

fizikai szemle



2012/2

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

Szerkesztő:

Füstöss László

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mail címe:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>

A címlapon:

A mintegy 2000 fotoelektron-
sokszorozót tartalmazó KamLAND
detektor építése közben.

TARTALOM

<i>Fényes Tibor</i> : Neutrínóoszilláció, leptogenezis, neutrínógyárak	37
<i>Aszódi Attila, Boros Ildikó</i> : Az atomenergia jövője Fukushima után – 2/2	46
<i>Elter József, Eiler János</i> : Célzott biztonsági felülvizsgálat a paksi atomerőműben 2/1	51

A FIZIKA TANÍTÁSA

<i>Bognár Gergely</i> : Fizikatanítás, de mivégre?!	55
<i>Härtlein Károly</i> : Kísérletezzünk otthon!	57
<i>Pákó Gyula</i> : A 2011. évi Eötvös-verseny ünnepélyes eredményhirdetése	58

KÖNYVESPOLC

HÍREK – ESEMÉNYEK	66
--------------------------	----

T. Fényes: Neutrino oscillation, leptogenesis, neutrino factories

A. Aszódi, I. Boros: The future of nuclear power after Fukushima – 2/2

J. Elter, J. Eiler: Aimed security control at Paks Nuclear Power Plant 2/1

TEACHING PHYSICS

G. Bognár: Should physics be taught? Sure, but to what purpose?

K. Härtlein: Physical experiments to be performed at home

G. Pákó: The solemn proclamation of the 2011 Eötvös-competition results

BOOKS, EVENTS

T. Fényes: Neutrino-Oszillationen, Leptogenesis und Neutrino Fabriken

A. Aszódi, I. Boros: Die Zukunft der Kernenergie nach Fukushima – 2/2

J. Elter, J. Eiler: Gezielte Sicherheitskontrolle am Kernkraftwerk Paks 2/1

PHYSIKUNTERRICHT

G. Bognár: Physikunterricht notwendig? Ja, aber zu welchem Zweck?

K. Härtlein: Zu Hause ausgeführte Experimente

G. Pákó: Festliche Verkündigung der Ergebnisse des Eötvös-Wettbewerbs 2011

BÜCHER, EREIGNISSE

T. Фенеш: Колебания нейтрино, лепто-рождение, заводы нейтрино

A. Асоди, И. Борос: Будущее ядерной энергии после Фукусимы 2/2

Й. Эльтер, Й. Эйлер: Направленный контроль безопасности на ядерной
электростанции Пакш 2/1

ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

Г. Богнар: Обучение физике? Безусловно да! Но с какими целями?

К. Гэртлейн: Эксперименты для выполнения дома

Г. Пакко: Торжественная публикация итогов конкурса им. Этвеша 2011 г.

КНИГИ, ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



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

LXII. évfolyam

2. szám

2012. február

NEUTRÍNÓOSZCILLÁCIÓ, LEPTOGENEZIS, NEUTRÍNÓGYÁRAK

Fényes Tibor
MTA ATOMKI, Debrecen

A *neutrínók* a leptonok közé tartozó, elektromosan semleges elemi részecskék. Mindhárom leptoncsaládnak megvan a maga neutrínója, így vannak elektron-neutrínók (ν_e), müonneutrínók (ν_μ) és tauneutrínók (ν_τ), valamint létezik mindegyiknek antineutrínó párja is: $\bar{\nu}_e$, $\bar{\nu}_\mu$, $\bar{\nu}_\tau$. Ha a Z a sebesség irányát jelenti, a neutrínókra a spin Z komponense $J_Z = -1/2$ (balkezes), az antineutrínókra $J_Z = +1/2$ (jobbkezes).

A neutrínók sajátosságai sok tekintetben egyediek. Rendkívül kicsi a tömegük, kisebb mint bármelyik más lepton vagy kvark elemi részecskéé. Például az elektronneutrínó tömege < 2 eV, míg az elektroné 0,511 MeV. A neutrínók kölcsönhatása anyaggal rendkívül kicsi. A reaktorból származó antineutrínók közepes szabad úthossza kondenzált anyagban $\sim 10^{16}$ km (~ 1000 fényév), aminek az az alapvető oka, hogy sem az erős, sem az elektromágneses kölcsönhatásban nem vesznek részt. Ugyanakkor a neutrínók az általunk ismert Világegyetem leggyakoribb anyagi részecskéi, csak a fotonok száma nagyobb náluk.

A *neutrínófizika fejlődése során számos meglepetéssel szolgált* és alapvetően megtermékenyítette a magfizikát és részecskefizikát. Nem sokkal azután, hogy Pauli 1931-ben feltételezte a neutrínók létét, Fermi 1933–34-ben megalkotta a β -bomlás elméletét, amelynek szerves részét képezik a neutrínók. Mindmáig ez a β -bomlás alapvető elmélete. A neutrínófizikai eredmények igen lényeges szerepet játszottak a gyenge kölcsönhatás vektor-axiálvektor jellegének felderítésében, a gyenge semleges áram felfedezésében (abban, hogy a gyenge kölcsönhatást nem csak az elektromosan töltött W^\pm -bozonok, hanem a semleges Z -bozon is közvetíti), az egyesített elektrogyenge-elmélet kidolgozásában, a nukleonszerkezet tanulmányozásában. A neutrínófizi-

kának újabban már gyakorlati alkalmazása is van, detektáltak geoneutrínókat, távoli szupernóva-robbanásból származó neutrínókat, szerepük van a kozmikus sugárzás eredetének felkutatásában.

A neutrínófizika egyik legutóbbi, lényeges felismerése a *neutrínóoszilláció* volt. Ez azt jelenti, hogy a neutrínóknak repülésük során változik az „ízük”, azaz az elektron-, müon- és tauneutrínó összetételük. Az oszcilláció alapvető oka az, hogy a neutrínóknak kicsi, de különböző tömegük van és a különböző ízű neutrínók a neutrínók tömegsajátértékeinek különböző keverékeiként állnak elő. Az ízváltozást mára már mind a nap- és reaktorneutrínós, mind az atmoszférikus és gyorsító neutrínóvizsgálatok egyértelműen mutatják (*Gonzalez-Garcia, Maltoni* [1], *Mohapatra* és mts. [2], Particle Data Group [3, 4], *Fényes* [5]).

A *jelen közlemény* első része vázlatosan ismerteti a neutrínóoszilláció elméleti értelmezését, valamint összegzi a neutrínóoszilláció kutatásában elért legfontosabb eredményeket és a még nyitott kérdéseket. A második rész a fejlődési irányokat tárgyalja, az első generációs szupernyaláb és reaktorneutrínó kísérleteket, valamint a második generációs szupernyaláb, β -nyaláb és neutrínógyár terveket.

A neutrínóoszilláció kvantummechanikai elmélete

A neutrínók oszcillációja elméletileg is értelmezhető. A feltevés szerint a neutrínók különböző fajtái izsajátállapotban ($|\nu_e\rangle$, $|\nu_\mu\rangle$, $|\nu_\tau\rangle$) állnak elő, illetve semmülnek meg, de ezek tömeg-sajátállapotok ($|\nu_1\rangle$, $|\nu_2\rangle$, $|\nu_3\rangle$) szuperpozíciói.

A kapcsolat mátrix alakban kifejezve:

$$\begin{pmatrix} |v_e\rangle \\ |v_\mu\rangle \\ |v_\tau\rangle \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu1} & U_{\mu2} & U_{\mu3} \\ U_{\tau1} & U_{\tau2} & U_{\tau3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |v_1\rangle \\ |v_2\rangle \\ |v_3\rangle \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Az U -mátrixot Pontecorvo (1957, 1958), illetve Maki–Nakagawa–Sakata (1962) ismerte fel először, így róluk nevezték el.

Ha minden neutrínó tömeg nélküli lenne, a tömeg- és ízsajátállapotok egybeesnének és nem lenne neutrínóátalakulás sem. Az (1) összefüggés feltételezi, hogy a neutrínóknak van tömege.

Ha a neutrínóknak van tömege, a v_1, v_2, v_3 tömeg-állapotokban lévő neutrínók – mint később látni fogjuk – eltérő frekvenciával haladhatnak. Így fáziskülönbség alakulhat ki közöttük a megtett távolság függvényében, ami neutrínó-ísváltozáshoz (oszcillációhoz) vezethet.

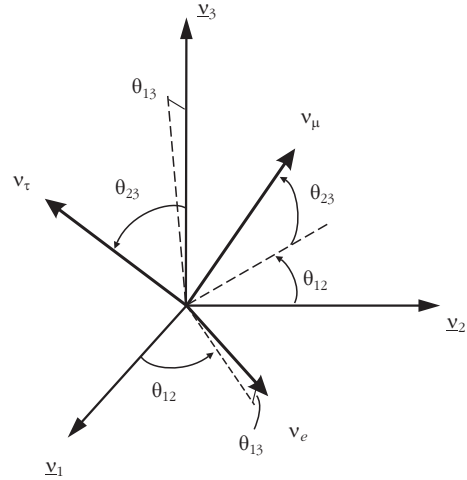
Az (1) mátrix analóg a kvarkkeveredési mátrixszal, ahol a kísérleti adatok egyértelműen mutatják a mátrix unitér jellegét [4]. (Unitér egy U -mátrix akkor, ha $U^\dagger U = 1$ és $U U^\dagger = 1$, ahol 1 egységmátrixot jelöl. Az U^\dagger mátrix úgy képezhető U -ból, hogy a sorokat és oszlopokat megcseréljük és minden elem komplex konjugáltját képezzük.) Az unitér mátrix elemei parametrizálhatók három keveredési szöggel: $\theta_{12}, \theta_{13}, \theta_{23}$ és egy δ fázissal. (Ha a neutrínók Majorana-részecskék, további két fázis lehet.) A θ szögek rotációs transzformációnak felelnek meg az 1. ábra szerint. A keveredési mátrix parametrizált alakja a következő:

$$\begin{pmatrix} c_{12} c_{13} & s_{12} c_{13} & s_{13} e^{-i\delta} \\ -s_{12} c_{23} - c_{12} s_{23} s_{13} e^{i\delta} & c_{12} c_{23} - s_{12} s_{23} s_{13} e^{i\delta} & s_{23} c_{13} \\ s_{12} s_{23} - c_{12} c_{23} s_{13} e^{i\delta} & -c_{12} s_{23} - s_{12} c_{23} s_{13} e^{i\delta} & c_{23} c_{13} \end{pmatrix} \times \quad (2)$$

$$\times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{i\phi_1} & 0 \\ 0 & 0 & e^{i(\phi_2 + \delta)} \end{pmatrix},$$

ahol $c_{ij} \equiv \cos \theta_{ij}$ és $s_{ij} \equiv \sin \theta_{ij}$. Dirac-neutrínók esetében a (2) kifejezésnek csak az első mátrixa veendő figyelembe, Majorana-neutrínóknál mind a kettő. A δ -t Dirac-fázisnak, a ϕ_1 -t és ϕ_2 -t Majorana-fázisnak nevezik. Dirac-neutrínóknál a balkezes neutrínó és a jobbkezes antineutrínó két különböző részecske. A Majorana-neutrínóknál a neutrínó azonos az antirészecskéjével ($v = \bar{v}$), azaz csak egy $\frac{1}{2}$ spinű neutrínó van, de két különböző alállapot: v_{bal} és v_{jobb} . Jelenleg még nem eldöntött kérdés, hogy melyik elképzelés valósul meg a természetben.

A tárgyalás egyszerűsítése érdekében tekintsünk csak két ízsajátállapotot (v_e, v_μ) és két tömeg-sajátállapotot (v_1, v_2). Ekkor az U mátrix a következőképpen alakul:



1. ábra. Rotációs transzformáció a neutrínók keveredési mátrixában.

$$\begin{pmatrix} |v_e\rangle \\ |v_\mu\rangle \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |v_1\rangle \\ |v_2\rangle \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Az unitér transzformáció csak egy szabad paramétert tartalmaz, a θ keveredési szöget.

Ha az elektronneutrínó $t = 0$ időben keletkezett p impulzussal, az időtől függő hullámegyenlet megoldása szerint síkhullámként terjed és t idő múlva az állapota a következő lesz:

$$|v_e\rangle_t = \exp\left(\frac{-i E_1 t}{\hbar}\right) \cos \theta |v_1\rangle + \exp\left(\frac{i E_2 t}{\hbar}\right) \sin \theta |v_2\rangle,$$

ahol

$$E_1 = \sqrt{p^2 c^2 + m_1^2 c^4}, \quad E_2 = \sqrt{p^2 c^2 + m_2^2 c^4}.$$

Itt nem részletezett levezetés alapján közel fénysebességgel terjedő neutrínónyalábra a következő kifejezés nyerhető:

$$P_e(t \approx L/c) = 1 - \sin^2(2\theta) \sin^2\left[\frac{(E_2 - E_1)L}{2\hbar c}\right], \quad (4)$$

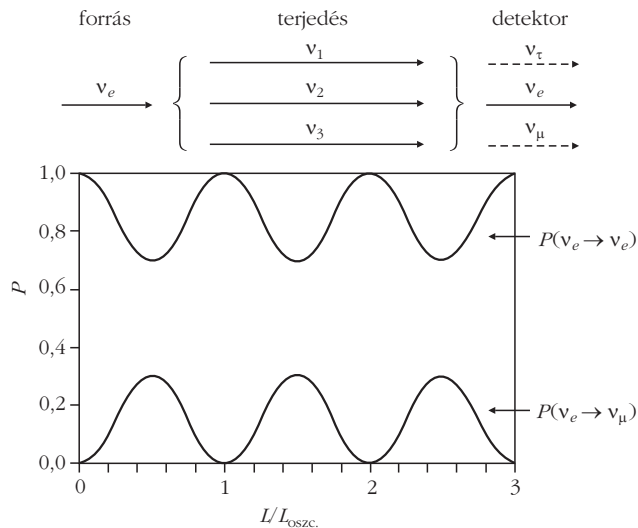
ahol

$$\frac{(E_2 - E_1)L}{2\hbar c} = 1,27 \frac{\Delta m^2 L}{E_\nu}. \quad (5)$$

Itt $P_e(t=L/c)$ annak a valószínűsége, hogy a neutrínónyaláb t idő múlva elektronneutrínó lesz, $P_e(t) + P_\mu(t) = 1$; $\Delta m^2 = m_2^2 - m_1^2$, eV^2 egységben; L a neutrínónyaláb forrásától mért távolság méterben; $E_\nu \approx pc$ MeV-ben; \hbar a redukált Planck-állandó, c a fénysebesség vákuumban.

Bevezethető az oszcilláció hossza: L_{oszc} , e távolságon áthaladva P_μ ugyanazt az értéket veszi fel:

$$\frac{1,27 \Delta m^2 L_{oszc}}{E_\nu} = 2\pi.$$



2. ábra. Felül: A neutrínók vákuumban haladva útközben átalakulhatnak. Az ábrán ν_e , ν_μ , ν_τ neutrínó-ízsjátállapotokat, ν_1 , ν_2 , ν_3 tömeg-sajátállapotokat jelöl. Alul: A neutrínóoszilláció (átalakulás) valószínűsége (P) a terjedési távolság (L) függvényében a két neutrínófajra és $\sin^2(2\theta) = 0,3$ esetére.

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_e) = 1 - P(\nu_e \rightarrow \nu_\mu)$$

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_\mu) = \sin^2(2\theta) \sin^2(1,27 \cdot \Delta m^2 L/E_\nu).$$

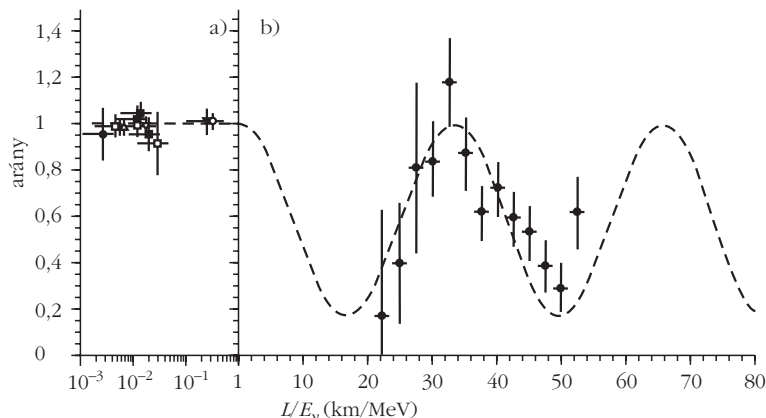
A $P(\nu_e \rightarrow \nu_e)$ és $P(\nu_e \rightarrow \nu_\mu)$ valószínűségek változását az L/L_{osc} függvényében a 2. ábra mutatja. A (4) és (5) összefüggések lehetőséget adnak a Δm^2 tömegnégyzet-különbség és a θ keveredési szög meghatározására.

