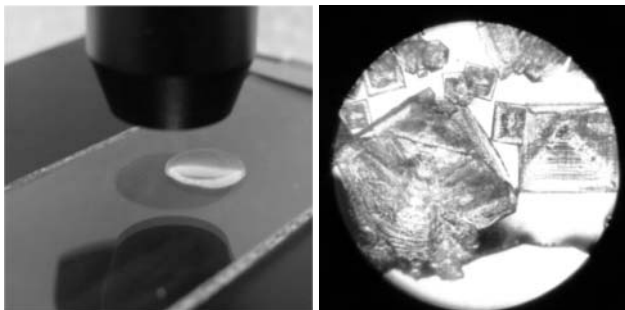
A tanév végéig a diákok több foglalkozáson vettek részt az iskolában. Egyik foglalkozáson a fényképezéssel ismerkedtek, egy másikon a számítógéppel készített bemutató lehetőségeivel. Programunk központi elemét a foglalkozások képezték a balatonfenyvesi táborban: a *szenioroknak* 2010. június 30-tól július 6-ig, a *junioroknak* július 6–12. között.

A junior csoport tábori munkája

A junior csoport tagjainak központi témáját a vízhez kapcsolható feladatok adták. A „fizikusok” kétfős csapatokban dolgoztak. Elsőként *vízszűrűségmérést* végeztek digitális mérleg és mérőpohár segítségével. A tömegmérés hibája (a mérleg pontossága) és a térfogatmérés hibája (mérőedény pontossága) alapján egyszerű becslést adtak a kapott sűrűségérték hibájára. A következő mérésnél megvizsgálták a víz sűrűségének változását a hőmérséklet függvényében, azaz a *víz hőtágulását mérték* (1. ábra). Ehhez egy kétlyukú gumidugóval lezárt, vízzel teli lombikot használtak. Az egyik lyukban egy vékony üvegcső helyezkedett el, amin a vízoszlop magasságának változását lehetett megfigyelni, a másik lyukon keresztül bújtatott digitális hőmérő a víz hőmérsékletének leolvasására szolgált.

Ezután a *hőáramlást* tanulmányozták. Szobahőmérsékletű víz tetejére hipermangánnal színezett jég-

2. ábra. Telített sóoldat a mikroszkóp tárgylemezén, és a sókristályok a mikroszkópban.



Utolsóként mikroszkóp segítségével megfigyelték a *só kikristályosodását vízből* (2. ábra). Telített sóoldatból egy cseppet kellett egy tárgylemezre tenni és megvárni, amíg a víz párolgása miatt megindul a kristályosodás.

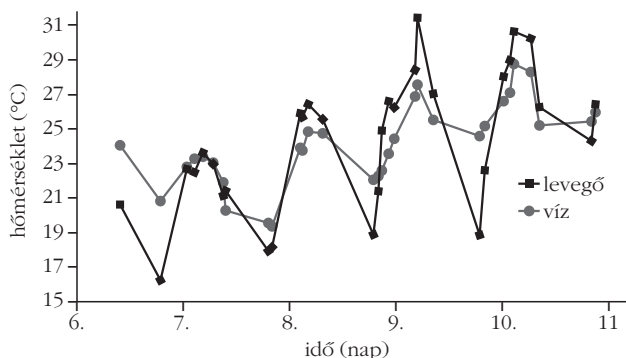
Az előzőeken kívül volt egy, az egész tábor idejére kiterjedő mérési feladat is: a *Balaton vizének és a környező levegőnek a hőmérsékletét* kellett naponta 10-12 alkalommal rögzíteniük. Az adatok alapján tanulmányozni tudták a tó és a levegő kölcsönhatását, a napi hőmérsékletingadozást (3. ábra).

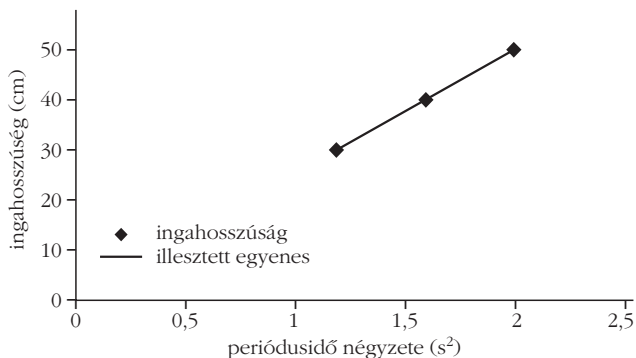
A „biológusok” csoportja először a Kis-Balatonnál vett részt egy vezetett túrán. Itt megismerkedtek a Kis-Balaton élővilágával, meglátogatták a Fekete István Emlékházat. A túra során fényképeket készítettek a későbbi bemutatóhoz, illetve tablóhoz. A Kis-Balaton és a Balaton vizének kémiai összehasonlítása érdekében mintákat vettek a Kis-Balaton vizéből. Nagy siker volt a tóparthoz közel lévő nádasban végzett mintagyűjtés. Ide a gyerekek vízibiciklivel mentek, és különböző eszközökkel meghatározták a területen található növényfajokat, rajzokat és fényképeket készítettek a látottakról. Az elkészített anyagok segítségével összehasonlíthatók a különböző élőhelyek társulásai.

A szenior csoport tábori munkája

Ebben a korcsoportban is kétfős csapatokban dolgoztak a diákok, és a fizika különböző tudományterületein végeztek párhuzamosan méréseket, azaz ugyanabban az időben minden csapat más mérési

3. ábra. A Balaton vizének és környező levegő hőmérsékletének változása a 2010 júliusában, a tábor idején.





4. ábra. A fonálinga mért lengésidejének négyzete különböző ingahosszak esetén. Az illesztett egyenes egyenlete: $y = 24,77x + 0,56$.

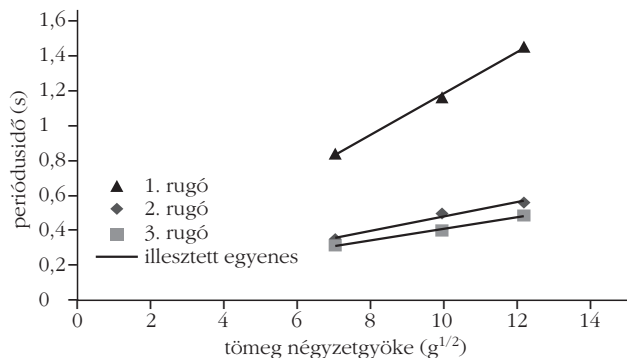
feladattal foglalkozott, a tábor végére minden csapat minden mérést elvégzett. Az egyik feladat a *hang terjedési sebességének* meghatározása volt. Egy átlátszó fóliahengert vízzel teli üvegedénybe helyeztek. A megszólaltatott hangvillát a henger fölé helyezve addig mozgatták, amíg maximális erősítést nem tapasztaltak. Mérőszalaggal lemérték a levegőoszlop magasságát, ebből pedig ki tudták számolni a keresett sebességet. A következő mérés a *nehézségi gyorsulás* meghatározása volt. A gyerekek különböző hosszúságú matematikai ingáknál megmérték a lengésidejt. Az ingahosszakokat és a hozzájuk tartozó lengésidejök négyzetét ábrázolták (4. ábra). A kapott függvény elemzéséből kiszámolták g értékét. A mérést különböző tömegű testekkel is elvégezték annak igazolására, hogy a lengésidej független a tömegtől.

Egy másik feladatban a *rugóállandót* határozták meg két különböző módszerrel. Az egyikben különböző tömegű testek felhasználásával megmérték a rugóra akasztott test harmonikus rezgőmozgásának periódusidejét (5. ábra). A másikban különböző tömegű testeket akasztva a rugóra megmérték a rugó megnyúlását, ábrázolták a rugóra ható erőt a rugó megnyúlásának függvényében. A mért adatok segítségével mindkét esetben kiszámították a rugóállandó értékét és az érték ismeretében a rugó rezgésidejéből meghatározták egy, a rugóra akasztott ismeretlen tömegű test tömegét.

Egy egyszerűbb mérési feladatban különböző anyagú és méretű testek sűrűségét határozták meg kétféleképp. Mindkét esetben digitális mérleggel mérték a testek tömegét, majd az egyik módszernél a testek geometriai adataiból, a másik módszernél a test által kiszorított víz térfogatának mérésből állapították meg a test térfogatát.

A következőkben *ütközési szám* mérést végeztek. Függőleges helyzetbe állított mérőléccel különböző magasságokból különböző golyókat ejtettek le. Az eredeti magasságból és az első visszapattanás magasságából kiszámolták az ütközési számot.

Látványos kísérlet volt a *camera obscura* készítés. Fekete fotokartonból készített ötoldalú doboz nyitott oldalát zsírpapírral lefedve, majd a zsírpapírral szemközti oldalon kis lyukat létrehozva megfigyelték a zsírpapíron keletkező fordított állású képet. Ezután a tábori csónakházat műanyag fóliával elsötétítették,



5. ábra. Különböző rugók periódusideje a rájuk akasztott tömegek négyzetgyökének függvényében. Az illesztett egyenesek egyenletei rendre: $y_1 = 0,118x$, $y_2 = 0,041x + 0,068$ és $y_3 = 0,033x + 0,077$.

majd a fólián lyukat vágva a vetítőlappal is megcsodálták a fordított állásban falra vetülő külvilágot (6. ábra).

A biológusok csoportja először meglátogatta a Magyar Madártani Egyesület évtizedek óta a fenékpusztai vasútállomás baktezházában és a hozzá tartozó vízparti területen működő gyűrűző állomását. Később a tábor környezetében tett rövid kirándulások során a megfigyelések, fotók segítségével dokumentálták a növényvilágot a talált (esetleg védett) példányok begyűjtése nélkül. Digitális fényképezőgépekkel korlátlanul készíthető olyan válogatható fotóanyag, amely a könyvekben felsorolt határozóbélyegek figyelembe vételével helyesen rendezve, a préselt és szárított herbáriumi anyagoknál használhatóbb dokumentációt eredményez. A gyerekek feladata egy ilyen színvonalas digitális herbárium elkészítése volt.

6. ábra. A camera obscura képén alul két ölelkező ember, háttérben pedig egy fa látható.



A tanulók mindkét korcsoportban minden mérésről készítettek saját fényképfelvételeket, néhány esetben digitális fényképezőgéppel mozgóképet. A mérések után számítógépek segítségével csoportmunkában jegyzőkönyveket írtak, amelyek tartalmazták a mérés leírását, a mérési adatokat, a szükséges számításokat és grafikonokat, valamint a következtetéseket és magyarázatokat.

A csoportmunkát segítette, hogy a tanulók a foglalkozások közötti szünetekben, a Balaton partján lévő tábor előnyeit kibasználva változatos programokkal töltötték szabad idejüket.

A Műhely eddigi munkájának zárása

A program folytatásaként az októberi szülői értekezlet napjára a műhelytagok egy 45 perces bemutatóval készültek fel, amelyre meghívtuk a szülőket és az érdeklődő kollégákat. Mindkét csoport két-két számítógépes bemutatót állított össze (amelyek kivonata a www.vpg.hu oldalon megtekinthető), az egyik a biológia, a másik a fizika témához kapcsolódott. A szülők ezen kívül a tábori munkákból, fényképekből, grafikonokból álló két színes tablót is megtekinthettek, amelyeket az iskola aulájában állítottuk ki. A szeptemberi műhelyfoglalkozásokon a gyerekek a tablók és a prezentációk elkészítésével foglalkoztak, illetve kitöltöttek egy kérdőívet, amelyben megkérdeztük véleményüket a Műhely eddigi munkájáról és a lehetséges folytatásról. Ezzel a Műhely eddigi szakmai munkája lezárult.

A műhelymunka folytatása

Az Oktatásért Közalapítvány NTP-OKA-II./1 pályázatán nyert támogatás segítségével a 2010/2011-es tanév tavaszi félévében folytatjuk a műhelytagokkal a munkát. Korcsoportváltás miatt a junior és a senior csoportban is vannak távozó, illetve újabb tagok. A program januártól májusig tart, a diákok heti rendszerességgel, szakköri keretek között fognak dolgozni. Változás, hogy a fizika és a biológia mellett a junioroknál megjelenik a matematika-, a senioroknál az informatika-foglalkozás is. A juniorok központi témája a Nap és a hozzá kapcsolódó változások. Ezen belül a gyerekek megismerkednek az időmérés klasszikus módszereivel, napórát készítenek, elsajátítják az ehhez szükséges olyan matematikai módszereket, amelyeket tanórai keretek között nem tanulnak, de megértésük korosztályuknak nem okoz gondot. Biológiából a Nap ciklusainak és az élőlények életciklusainak a kapcsolatát vizsgálják. A seniorok központi témája az áramlások és ehhez a témához kapcsolódó mérések számítógépes kiértékelése. Szeretnénk, hogy a diákok megtapasztalják a fizika (Hagen–Poiseuille-törvény) és biológia (emberi vérkeringés, ozmózis) tudományterületeinek szoros összefonódását és a mérések kiértékelésénél megismerkedjenek a Gnuplot diagramrajzoló programmal.

Irodalom:

1. A természettudományos közoktatás javításáért. *Fizikai Szemle* 59 (2009) 26–34. <http://www.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz0901/termtudok0901.html>
2. Veres Pálné Gimnázium fizika munkaközössége: <http://vpg.hu/site.php?inc=0&menuId=23>

A FA- ÉS A VASGOLYÓ HEVESEN VERSENYZETT

Kis Tamás

Eötvös József Középsiskola, Heves

„A templomtoronyból egyszerre ejtünk le két egyenlő térfogatú fa- és ólomgolyót.

- A két golyó egyszerre ér földet.
- Az ólomgolyó ér le hamarabb.
- A fagolyó esik le korábban.”

(Öveges-verseny 2007, I. forduló)

Tanítványaimmal e feladat megoldása volt a témánk néhány fizikaszakkörön a hevesi Eötvös József Középsiskolában. Írásomban tapasztalatainkat foglaltam össze.

Vizsgáljuk a golyóra ható erőket! Lefelé irányul a nehézségi erő (mg), felfelé pedig a közegellenállási erő (F_k) és a felhajtóerő (F_f). Newton II. törvénye alapján a következő mozgásegyenletet írhatjuk fel:

$$ma = mg - F_f - F_k$$

$$ma = mg - \rho_{lev} Vg - \frac{1}{2} c_l A \rho_{lev} v^2$$

A közegellenállási erő kis sebességeknél nem a sebesség második hatványával arányos, hanem attól lineárisan függ. A golyók ugyan álló helyzetből indulnak, de egy toronyból való esés során a négyzetes függés dominál, tehát nem okoz nagy hibát, ha az elsőfokú résztől eltekintünk. – A felírt összefüggésből a gyorsulás kifejezhető:

$$a = g - \frac{\rho_{lev} Vg}{m} - \frac{c_l A \rho_{lev} v^2}{2m} \quad (1)$$

Mivel a mozgás során a sebesség (az állandó, egyenletes értékekhez aszimptotikusan közeledve) nő, ezért a

Köszönet a segítségért: Barna András és Együd László tanár úrnak, Jakab Tibor fotóművésznek, valamint Balogh László és Marsi László úrnak a Heves Megyei Vízmű Rt.-től.

gyorsulás sem lehet állandó, a képletben minden más konstans.