A neutrínóoszilláció meggyőző bizonyítást nyert a KamLAND reaktor-antineutrínó kísérletekben. A 3.b ábra az elektron-antineutrínó hozzájárulást mutatja a reaktorneutrínók fluxusához az L/E_ν függvényében.

Az eddigiekben a neutrínóoszillációt vákuumban tárgyaltuk. Ha a neutrínók anyagban haladnak, más fáziskülönbségek alakulnak ki (Mikheyev–Smirnov–Wolfenstein-effektus). Anyag jelenlétében a $\nu_e \rightarrow \nu_\mu$ oszcilláció valószínűsége erősen megnő, míg a $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$ oszcilláció a Föld és Nap anyagában gyakorlatilag úgy zajlik le, mint vákuumban. (Részletesebben lásd például az [1] és [4] közleményekben.)

3. ábra. a) A mért/előre jelzett neutrínófluxus-arány az L/E függvényében különböző kutatócsoportok alapján.

b) Az elektron-antineutrínó hozzájárulása a reaktor-neutrínófluxushoz KamLAND mérések szerint (pontok hibákkal). A kísérletben 13 atomerőműből származó $\bar{\nu}_e$ antineutrínók eltűnését vizsgálták 1 kilotonnás szcintillációs detektorral. (Araki és mts. [6] alapján.)



A neutrínóoszillációra vonatkozó eredmények összegzése

Összegezve a neutrínókra vonatkozó kísérleti és elméleti eredményeket, a következők szűrhetők le.

A Napból és reaktorból ($L \sim 180$ km) származó neutrínók, valamint az atmoszférikus neutrínók vizsgálata is meggyőzően mutatja a neutrínók ízváltozását. Továbbá erős érv szól a mellett, hogy gyorsítók-nál ($L \sim 250$ és 735 km) is fellép a jelenség (L a neutrínók megtett útja).

A keveredési mátrix elemei és tömegnégyzet-különbségek (Gonzalez-Garcia, Maltoni [1]).

A neutrínókeveredési mátrix elemei (3σ szinten) a következők:

$$|U|_{3\sigma} = \begin{pmatrix} 0,77 \rightarrow 0,86 & 0,50 \rightarrow 0,63 & 0,00 \rightarrow 0,22 \\ 0,22 \rightarrow 0,56 & 0,44 \rightarrow 0,73 & 0,57 \rightarrow 0,80 \\ 0,21 \rightarrow 0,55 & 0,40 \rightarrow 0,71 & 0,59 \rightarrow 0,82 \end{pmatrix}.$$

Ellentétben a kvarkokkal, a neutrínóknál erős keveredés lép fel.

Ha az unitér keveredési mátrix szögeit θ_{ij} -vel, a neutrínó tömegnégyzet-különbségeket $\Delta m_{ij}^2 \equiv m_i^2 - m_j^2$ -tel jelöljük, 3σ szinten a kísérletek által megengedett tartományok a következők:

$$\theta_{12} = 34,5 (+4,8 - 4,0)^\circ$$

$$\theta_{23} = 42,3 (+11,3 - 7,7)^\circ$$

$$\theta_{13} \approx 0,0 (+12,9 - 0,0)^\circ; \sin^2\theta_{13} < 0,035 (0,056)$$

90% konfidenciahatárnál [4]

$$\delta \in [0, 360]$$

$$\Delta m_{21}^2 = 7,67 (+0,67 - 0,61) \times 10^{-5} \text{ eV}^2$$

$$\Delta m_{31}^2 = -2,37 (+0,43 - 0,46) \times 10^{-3} \text{ eV}^2 \text{ (fordított hierarchia)}$$

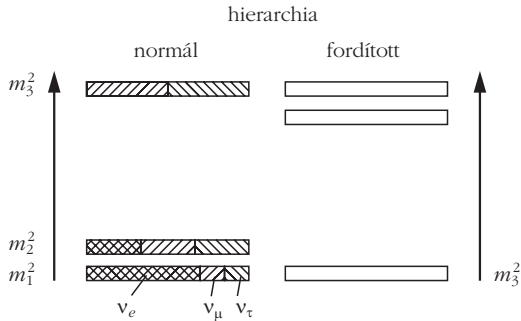
$$+2,46 (+0,47 - 0,42) \times 10^{-3} \text{ eV}^2 \text{ (normál hierarchia)}$$

A neutrínók tömegnégyzet-spektruma a 4. ábrán szemléltethető. Ha csak három neutrínó létezik, akkor $\Delta m_{32}^2 + \Delta m_{21}^2 + \Delta m_{13}^2 = 0$.

Mivel a neutrínóoszillációs kísérletek csak a tömegnégyzet különbségekre érzékenyek, a neutrínók tömegeire többféle elrendezés lehetséges.

Normál hierarchiánál ($m_1 < m_2 \ll m_3$) $m_3 \approx (\Delta m_{23}^2)^{1/2} \approx 0,03\text{--}0,07$ eV. A legkönnyebb neutrínó tömege nincs meghatározva. Ha $m_1 \ll m_2$, akkor $m_2 \approx 0,009$ eV. Fordított hierarchiában (ahol $m_1 \approx m_2 \gg m_3$) $m_{12} \approx (\Delta m_{23}^2)^{1/2} \approx 0,03\text{--}0,07$ eV. Ekkor az m_3 -ról csak azt tudjuk, hogy jóval kisebb, mint m_1 és m_2 .

Kvázidegenerált neutrínók esetén (amikor mindhárom m^2 körülbelül egyenlő) a neutrínótömegek jóval nagyobbak a tömegkülönbségeknél.



4. ábra. A neutrínók tömegnégyzet-spektruma, sematikusán. Az ábra az észlelt ízváltozásokat is mutatja a Nap, reaktor, atmoszférikus és gyorsító kísérletek alapján. A tömegek íztartalma is fel van tüntetve. (Particle Data Group [3] alapján.)

A három könnyű neutrínó tömege a legkönnyebb tömeg függvényében az 5. ábrán látható.

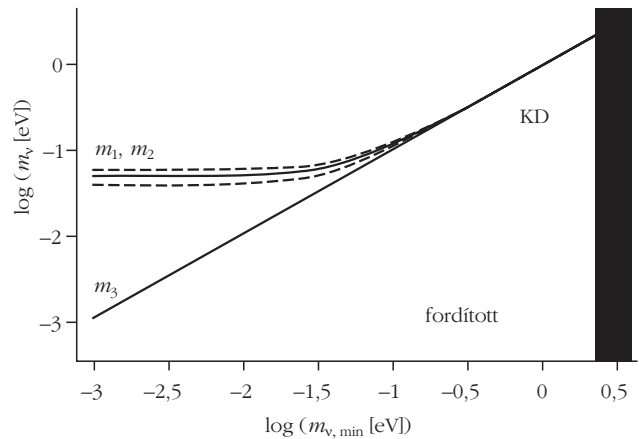
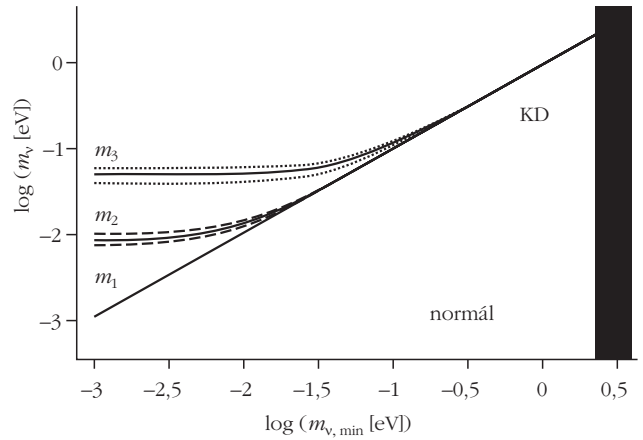
CP-invariancia sérülése. A kvarkok esete. A három kvarkcsalád keveredési mátrixában jelentkezik egy δ fázisparaméter, ami a CP-invariancia sérülését eredményezi (C töltéskonjugációra, P paritásra utal.) Ez annak a következménye, hogy az $\exp(i\delta)$ fázistényező megjelenik a hullámfüggvényben $\exp(i\omega t + i\delta)$ alakban. Ez nem invariáns az időmegfordításra, ha $\delta \neq 0$ és $\delta \neq \pi$. Mivel a CPT-invariancia fennáll, ezért ha a T- (idő-) invariancia sérül, a CP-nek is sérülni kell. A CP-invariancia ilyen sérülésének felismeréséért Kobayashi és Maskawa elnyerte a (megosztott) 2008-as Nobel-díjat. A δ fázis felelős minden CP-sérülési jelenségért a standard modell ízváltozási folyamataiban. A CP-invariancia sérülését a kísérletek a semleges K - és B -mezonok bomlásában egyértelműen mutatják. Minden CP-invariancia sérülése konzisztens a Kobayashi–Maskawa-mechanizmus előrejelzésével [4]. Világegyetemünk döntő részben anyagból és nem anti-anyagból áll, noha az Ősrobbanásban ezek egyensúlyban voltak. A CP-sértés felismerése hozzájárul az anyag-antianyag aszimmetria megértéséhez (bariogenezis), még ha nem is elég a teljes magyarázathoz [3–5].

A neutrínók esete. A kvarkkeveredési mátrixhoz nagyon hasonló (2) neutrínókeveredési mátrix szintén tartalmaz egy δ Dirac-fázist. (További ϕ_1, ϕ_2 CP-sértő fázisok jelenléte a (2) mátrixban a Majorana-részecskék speciális sajátosságainak következménye.) A CP-megmaradást sértő fázisok jelenleg nem ismertek. A leptonoknál fellépő CP-invarianciasérülés felderítése hozzájárulhat a világunk anyag-antianyag aszimmetriájának megértéséhez (leptogenezis). Ez a jövőbeni neutrínókutatások egyik legfontosabb célkitűzése.

A Dirac-, illetve Majorana-fázisokra információ szerezhető úgy, hogy a neutrínók és antineutrínók túlélési valószínűségét mérik nagy távolságban a forrásoktól, ehhez azonban nagy intenzitású „neutrínógyárak” szükségesek.

Nyitott kérdések

A biztató eredmények ellenére a terület még távolról sem tekinthető lezártnak. A következő kérdések megválaszolása a jövő feladata.



5. ábra. A három könnyű neutrínó tömegei (m_ν) a legkönnyebb neutrínó tömegének ($m_{\nu,\min}$) függvényében, normál, illetve fordított hierarchia esetén. KD = kvázidegenerált. (Mohapatra és mts. [2] alapján.)

A neutrínók Majorana- vagy Dirac-részecskék? Ezt alapvetően fontos lenne tudni mind a leptonoknál fellépő CP-invarianciasérülés, mind a neutrínótömegek eredetének megértése szempontjából. A neutrínóoszillációs vizsgálatok erre sajnos nem adnak választ. E kérdés eldöntésére legjobb esélye a neutrínó nélküli kettős β -bomlás vizsgálatának van [4].

Milyen numerikus értékei vannak a Pontecorvo–Maki–Nakagawa–Sakata-mátrix elemeinek, továbbá a neutrínók tömegsajátértékeinek (ν_1, ν_2, ν_3)? Különösen fontos lenne tudni, hogy mennyi a θ_{13} értéke, ami jelenleg igen nagy hibával ismert. A (2) neutrínókeveredési mátrixban a $\sin\theta_{13}$ együtt szerepel az $e^{-i\delta}$ fázistényezővel, így hatással van a CP-sértő effektusok nagyságára.

Szükséges lenne meghatározni a Δm_{31}^2 előjelét és eldönteni, hogy normál vagy fordított hierarchia valósul meg a természetben (4. ábra).

Valószínű, hogy – a neutrínókon kívül – a CP-invariancia sérülése a töltött leptonoknál is jelentkezik. Vizsgálandó, hogy létre jönnek-e a természetben a $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ és hasonló folyamatok, sérül-e a leptoncsaládszám megmaradása.

Létezik-e „steril” neutrínó, ami nem vesz részt a Standard modell gyenge kölcsönhatásában, nem csatolódik a Z-bozonhoz? A Los Alamosban elvégzett LSND (Liquid Scintillator Neutrino Detektor) kísérletben $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$ oszcillációra $\Delta m_{LSND}^2 \cong 1 \text{ eV}^2$ értéket

1. táblázat					
A nagytávolságú neutrínókísérletek főbb jellemzői					
kísérlet	L (km)	$\langle E_\nu \rangle$	teljesítmény (MW)	tömeg (kilotonna)	csatorna
első generációs szupernyalábok					
T2K	295	0,7 GeV	0,8	50	$\nu_\mu \rightarrow \nu_{e,\mu}$
NuMI-OA	700–900	2 GeV	0,4	50	$\nu_\mu \rightarrow \nu_{e,\mu}$
reaktorkísérletek					
D-CHOOZ	1,05	\sim MeV	2×4250	0,011	$\nu_e \rightarrow \nu_e$
második generációs szupernyalábok					
T2HK	295	0,7 GeV	4	450	$\nu_\mu \rightarrow \nu_{e,\mu}$
SNuMI-OA	700–900	2 GeV	2	100	$\nu_\mu \rightarrow \nu_{e,\mu}$
BNL 2NUSL	>2500	1 GeV	1	500	$\nu_\mu \rightarrow \nu_{e,\mu}$
CERN SPL	130	0,4 GeV	4	400	$\nu_\mu \rightarrow \nu_{e,\mu}$
β -nyalábok	130–3000	0,2–5 GeV	0,04	400	$\nu_e \rightarrow \nu_{e,\mu}$
neutrínógyárak	700–3000	7–40 GeV	4	50	$\nu_{e,\mu} \rightarrow \nu_{e,\mu,\tau}$

OA = off axis, a tengelytől való eltérés szögével a neutrínók energiaspektruma változik. Gonzalez-Garcia, Maltoni [1] alapján.

nyertek, ami nem illik a három neutrínócsalád képbe. Értelmezéséhez új, „steril” neutrínót kellene bevezetni. A kérdés tisztázására a Fermi-laboratóriumban MiniBooNE néven kísérleteket végeztek, amelyek alapján csökkent a steril neutrínó létezésének valószínűsége.

Fejlődési irányok

Annak érdekében, hogy választ kaphassunk a neutrínóoszilláció legfontosabb nyitott kérdéseire, meg kell határozni a neutrínókeveredési mátrixban a θ_{13} keveredési szög pontos értékét, a Δm_{13}^2 tömegnégyzet-különbség előjelét és a neutrínókeveredés δ , ϕ_1 , ϕ_2 fázisszögeit (a leptonoknál fellépő CP-invariancia esetleges sérülését). Ehhez nagyon intenzív neutrínónyalábok, erőteljes háttérnyomás és nagy neutrínó repülési távolságok szükségesek. A CP-sérülés vizsgálatához a neutrínók és antineutrínók oszcillációjának összehasonlító analízisére is szükség van.

A nagy repülési távolságú neutrínókísérletekről az 1. táblázat ad áttekintést. A táblázat külön tárgyalja az első generációs szupernyaláb- és reaktorkísérleteket, valamint a második generációs szupernyaláb-, β -nyaláb- és a neutrínógyár-terveket.

Az első generációs szupernyaláb berendezések hagyományos módszerekkel főleg pionbomlásból eredő müon-neutrínókat állítanak elő, de a protongyorsító teljesítménye nagyobb. A hagyományos módszerre példa a CERN-i be-

rendezés a 6. ábrán. Ez viszonylag jól ismert technológia. A pionokat előállító protonnyaláb teljesítményét a második generációs szupernyaláboknál még tovább, 2–5 MW-ra kívánják növelni.

β -nyaláb berendezések. Vonzónak tűnik radioaktív β -bomló atommagok [például ${}^6\text{He}$ ($T_{1/2} = 0,8$ s, β^-) és ${}^{18}\text{Ne}$ ($T_{1/2} = 1,7$ s, β^+)] gyorsítása ~ 150 GeV/nukleon energiáig, majd ezek tárolása tárológyűrűben. Így olyan elektron-antineutrínó és -neutrínó nyalábokat nyerhetnénk, amelyek jól definiált ízzel rendelkeznek, energiaspektrumuk jól ismert és kollimáltságuk is kitűnő.