Miben különbözik két azonos méretű, de eltérő sűrűségű golyó gyorsulása? A vizsgálathoz kerestünk két alkalmas, nagyon hasonló felületű golyót: az egyik fából, a másik vasból készült.

Ezek jellemzői: $r_{fa} = r_{vas} = 0,025$ m; $m_{fa} = 0,050$ kg; $m_{vas} = 0,533$ kg. Egyéb adatok: $\rho_{lev} = 1,29$ kg/m³ (a levegő sűrűsége 0 °C-on), $c_l = 0,45$ (a golyó légellenállási tényezője).

Ezeket az értékeket behelyettesítve az (1) egyenletbe, a két golyó gyorsulására a következő összefüggést kapjuk:

$$a_{fa} = 9,81 \text{ m/s}^2 - 0,0166 \text{ m/s}^2 - (0,0114 \text{ 1/m}) v^2$$

$$a_{vas} = 9,81 \text{ m/s}^2 - 0,00155 \text{ m/s}^2 - (0,0011 \text{ 1/m}) v^2$$

Eltérés a közegellenállásból és a felhajtóerőből származó tagnál tapasztalható, bár ez utóbbi hatása csak a fagolyónál befolyásolja némileg a gyorsulást. Ezt figyelembe véve:

$$a_{fa} = 9,79 \text{ m/s}^2 - (0,0114 \text{ 1/m}) v^2, \quad (1a)$$

$$a_{vas} = 9,81 \text{ m/s}^2 - (0,0011 \text{ 1/m}) v^2. \quad (1b)$$

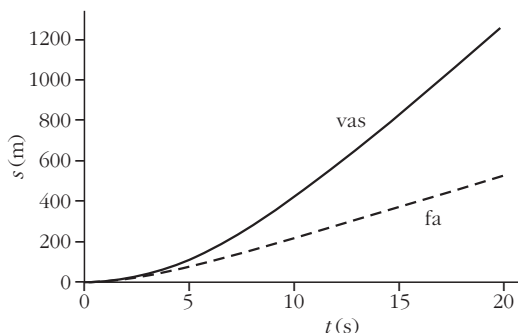
A golyó sebességének növekedése tehát a gyorsulás csökkenését okozza. A sebesség addig változik, amíg a gyorsulás jó közelítéssel 0 m/s² nem lesz. Ezután a golyó gyakorlatilag az elért maximális sebességgel egyenletesen halad tovább. Ez az (1a) és (1b) egyenletekből kiszámítható:

$$v_{\max, fa} = \sqrt{\frac{9,79}{0,0114}} \text{ m/s} \approx 29,3 \text{ m/s},$$

$$v_{\max, vas} = \sqrt{\frac{9,81}{0,0011}} \text{ m/s} \approx 94,4 \text{ m/s}.$$

Látható, hogy a vasgolyó nagyobb sebességet érhet el. Továbbá az (1a) és (1b) egyenlet szerint a közegellenállásból származó tagban a v^2 együtthatója a vasgolyó esetén körülbelül egy nagyságrenddel kisebb a fánál. Mindebből arra következtethetünk, hogy a fagolyó sebessége a mozgás során végig kisebb. Tehát a vasgolyó ér előbb földet! Általánosítva is kimondhatjuk: azonos méretű golyók közül a legnagyobb sűrűségű ér le hamarabb.

1. ábra. A két golyó út-idő grafikonja.



Meg lehet-e adni az esés tetszőleges pillanatában a golyók sebességét, illetve gyorsulását? – Erre a kérdésre nem is olyan egyszerű válaszolni, hiszen a mozgás során mindkét mennyiség változik. A megoldáshoz tudnunk kell, hogy a sebesség a megtett út idő szerinti első, a gyorsulás pedig második deriváltja. Ez alapján az (1a) és (1b) egyenletek a következő alakba írhatók (mértékegységek nélkül):

$$\frac{d^2 s_{fa}}{dt^2} = 9,79 - 0,0114 \left(\frac{ds_{fa}}{dt} \right)^2, \quad (2a)$$

$$\frac{d^2 s_{vas}}{dt^2} = 9,81 - 0,0011 \left(\frac{ds_{vas}}{dt} \right)^2. \quad (2b)$$

Az így kapott differenciálegyenletekben a két golyó út-idő, azaz $s(t)$ függvénye az ismeretlen. Az egyenletekhez tartozik még két kezdőfeltétel, amelyek a golyók eredeti helyét és sebességét adják meg:

$$s(0) = 0, \quad v(0) = 0. \quad (2c)$$

A mozgásegyenletekből származó differenciálegyenletek megoldása néhány ritka kivételtől (például szabadesés, harmonikus rezgőmozgás) eltekintve nagyon nehéz.

A problémát a *Mathematica* nevű programmal oldottuk meg az alábbiak szerint:

```
<<Calculus'DSolve'
utido1=DSolve[{y'[x]==9.79-0.0114y'[x]^2,y[0]==0,y'[0]==0},y[x],x]
utido2=DSolve[{y'[x]==9.81-0.0011y'[x]^2,y[0]==0,y'[0]==0},y[x],x]
sfa[x_]=Factor[Together[PowerExpand[utido1[[1,1,2]]]]]
svas[x_]=Factor[Together[PowerExpand[utido2[[1,1,2]]]]]
vfa[x_]=D[sfa[x],x]
vvas[x_]=D[svas[x],x]
afa[x_]=D[vfa[x],x]
avas[x_]=D[vvas[x],x]
```

Az eredményül kapott függvények természetesen ábrázolhatók. A grafikonokat a jobb tanulmányozhatóság érdekében célszerű hosszabb idejű esésekhez (például 20 s) készíteni.

Az út-idő függvények és a grafikonjaik:

$$s_{fa}(t) = 87,72 \ln[\text{ch}(0,334 t)],$$

$$s_{vas}(t) = 909,1 \ln[\text{ch}(0,104 t)].$$

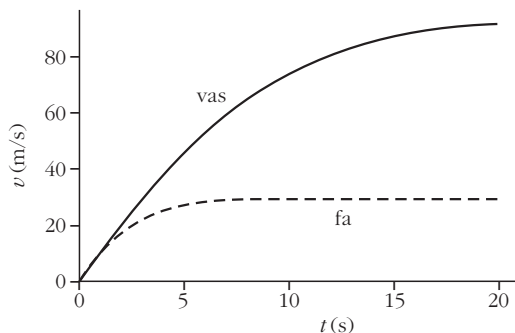
A két golyó közti távolság rohamosan nő. Például 5 s-os esési időnél, vagyis 117,5 m magas torony esetén a vasgolyó 28,7 m-es „előnyvel” ér földet (1. ábra).

A sebesség-idő függvények és a grafikonjaik:

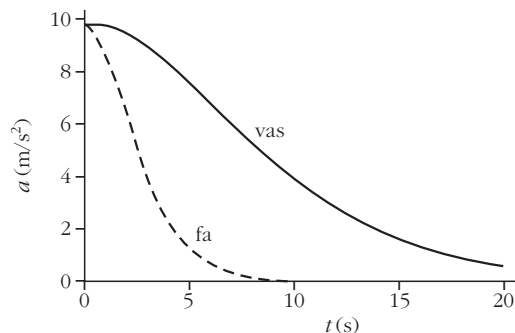
$$v_{fa}(t) = 29,3 \text{ th}(0,334 t),$$

$$v_{vas}(t) = 94,4 \text{ th}(0,104 t).$$

A két függvény végtelenben vett határértéke megegyezik a korábban, elemi úton meghatározott $v_{\max, fa}$ és $v_{\max, vas}$ értékekkel, ami elgondolásaink helyességére utal (2. ábra).



2. ábra. A két golyó sebessége az eltelt idő függvényében.



3. ábra. A két golyó gyorsulás-idő grafikonja.