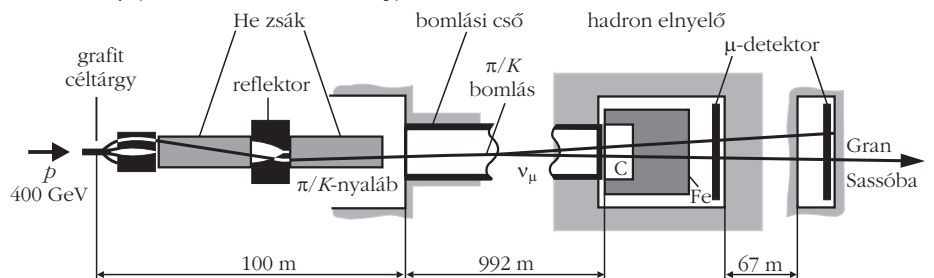
Neutrínógyárak. Nagy intenzitású neutrínóforrások előállítására műiongyorsító építését is javasolták. Ebben nagy energiájú és intenzitású protonokkal nagy rendszámú céltárgyat bombáznak. Az elsődleges reakciótermékek zöme pion, amelyek gyorsan bomlanak müonokba. A müonok viszonylag hosszú ideig élnek (~ 2 μs), így fel lehet gyorsítani őket és tárolni egy olyan tárológyűrűben, amelyben hosszú egyenes szakasz van a detektor irányában. A tárolt például pozitív töltésű müonok 50%-ban elektron-neutrínókat és 50%-ban müon-antineutrínókat szolgáltatnak, jól definiált energiaspektrummal.

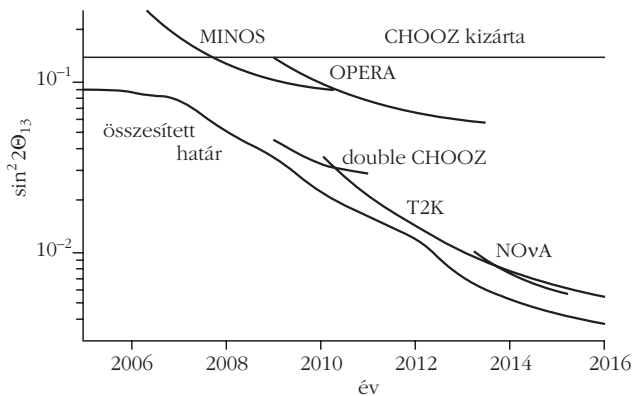
A következőkben röviden ismertetjük az első és második generációs neutrínóberendezések főbb jellemzőit, amelyekről részletes információ található például *Bandyopadhyay* és mts. [9] munkájában. Ez egy nemzetközi munkacsoport vizsgálatának végeredményét tartalmazza.

Első generációs szupernyaláb kísérletek

A *japán T2K* (Tokai-to-Kamioka) kísérletben a J-PARC 30 GeV-es szinkrotronának nagy intenzitású protonnyalábját használják müon-neutrínó előállítására.

6. ábra. Müon-neutrínó-nyaláb előállítása a CERN-ben $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$, illetve $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ reakciókkal. A ν_μ neutrínókat a 730 km távolságban, Rómától északkeletre, Gran Sassóban lévő föld alatti laboratóriumba irányítják. (Elsener, Sutton [8] alapján.)





7. ábra. A $\sin^2 2\theta_{13}$ meghatározására várható érzékenységi határok alakulása az idő függvényében, különböző neutrínókísérleteknél. A számításokat $\delta_{CP} = 0$ és Δm^2 előjele = +1 feltevéssel végezték és 90%-os konfidenciaszintre vonatkoznak. (Bandyopadhyay és mts. [9] alapján.)

sára. A neutrínók 295 km utat tesznek meg az 50 kilotonnás Szuper-Kamiokande föld alatti víz Cserenkov-detektorig. A T2K körülbelül két nagyságrenddel intenzívebb müonneutrínó „szupernyaláb” szolgáltat, mint a korábbi K2K. A müonneutrínó eltűnési vizsgálatokban pontosan meg akarják határozni a $\sin^2(2\theta_{23})$ és Δm_{23}^2 értékeket. Vizsgálják továbbá a $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ átalakulást, ami közvetve lehetőséget ad a θ_{13} keveredési szög meghatározására is. 2010-ben már észlelték az első T2K neutrínók megjelenését a detektorban. A T2K kísérlet részletes leírása *Wark* [10] közleményében található.

Kísérletek reaktorneutrínókkal

A *D-CHOOZ* (Double-CHOOZ, Franciaország) programban két 4250 MW teljesítményű reaktorból származó elektron-antineutrínók eltűnését vizsgálják. A kísérlethez felhasznált két közepes méretű (0,011 kt) szcintillátor detektorból az egyik a reaktor mellett van, a másik ~1 km távolságban tőle. Három év alatt ~50 000, néhány MeV átlagenergiájú antineutrínót kívánnak detektálni.

A *Daya Bay* (Kína, Hong Kongtól 55 km-re északkeletre) program 3×2 reaktorra van alapozva, ami egyike a világviszonylatban legnagyobb teljesítményű nukleáris erőműkomplexeknek. Az antirészecskéket nyolc, lényegében azonos 20 kilotonnás szcintillációs detektorral regisztrálják föld alatti laboratóriumokban. A detektorok egyik része közeli ($\leq 0,5$ km), másik része távoli (2 km) telepítésű. A kísérlet elsőrendű célja a θ_{13} keveredési szög meghatározása az eddigieknél nagyságrendileg jobb érzékenységgel. Ez megnyithatja az utat a későbbi leptonikus CP-invarianciasértési vizsgálatokhoz.

A *Daya Bay* kísérlet eltűnési kísérlet. A közeli detektorok a reaktorok $\bar{\nu}_e$ -fluxusát mérik, a távoli detektorok a várt fluxustól való eltérést. A detektorok mélyen a hegy alatt vannak, így a kozmikus sugárzás okozta háttér kicsi. A detektorokat vízzel töltött tartály veszi körül, ami lehetőséget ad a környező sziklából

eredő radioaktivitás kiszűrésére. Két-három éves mérésidő után remélhetőleg elérnek 10^{-1} érzékenységet a $\sin^2 2\theta_{13}$ meghatározásában (90%-os konfidenciahatárral). A legközelebbi detektorrendszer már működik, a távoli 2012-ben kezdi meg működését.

A jövőbeli neutrínóoszillációs vizsgálatok egyik leglényegesebb eleme a jelenleg kevésbé ismert θ_{13} keveredési szög és a Dirac- (δ), illetve Majorana- (ϕ_1, ϕ_2) fázisok meghatározása. A 7. ábra a $\sin^2 2\theta_{13}$ értékekre várható érzékenységi határokat mutatja az idő függvényében különböző neutrínókísérletekre. A (2) mátrix mutatja, hogy a δ hatása a neutrínókeveredésre szorosan összefügg a θ_{13} értékével.

Második generációs szupernyaláb-tervek

A *T2HK kísérlet* a T2K továbbfejlesztett változata. A J-PARC-ban a protonnyaláb energiáját 50 GeV-re, teljesítményét 4 MW-ra kívánják növelni. Ez a Hiper-Kamiokande-detektorral (ami 0,45 – 1 megatonnás víz Cserenkov-detektor lesz) elegendő eseményt fog szolgáltatni ahhoz, hogy versenyképes legyen a β -nyaláb vagy neutrínógyár berendezésekkel. Vizsgálják annak a lehetőségét is, hogy a J-PARC neutrínókat Dél-Koreában is detektálják víz Cserenkov-detektorral, ami a repülési távolságot $L = 1000$ km-re növelné. A $\nu_\mu \rightarrow \nu_{e,\mu}$ vizsgálatok tervbe vett ideje ~2 év, míg az antineutrínókra 8 év.

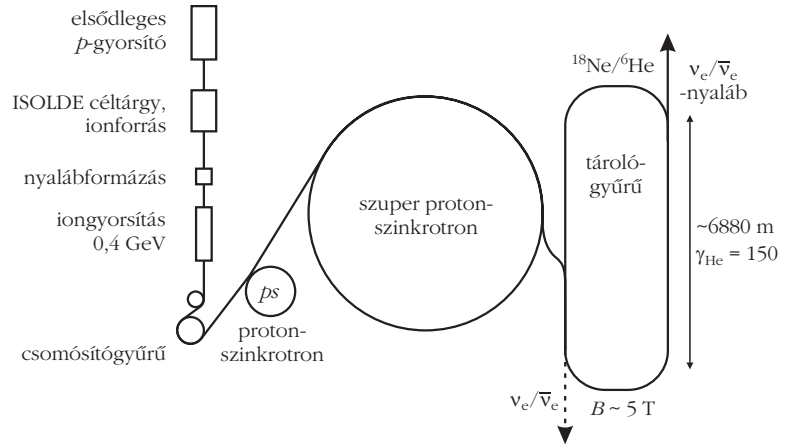
SNuMI-OA, NOVA. A Chicago melletti Fermi-laboratórium *MINOS* (Main Injector Neutrino Oscillation Search) programjának első változatában ν_μ -neutrínókat löttek át a 725 km-re lévő Soudan (Minnesota) föld alatti laboratóriumba. A *NOVA* kísérletben a $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ oszcillációban elérhető érzékenységet tízszeresen javítani akarják a *MINOS* első mérésekhez képest. Az *SNuMI-OA* változat $\langle E_\nu \rangle = 2$ GeV átlagos neutrínó-energiát adna.

A Fermi-laboratórium *Project-X* tervében egy multimegawattos folytonos nyalábú protongyorsító létrehozása szerepel, ami rendkívül intenzív müonneutrínó-nyaláb létrehozását tenné lehetővé. A neutrínókat Dél-Dakotában lévő detektorhoz kívánják küldeni $L \approx 1300$ km távolságba (*CERN Courier*, 2011. október, 54. o.). A nagy repülési távolság lehetővé teszi a Δm_{31}^2 abszolút értékének meghatározását.

BNL. A Brookhaveni Nemzeti Laboratóriumban lévő változó gradiensű szinkrotron 28 GeV-es protonnyalábjának teljesítményét 1 MW-ra kívánják növelni. A berendezéssel 0–6 GeV energiatarományban lévő neutrínókat lehetne előállítani, amiket a 2540 km-re lévő Homstake (Dél Dakota) bányában kívánnak regisztrálni 500 kilotonnás víz Cserenkov-detektorral. A $\nu_\mu \rightarrow \nu_{e,\mu}$ vizsgálatok tervezett mérésiideje ~5-5 év neutrínókra és antineutrínókra. A berendezéssel például CP-sértő hatást lehetne tanulmányozni kisebb neutrínóenergiáknál.

CERN SPL. A CERN-ben tervbe vették egy szupravezető proton lineáris gyorsító (superconducting proton linac, SPL) építését, ami >2,2 GeV-re gyorsítana proto-

nokat 4 MW teljesítménnyel. A fejlesztés célja a CERN nagyenergiájú gyorsítóinál (protonszinkrotron, szuper protonszinkrotron, nagy hadronütköztető) a paraméterek javítása, valamint az eddigieknél kedvezőbb körülmények között radioaktív ionnyalábok és neutrínók előállítása. A berendezéssel hagyományos módon intenzív müon-neutrínó és müon-antineutrínó nyalábokat lehetne előállítani. A neutrínókat ~400 kt tömegű víz Cserenkov-detektorral tervezik detektálni 130 km-re a CERN-től a Fréjus Modane-laboratóriumban. Az elérhető müon-neutrínó-fluxus $\sim 3,6 \cdot 10^{11} \text{ év}^{-1} \text{ m}^{-2}$ lenne. Az újabb fejlemények azt mutatják, hogy ha az SPL protonok energiáját 3,5 GeV-re lehetne növelni, több másodlagos π/K mezont nyernének és ezek fókuszálásán is lehetne még javítani. Így összességében a neutrínófluxust ~3-szorosára lehetne növelni a 2,2 GeV-es konfigurációhoz képest. A mérésidő ~2 év lenne neutrínókra és nyolc év antineutrínókra.



8. ábra. β -nyaláb neutrínók előállítása, CERN-i tanulmányterv. Radioaktív β -bomló ionok gyorsítása (például ${}^6\text{He}$ és ${}^{18}\text{Ne}$), majd tárolása tárológyűrűben. A 0,2–5 GeV átlagenergiájú neutrínókat például 400 kilotonnás detektorral lehetne detektálni $L = 130\text{--}3000$ km távolságban. (Lindroos, Mezzetto [11] alapján.)

CERN-SPS: $\gamma_{\text{He}} = 150$, $\gamma_{\text{Ne}} = 250$

Felújított SPS: $\gamma_{\text{He}} = 350$, $\gamma_{\text{Ne}} = 580$

CERN-LHC: $\gamma_{\text{He}} \sim 2500$, $\gamma_{\text{Ne}} \sim 4000$

β -nyaláb

Neutrínónyalábok előállítására egyik lehetőség radioaktív β - (és neutrínó-) bomlást mutató atommagok gyorsítása, majd tárolása tárológyűrűben (8. ábra). Így tiszta ν_e vagy $\bar{\nu}_e$ nyalábok nyerhetők, amelyek energiaspektruma ismert és kollimáltságuk is kitűnő. A berendezéssel $\nu_e \rightarrow \nu_e$ eltűnési és $\nu_e \rightarrow \nu_\mu$, $\nu_e \rightarrow \nu_\tau$ megjelenési neutrínó-izváltozásokat lehetne vizsgálni, valamint hasonlókat elektron-antineutrínókkal.

A kísérlet legfontosabb sajátosságait főleg három tényező befolyásolja.

- A gyorsított ion típusa és a β -bomlás energiája (E_0).

- A relativisztikus teljes energia per nyugalmi energia, a Lorentz-faktor (γ).

- A neutrínók repülési távolsága (L).

A gyorsított izotópnak elég hosszú ideig kell élnie, hogy a gyorsító fázisban le ne bomoljon, ugyanakkor – nagy neutrínófluxus elérése érdekében – ne legyen túl nagy az élettartama sem. Másodperc rendű élettartamok ésszerű kompromisszumnak látszanak. Több izotóp vizsgálata is számításba jöhet:

$\bar{\nu}_e$ előállítására ${}^6\text{He}$ ($E_0 = 3,50 \text{ MeV}$, $T_{1/2} = 0,807 \text{ s}$)

${}^8\text{Li}$ ($E_0 = 12,5 \text{ MeV}$, $T_{1/2} = 0,840 \text{ s}$)

ν_e előállítására ${}^{18}\text{Ne}$ ($E_0 = 3,42 \text{ MeV}$, $T_{1/2} = 1,67 \text{ s}$)

${}^8\text{B}$ ($E_0 = 14,1 \text{ MeV}$, $T_{1/2} = 0,770 \text{ s}$)

Ugyanolyan γ/L értéknél a neutrínónyalábok 3–4-szer nagyobb energiájúak Li/B ionoknál, mint He/Ne esetén. A részletes analízis azt mutatja, hogy kívánatos minél nagyobb γ -faktor elérése. Aszerint, hogy a berendezést hol valósítják meg, a következő γ -értékeket lehetne elérni a jelenleg létező infrastruktúrákkal:

A neutrínók detektálására föld alatti laboratórium kívánatos a kozmikus sugárzás által keltett háttér csökkentésére.

Ha a β -nyaláb berendezést a CERN-ben hoznák létre és a ${}^6\text{He}$ és ${}^{18}\text{Ne}$ neutrínókat Fréjusban detektálnák ($L = 130 \text{ km}$) 440 kilotonnás víz Cserenkov-detektorral, $\gamma = 100$ értéknél a szükséges mérésidő ~5 év lenne.

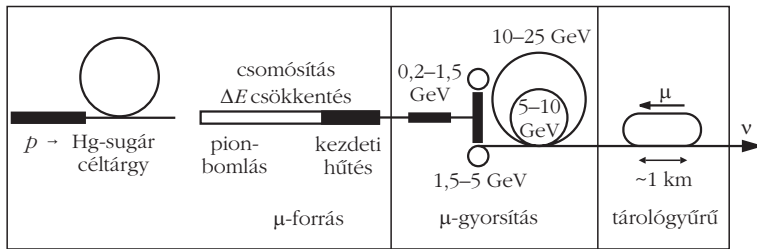
Az évenkénti töltött áramú események száma kilotonnás detektorban [$N(\bar{\nu}_e)$ és $N(\nu_e)$], valamint az átlagos neutrínóenergiák $\langle E_\nu \rangle$ a következőképpen alakulnak különböző ionokra, γ és L értékekre (oszilláció nélküli esetre):

Ion	He/Ne	He/Ne	Li/B
γ	100	350	100
L (km)	130	700	700
$N(\bar{\nu}_e)$	28,9	62,0	5,0
$N(\nu_e)$	32,8	55	4,9
$\langle E_\nu \rangle$ (GeV)	0,39/0,37	1,35/1,3	1,3/1,4

A β -bomló izotópok gyorsításával elérhető neutrínónyalábok lehetőségeit részletesen vizsgálja Lindroos, Mezzetto [11] könyve, valamint Bandyopadhyay és mts. [9] és Gonzalez-Garcia, Maltoni [1] összefoglaló munkái.

Neutrínógyár

A neutrínógyár működési elve a következő (9. ábra). Egy nagy intenzitású $5 < E_p < 10 \text{ GeV}$ energiájú protonnyaláb nagy rendszámú céltárgyra (például Hg-sugár) ejtenek, ami nagyszámú piont kelt. A töltött pionokat kiválasztják a reakciótermékekből és fókuszálják.



9. ábra. Egy 10–25 GeV-es müonok gyorsítására alapozott neutrínógyár vázlatos képe. (Geer [12] alapján.)

A töltött pionok közepes élettartama $2,60 \cdot 10^{-8}$ s, amelyek $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$, illetve $\pi^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu$ bomlással bomlanak közel 100%-ban. A töltött müonok közepes élettartama $2,197 \cdot 10^{-6}$ s. Ez elegendően hosszú idő arra, hogy a müonokat néhányszor 10 GeV energiára lehessen gyorsítani. A gyorsított müonokat olyan tárológyűrűbe vezetik, amelyben a távoli detektor irányába mutató hosszszű egyenes szakasz van. A müonok $\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu$, illetve $\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$ bomlással bomlanak, így például a μ^+ nyalázból 50%-ban ν_e , 50%-ban $\bar{\nu}_\mu$ neutrínók lépnek ki. A neutrínók energiaspektruma és fluxusa jól ismert. A neutrínógyár segítségével a következő oszcillációs folyamatok tanulmányozhatók:

$\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu$	$\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$	
$\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_\mu$	$\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$	
$\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$	$\nu_\mu \rightarrow \nu_e$	perspektivikus
$\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_\tau$	$\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$	atm. oszc.
$\nu_e \rightarrow \nu_e$	$\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e$	
$\nu_e \rightarrow \nu_\mu$	$\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_\mu$	arany csatorna
$\nu_e \rightarrow \nu_\tau$	$\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_\tau$	ezüst csatorna

Ha nincs oszcilláció a ν_e töltött áramú kölcsönhatása e^- -t, míg a $\bar{\nu}_\mu$ töltött áramú kölcsönhatása μ^+ -ot hoz létre a detektorban, azaz az *előállt lepton töltése nyomon követi a kezdeti neutrínó vagy antineutrínó ívét*. Ha $\nu_e \rightarrow \nu_\mu$ oszcilláció van, a ν_μ töltött áramú kölcsönhatása negatív müonokat kelt (azaz ellenkező előjelű müonokat). *Ez nagyon tiszta kísérleti jelet ad az oszcillációra*, ha szegmentált mágnesezett vas szcintillátor kalorimétert alkalmaznak a detektálásra, ami érzékeny az előállt lepton töltésére.

A neutrínógyárral elérhető neutrínódetektálási hozamokra a 2. táblázat ad információt, a tárolt müonok energiája (E_μ), valamint a neutrínók repülési távolsága (L) függvényében, 50 kilotonnás detektorra vonatkozóan. Különösen figyelemre méltó, hogy még 7300 km forrás-detektor távnál is a várható események száma elegendő ahhoz, hogy a neutrínók ízváltozási valószínűségét nagy érzékenységgel lehessen mérni.

A protonnyaláb és céltárgy megválasztásánál a következő szempontokat célszerű érvényesíteni (Geer [12]):

– A proton energiáját célszerű $5 < E_p < 10$ GeV között megválasztani, hogy a töltött pionok hozama

maximális legyen rögzített nyalábteljesítménynél.

– A csomósított protonnyaláb hossza < 3 ns legyen, ami a további gyorsítási fokozatok miatt szükséges.

– A szükséges nyalábteljesítmény 4 MW, ami remélhetőleg elérhető.

– Céltárgynak célszerű folyékony Hg-nyalábot használni. Egy 20 T-s szolenoiddal radiálisan össze lehet nyomni minden céltárgyból kilépő töltött piont.

Bandyopadhyay és mts. [9] (International Scoping Study, ISS) összehasonlító analízist végeztek különböző másodgenerációs neutrínóberendezések képességeire vonatkozóan. Elsősorban a θ_{13} keveredési szög, a neutrínó tömeghierarchia és a δ_{CP} neutrínókeveredési fázis meghatározására koncentráltak. Az összehasonlításokat konzervatív és optimalizált paraméterek mellett végezték, amelyek a következők:

konzervatív paraméterek

- 50 GeV-es tárolt müonnyaláb
- 10^{21} hasznos müonbomlás évenként
- a kísérleti idő 4 év pozitív töltésű müonokra és 4 év negatív töltésűekre
- a detektor 50 kilotonnás szegmentált vas szcintillátor kaloriméter, MINOS típusú
- a neutrínó repülési hossza 4000 km

optimalizált paraméterek

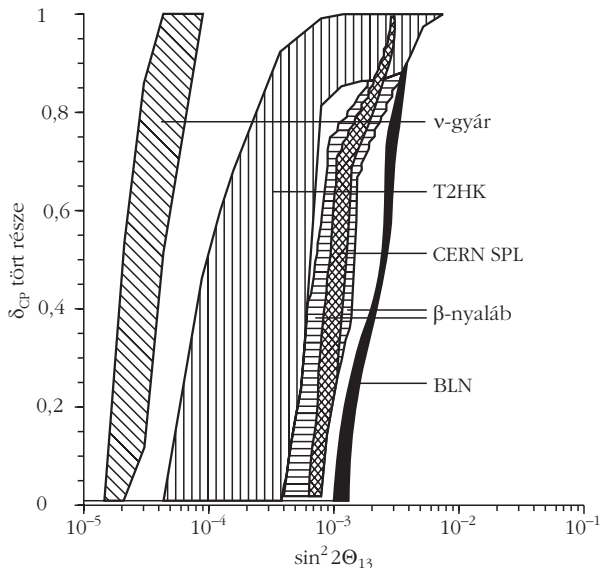
- 20 GeV-es tárolt müonnyaláb
- 10^{21} hasznos müonbomlás évenként
- a kísérlet ideje 5 év a pozitív töltésű és 5 év a negatív töltésű müonokra
- a detektor: 50 kilotonnás, MINOS típusú, de továbbfejlesztett
- A neutrínók repülési hossza 4000 és 7500 km

A $\sin^2 2\theta_{13}$ -ra vonatkozó felfedezési esélyek a különböző másodgenerációs neutrínóberendezésekre a 10. ábrán láthatók. Összehasonlításképp: a jelenlegi kísérleti határ a $\sin^2 2\theta_{13}$ -ra 10^{-1} , míg a reaktor és hagyományos nyaláb kísérletekből 10^{-2} várható. A szupernyalábbokkal $\sim 10^{-3}$, a neutrínógyárral 10^{-5} rendű kísérleti határ lesz elérhető.

Bandyopadhyay és mts. [9] közleményében az 10. ábrához hasonló ábrák láthatók a neutrínótömeghierarchia és a δ CP-megmaradást sértő fázis felfede-

A ν_μ neutrínók töltött áramú kölcsönhatásainak évenként várható száma 50 kilotonnás detektornál, a tárolt müonok energiájának (E_μ) és a neutrínók repülési távolságának (L) függvényében			
E_μ (GeV)	L (km)		
	732	2900	7300
10	$1,4 \cdot 10^5$	$9,0 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^3$
20	$1,2 \cdot 10^6$	$7,4 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^4$
30	$1,8 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^5$

Geer [12] alapján.



10. ábra. Érzékenységek a $\sin^2 2\theta_{13}$ meghatározására különböző második generációs szupernyaláb, β -nyaláb és neutrínógyár berendezéseknél. Az abszcissza a $\sin^2 2\theta_{13}$ -at mutatja, az ordináta az összes lehetséges δ -érték tört részét, amire felfedezés várható 3σ szinten. A sávok jobb szélső határa a konzervatív, a bal szélső az optimalizált paraméterek mellett érhető el (lásd a szövegben). A legjobb meghatározási esélye nyilvánvalóan a neutrínógyárnak van (az optimalizált paraméterek mellett az érzékenységi határ $\sim 1,5 \cdot 10^{-5}$ is lehet), de a T2HK berendezés és több más is reményteljes. (Bandyopadhyay és mts. [9] alapján.)

zési lehetőségeire vonatkozóan is. Összefoglalóan az várható, hogy legjobb esélye mindhárom mennyiség meghatározására a neutrínógyárnak van. Második helyen a T2HK kísérlet áll (a θ_{13} és tömeghierarchia meghatározására), valamint a β -nyaláb (a CP-sértő fázisnál). Annak lehetőségét, hogy a CP-megmaradás sérülését észleljék – a lepton szektorban Majorana-fázisokon keresztül – sokan vizsgálták és reményteljesnek tartják (lásd [9]-ben).

Megjegyzendő, hogy hamis következtetések elkerülése érdekében sokféle információt kell begyűjteni a neutrínógyár-kísérleteknél. Célszerű a méréseket mind pozitív töltésű, mind negatív töltésű müonokkal elvégezni, és mérni kell a hozamokat és neutrínó-energiaspektrumokat is, lehetőleg minél több eltűnési és megjelenési neutrínóoszillációra vonatkozóan (összesen 12-féle lehet).

A neutrínógyár létesítése mellett szól továbbá az is, hogy a müon-tárológyűrű egyúttal lehetőséget ad sokféle müonfizikai mérés elvégzésére. Az új (kisenergiájú) müonforrás intenzitása 3-4 nagyságrenddel nagyobb lenne, mint a jelenleg elérhetőké. Ez lehetőséget adna nagyon ritka, a müoncsaládszám megmaradását sértő folyamatok vizsgálatára (például $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$, $\mu^+ \rightarrow e^+ e^- e^+$), valamint a müon esetleges elektromos dipólnyomaté-

kának mérésére. A neutrínóoszilláció felfedezése óta valószínű, hogy a leptoncsaládszám megmaradása sérül. A jelenlegi kísérleti felső határ a $\mu \rightarrow e \gamma$ folyamatra 10^{-11} rendű. A leptoncsaládszám megmaradásának sérülése töltött lepton folyamatokban annak függvénye, hogy a neutrínótömeget milyen folyamat generálja. A leptoncsaládszám sérülése nagy lehet, ha új részecskék vagy kölcsönhatások léteznek a $\geq \text{TeV}$ -es tartományban. Így e vizsgálatok a neutrínótömeg eredetére is fontos információt szolgáltathatnak.

A neutrínófizikai vizsgálatokat a háttérsugárzás csökkentése érdekében célszerű föld alatti laboratóriumokban végezni. A mélyen föld alatti laboratóriumokról, bennük a neutrínófizikai és kettős β -bomlási vizsgálatokról *Spooner* [13] közölt összefoglalót.

Összefoglalás

A neutrínófizika az 1930-as évektől kezdve hatalmas fejlődésen ment keresztül. Egyik legutóbbi, áttörő felfedezése a neutrínóoszilláció volt, ami az első kísérleti alapon nyugvó bizonyítéka a Standard modelen túlmutató fizikának. A jelenleg folyó első generációs szupernyaláb- és reaktor-neutrínós kísérletek, továbbá a neutrínógyár-tervek reális lehetőséget nyújtanak a neutrínókeveredés még gyakorlatilag ismeretlen paramétereinek (θ_{13} , δ_{CP} , ...) meghatározására. Ez elősegítheti a leptogenezis megértését és hozzájárulhat egészen alapvető fontosságú rejtélyek megfejtéséhez; például hogy az ismert Világegyetemünk miért lényegében csak anyagból (és nem antianyagból) áll, vagy hogy miért olyan kicsi a neutrínók tömege a töltött leptonok tömegéhez képest [2].

Irodalom

1. M. C. Gonzalez-Garcia, M. Maltoni: Phenomenology with massive neutrinos. *Phys. Rep.* 460 (2008) 1.
2. R. N. Mohapatra et al.: Theory of neutrinos: a white paper. *Rep. Prog. Phys.* 70 (2007) 1757.
3. Particle Data Group, *Review of particle physics*, *Phys. Lett.* 667 (2008) 1.
4. Particle Data Group, *Review of particle physics*, *J. Phys. G* 37 (2010) 075 021.
5. T. Fényes: *Részecskék és kölcsönhatásaik*. 2. korszerűsített kiadás, Debreceni Egyetemi Kiadó, 2012. Közlés alatt.
6. T. Araki et al., *Phys. Rev. Lett.* 94 (2005) 081 801.
7. J. Lesgourgues, S. Pastor, *Phys. Rep.* 429 (2006) 307.
8. K. Elsener, Ch. Sutton, *CERN Courier* (2004/October) 27.
9. A. Bandyopadhyay et al.: Physics at a future neutrino factory and super-beam facility. *Rep. Prog. Phys.* 72 (2009) 106 201.
10. D. Wark: The T2K experiment. *Nucl. Phys. News* 19/4 (2009) 26.
11. M. Lindroos, M. Mezzetto: *Beta beams: neutrino beams*. Imperial College Press; *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* 60 (2010) 299.
12. S. Geer: Muon colliders and neutrino factories. *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* 59 (2009) 347.
13. N. Spooner, *Nucl. Phys. News* 18/4 (2008) 13.

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 őrünk meg és nem küldünk vissza. A szerzőknek tiszteletpéldányt küldünk.

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

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

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

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

A sérült Fukusima-1 atomerőmű jelenlegi helyzete

2011 decemberére sikerült mind a négy sérült reaktor esetében elérni a hideg leállított állapotot, ami azt jelenti, hogy az üzemanyag hőmérsékletét a zártkörös hűtőrendszerekkel stabilan 100 °C alatt tudják tartani. A pihentető medencéknek független hűtőköröket építettek ki. Megkezdődött a jelentős mennyiségű radioaktív víz megtisztítása, a szennyezett hulladékvizek átmeneti tárolására nagy térfogatú tárolót alakítottak ki. Rengeteg épületdarabot, törmeléklet takarítottak össze az erőmű udvarán és az épületeken belül is, elsősorban távműködtetésű munkagépek segítségével. Helyreállították a létfontosságú rendszerek áramellátását. A blokki épületeket robotok, illetve a műszaki személyzet segítségével bejárták. Ugyanakkor a hermetikus védőépület első védvonalát, a primer konténment bejáratait még nem nyitották meg, erre még hosszú ideig várni kell. Az 1. blokk sérült épülete fölé ideiglenes védőépületet készítettek. Az intézkedések hosszú távú célja a reaktorok és a pihentető medencék tartós hűtése, a reaktorok további degradációjának megelőzése.

A TEPCO (Tokyo Electric Power Company) 2011. december elején tette közzé a reaktorok aktív zónájának állapotára vonatkozó legfrissebb elemzéseit, becsléseit [1]. Az elemzések feltárnak néhány, eddig ismeretlen részletet a zónasérüléshez vezető folyamatokról, másrésztől igen fontosak az elhárítás megtervezése szempontjából.