A gyorsulás-idő függvények és a grafikonjaik:

$$a_{fa}(t) = \frac{9,79}{\text{ch}^2(0,334 t)},$$

$$a_{vas}(t) = \frac{9,81}{\text{ch}^2(0,104 t)}.$$

A fagolyó gyorsulása 8–10 s után erősen közelít 0-hoz, és ettől kezdve a mozgása egyenletesnek tekinthető. A vasgolyónál ez 25–30 s elteltével következik be (3. ábra).

A mozgás további elemzésében sokat segít, ha elkészítjük az út-idő függvények inverzét: $s^{-1}(t) := t(b)$, amivel a torony magasságának ismeretében kiszámítható a golyó esésének ideje. A képlet meghatározásához a következő parancssort kell beírni a *Mathematica* programba:

```
tfa[s_]=Module[{x},Solve[sfa[x]==s,x][[1,1,2]]]
```

```
tvas[s_]=Module[{x},Solve[svas[x]==s,x][[1,1,2]]]
```

Az eredményül kapott inverzfüggvények:

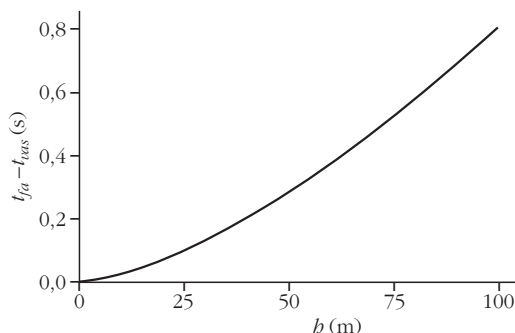
$$t_{fa}(b) = 2,993 \cos^{-1}(e^{0,0114 b}),$$

$$t_{vas}(b) = 9,627 \cos^{-1}(e^{0,0011 b}).$$

Ezek különbsége megadja, hogy mennyi idő telik el a golyók földet érése között: $\Delta t(b) = t_{fa}(b) - t_{vas}(b)$. Az így kapott függvény grafikonja a 4. ábra.

Végezetül már „csak” az a feladat maradt, hogy valós körülmények között teszteljük eredményeinket... Engedélyt kaptunk arra, hogy Heves város legmagasabb építménye, a Víztorony tetejéről, 37,5 m

4. ábra. A két golyó földet érésének időkülönbsége az ejtés magasságának függvényében.



magasságból ejthessük le a golyókat. Alkalmos eszköz hiányában nem volt lehetőségünk az esési idő pontos meghatározására, ezért más mérési eljárásokat kellett kidolgoznunk. A kísérlet kellemes 19–21 °C-os, szélcsendes időben végeztük el (1. kép).

A testek távolságának mérése egy ismert helyzetben

Először határozzuk meg, hogy mekkora előnnyel ér le a vasgolyó! A $t(b)$ függvénnyel kiszámítható a vasgolyó mozgásának ideje a földet érésig: $t_{vas}(37,5 \text{ m}) = 2,784 \text{ s}$. Ennyi idő elteltével a golyók távolsága

$$d = 37,5 \text{ m} - s_{fa}(2,784 \text{ s}) = 4,03 \text{ m}.$$

A méréshez le kell fényképezni a golyók esésének utolsó 5–6 méterét úgy, hogy a vasgolyó már közvetlenül a talaj fölött legyen és a képen a fagolyó is feltűnjön. A feladat nem volt egyszerű, hiszen a golyók sebességéből adódóan a felvételre körülbelül 0,02 s áll rendelkezésre! A torony aljában mérőskálát állítottunk fel: egy 2 m magas fehér paravánra 10 cm-en-

1. kép. A vas- és fagolyó ejtése a Víztorony tetejéről.



ként 1 dm széles fekete csíkokat ragasztottunk. Az így elkészült „métrúd” elé ejtettük a golyókat. Ezzel lehetővé vált a golyók távolságának meghatározása. 12 ejtést végeztünk a toronyból. Az elkészített körülbelül 60 darab fénykép közül egy olyat találtunk, ami a feltételeknek megfelelt (2. kép). A kiértékelés során azt tapasztaltuk, hogy a golyók távolsága $d = 5,05$ m (emlékeztetőül, a számított érték: 4,03 m).

A testek földet érése között eltelt idő mérése

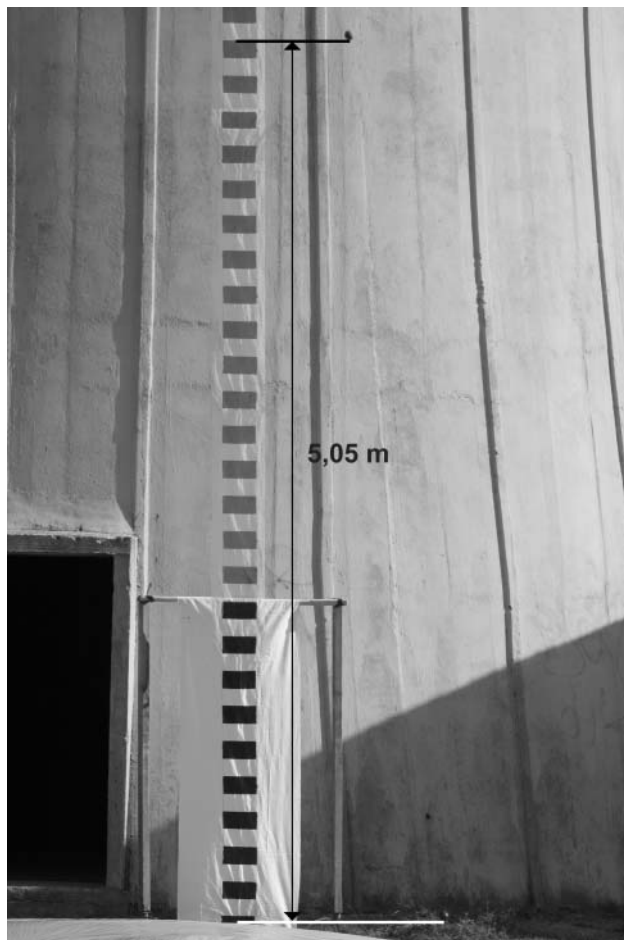
Ezt az időtartamot közvetlenül kiszámíthatjuk a $\Delta t(b)$ függvény segítségével: a Víztoronyból való ejtés esetében

$$\Delta t(37,5 \text{ m}) = 0,185 \text{ s.}$$

A golyók mozgását videokamerával is rögzítettük. A földet érést kísérő koppanások jól hallhatóak a felvételen, így a köztük eltelt idő számítógépes hangelemzéssel ms pontossággal mérhető. A 7 kiértékelt ejtésnél ez az időtartam: $\Delta t = 0,190 \pm 0,007$ s-nak adódott (emlékeztetőül, a számított érték: 0,185 s).



A két mérés egyértelműen megmutatta, hogy helyálló volt az elméleti úton nyert „jóslatunk”, hiszen a kapott eredmények elég közel estek egymáshoz. Természetesen az is nyilvánvaló, hogy ennél több mérést kellett volna elvégeznünk ahhoz, hogy az elméleti úton kapott eredményeinket alaposabban „teszteljük” (többféle magasságból más méretű golyók ejtésével). De ez már meghaladta a szakkör kereteit. A célunkat így is bőven teljesítettük: *sokat tanultunk és jól szórakoztunk!*



2. kép. Becsapódásig mintegy 5 méter előnyre tesz szert a vasgolyó.

VÉLEMÉNYEK

AZ OKTATÁSI RENDSZER TERVEZETT REFORMJÁRÓL

Szabó Árpád, Nyíregyházi Főiskola, Fizika Tanszék

Szabó Tímea, Ungvári Nemzeti Egyetem, Elméleti Fizika Tanszék

A pedagógustársadalom örömmel fogadta a Nemzeti Erőforrás Minisztérium oktatásért felelős államtitkársága tudósítását a készülő új közoktatási törvény és a pedagógus életpályamodell koncepciójáról, azaz az

A *Fizikai Szemle* szerkesztő bizottsága az 1972-ben meghirdetett VÉLEMÉNYEK sorozatát az olvasók kérésére tovább folytatja ez évben is. A szerkesztő bizottság állásfoglalása alapján „a Fizikai Szemle feladatául vállalja el, hogy teret nyit a fizikai kutatásra és fizika oktatására vonatkozó véleményeknek, ha azok értékes gondolatokat tartalmaznak és építő szándékúak, függetlenül attól, hogy egyeznek-e a lap szerkesztőinek nézetével, vagy sem”. Ennek szellemében várjuk továbbra is olvasóink, várjuk a magyar fizikusok leveleit.

oktatási rendszer reformjáról szóló nyilatkozatot. Dicséretes, hogy szakítani kívánnak az idegen minták kritikátlan követésével, és helyettük a legnemesebb magyar neveléstörténeti hagyományokra támaszkodva és azokat a mai kor követelményeihez igazítva építik fel a magyar iskolarendszert. Vagyis a közoktatásnak és a felsőoktatásnak azt a legracionálisabb változatát, amely biztosítja a társadalom, az állam különböző rétegei igényeinek kielégítését a piacgazdaság teremtette új viszonyok között.

Tudatosult továbbá, hogy mivel az oktatási rendszer reformjának a megvalósítói a pedagógusok, így a reform egyik legsürgetőbb kérdése a tanárképzés rende-

zése, mégpedig a bolognai rendszerbe kényszerített, a bolognai típusú tanárképzésre való átállás megszüntetése. Dicséretes, hogy a tanárképzés jelenlegi szakembereinek és az oktatáspolitikusoknak nagy többsége megértette és egyetért a pedagógustársadalom tanítóival és tanáraival abban, hogy a magyarországi tanárképzés a bolognai rendszerbe sem tartalmilag, sem szerkezetileg nem illeszthető be. Mára oktatók, hallgatók és akadémikusok egyre nagyobb száma követeli a bolognai tanárképzés helyett újra a jól bevált, a magyar hagyományokra épülő osztatlan ötéves, kétszakos képzés visszaállítását. A bolognai tanárképzés megszüntetésével csökkenni fog a felsőoktatás expanziója (tömegesedése), és így visszaáll mind a közoktatásban, mind a felsőoktatásban a mostanra lehetetlenné vált komoly teljesítmény megkövetelése, de javul a tanítói-tanári kar presztízsének megítélése is. Javulni fog az oktatás minősége. Kevesebben lesznek azok a hallgatók, akik 7-8-9 éve járnak egyetemre, akik folyamatosan, évről évre bukdácsolva teszik le vizsgáikat. Tehát az oktatási rendszer törvénytervezetének egyik súlyponti kérdése a bolognai rendszer alapjaira, a kreditrendszer újragondolása és szigorítása.

A tanári hivatás népszerűsítésének legfontosabb és talán egyetlen feltétele, hogy a pedagógusok tekintélye, társadalmi és anyagi megbecsültsége újra növekedésnek induljon. Az oktatásért felelős államtitkár közlése alapján erre van lehetőség. *Hoffmann Rózsa* ugyanis azt nyilatkozta, hogy kidolgozzák azt az életpályamodellt, amely a pedagógusok biztonságát, életszínvonalát fogja garantálni. Jobb megbecsültség mellett már a jó, a kitűnő eredménnyel végzett érettségizett diákok közül is többen fognak jelentkezni a pedagógusi pályákra. Így véget érhet az az időszak, amelynek során mintegy tíz éve fokozatosan csökken a fizika és kémia szakos tanári pályára jelentkezők száma. Gondoljunk csak arra, hogy 2008-ban az egész országban mindössze 18 fizikatanári diplomát adtak ki, vagy akár arra, hogy 2009 szeptemberében a természettudományi tanári mesterképzésre Magyarországon mindössze 24 jelentkező volt (a kémia tanári mesterszakra egyetlen hallgató jelentkezett). Siralmas a helyzet. Bártran kijelenthetjük, hogy a fizika és a kémia területén a tanárutánpótlás kritikus helyzetbe került. A természettudományos tantárgyak tanárutánpótlása nincs megoldva. De igen sajnálatos az is, hogy Magyarországon, abban az országban, amely annyi Nobel-díjas természettudóst adott a világnak, kirívóan alacsony a műszaki diplomát szerzők száma. Ki fogja a természettudományokat tanítani?

A természettudományok kritikusként mondható helyzetével már számos fórumon foglalkozott a Magyar Tudományos Akadémia, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, és több jeles tudós hallatta hangját, bírálva a természettudományok oktatását a kötelező heti óraszámcsökkenéssel kapcsolatban. Oda jutottunk például, hogy a jelenlegi tantervek a fizika tanítására mindössze (tömbösítve) 9 órát irányoznak elő. Megjegyezzük, hogy már a 160 évvel ezelőtt, 1850-ben kiadott tanterv 9 órában határozta meg a fizika tanítását, és azóta,

2003-ig, minden tanterv ennél több órát irányzott elő a fizika tanítására. (*Fizikai Szemle* 2009/6 216–217. oldal). Most viszont bizakodásra ad lehetőséget az oktatásért felelős államtitkár nyilatkozata, amely szerint a készülő tantervekben hangsúlyos szerepet fognak kapni a természettudományok is. Öröndetes, hogy végre oktatáspolitikusok részéről is elhangoztak javító szándékú elképzelések, hogy a pozitív változás érdekében a természettudományok presztízsét vissza kell állítani. Tudatosult az is, hogy az alaptudományok fejlődésének egyik záloga a klasszikus és a modern fizika, a kémia alaptételeinek és a biológia alaptörvényeinek ismerete. Minőségi változás csak a tanítási órák számának növelésével érhető el. Csak óraszám-növelés biztosít időt, lehetőséget kísérletezésre, feladatok megoldására és a tananyag „humanizálására”. (A tananyag humanizálása, a tananyag érdekesebbé, vonzóbbá tétele különösen a gyengébb képességű tanulók megnyerése érdekében szükséges). Kísérletek bemutatása, feladatok megoldása és azok elemzése, továbbá a tananyag humanizálása, többek között egyes tudománytörténeti elemeknek az oktatásba való beiktatása nemcsak a tanulók érdeklődésének felkeltését szolgálja, hanem azt is, hogy előtérbe kerüljön az érdeklődés, a kezdeményezés, a döntés és a kockázatvállalás szerepe, az egyén (a tanuló) felelősségvállalásának jelentősége. Üdvözlendő, hogy egy természettudományos tárgyból ismét kötelező lesz érettségizni.

Talán érdemes lenne azt is megvizsgálni, hogy nem kellene-e új tanterveket létrehozni, ugyanis az utóbbi 50 évben nem alkottak minőségileg új oktatási tanterveket. Csak a régebbi tantervek „foltoztatása” történt új tananyagrészek beiktatásával, ami legtöbbször a témák közti szerves kapcsolat megbontásához, a tanulók túlterheléséhez vezetett. Nagyon sajnálatos, hogy a jelenlegi tanterveknek megfelelő programok nem fedik az „új” szót. A tantervek tartalma (a tankönyvek anyaga is) az elfogadott, mindenki által megszokott szemléletet tükrözik. (Ez alól szinte nincs kivétel, a környező országokban is hasonló a helyzet. A fizikaoktatás egy sor problémáját még egyetlen kelet-európai országban sem oldották meg). *Marx György* akadémikus a 20. század végén hangoztatta, hogy napjainkban nem érhetjük be azzal, hogy ismét és ismét korrigáljuk, mechanikusan bővítsük a tanterveket. Elkerülhetetlen a 21. század fizikaoktatása új tantervének megalkotása.