A három érintett reaktorzóna közül az 1. blokki zóna volt a leghosszabb ideig és a legkedvezőtlenebb időszakban (közvetlenül a reaktorfizikai leállítás után, magas remanens hőteljesítmény mellett) hűtés nélkül. A japán kormány által felállított vizsgálóbizottság jelentése [2] szerint az erőmű vezetése tévesen úgy ítélte meg, hogy a feszültségkiesés esetén a hőelvonás megvalósítására beépített izolációs kondenzátor rendszer (IC, isolation condenser) rendszerben működik, kapcsolási hibák miatt azonban valójában a rendszer szelepei bezártak, így nem tör-

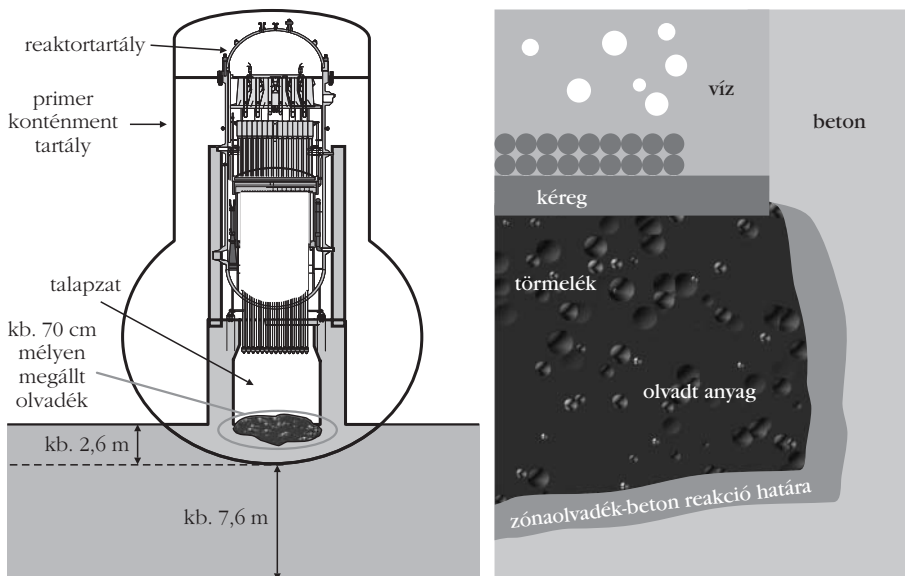
tént hőelvonás a zónából. A [2] jelentés szerint a blokki operátorok és a balesetkezelési központ közötti kommunikációs problémák miatt későn észlelték, hogy a rendszer nem működik megfelelően, így a hőelvonás a baleset kezdeti időszakában több mint egy napig nem valósulhatott meg. Később ciszternák-ból tűzoltó-szivattyúkkal sikerült vizet fecskendezni a reaktorba, az összes hőelvitel azonban lényegesen kisebb maradt, mint az adott időszakban (a tengervíz, stabilabb hűtés beindításáig) felszabaduló remanens hő mennyisége. Ennek alapján a TEPCO értékelése szerint az üzemanyag nagymértékű megolvadása és a reaktortartály átolvadása az 1. blokkon elkerülhetetlen volt.

A hermetikus védőépület első védvonalát jelentő primer konténment tartályok állapotának értékelését a konténmentből vett gázminták elemzése és a konténment zsompokból (folyadékgyűjtőhelyekből) elszívott hűtőközeg dózismérése alapján becsülték, míg az üzemanyag hűthetőségét a rendelkezésre álló hőmérsékletmérések alapján értékelték.

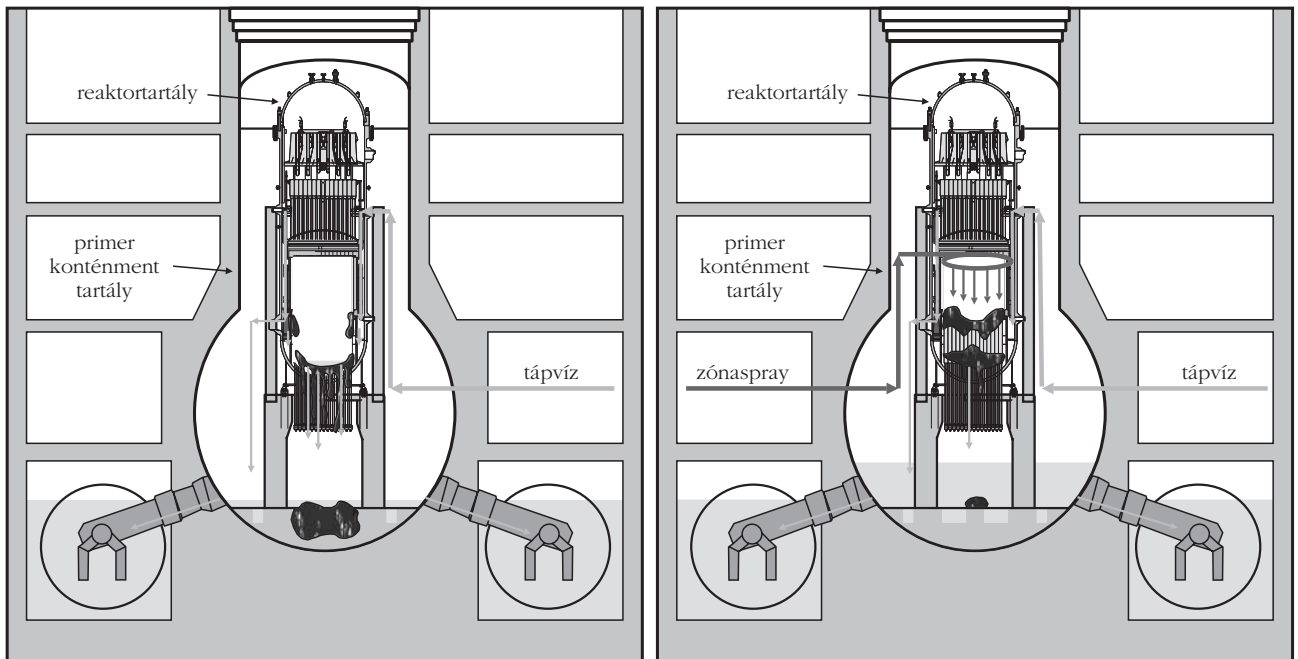
Ezek alapján elmondható, hogy az üzemanyag hűtése jelenleg biztosított, mind a reaktortartályban maradt, mind az onnan kijutott olvadéokra vonatkozóan.

Az 1. blokk aktív zónájában jelenlegi ismereteink szerint az üzemanyag szinte teljes mértékben megolvadt, és valószínű, hogy a reaktortartályt átolvasztva a primer konténment tartály aljában található betonalapzatba hatolt, a számítások szerint körülbelül 70 cm mélyen (1. ábra). A konténment tartályon belül ezen betonaljzat vastagsága 2,6 méter, ez alatt pedig a beton konténment épület 7,6 m vastag beton alaple-

1. ábra. Az olvadék valószínű helyzete az 1. blokki konténment tartályon belül (balra), illetve a zónaolvadék-beton reakció (jobbra) [1].



Jelen cikk a *Fizikai Szemle* 2012/1 számában megjelent, azonos című írás második része. A cikk a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 támogatásával jött létre.



2. ábra. Az 1. blokk (balra), illetve a 2. és 3. blokkok (jobbra) üzemanyagának valószínű állapota és a jelenlegi hűtési útvonalak [1].

meze található, így – egyes sajtóhírekkel ellentétben – az olvadék talajba történő kijutásával reálisan nem kell számolni.

A zónaolvadék és a beton közötti (tudományosan jól ismert és leírt [3]) reakció a hűtés következtében nagy valószínűséggel megállt, amit a gázmintaelemzések adatai támasztanak alá. A zónaolvadék pontos alakja és elhelyezkedése nem ismert, feltehetően az olvadék nagy része a reaktortartályt alulról megtámasztó betonszerkezeten belül található, míg egy része a támasztószerkezet nyílásain keresztül kifolyhatott. Az olvadék pontos geometriája annak hűthetősége miatt fontos, kellően vastag olvadékréteg mellett ugyanis a zónaolvadék-beton reakció további folytatódását nem lehet kizárni. (Az 1. ábrán látható, hogy a zónaolvadék és a hűtőközeg határán vastag kéreg képződik, az ez alatti olvadék hűtése nem feltétlenül biztosított.)

A 2. és 3. blokkon szintén volt olyan időszak, amikor nem tudtak vizet juttatni a reaktorok aktív zónájába, ez azonban jóval rövidebb ideig tartott, mint az 1. blokknál. A TEPCO becslése szerint a 2. és 3. blokkokon az összes hőelvétel nagyobb maradt a keletkező remanens hőnél, így ezen két reaktor esetében – noha az üzemanyag sérülése, illetve olvadása feltételezhető – a reaktortartály jelentős sérülése nem valószínű. Ezen a két blokkon az üzemanyag nagy része feltehetően a reaktortartályon belül maradt (2. ábra).

A komplikált körülmények miatt – minden bizonynyal – még hosszabb időre lesz szüksége a japán szakembereknek ahhoz, hogy a zónasérülések mértékét és a sérült üzemanyag helyzetét pontosan felmérjék. Az üzemanyag eltávolításának technológiai lépéseit is csak ezen ismeretek birtokában lehet majd megtervezni. Minden bizonynyal sok évnyi munka van a japán szakemberek előtt, mire hozzá tudnak kezdeni a sérült és

megolvadt üzemanyag reaktorból történő eltávolításához. 2012. január közepén a japán szakemberek a 2. blokki hermetikus védőépület szárazaknájának (primer konténment tartály) egyik fali átvezetésén keresztül egy endoszkópot vezettek be, amellyel be tudtak nézni ebbe a térbe. A vizsgálatokat továbbiak fogják követni, amelyek segítségével majd pontosabb képet kaphatunk a hermetikus téren belüli valós helyzetről.

Az atomerőmű-baleset okai

Ahogy a cikk első részében is írtuk, a fukusimai események kiváltó oka a méretezési alapon feltételezettnél jóval nagyobb cunami volt. A méretezési cunami konzervatívabb megválasztásával, illetve a 2008-as új cunami elemzések alapján az erőmű megerősítésével a következményeket jelentősen lehetett volna csökkenteni. A dízelgenerátorokat térben egymástól elválasztva, egyes dízelgépeket magas ponton elhelyezve és léghűtéssel (nem tengervízhűtéssel) ellátva a biztonsági áramellátás a cunami utáni nehéz helyzetben is biztosítható lett volna (mint ahogy az a Fukushima-2 telephelyen lévő, illetve az Onagawa atomerőműben lévő blokkok esetében meg is valósult, ahol a reaktorzónák sérülését sikeresen elkerülték).

A hidrogénkezelés hibás koncepcióján alapult. Megfelelő számú autokatalitikus rekombinátorral a hidrogénrobbanások elkerülhetőek lettek volna. A robbanások elkerülésével a környezeti kibocsátások sok nagyságrenddel kisebbek lettek volna, valamint az atomerőmű balesete kisebb médiafigyelmet kapott volna, és így kisebb politikai turbulenciákat váltott volna ki. Nagy valószínűséggel a német energiapolitikai döntések is másként alakultak volna, ha a fukusimai hidrogénrobbanásokra nem kerül sor.

A rekord erősségű földrengés, annak utóregnései és a 20 000 ember életét követelő, nagy infrastruktúrális károkat okozó cunami önmagában is nagy kihívás elé állította a japán államgépezetet. Erre rakódott rá a nukleáris veszélyhelyzet kezelésének feladata, amelyet az események kezdetén az erőművet üzemeltető TEPCO, a kormány és a hatóságok nem tudtak jól menedzselni. A japán rendszer sajátosságai miatt a kormánynak (kormányfőnek, kormányzóvivőnek) gyakran olyan kérdésekben kellett megnyilatkoznia, amit jobb lett volna az üzemeltetőre bízni. Furcsa közjátékok rendre adódtak, amikor például a kormány arra utasította az üzemeltetőt, hogy hűtse a reaktorokat, miközben ez nyilvánvaló műszaki evidencia. A japán hatósági rendszer felülvizsgálata máris megkezdődött, hiszen Japánon belülről is számos komoly kritika éri a rendszerüket. Nem helyes megoldás, hogy hosszú ideig a japán nukleáris biztonsági hatóság a villamosenergia-ellátásért felelős minisztérium alá tartozott, így a hatóság függetlensége nem valósult meg. Ráadásul gyakorlat volt az elmúlt évtizedekben, hogy az ipar és a hatóságok között felelős vezetők vándoroltak oda és vissza, ami elvben lehetőséget teremtett összeférhetetlen helyzetek kialakulásához.

Az utóbbi időben egyébként Magyarországon is lehet hallani olyan politikai érveket, hogy a nukleáris biztonságért felelős hatósági feladatokat ellátó Országos Atomenergia Hivatalt be kellene építeni az energiaellátásért felelős hivatalba vagy éppen a katasztrófavédelmi szervezetbe. Ez éppen a hatáskörök és a felelőségek szükségszerű szétválasztása miatt óriási hiba lenne, és a nukleáris biztonság csökkenéséhez vezetne. A fukusimai baleset egyik fő tanulsága és következménye világszerte pont a nemzeti nukleáris hatóságok függetlenségének és jogköreinek megerősítése. Hazánkban az Országos Atomenergia Hivatal függetlensége jelenleg biztosított.

A japán kormány által felállított vizsgálóbizottság előzetes jelentése [2] szerint a japán hatóságok közötti kommunikáció többször megszakadt a kritikus időszakban. A kabinet nukleáris válsághelyzeti irányítószerve a kormány épületének 5. emeletén működött, míg a földrengések és katasztrófavédelmi helyzetek kezeléséért felelős tanács ugyanezen épület pincéjében funkcionált. A közeli elhelyezkedés ellenére számos információ csak késlekedés után jutott fel a kormány szintjére. Több sajtóközlemény elakadt és csak késve került kiadásra.

A bizottság az erőművet üzemeltető TEPCO cég működését is több ponton erősen kritizálja. Az operátorok a jelentés szerint [2] hibás döntést is hoztak az 1. és a 3. reaktor hűtésével kapcsolatban, ami késleltette az alternatív hűtővízellátást, így nem hosszabbította meg a zónasérülésig hátralévő időt. A TEPCO cégnek volt egy balesetkezelési válságközpontja körülbelül 5 km-re az atomerőműtől, ez azonban nem működött több okból sem, nem tudta ellátni feladatát: a természeti csapás lerombolta a külső kommunikációs kapcsolatait; nehézségekbe ütközött az odautazás, valamint az élelemmel és ivóvízzel való ellátás; a

balesetkezelési központ szellőzőrendszere nem volt felszerelve radioaktív anyagok kiszűrésére alkalmas szűrőkkel. Ezt 2009-ben ugyan kifogásolta a nukleáris biztonsági hatóság, de konkrét intézkedésre, határidővel nem kötelezte az üzemeltetőt. A jelentés szerint a TEPCO-n belüli információáramlás hiányosságai miatt több hibás döntés is született.

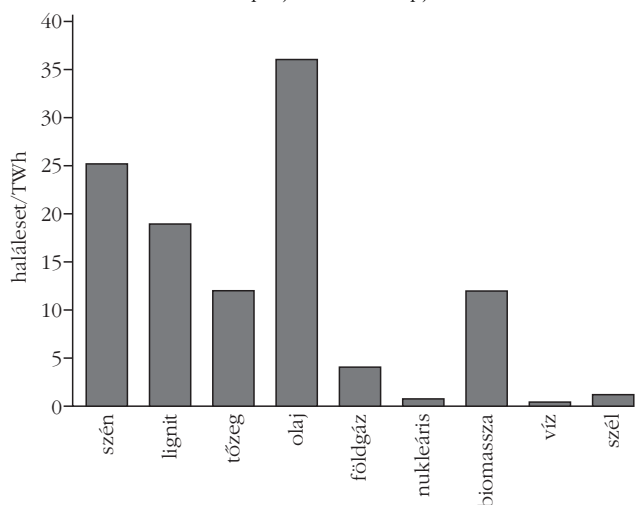
A japán országos sugárzásmérő rendszer egyes állomásait elmosta a cunami, így a sérült atomerőmű közvetlen közeléről nem voltak mérési adatok a rendszerben, de a távolabbi állomások és a rendszer maga üzemben maradt. Miután az üzemeltető TEPCO helyi balesetkezelési központja működésképtelenné vált, a sugárzási adatokat a nukleáris biztonsági hatóságnak vagy a kormány balesetelhárítási központjának kellett volna továbbadnia a helyi hatóságok részére. Ezt egyetlen kormányszerv sem tette meg, így a lakosság védelmével, kitelepítésével kapcsolatos döntéseket a helyi előljáróknak lokális információk alapján kellett meghozniuk, központi segítség nélkül.

A fent felsoroltakon kívül minden bizonnyal még számos további hiba is történt a cunami által elindított események kezelése során, ugyanakkor a lakosság kimenekítése jó időben megtörtént, számottevő lakossági dózisterhelésről nem tudunk. A mostoha körülmények ellenére az érintett reaktorok és pihentető medencék aktivitáskészletének mindössze 0,01%-a került ki a környezetbe, ami azt mutatja, hogy a mérnöki gátak bent tartották a radioaktivitás zömét.

Objektív kockázat, szubjektív félelem

Öveges József professzor *Sugárözönben élünk* könyvcímét transzformálva mondhatnánk, hogy kockázatözönben élünk. Az élő szervezetek folyamatosan különböző kockázatoknak vannak kitéve, amelyek veszélyeztetik egészségüket vagy éppen életüket. A kockázat a matematikai definíció szerint egy adott esemény bekövetkezésének valószínűsége (gyakori-

3. ábra. Az egyes villamosenergia-termelési módok átlagos egészség-károsító hatása (TWh megtermelt villamos energiára jutó halálesetek száma) az ExternE projekt adatai alapján [4].