A fizikaoktatással összefüggő problémák megtárgyalása tehát különösen időszerű és aktuális. Melyek ezek a problémák? Véleményünk szerint a következők (néhányukat megfontolásra, véleményezésre a tantervkészítők figyelmébe ajánlunk):

1. A jelenlegi fizikatantervek minőségileg is és mennyiségileg is túlterhelik a tanulókat, ezért az említett kevés óraszám mellett a tantervekben meghatározott tananyag teljes terjedelemben nem dolgozható fel az oktatás során.

2. Az iskolai fizikaoktatás tartalma és szerkezete nem felel meg maradéktalanul a fizika jelenlegi fejlettségi színvonalának, az élet követelményeinek.

3. A tantervek tartalma és időbeni beosztása (esetenként) olyan matematikai ismereteket igényel, amelyekkel tanításukkor a tanulók még nem rendelkeznek.

4. A tantervek az elméletre helyezik a nagyobb hangsúlyt, csak nagyon kevés időt irányoznak elő kísérletezésre, feladatok megoldására, a megszerzett ismeretek alkalmazására, aktuális kérdések megbeszélésére.

Továbbá a fizikaoktatás szempontjából egy sor fontos kérdés még nem nyert végleges megoldást, például:

a) Az iskolai tantárgyak kapcsolata, egyes tantárgyak egybehangolt tanítása. Több tantárgy esetében, számos jelenség tanításakor alkalmaznak közös vagy egymáshoz nagyon hasonló szakkifejezéseket, közös fogalmakat, analóg kutatási módszereket.

b) Milyen legyen az iskolai oktatás folyamatában az elméleti magyarázatokra és más tevékenységekre fordított idő aránya, vagyis a tananyag tartalmát illetően hogyan differenciálódjon az oktatás?

c) Milyen legyen tartalmilag a fizika, mint tantárgy? Vajon tartalmának csak a leggyakoribb jelenségekre és a legalapvetőbb elméletekre kell kiterjednie, vagyis a tananyag kiválasztásánál és elosztásánál mit kell irányadónak tekinteni?

d) Meghatározóvá kell-e tenni azt az elvet, amely a fizikaoktatás folyamatában biztosítja az extenzív tanítási módszerről az intenzív módszerre való átmenetet?

e) Oldani kell-e a jelenlegi tantervek kimondottan diszciplína-orientáltságát, azaz osztani kell azon szak-

emberek véleményét, akik a gimnáziumi osztályokban az alternatív tantervek bevezetésének létjogosultságát hangsúlyozzák?

Megjegyezzük, hogy vannak tanárok, akik úgy tartják, hogy a tanulók egy része a tantárgyak jelentős hányadát, köztük a fizikát is csak az értelmiségivé válás általános szintjén akarja tanulni. Hangsúlyozzák, hogy ezek számára nem releváns a fizika tantárgycentrikus tanítása, de azt is kifejezik, hogy ez nem jelentheti a tudományosság, a szakszerűség, az alaposság feladását. Ugyanakkor kérik, hogy akik a fizikát választják életpályául, vagy a felsőoktatási intézményben a megfelelő specializált irányban szándékoznak továbbtanulni, azok számára a továbbiakban is biztosítva legyen a lehetőség a diszciplínaorientált „kemény” fizika tanulásához. A tanárok továbbá azt is tudatosítják, 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, hiszen a versenyképesség fejlődésének legfőbb akadályja a tudás hiánya.

Hangsúlyozni kívánjuk, hogy ezek az általunk véleményezésre javasolt, elemzést igénylő korszerűsítési törekvések egyáltalán nem rúgják fel a hagyományos fizikatanítási módszereket, hanem azok hiányosságaira utalnak. Nem a jelenlegi tanterveket megsemmisítő folyamatról, hanem a régebbieket tökéletesítő, egy újat létrehozó tantervi átalakításról van szó.

KÖNYVESPOLC

MIT ÉR A TUDOMÁNY HUMOR NÉLKÜL?

Beck Mihály: Humor a tudományban

Akadémiai Kiadó, Budapest, 2010, 204 oldal

Nevetés és humor nélkül az élet egyhangú, szürke, a teljes és boldog élet vidámsággal fűszerezett. A tudomány viszont sokak szerint száraz, unalmas és fárasztó, azoknak való, akiknek nincs humorérzékük.

Erre a nézetre cáfol rá *Beck Mihály* akadémikus *Humor a tudományban* című nemrég megjelent műve, amelyben a szerző így fogalmaz: „Sokak számára meglepőnek, sőt szentségtörésnek tűnhet a tudomány humoráról beszélni, hiszen a tudomány komoly dolog. Akik így vélekednek, nem veszik figyelembe, hogy a tudománnyal foglalkozók is emberek, közönséges, olykor kifinomult tulajdonságokkal, amelyek a humoros történések forrásai lehetnek, sőt magának a tudományos kutatásnak is vannak elemei, amelyek sajátosan azonosak: a látszólag össze nem függő dolgok közötti kapcsolat felfedése.”

A könyv kézbe vételekor az olvasó azonnal felismeri, hogy a művet tudós ember írta. A mondanivaló logikus felépítése fokozatosan vezeti be az olvasót a tudomány humorának rejtelseibe. A *Humor természetrajza* című fejezet ismerteti az alapvető definíciókat és ismereteket, majd a tudomány humorának irodalma és a humoros tudományos díjak sokasága kerül terítékre. Ezután következik a humoros alkotások széles spektrumának áttekintése számos szórakoztató példával. Külön figyelmet érdemel *A tudomány tragikomédiája* című fejezet, amely tudományos életünk számos, a nagyközönség előtt feltehetően ismeretlen, de fontos és aktuális problémáját járja körül.

A könyv legélvezetesebb része a koholmányok, tréfás közlemények, anekdoták és humoros történetek áttekintése szórakoztató és tanulságos esetek be-

mutatásával. Fontos megjegyezni azonban, hogy a humor felismeréséhez és értékeléséhez az olvasónak szüksége van némi tudományos ismeretre, legalább középiskolás szinten. Különösen igaz ez a tudományos elnevezések humorával és a tudomány tragikomédiájával foglalkozó fejezetekre. Ha azonban az olvasó veszi a fáradságot és feleleveníti régen elfelejtett ismereteit, felhőtlenül szórakozhat, az olvasott rész *élvezeti értékétől* függően hahotázhat, kacaghat, kuncoghat, nevetgélhet vagy éppen vihoghat – ahogyan azt a *Nevetés fiziológiai hatásokra* című fejezetből megtudhatjuk! Mivel részletes áttekintésre itt nincs mód, kedvcsinálónak csak néhány kiragadott esetet ismertetünk, főleg magyar vonatkozásaik miatt.

Az elmúlt évtizedekben számos olyan díjat alapítottak, amellyel bizonyos vitatható vagy éppenséggel érdemtelen teljesítményeket „jutalmaznak”. Ilyen az IgNobel-díj, amelynek neve (ignoble = nemtelen, hitvány) is jelzi, hogy a nyertesek nem világraszóló eredményekkel hívták fel magukra a figyelmet. A díjak átadására látványos ünnepség keretében kerül sor, amelyen csak a különlegesen jó humorérzékű díjazottak szoktak személyesen megjelenni. Nos, 1991-ben IgNobel Békedíj nyertese *Teller Ede*, a hidrogénbomba atyja, és a csillagháborús fegyverek kidolgozásának úttörője volt, „élethosszig tartó erőfeszítése miatt a béke eddig általunk ismert jelentésének megváltoztatásáért.” (Teller nem jelent meg az ünnepségen.)