A társadalmi elutasítás néhány szempontja [6]

Szempont	Elutasítás	Elfogadás
Katasztrófális következmények lehetősége	Térben és időben koncentrált	Térben és időben elszórt
Személyes irányítás szintje	Az egyéntől független személy vagy szervezet által irányított	Az egyén által irányított
Félelem szintje	Nagy félelem övezi	A társadalom közönyös
Önkéntesség a részvételben	Nem önkéntes	Önkéntes
Gyerekekre gyakorolt hatások	Valószínűleg jobban érint gyerekeket	Kevésbé valószínű, hogy gyerekeket érint
Médiafigyelem	Magas	Ritkán említve
Eredet	Mesterséges	Természetes
Intézményi bizalom	Bizalmatlanság övezi	A bizalom fennáll
Balesetek története	Jól ismert balesetek a múltban	Nincsenek (ismert) balesetek
Áldozatok személyazonossága	Közeli hozzátartozók	Statisztikai áldozatok
Előnyök térbeli, időbeli vagy társadalmi eloszlása	Az előnyök és a kockázatok eloszlása nem azonos	A kockázatok és az előnyök körülbelül azonos eloszlásúak

sen szétválk a társadalom, valamint az egyének szubjektív félelemérzetétől.

A nukleáris ipar nincs egyedül ezzel a problémával: a repülést hasonló, eltúlzott szubjektív félelem övezi. Amerikai közlekedési baleseti adatokat elemezve megállapítottuk [5], hogy a közutakon átlagosan 94 millió utas-kilométerenként van közúti baleset miatt 1 halálos áldozat, míg a légi közlekedés baleseteinek kockázata 1 haláleset 3,2 milliárd utas-kilométerenként. Tehát a valós adatok alapján 33-szor kisebb a repülés kockázata, mint a közúti közlekedésé.

Az objektív kockázattól elváló szubjektív félelemérzet legfőbb motívumait az 1. táblázatban foglaltuk össze *Lundgren* és *McMakin* [6] munkája alapján. A táblázatból kitűnik, hogy a társadalom sokkal in-

sága) és az esemény súlyosságának, lehetséges kedvezőtlen következményének szorzata.

Több különböző felmérés készült már arra, hogy az egyes energiahordozók bázisán megtermelt villamos energia előállításuk mekkora kockázattal, mennyi halálos áldozattal jár, figyelembe véve az adott technológia teljes folyamatát (a bányászattól az erőműveken át a hulladékkezelésig). A 3. ábrán látható, hogy az olaj és a szénfelhasználás okozza messze a legtöbb halálesetet, TWh-nként 35, illetve 25 halálesettel (1 TWh = 1 milliárd kWh). A nukleáris energiatermeléssel átlagosan kevesebb, mint 1 haláleset jár TWh-nként. Az adatokban természetesen Csernobil következményei is szerepelnek. Tehát a tapasztalatok alapján az atomenergia kockázatait objektíven értékelve megállapítható, hogy az emberek egészségére gyakorolt hatás szempontjából az jelentősen elmarad a fosszilis vagy éppen a biomassza alapú villamosenergia-termelés kockázataitól.

Az adatok birtokában nehezen érthető, hogy miért övezi mégis akkora félelem a nukleáris energiatermelést. Ha kicsi a kockázata, miért nem tudja mégsem a társadalom (vagy annak egy számottevő része) elfogadni ezt a technológiát? Szintén furcsa lehet, hogy a fukusimai balesetet okozó extrém cunami húszezer áldozata fölött miért siklott át a világsajtó néhány nap alatt, és miért lett hónapokra vezető hír, hogy mi történik a fukusimai atomerőműben, miközben a lakosság (és az elhárításon dolgozók) körében ennek nem volt halálos áldozata és az nem is várható, valamint a lakosság egészségkárosodásával sem kell számolni? Meg kell állapítanunk, hogy az objektív, számokban mérhető, statisztikai adatokon alapuló kockázat telje-

kább elutasít valamit, ha az mesterséges eredetű (lásd Fukushima), és jobban elfogadja (még a katasztrófális következményeket is), ha a jelenség természeti (lásd cunami). Ha egy katasztrófa következményei térben és időben koncentráltan jelentkeznek, az növeli az elutasítást, míg a térben és időben elszórt események áldozatait a társadalom jobban elfogadja. Az is egyértelmű, hogy ha valamit magas médiafigyelem övez, attól a társadalom jobban fél, mint azoktól az eseményektől, amelyekről a média ritkábban számol be, vagy kevésbé dramatizálva mutatja be az eseményeket. Ez a nagy, koncentrált katasztrófákat okozni képes emberi tevékenységek társadalmi elfogadását csökkenti, még akkor is, ha ezek a katasztrófák ritkák és korlátozott hatásúak. A fent említett közlekedési példák társadalmi megítélése is magyarázható ezen szempontok szerint: a repülőgép balesetek következményei térben és időben koncentráltan jelentkeznek, a személyes irányítás szintje alacsony és igen magas az ilyen esetek iránti médiafigyelem. Emiatt a légi közlekedéssel kapcsolatos szubjektív félelem nagyobb, mint a közúti balesetekkel kapcsolatos, amelynél sokkal diffúzabbak a következmények, kisebb a médiavisszhangja, valamint magunkénak hisszük az irányítást, az események feletti kontrollt.

Tovább növeli a társadalom elutasítását, ha a vizsgált tényező (esetünkben egy esetleges nukleáris baleset) azonnali hatásokkal járhat, ha a hatások gyermekeket is érinthetnek, ha a társadalom eleve bizalmatlan az üzemeltető céggel vagy az állami intézményekkel, hatóságokkal szemben, ha az okozott károsodás visszafordíthatatlan, vagy jelentős változást okozhat az életvitelben. Fontos szempont, hogy a túlságosan

pozitív hangvételű üzenetek is csökkentik a társadalom elfogadását, szemben az objektív hangvételű kommunikációval.

Lundgren és McMakin [6] nem említik, de mi úgy gondoljuk, hogy a mai fejlett világ társadalmi berendezkedése miatt a politikának kitüntetett szerepe van egyes események és technológiák társadalmi elfogadásában: a politikusok gyakori újraválasztása, a szereplési és népszerűség-szerzési kényszerük miatt a politikai szereplők gyakorta használják a média és az emberek figyelmének felkeltésére a szubjektív félelmet mint eszközt. Ha végiggondoljuk az *1. táblázat* szerinti szempontokat, számos – médiafigyelmet kiváltó politikai vagy zöld mozgalmár – akció motivációja jól nyomon követhető. Ezek az akciók önmagukban nem befolyásolják a valós társadalmi kockázatot, csak a szubjektív félelmet erősítik.

Az atomenergia jövője

Idén száz éve, 1912. április 15-én, első útján süllyed el az RMS Titanic, korának legnagyobb utasszállító gőzöse. A 2200 főnyi utas és személyzet közül 1507-en veszítették életüket. A nukleáris biztonság szemüvegén keresztül vizsgálva az eseményt elmondhatjuk, hogy a mélységi védelem több szintjén is hibáztak a hajó tulajdonosai. Rosszul választották meg a hajótest tervezési alapját, hiszen négy légrekesz megsérülésére készítették fel a hajót, a jégheggyel való ütközésben azonban hat rekesz károsodott (azaz a Titanic katasztrófája tervezési alapon túli baleset volt), és a kialakított mérnöki rendszerek sem voltak teljes körűen megtervezve. Hibáztak az üzemeltetés területén is: a hajóra küldött jéghegyriasztások személyzeti hiba miatt nem jutottak el a parancsnoki hídra.

A balesetelhárítási intézkedések során is sérült a mélységi védelem: a közelben levő Californian gőzös látta ugyan a Titanicrol fellőtt segélykérő rakétákat, azonban tűzijátéknak vélte azokat, rádiós szolgálattal való hiányában pedig megkérdezni sem tudta a Titanicot erről.

Az utasok kimentése a mélységi védelem szempontjából már a következmények csökkentéséhez, a kárnyújtásához kapcsolódik. Közismert, hogy nem volt elég mentőcsónak a hajón, ez azonban tökéletesen megfelelt az akkori – hibás – szabályozásnak: az előírások szerint ugyanis a mentőcsónakok kapacitását nem az utasok létszáma, hanem a hajó vízkiszorítása határozta meg. (Érdekes körülmény, hogy a hajó eredeti terveiben jóval több, az utasszámot meghaladó kapacitású mentőcsónak szerepelt, mivel azonban nem volt kötelező ennyit telepíteni, a költségcsökkentés jegyében megszüntették azokat.) A Titanic katasztrófájában mindazok megmenekültek, akik mentőcsónakba szállhattak. Azért volt olyan sok áldozat, mert a tervszerű balesetelhárítási intézkedés – a mentőcsónakban való elhelyezés – nem terjedhetett ki az utasok háromnegyedére. A vízbe került utasok a segítség megérkezésének idejére kihültek és életüket veszítették.

A Titanic balesetét követően nem követelték civil szervezetek a polgári hajózás azonnali beszüntetését és a gőzhajók törvényi betiltását, a hatóságok inkább az előírások és a szabályozás javítását, a biztonság növelését tűzték ki célul. Betiltották a tűzijátékok rendezését a hajókon, 24 órás rádiószolgálatot tettek kötelezővé. A mentőcsónakok kapacitását az utaslétszámhoz viszonyítva határozták meg, és szigorították a hajótestek méretezésén is. A Titanic két testvérhajóján, az Olympic és a Britannic gőzösökön módosításokat hajtottak végre. A Britannicon például megemelték a vízzáró falak magasságát; úgy készítették fel a hajót, hogy négy helyett hét rekesz sérüléséig a felszínen tudjon maradni; megduplázták a hajótest oldalát alkotó fémlemezeket összetartó szegecssek számát; több mentőcsónakot telepítettek. Ezek a biztonságnövelő intézkedések, valamint a tanulságok, amelyeket sok más vízi járműnél is felhasználtak, sokat segítettek a hajózás biztonságának növelésében. A Britannic az első világháborúban kórházhajóként szolgált, 1916-ban az Égei-tengeren aknára futott, majd 55 perc alatt elsüllyedt, a Titanic katasztrófáját követő módosítások miatt azonban a halálos áldozatok száma jóval alacsonyabb maradt: harmincan haltak meg, több mint 1000 fő megmenekült. A Titanic harmadik testvérhajója, az Olympic 1910-ben kezdte karrierjét, az I. világháborúban csapatszallító hajóként szolgált és túlélte három tengeralattjáró-támadást. A háború után újra népszerű luxus személyszállító hajó lett, 1935-ben szerelték le [7].

Habár a tengeri hajózás biztonsága sokat javult a Titanic tragédiája óta, a baleseteket nem lehet teljesen kizárni. Különösen fájdalmasak azonban azok az események, ahol vélhetően banális emberi hibák állnak a háttérben. Ebből a szempontból különösen negatívan ítélt meg a 2012 januárjában, Olaszország partjainál bekövetkezett óceánjáró-baleset. A Costa Concordia üdülőhajó – a mostani adatok szerint a kapitány hibás döntése eredményeként – túl közel merészkedett a partokhoz, sziklának ütközött, majd felborult. A kimenekítés során csaknem 4200 ember élve partra jutott, 17-en azonban életüket veszítették, 15-en pedig eltűntek. Az üzemeltetők és a hatóságok fő feladata az lehet, hogy tanuljanak ezekből a balesetekből, a vélhető hibákból, és olyan eszközöket, szabályokat, ellenőrzéseket alkalmazzanak, amelyek segítségével elkerülhetőek, illetve minimális gyakoriságúra csökkenthetőek a jövőben a hasonló események.

Visszatérve az energiapolitikára, jelen pillanatban nehezen becsülhető meg a fukusimai baleset hatása az atomenergetika jövőjére. Németország vezető politikusai (belpolitikai, választási szavazatszerzési okokból, az érdemi szakmai egyeztetéseket mellőzve) a baleset után szinte azonnal jelezték: 2022-ig végleg feladják a nukleáris erőművek alkalmazását, és nemrégiben hasonlóan döntött a svájci parlament is, itt 2034-ig tervezi az ország öt nukleáris termelőegységének bezárását, amelyek jelenleg a villamos energia 40%-át adják. Nem túlságosan meglepő, hogy Japán is az atomerőművek feladását tervezi, ennek lehetőségét egy újonnan felállított parlamenti bizottság vizsgálja.

Számos más ország (például Oroszország, Kína, Dél-Korea, India, USA, Csehország, Finnország) azonban kiállt a nukleáris erőművek további alkalmazása mellett, azzal érvelve, hogy az általuk okozott többletkockázat még mindig kisebb, mint az a kár, amelyet az atomenergia elhagyása okozhat. Reálisan tekintve jelenleg nem képzelhető el az atomerőművek kiváltása pusztán megújuló energiaforrásokkal, ezért az atomenergiáról lemondó országok újra nagyobb arányú fosszilis felhasználást, és ezzel növekvő széndioxid- és más károsanyag-kibocsátást vállalnak. Miután belátható időn belül nem lehetséges az atomenergia kizárása a villamosenergia-termelésből, egy feladatunk lehet: még tovább növeljük az atomerőművek biztonságát, tanulva a fukusimai tapasztalatokból. A fukusimai események eddigi elemzése azt mutatták, a baleset fő oka a tervezési alap nem megfelelő megválasztása és a súlyosbaleset-kezelési eljárások hiányos kidolgozása lehetett, de hiányosságok voltak az erőmű vezetésében és a kommunikációban is. A tanulságok pontos levonása és hasznosítása évekig is eltarthat, az első lépéseket azonban már megtették az atomerőműveket üzemeltető országok. Az EU elrendelte valamennyi nukleáris blokk célzott biztonsági felülvizsgálatát a fukusimai tapasztalatok alapján (ezek a stressz-tesztek), de a többi ország is hasonló – legfeljebb kevésbé központosított – felülvizsgálatot hajt végre. Az erőművek biztonságának értékelése mellett a nukleáris biz-

tonságot felügyelő hatóságok és a törvények, szabályzatok felülvizsgálata is várható.

Ezen lépések eredménye – hasonlóan az 1979-es TMI és az 1986-os csernobili balesetek utóéletéhez – várhatóan a nukleáris biztonság további fokozása, és a még biztonságosabb reaktortípusok elterjedése lesz.

Irodalom

1. *The Evaluation Status of Reactor Core Damage at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1 to 3.* TEPCO, 2011. november 30. www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/images/handouts_111130_04-e.pdf
2. *Executive Summary of the Interim Report of the Investigation Committee on the Accidents at Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company.* <http://icanps.go.jp/eng/111226ExecutiveSummary.pdf>
3. Aszódi Attila: *Egyetemi előadás a súlyos baleseti folyamatokról.* www.reak.bme.hu/fileadmin/user_upload/felhasznalok/aszodi/letoltes/Japan/Aszodi_TH_sulyosbaleset_Habil_2010nov18_v5.pdf
4. Nils Starfelt, Carl-Erik Wikdahl: *Economic Analysis of Various Options of Electricity Generation Taking into Account Health and Environmental Effects. International Conference on Ecological Aspects of Electric Power Generation,* Warsaw, 2001.
5. Aszódi Attila, Boros Ildikó: *Van-e az atomenergiának jövője Csernobil és Fukushima után? Természettudomány Tanítása Korszerűen és Vonzóan Konferencia* előadás, ELTE, Budapest, 2011. augusztus 24. www.reak.bme.hu/fileadmin/user_upload/felhasznalok/aszodi/letoltes/Japan/Aszodi_Termtudtan_ELTE_20110824.pdf
6. Regina Lundgren, Andrea McMakin: *Risk communication.* Battice Press, 2004
7. Wikipedia

CÉLZOTT BIZTONSÁGI FELÜLVIZSGÁLAT A PAKSI ATOMERŐMŰBEN 2/1

Elter József, Eiler János
Paksi Atomerőmű Zrt.

A japán fukusimai atomerőmű balesetét követően az Európai Unió összes atomerőművében, így a paksi atomerőműben is a reaktorbaleset tanulságain alapuló biztonsági felülvizsgálatot hajtottak végre. Ezt a célirányos biztonsági felülvizsgálatot közkeletű szóval *stressz-teszt*nek nevezték. A felülvizsgálat igazolta, hogy a paksi atomerőmű blokkjai teljesítik a tervezési alaphoz tartozó követelményeket, beleértve a belső és külső hatásokkal szembeni védetség kritériumait. Az atomerőmű védetsége a fukusimaihoz hasonló, vizsgált kulcseseményekkel szemben is jó.

Az első részben bemutatjuk a célzott biztonsági felülvizsgálat során alkalmazott módszert, értékeljük az atomerőmű földrendésbiztonságát, valamint a külső elárasztásokkal szembeni védetségét.

A cikk második részében sor kerül az atomerőmű ellenálló képességének vizsgálatára olyan eseményekkel szemben, mint a villamos betáplálás és végző hőelnyelő funkció tartós (több napos) elvesztése, valamint súlyos baleset miatt jelentős radioaktív kibocsátás vagy extrém intenzitású sugárzási tér kialakulása.

Bevezetés

A nukleáris iparban követett általános gyakorlat szerint a szokatlan eseményeket, üzemzavarokat, baleseteket eddig is részletesen megvizsgálták annak érdekében, hogy ezek újabb előfordulását kizárják vagy bekövetkezésük esélyét, lehetséges következményeit csökkentsék. Ezért jogosan merült fel a kérdés, hogy a fukusimai atomerőműben kialakult balesethez hasonló esetekben mi történne a világ különböző atomerőműveiben. A paksi atomerőmű felülvizsgálata során a hazai szabályozó hatóság, az Országos Atomenergia Hivatal az alábbi kérdésekre várt választ:

- A telephelyen lehetséges természeti eredetű külső hatásoknak megfelelően van-e megválasztva az atomerőmű tervezési alapja?
- Hogyan viselné el az atomerőmű a tervezési alapot meghaladó külső természeti hatásokat?
- Milyen módon következhet be tartósan a villamos betáplálás teljes elvesztése és mi lehet ennek következménye?

• Milyen módon következhet be a szükséges fűtőelemhűtés tartós kimaradása és mi lehet ennek következménye?

• Megfelelően felkészült-e az atomerőmű a reaktorok és a pihentető medencék súlyos balesetének elkerülésére, az esetlegesen bekövetkező súlyos balesetek következményeinek csökkentésére?

• Megfelelően felkészült-e az erőmű balesetelhárítási szervezete a fenti események kezelésére, beleértve a fenti események kombinációit, valamint az összes blokk reaktorára és pihentető medencéjére kiterjedő baleseti helyzeteket?

A biztonsági felülvizsgálatokra vonatkozóan jelentős korábbi tapasztalat halmozódott fel a paksi atomerőműben. Az első átfogó biztonsági felülvizsgálatra húsz évvel ezelőtt, nem sokkal az atomerőmű teljes üzembe helyezését követően került sor a közel három év (1991–94) munkájával megvalósított AGNES (Advanced New and General Evaluation of Safety) projekt keretében. A biztonságot, a biztonsági rendszereket, a biztonság szempontjából fontos technológiai elemeket a legújabb nemzetközi üzemi tapasztalatok és kutatási eredmények alapján azóta is rendszeresen újraértékeljük, és tízévente az időszakos biztonsági felülvizsgálatok során jelentésekben, elemzésekben mutatjuk be a felülvizsgálatokból levonható következtetéseket.

A célzott biztonsági felülvizsgálat módszere

A felülvizsgálat részeként vizsgáltuk a fukusimai atomerőművet ért külső természeti csapásokkal analóg események lehetőségét, azaz a telephely földrendezés-veszélyeztetettségét, a telephelyen lehetséges egyéb természeti eredetű veszélyforrások között a Duna áradása, illetve alacsony vízszintje miatti hatásokat, valamint a telephelyen jellemző időjárási hatásokat. Mindegyik természeti eredetű veszélyforrásra meghatároztuk a terhelési jellemzőket a tervezési alapon belül, valamint a tervezési alapon túlmutató esetekre.

A felülvizsgálat során a továbbiakban három – egymástól nem független – kulcseményt vizsgáltunk: (1) a villamos betáplálás tartós (több napos) elvesztése, (2) a végső hőelnyelő funkció tartós elvesztése és (3) súlyos baleset miatt jelentős radioaktív kibocsátás, vagy extrém intenzitású sugárzási tér kialakulása és tartós fennmaradása.

A felülvizsgálat kiterjedt a villamos betáplálás tartós elvesztésének bekövetkeztét megelőzni hivatott biztonsági rendszerek teljesítőképességének értékelésére mind az üzemelő reaktorok esetében, mind a leállított reaktorokban, illetve a pihentető medencékben lévő üzemanyagból származó maradványhő elvezetéséhez szükséges villamos betápláló rendszerek esetében. Ezért áttekintettük a 400 kV-os és a 120 kV-os állomások, a dízelgenerátorok, valamint a váltó- és egyenáramú belső energiaellátás rendszereit.

Az erőmű számos berendezésének működéséhez folyamatos vagy időleges vízűtésre van szükség. A reaktorokban és a pihentető medencékben keletkező maradványhő és a technológiai berendezésekben keletkező hő a hűtést biztosító rendszerek különféle útvonalakon keresztül vonják el. A hőelnyelő funkciót több rendszer láncolata valósítja meg, amelynek végső eleme a Duna. A fűtőelemek hőelvezetési lehetősége akkor veszhet el, ha az erőmű hűtőrendszerei és a Duna-víz közti kapcsolat megszűnik. Ezért a felülvizsgálat kiterjedt a reaktorból történő hőeltávolítást, valamint a pihentető medencék hűtését biztosító rendszerek teljesítőképességének értékelésére, illetve azokra a körülményekre, amelyek a maradványhő elvitelének megghiúsulását okozhatják. Ennek megfelelően áttekintettük mindazon rendszereket, amelyek ebben kulcsszerepet játszanak: a biztonsági hűtővíz rendszert, a sótalánvíz rendszert, az üzemzavari tápvízrendszert, a kiegészítő üzemzavari tápvízrendszert, valamint a pihentető-medence hűtőrendszert.

A felülvizsgálatra kiadott részletes hatósági követelményekkel [1] összhangban a kulcseményekre vonatkozóan az alábbi lépések szerint végeztük el és mutatattuk be a felülvizsgálat eredményeit:

– elemeztük a kulcsemények előfordulásának lehetséges belső vagy külső okait,

– bemutattuk a kulcsemények megelőzésének és elhárításának lehetséges módozatait,

– a bekövetkezési okoktól függetlenül bemutattuk, hogy milyen következményekhez vezet, ha a kulcseményeket nem sikerül megelőzni vagy elhárítani,

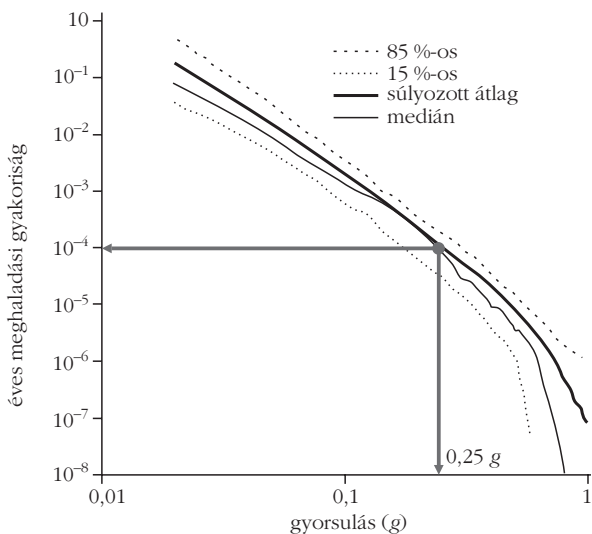
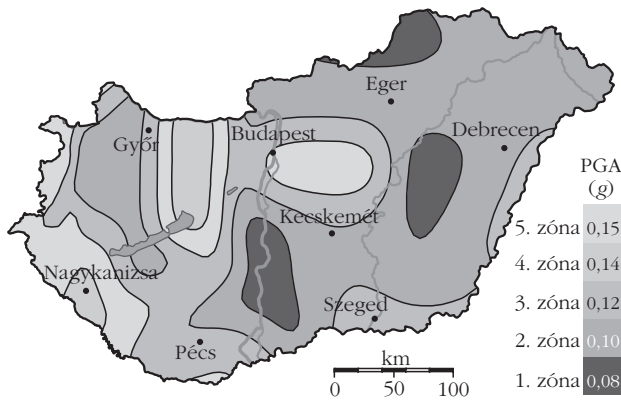
– ismertettük a kulcsemények következményei telephelyi kezelésének módozatait.

A felülvizsgálat a paksi atomerőmű mind a négy reaktorblokkjára vonatkozott, beleértve a pihentető-medencéket valamint a felülvizsgálat célja szempontjából fontos berendezéseket, létesítményeket, dokumentációt, műszaki és humán infrastruktúrát.

A felülvizsgálat eredményei alapján feltártuk azokat a pótlólagos intézkedéseket, amelyek lehetővé teszik, hogy a paksi atomerőmű egy, a fukusimaihoz hasonló baleseti szituációban helytálljon, a jelenleginél is nagyobb védettséget bizonyítson.

A felülvizsgálat eredményei

A felülvizsgálat eredményeit az atomerőmű két jelentésben foglalta össze. Először egy előrehaladási jelentés [2] készült, amelyet 2011. augusztus 11-én nyújtottunk be a nukleáris biztonsági hatóságnak. A végleges jelentést a végrehajtott vizsgálatokról [3] 2011. október 28-án, ugyancsak határidőn belül küldtük meg hatósági felülvizsgálatra. Az összes elkészült jelentés nyilvános, azok megtalálhatók a Paksi Atomerőmű Zrt. és az Országos Atomenergia Hivatal weblapjain. Az alábbiakban – a teljesség igénye nélkül – az említett jelentésekben részletesen ismertetett eredményekből mutatjuk be a fontosabbakat.



1. ábra. Magyarország földrengés-veszélyeztetettsége horizontális gyorsulás értékek 50 évre 10% meghaladási valószínűség mellett (felül), valamint a paksi atomerőmű telephelyére jellemző veszélyeztetettségi görbe, a talajfelszíni vízszintes gyorsulás értékekhez tartozó éves meghaladási gyakoriságok (alul).

Földrengésbiztonság

Nyilvánvaló volt, hogy az atomerőmű földrengésbiztonsága a külső környezeti hatásokkal szembeni biztonság kulcskérdése. Az 1. ábrán látható, hogy a paksi atomerőmű telephelye Magyarország legkevésbé földrengésveszélyes helyén található, ennek ellenére a nyolcvanas évek végén végzett geológiai és szeizmológiai vizsgálatok eredménye szerint az atomerőmű veszélyeztetettsége nagyobb, bizonyult, mint ahogy azt a tervezése során feltételezték. A paksi atomerőmű telephelyének földrengés-veszélyeztetettsége ma már a hazai követelményeknek, a nemzetközi normáknak és jó gyakorlatnak megfelelő geológiai, geofizikai, szeizmológiai és geotechnikai kutatások alapján, korszerű valószínűségi módszerrel meghatározott [4].

A telephelyre érvényes földrengés-veszélyeztetettségi görbe szintén az 1. ábrán látható, amely tartalmazza a tervezési alapba tartozó gyakoribb, de kisebb terhelést eredményező, valamint a tervezési alapon túli ritkább, viszont jelentősebb terhelést okozó földrengések éves meghaladási valószínűségeit különbö-

ző konfidenciaszinteken. A maximális szabadfelszíni vízszintes gyorsulás várható értéke 0,25 g a súlyozott átlag veszélyeztetettségi görbe szerint a 10^{-4} /év gyakorisági szintnél véve. A hazai szabályozással összhangban az atomerőmű tervezési alapjában a külső veszélyeket, így a földrengést is ekkora gyakorisági szintig kell figyelembe venni. Az ennél ritkábban bekövetkező természeti hatások kiszűrhetőek a tervezési alaptól, de az általuk okozott kockázat mértékét meg kell határozni.

A telephelyet az alapkőzet felett laza, vízzel telített, fiatal talajréteg borítja. Ezért a földrengés-veszélyeztettség vizsgálatát ki kellett egészíteni a telephelyi talajrétegek részletes in-situ és laboratóriumi geotechnikai vizsgálatával. Megállapítható volt, hogy telephelyet borító fiatal talajrétegek a 10-20 méteres mélységben talajfolyósodásra hajlamosak. A tervezési alapba tartozó földrengés esetén a talajfolyósodással szembeni tartalék – konzervatív módon számítva – relatíve kicsi. A talajfolyósodás nem vezet a stabilitás elvesztésére, hanem az épületek süllyedését okozhatja. Az épületsüllyedés és a talajfolyósodás jelenségének még további vizsgálata szükséges a tervezési alapot nem meghaladó esetekre és a tervezési alap esetében is a süllyedés által okozott meghibásodással szembeni tartalék meghatározása, s a meghibásodások azonosítása és azok kiküszöbölését szolgáló intézkedések megtervezése céljából.

Az évekkel korábban végrehajtott felülvizsgálat, megerősítések és minősítés eredményeként a földrengésre eredetileg nem tervezett paksi atomerőmű blokkjain a tervezési alapba tartozó földrengések esetén teljesülnek az alapvető biztonsági funkciók, így biztosított a reaktor leállítása, szubkritikus állapotban tartása, lehűtése és a reaktor tartós hűtése, továbbá a radioaktív közegek visszatartása.

Az atomerőmű földrengésbiztonságának növelése egyedülálló komplexitású feladat volt, hiszen egy lényegében földrengésre nem tervezett erőművet kellett egy jelentősebb megrázottságra megerősíteni és minősíteni. Ez a projekt a paksi atomerőmű legnagyobb és másfél évtizedig tartó biztonságnövelő programja lett. A könnyen végrehajtható, legsürgősebb megerősítések egy előzetes, felülbecsült (0,35 g) földrengésterhelésre történtek. Ekkor a kábeltálcák, a villamos- és irányítás-technikai keretek, szekrények, az akkumulátortelepek rögzítésének ellenőrzése, a főépület különböző helyiségeit elválasztó, nem szerkezeti válaszfalak állékonyosságának ellenőrzése, illetve mindezek megerősítésének megtervezése és kivitelezése történt meg.

A bonyolultabb, komoly előkészítést igénylő megerősítések tervezése és kivitelezése az időközben pontosított (0,25 g) terhelési jellemzők figyelembe vételével később zajlott. Két tipikus megerősítést mutat a 2. ábra. Az elvégzett munka jellemzésére elég egy számot ismertetni: több mint 2500 tonna acélszerkezetet építettek be az erőmű megerősítésére.

A feladat megvalósíthatósága érdekében a szerkezetek és a rendszerek dinamikai számításának módszerét és a minősítési eljárást azok biztonsági és földrengés-



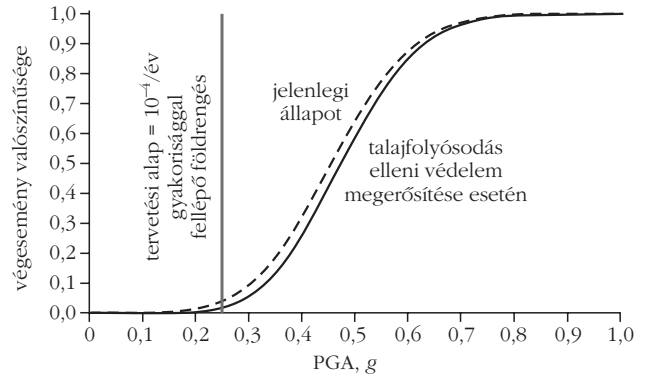
2. ábra. Tipikus megerősítések az épületszerkezetre (felül) és a csővezetékre (alul).

gés-biztonsági osztálya szerint differenciáltuk. Kombiáltuk az atomerőmű tervezéséhez előírt, szabványos módszereket és az újraminósításához kidolgozott elemzési és empirikus minősítési módszertant. A módszer-tan kiválasztását egyedülálló robbantásos kísérletekkel, próbaszámitásokkal, numerikus kísérletekkel alapoztuk meg.

A program végén valószínűségi biztonsági elemzés igazolta, hogy az elvégzett intézkedések a biztonság megfelelő szintjét eredményezték.

A biztonsági földrengés elleni védelem jelenlegi, ismételt felülvizsgálata rámutatott a földrengésnek néhány olyan indirekt hatására, amelyek kiküszöbölésével a védettség szintje tovább növelhető. Az ezzel kapcsolatos javasolt intézkedések egy része olyan építmények, létesítmények földrengésre való minősítését célozza, amelyek nem rendelkeznek közvetlen nukleáris biztonsági funkcióval, de esetleges sérülésük gátolhatja egy nagyobb földrengés utáni helyzetben az általános mentési tevékenységet, vagy indirekt módon veszélyeztethet biztonsági szereppel bíró berendezést.

A felülvizsgálat során meghatároztuk, hogy a villamos betáplálás, illetve a végső hőelnyelő felé megvalósított hűtési lehetőség tartós elvesztését a tervezési alapon túli földrengések mely szintje milyen eséllyel képes kiváltani, vagyis meghatároztuk e funkciók tervezésen túli földrengésekre vonatkozó tartalékait. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy az érintett



3. ábra. A villamos betáplálás földrengés miatti elvesztésének átlagos valószínűsége a vízszintes talajfelszíni gyorsulás (alapközvetre meghatározott) maximumának (PGA) függvényében.

rendszerek egy tervezési alapon túli földrengés esetén sem feltétlenül sérülnek meg, bár sérülésük esélye a földrengés erősségével növekszik.