A kiemelkedő tudósokról is sok érdekes történet kering, jó részük feltehetően csak *városi legenda*. Érdemes egy igazi *magyaros* legendát idézni Beck profeszszortól: „Sokszor emlegetik az USA Atomenergia Bizottságának egyik ülését, melyen az elnöklő *Urey*-nak Teller a következő kérdést tette fel: »Elnök Úr! Az USA demokratikus állam?» *Urey* meghökkent, és azt válaszolta: »Természetesen. Az USA a legdemokratikusabb állam.« Teller: »Feltételezem, hogy akkor a fontos kérdéseket itt népszavazással döntenek el.« *Urey*: »Természetesen. Minden fontos kérdést népszavazással döntünk el.« Teller: »Akkor javasolom, Elnök Úr, hogy ülésünket magyar nyelven folytassuk.« Ugyanis a tagok közül négyen (Teller, *Wigner*, *Szilárd* és *Neumann*) magyarok voltak. Igazán jól hangzik. 1983-ban megkérdeztem *Wigner* Jenőt, hogy tényleg megtörtént-e ez az eset. *Wigner* azt válaszolta, hogy nem is történhetett meg, mert ő maga sosem volt az Atomenergia Bizottság tagja, hanem csak annak valamelyik albizottságáé.”

Ne maradjon ki a lélekmelengető példák közül *Neumann János* se: „*Neumann János*ról sok történet kering. Az egyik legkedvesebb szerint egyszer egy társaságban megjegyezte, hogy kívülről tudja a New York-i telefonkönyv felét. A beszélgetőtársak ezt megdöbbenve hallgatták, de elhitték, hiszen a zseniális *Neumann János*ról még azt is el tudták képzelni, hogy tényleg tudja az öt vaskos kötet felét. *Neumann* kis szünet után hozzátette: »csak az a baj, hogy a számokat tudom, de a neveket nem.«”

A koholmányok és tréfás közlemények esetében azonban fennáll annak a veszélye, hogy azokat egyesek komolyan veszik, és ennek szórakozás helyett más,

sokkal kínosabb következményei lehetnek. Ilyen a *hideg fúzió* híres esete, amelynek köszönhetően a két „felfedező”, *Martin Fleischmann* és *Stanley Pons* kénytelen volt visszavonulni a tudomány színpadáról.

Kevesebben ismerik *Sokal* nagy vihart kavart híres *tréfáját*, amelynek köszönhetően egyes társadalomtudósok a gúny céltáblái lettek. Az előzményekhez tartozik, hogy egyes „posztmodern” társadalomtudósok szerint a természettudomány *társadalmi konstrukció* eredménye, vagyis annak törvényszerűségei nem tükrözik az objektív valóságot. A két tudományterület között kialakult vita, a „science war” közepette jelent meg a *Social Text* című társadalomtudományi folyóiratban *Alan Sokal* fizikus professzor *A határok áttörése: arccal a kvantumgravitáció transzformatív hermeneutikája felé* című cikke. Beck professzor megfogalmazása szerint: „A szerkesztők nem vették észre, hogy a terjedelmes, rengeteg irodalmi hivatkozást és jegyzetet tartalmazó dolgozat tulajdonképpen paródia, a tudománnyal kívülről foglalkozó, a tudományos megállapításokat valójában nem értő, de azokat bőven idéző tudomány-szociológusok kigúnyolása.” A példátlanul sikeres tréfa hatásaival még a hazai szakmai folyóiratok is foglalkoztak (Posztmodern panoptikum. *Magyar Tudomány*, 1998/12, 1468–1474. old.).

Beck professzor külön fejezetben foglalkozik a *megvásárolt tudományos elismeréssel*, amely egyik forrása a tudomány tragikomédiájának. A tudományos kutatásban elért eredmények társadalmi elismerésére szolgálnak a különböző diplomák, tudományos fokozatok, testületi tagságok és díjak. Normális körülmények között ezekért az elismerésekért keményen meg kell dolgozni, és az elismerés értékét az adományozó intézmény tudományos rangja szabja meg. Sajnos a megalapozatlan igények – a kritikátlan becsvágy – létrehozta a *biúságipart*, amely révén bárki hozzájuthat különféle diplomákhoz, díjakhoz, érmekhez, ha azt jól megfizeti. Többek között ilyen igényeket elégít ki az American Biographical Institute (ABI), amely több tucat díjat adományoz a fizető ügyfélnek, kívánság szerint, mint például Man of the Year, The Most Admired Man of the Decade, Man of Science stb.

Elrettentő példaként említhető, hogy néhány éve egy napilapunkban terjedelmes interjú jelent meg a *tudomány fenegyerekével*, hazánk kiválóságával, aki a következő kitüntetésekkel szerénykedhet: Personality of the Year, Man of the Year 1991, Twenty Five Year Silver Achievement 1992, Most Admired Man of the Decade, valamint a Tudomány Oscar-díja (?). Talán a kedves olvasó kitalálhatta, hogy e nevenincs tudós nem rendelkezik semmiféle hazai tudományos fokozattal!

Végezetül egy operettbe illő finálé (bár ez az eset nem kerül ismertetésre Beck professzor könyvében, de *élvezeti értéke* és tanulságai miatt érdemes megemlíteni): *Kroó Norbert* akadémikus, az MTA alelnöke, az Európai Fizikai Társulat soros elnöke felkelthette a már említett American Biographical Institute figyelmét, mivel lakáscímére(!) *J. M. Evans ügyvezető alelnök* aláírással kiküldött levélben (Ki a tudós? *Magyar*

Tudomány 1993/11, 1363–1365. old.) egyebek között az alábbi sorok olvashatók:

„...Nagy örömmel tölt el, hogy én lehetek az, aki elsőként gratulál abból az alkalomból, hogy Önt jelölték az ÉVTIZED LEGCSODÁLTABB ASSZONYA cím kiválasztottjai közé.

Az ABI Nemzetközi Kutatási Tanácsa 26 év kutatásai alapján egy szavazólistát állított össze azon nők közül, akik a legkülönbözőbb módokon befolyásolták a társadalmat és az évtizedet, amelyben élünk. A Tanács a nemzetközi tagjainak szavazatai alapján ebből csupán néhány nőt választottak ki, akit jelöltek az ÉVTIZED LEGCSODÁLTABB ASSZONYA címre.”

Még azt is meg kell említeni, hogy a nagy megtisztetés természetesen nincs ingyen, a díszes oklevél a boldog kitüntetett sok-sok dollárjába kerül!

Az előbbieket összegezve, Beck Mihály könyve valójában tudományos alkotás, amely a vizsgált témát szakszerűen körüljárva tart görbe tükröt a tudomány elé. A terjedelmes irodalomjegyzék lehetővé teszi az érdeklődőknek, hogy a témában elmélyedjenek. Egy dolog azonban biztosan állítható: mindazok, akik az ismertetett példákat, esettanulmányokat olvasva remekül szórakoztak, egyet fognak érteni abban, hogy *a tudományban is nélkülözhetetlen a humor!*

Bencze Gyula

HÍREK – ESEMÉNYEK

KOLLÁR JÁNOSRA EMLÉKEZEM

Króó Norbert

1998-ig vezettem az MTA Szilárdtestfizikai (és Optikai) Kutatóintézetét, s igazgatóságom utolsó hét évében *Kollár János* igazgatóhelyettesként segítette munkámat. Távozásom után átvette az Intézet vezetését és nagy örömet jelentett számomra, hogy igazgatói munkáját ugyanabban a szellemben folytatta, mint az azt megelőző közös munkánk során. Az Intézet értékeit külső és belső felmérések egyaránt kiemelték és ebben kiemelkedő szerepet játszott ez a nyugodt, a munkára és annak eredményességére koncentráló légkör, amely az Intézetben uralkodott és amely Kollár János hozzáállásának (is) volt köszönhető.

Az utóbbi években is gyakran beszélgettünk, elsősorban a Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet (SZFKI) dolgairól, de sok minden más is terítékre került. Műtétje előtti utolsó beszélgetésünk néhány nappal kórházba vonulása előtt zajlott le és szinte minden perce, mondata ma is élénken él emlékezetemben. Mivel mindkettőnknek más dolga is akadt, nem tudtuk befejezni a beszélgetés néhány témáját, és javaslatára abban maradtunk, hogy rövidesen folytatjuk ott, ahol abba hagytuk. „Rövid szabadságra megyek – mondta – mivel egy kisebb műtét vár rám, de maximum két-három hét és újra beszélgethetünk.” Nem tudom, hogy a két-három hetet komolyan gondolta-e, vagy csak engem akart megnyugtatni, de ma már ez nem is lényeges.

Ő maga nyugodt, megfontolt, tömör mondatokkal szóló, zárkózott ember volt, amit mindig nagyra értékeltem, és erre a beszélgetésünkre is ez volt a jellemző. Amikor a tartósnak remélt, de sajnos csak átmeneti lábadozása idején, karácsony előtt Pilisborosjenői házukban meglátogattam, szemmel láthatóan nagyon örült találkozásunknak. Nyugalmat sugárzó,

csendes családi környezetben, amely körülvette lábadozásának mindennapjait, a korábban is szokásos stílusában beszélt a jövőről, a remélt közeli teljes felépülésről. Utolsó emlékem az az ölelés, amelyet búcsúzásomkor kaptam Tőle, s amelyre nem tudok meghatódottság nélkül gondolni, bár akkor és ott sem ő, sem én nem hittük, hogy ez az utolsó találkozásunk.

Jánossal nincs közös cikkünk. Szakmai munkánk külön utakon haladt, nemcsak azért, mert az Ő érdeklődésének középpontjában az elméleti fizika állt, míg én a kísérletezés területét preferáltam, hanem mert a vizsgált problémák is más területekről bukkantak elénk. Ettől függetlenül, gyakran olvastam cikkeit és mindig megragadott azok logikája, intellektuális szépsége. Ezért is mertem Őt már a korábbi években is a Magyar Tudományos Akadémia tagjául javasolni, és nagyon boldog voltam, amikor 2010-ben a választás Számára is sikerrel zárult. Úgy éreztem, ez egyrészt személyes munkájának elismerése, de egyúttal az SZFKI számára is előnyököt hozhat.

Ugyancsak örömmel tapasztaltam, hogy a zárkózott Kollár János energiájának egyre növekvő hányadát volt hajlandó a nagyobb közösség érdekében kamatoztatni. Mint az Eötvös Loránd Fizikai Társulat elnöki posztjának várományosa, az MTA Szilárdtestfizikai Bizottságának elnöke, vagy az Európai Tudományos Alapítvány Fizikai és Mérnöki Állandó Bizottságának magyar tagja, mind a hazai, mind a nemzetközi szakmai közösség elismerését és szeretetét kivívta Számára.

Gondolom, sokan vagyunk, akik meghatottan gondolunk temetésére, arra, ahogy az Iránta érzett megbecsülést és szeretetet kifejezték sokan, kollégák, barátok azzal, hogy elkísérték Őt utolsó útjára, búcsú-

beszédekben méltatták Őt, és még külföldről is érkeztek munkatársai, barátai, hogy megjelenésükkel áldozzanak János emlékének.

Jómagam ezekkel a sorokkal is szeretném megköszönni az együtt végzett hétéves közös munkát, az azóta is tartó baráti kapcsolatot, közös otthonunk, a Magyar Tudományos Akadémia érdekében és keretei közötti tevékenységet és azt a közösséget a Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézetben, amelynek eredményességéhez, az eredményességhez elengedhetetlenül szükséges alkotó légkör kiépítéséhez és fenntartásához oly sokban hozzájárult.

Nehéz tudomásul vennem, hogy nincs többé közöttünk, és szomorúságomat csak részben enyhíti az a tény és elhangzott ígéret, hogy emlékét híven megőrizzük.



Kollár János, 1945–2011

Az egyetem végeztével egy alapos tudású, kiváló fiatalember indult útjára. Gondolkodása egy természettudásra jellemzően logikus, tényekre építő volt. Értékrendje is erre a gondolkodásra alapozott, az általános emberi értékeket előtérbe helyező volt. Így sokra becsülte az egyenességet, a hűséget, a barátságot, a tudást. A közösség embere volt. Környezete boldogulásáért háttérbe helyezte saját érdekeit. Ezt tükrözte az általa vezetett intézet működése, a benne kialakult légkör. Az intézetben nyugodt és békés, az elmélyült kutatásra, maradandó tudományos eredmények létrehozására alkalmas körülményeket teremtet.

Kiemelkedő eredményei fűződnek a felületi tulajdonságok értelmezéséhez, úttörő kutatója volt a sűrűségfüggvény-elmélet kidolgozásának és szilárdtestfizikai alkalmazásainak.

Minden helyzetet hihetetlen nyugalommal tudott kezelni, és amikor valami nem tetszett neki, csak néha tett egy-egy kétéltető vagy humoros megjegyzést.

Nagyon szerette a természetet, amit gyönyörködve tudott szemlélni.

Amikor intézeti ablakunkba betelepedett egy fülesbagoly, minden nap megkérdezte, hogy mit csinál a bagoly, tanulja-e már a fizikát?

Jelmondata *Albert Einstein* szavaival kifejezve a következő lehetett volna:

„Békét nem lehet erőszakkal teremteni, csak végtelen megértéssel.”

Akik ismerték – sokat gyarapodtak általa, mert remek szakember, empatikus kolléga és rendkívül humánus Ember volt.

Szűkebb környezete családja, barátai, és tágabb környezete kollégái, tudóstársai mind-mind sokat kaptak tőle.

Úgy gondolom, hogy *Kollár János*ra sokáig fogunk még emlékezni a legnagyobb tisztelettel.

(*Czitrovszky Aladár* és *Faiyel Gyula* temetésén elhangzott beszédeinek néhány gondolata.)

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2011. évi Küldöttközgyűlése

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2011. május 21-én, szombaton 10.00 órai kezdettel tartja Küldöttközgyűlését az Eötvös Egyetem Fizikai épületének (Budapest, XI. Pázmány Péter sétány 1/A) 083. előadótermében.

A Küldöttközgyűlés nyilvános, azon bárki részt vehet. A Küldöttközgyűlésen a Társulat bármely tagja felszólalhat, de a szavazásban csak a területi és szakcsoportok által megválasztott és küldöttigazolvánnyal rendelkező küldöttek vehetnek részt.

Amennyiben a küldöttközgyűlés a meghirdetett időpontban nem határozatképes, akkor munkáját 10.30-kor, vagy a napirend előtti előadás után kezdi meg. Az ily módon megismételt Küldöttközgyűlés a megjelent küldöttek számára való tekintet nélkül határozatképes, de a jelen értesítésben szereplő tárgysorozatot nem módosíthatja.

A hagyományos napirend előtti előadás (kezdeté 10 óra) szerzőjét és címét a szokásos hírközlési csatornánkon (posta, *FIZINFO*, *Fizikai Szemle*) később közöljük.

Az Elnökség a következő tárgysorozatot javasolja:

1. Elnöki megnyitó;
2. A Szavazatszámoló bizottság felkérése;
3. Főtitkári beszámoló, 3.1 A 2010. évi közhasznúsági jelentés, 3.2 A 2010. évi költségvetés, 3.3 Határozati javaslat;
4. A Felügyelő Bizottság jelentése;
5. Vita és szavazás a napirend 3.–4. pontjaival kapcsolatban;
6. Előterjesztés az új tisztségviselők megválasztására;
7. Vita és választás;
8. A Társulat díjainak kiosztása;
9. Zárzó.

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

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

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős: 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: Szatmáry Attila ügyvezető igazgató.

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

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

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



Jövönk energiája



paksi atomerőmű

www.atomeromu.hu