A 3. ábrán látható, hogy például az villamos betáplálási funkció elvesztésének átlagos valószínűsége 0,46 g vízszintes gyorsulásnál éri el a 0,5 értéket, amely gyorsulás viszont már a 10^{-5} /év körüli gyakorisággal előforduló, vagyis a tervezési alapnál egy nagyságrenddel ritkább földrengésekre lenne jellemző. A tervezési alapnál mintegy 20%-kal nagyobb terhelést okozó 0,3 g vízszintes szabadfelszíni gyorsulásnál a funkció elvesztésének valószínűsége kisebb, mint 10%.

Mint korábban említettük, az alacsonyabb gyorsulástartományokban meghatározó szerepet játszó sérülési mód a főépület süllyedését okozó talajfolyósodás. Értékeljük, hogy egy ilyen talajfolyósodás elleni védelem kialakítása, megerősítése mennyiben növeli meg a tartalékokat. Azt találtuk, hogy a tervezési alapnál nem sokkal erősebb földrengésekre a tartalékok növekedésének mértéke számottevő. Erre vonatkozóan a védettséget fokozó javító intézkedést tűztünk ki. A tartalék várható növekedését mutatja a 3. ábrán vékony vonallal rajzolt görbe.

Elárasztás elleni védettség

A helyi vízmércék segítségével gyűjtött jellemzők statisztikai feldolgozása alapján megállapítottuk, hogy az atomerőmű telephelyének környezetében a 10^{-4} /év gyakoriságú jegesárvíz szintje Bf 96,07 m, a jégmentes árvíz szintje Bf 95,51 m lehet.¹ Mivel a telephely terepszintje mind a két említett árvízszintnél magasabb, árvíz eredetű elárasztással az atomerőmű és alkotó rendszereinek tervezési alapjában nem kellett számolni.

Ismert, hogy az árvízvédelmi töltés a felvízi szakaszon alacsonyabb, mint a telephely feltöltési szintje, valamint az árvízvédelmi töltés magassága az atomerőművel szemben a Duna túlsó partján is alacsonyabb. Így a 10^{-4} eset/év gyakoriságnál ritkábban előforduló árvizek esetén a telephelytől északra lévő, valamint a túloldali alacsonyabb gátszinteken már mindenképp

¹ A „Bf” jelölés a Balti-tenger szintje fölötti magasságot jelenti.

pen számítani lehet arra, hogy a gát mögötti területet is elönti a folyó. Mindezek alapján vízszint feltételezhattuk, hogy extrém árvizek a paksi telephelyhez nem juthatnak el.

A lehetséges legnagyobb, a bekövetkezési gyakoriságtól független jégmentes árvízszint kiszámítását a valós mederviszonyokat és az árvízvédelmi töltések kialakítását figyelembe vevő egydimenziós áramlási modell segítségével is meghatároztuk, ennek értéke Bf 96,14 m [5].

A legkedvezőtlenebb árvízi esemény alapjául egy, a múltban kialakult legkedvezőtlenebb tartós nagyvízi helyzet, a Duna pozsonyi szelvényében 1965-ben levonult árhullám időszora szolgált. Mivel az akkor ott tapasztalt árvízhozam a helyi árvízvédelmi töltések koronaszintje alatt maradt, az alapul vett árhullám vízhozamait úgy módosítottuk, hogy az árhullám vízhozamcsúcsa az árvízvédelmi töltés koronaszintjével legyen azonos szinten. Majd ezt az árhullámot megterheltük a bősi duzzasztómű lehetséges legkedvezőtlenebb (alvízi additív hullámot eredményező) módon történő tönkremenetelének lehetőségével. A legkedvezőtlenebb árhullám hatásának további fokozására feltételeztük, hogy ezzel egy időben a jelentősebb mellékfo-

lyók maximális árhullámmal terhelik a Dunát, ekkor a mellékfolyók legnagyobb vízhozama éppen a Duna tőző vízhozama idején lép be a Dunába.

A modellel történt számítások szerint az atomerőmű alatt esetleg kialakuló jégtorlasz vagy jégdugó által előidézett nagy vízszintemelkedés hatására kialakuló helyzetben sem várható Bf 95,90 m-t meghaladó vízszint.

Mindez azt jelenti, hogy az erőmű felőli töltéskorona szintjét meghaladó, vagy az annál magasabban elhelyezkedő atomerőművi terepszintet elérő vízszint kialakulása még extrém nagyvízi terhelések vagy jégtorlaszok kialakulása esetében sem lehetséges.

Irodalom

1. *A Paksi Atomerőmű Célzott Biztonsági Felülvizsgálatának (CBF) tartalmi követelményei.* OAH, Budapest, 2011. május 24.
2. *Célzott Biztonsági Felülvizsgálat, Előrehaladási Jelentés.* Paksi Atomerőmű Zrt. Paks, 2011. augusztus 15.
3. *Célzott Biztonsági Felülvizsgálati Jelentés.* Paksi Atomerőmű Zrt., Paks, 2011. október 31.
4. *Földrengés kockázat meghatározás a Paksi Atomerőmű telepben.* GeoRisk Kft, Budapest, 2000.
5. *A szélsőséges helyzetekben kialakuló magas és alacsony vízállások, valamint nagy és kis vízhozamok lehetséges hatásának meghatározása, 721/31/8614-01.* VITUKI Kft., Budapest, 2011. október 20.

A FIZIKA TANÍTÁSA

FIZIKATANÍTÁS, DE MIVÉGRE?!

Bognár Gergely
Révai Miklós Gimnázium, Győr

Az elmúlt másfél évtizedben a fizikatanítás fontossága megkérdőjeleződött. Mi sem bizonyítja ezt jobban, mint a folyamatosan csökkenő óraszámok, az iskolai szertárak, előadók leépítése, megszüntetése. A tanári pályára jelentkezők száma gyakorlatilag a nullához konvergál, és a fizikát a kémia mellett a legnépszerűtlenebb tantárgyak között találjuk. Az érettségi jelentkezések száma is folyamatosan csökken, különösen érvényes ez emelt szinten. Ma ugyan nincsen napirenden, de pár évvel ezelőtt a tantárgy megszüntetésének ötlete, integrálása az egységes természetismeretbe is felmerült. Nem kérdés, hogy szeretett tárgyunk, a fizika általános és középiskolai oktatása végveszélyben van. Sokak számára azonban nem egyértelmű, hogy miért kellene kiemelt forrásokat biztosítani a természettudományos tantárgyakra, különösen a fizikára. Rövid írásomban érveket szeretnék felsorakoztatni szeretett tárgyunk oktatása mellett.

Tudásalapú gazdaság

Sokat emlegetett kifejezés, hogy tudásalapú társadalmat kell építeni, és az iskolában használható tudást

kell a gyerekeknek átadni, valamint az oktatási rendszerünknek a munkaerőpiachoz kell igazodnia. A 21. század legfontosabb nyersanyaga nem az olaj és nem a földgáz, hanem a szakképzett, tehetséges munkaerő. Gyermekünknek nem távoli országok betanított munkásaival kell versenyezniük, hanem olyan magas szinten képzett munkaerőt kell létrehozni, amely a világ egyetlen országában sem pótolható! Ennek egyedüli útja a magas színvonalú oktatás. Ha megnézzük, hogy milyen területeken kerülhetnénk versenyhelyzetbe, a következőket látjuk: gyógyszergyártás, autógyártás, elektronika, biotechnológia, informatika, logisztika, távközlés stb. és ezek integrálása. Kétségtelen, hogy egy magyarországi gyár, fejlesztőközpont telepítéséhez rengeteg jogászra, közgazdászra, humán erőforrás-menedzserre stb. van szükség, de a hangsúly nem rajtuk, hanem a természettudományosan képzett mérnökökön, gyógyszerészekén, vegyészekén stb. van. Hazánk versenyképességének záloga a tudásalapú gazdaság, ez csak a természettudományos oktatás színvonalának emelésével, a gyerekek motiválásával érhető el! A tudásalapú társadalom záloga a természettudományok oktatásbeli helyének megerősítése.

Kompetenciafejlesztés fizikaórán

Oktatásügyünk elmúlt tíz éve a kompetenciafejlesztéstől hangos. A felnövekvő nemzedéknek elsősorban nem a lexikális tudást kell átadni, hanem képességeit, készségeit, kompetenciáját kell fejleszteni, hogy az előtte álló új kihívásokhoz alkalmazkodhasson, és megfeleljen az élethosszig tartó tanulás követelményeinek. A kulcskompetenciák (szövegértés, írás-, számoláskészség) a figyelem középpontjába kerültek, és jelentős pluszforrásokkal támogatták ezek fejlesztését. (A források hatékony vagy éppen ellenkező előjelű felhasználására rövid írásomban nem szeretnék kitérni.) Számunkra érdekesebb kérdés, hogy szeretett tantárgyunk milyen kompetenciák fejlesztésében, kialakításában játszik szerepet.

Tisztelt Olvasómat nem sokat kell győzködni arról, hogy a számolással és logikával kapcsolatos kompetenciák fejlesztésére a fizika kiválóan alkalmas. A szövegértési kompetencia fejlesztése megjelenik a fizikaórákon is.

Fontos, bár kevésbé ismert kompetencia a technikai, a gépek, berendezések működtetéséhez, megjavításához kapcsolódó képesség. A fizikaórán kitérhetünk különböző eszközök működési elvére, megvizsgálhatunk egy-egy berendezést részletesen is, ezzel fejlesztve gyermekeink ez irányú kompetenciáját. A technikai tudás is az általános műveltség része. A 21. század emberének illik tudnia, hogyan működik (legalább elvi szinten) a CD, a robbanó motor, az atomerőmű, a távcső, a rádió, az elektromotor stb. Mindezek fontos technikai berendezések, amelyekről elsősorban fizikaórákon eshet szó.

Korunk információs társadalmában elengedhetetlen a szelektálás, a valóban fontos információk kiszűrése és igazságtartalmuk megállapítása. A sok információ közül ki kell választani a számunkra fontosakat, és közöttük kapcsolatot teremtve feldolgozni azokat. Bármennyire is furcsa és ortodoxnak tűnő nézet, de a hagyományos fizikapélda-megoldás pontosan ezt a készséget segíti elő. Egy viszonylag rövid, egy-két mondatos szövegből ki kell szűrni a lényegi információkat, meglévő tudásanyagunk segítségével rendszerezni azokat, kiválasztani a számunkra fontosakat, és végül kapcsolatot keresni közöttük. Népszerűtlenek a számolós fizikapéldák, mégis ezek segítségével fejleszthetjük a diákok lényegkiemelési készségét.

Az állásinterjúkat nézve – az elvárások között – a nyelvtudás után a legtöbbször előforduló feltétel a kreativitás, magas fokú problémamegoldó-képesség. Ez a kompetencia természetesen több tantárgy keretein belül is fejleszthető, de az előbb említett fizikapéldák különösen alkalmasak az önálló problémamegoldó-képesség kialakítására. Az óraszámok drasztikus csökkentésének legnagyobb hibája nem a kevesebb tananyag, hanem az, hogy heti 1-2 órában nem lehet a gyerekeket önálló problémamegoldásra nevelni, ezért fizikaórán gyermekeink problémamegoldó kompetenciáját csak korlátozottan tudjuk fejleszteni.

Gyermekeink a számítógép korában egyre inkább elszakadnak a valóságtól, és az internet virtuális világában élnek. Több krokodilt és oroszlánt látnak a képernyőkön, mint környezetünkben élő állatokat. Nem tudják mi a különbség a széna és szalma között, de ismerik a Mars kőzeteit, hiszen arról sokat olvashatunk az interneten. Jogos igényünk, hogy az új ismeretek mellett felnövekvő gyermekeink tisztában legyenek a hagyományosan fontos fogalmakkal, legyen elképzelésük arról, körülbelül mekkora egy méter, melyik folyadék miként folyik stb. A fizika amellet, hogy a rendkívül érdekes csillagászati ismeretekre is megtanít, a többi természettudománnyal együtt felvértez olyan fogalmakkal és mennyiségekkel, amelyekkel mindennapi tapasztalati világunkban boldogulhatunk.

Használható tudás a demokrácia korában

Társadalmunk egyik legsajátosabb jellemzője a mindenhol jelenlévő demokrácia, és ezalatt nem feltétlenül politikai berendezkedést értek. Ma már demokratikusan döntünk a lakógyűlésen a házfelújításról, az iskolában az osztály ballagási ruhájáról, városunkban az új út nyomvonaláról, atomerőmű építéséről, és még sok más fontos társadalmi kérdésről.

Ha korunk erkölcsi, gazdasági, politikai kérdéseit nézzük, nem kaphatunk teljes képet természettudományos és különösen fizikai ismeretek nélkül. Nézzünk néhány példát: globális felmelegedés, új energiahordozók, úrkutatás, tömegkommunikáció, energiatakarékosság stb. A demokrácia korában (ideális esetben) mi magunk dönthetünk sorsunk felől. Ha nincsenek megfelelő ismereteink és nem sajátítottunk el olyan kompetenciákat, amelyekkel az információ tengerében eligazodhatnánk, könnyedén félrevezethetnek, befolyásolhatnak bennünket. Végül úgy vesszük el saját sorsunk irányítását, hogy észre sem vesszük, hogy mások akaratának megfelelően döntünk. A 21. század kihívásainak megfelelni kívánó társadalom nem szoríthatja a fizikát háttérbe!

Mindennapjainkban is számtalanszor ütközünk fizikához kapcsolódó problémákba: lakásunkat hőszigeteljük 10 cm nikecell-réteggel, ezzel 20%-kal csökken a fűtési költségünk; érdemes-e 20 cm-rel szigetelni, és így 40%-ot spórolni? Netán 110 cm-es szigetelésnél már mi termelnénk energiát? Engedjük-e, hogy társasházunk tetején mobiltelefon-átjátszó állomás épüljön? Félünk-e az atomenergiától? Támogassuk-e a szélenergia alkalmazását? Nyári nagy melegben hűthetjük-e lakásunkat úgy, hogy hűtőnk ajtaját nyitva hagyjuk? Támogassuk-e az alapkutatókat, vagy csak az alkalmazott tudományokkal törődünk? A példákat még hosszan sorolhatnám. Végül ne feledkezzünk el az áltudományok sokaságáról, amelyek szinte kivétel nélkül a naiv emberek megtevesztését és kifosztását célozzák meg. Ha nem vagyunk felvértezve alapvető természettudományos ismeretekkel, könnyen kisebb vagonokat fizethetünk ki feleslegesen.

Zárszó

A meglehetősen széles körben elfogadott nézettel szemben a fizika nem fölösleges tantárgy, amit csak a diákok bosszantására hagytak a tantervben, hanem az egyik legfontosabb tudásbázis. Az általános és a középiskolai fizikaoktatást meg kell menteni!

1. Versenyekkel, kötelező pontszámítással, kötelező természettudományos érettségivel, folyamatos médiajelenléttel stb. vissza kell állítani a tárgy megbecsültségét és elfogadottságát!

2. A pedagógusbéréket a diplomás átlagbérekhez kell igazítani, így a természettudományokban jártas fiatalok nem kizárólag a sokkal több pénzzel kecsegtető mérnökszakmákat választják, hanem tanárnak is jelentkeznek. Ehhez a tanárképzést is újra kell gondolni!

3. Az óraszámokat azokban az évfolyamokban, ahol van fizika, minimum heti kettőre kell növelni!

4. Forrásokat kell biztosítani az iskolai szertárak fejlesztésére, fenntartására, és kötelezően elő kell írni a tanári és tanulói kísérleteket!

5. Végül a hagyományos fizikatanítás értékeit megőrizve, újra kell gondolni a tananyagot a kor kihívásainak megfelelően!

A fent felsorolt öt pont megvalósítása nem kevés anyagi és társadalmi erőforrást igényel, különösen a válsággal sújtott években.

Ha azonban nem mentjük meg a természettudományos oktatást, azzal az elkövetkező generációkat a fejlett technikai társadalmakhoz való csatlakozás és a tudásalapú önálló véleményalkotás lehetőségétől fosztjuk meg!

KÍSÉRLETEZZÜNK OTTHON!

Härtlein Károly
BME Fizikai Intézet

6. Optika

A tanulókkal elvégzett kísérlet hatékonyságát senki sem vitatja. Ám az ezekhez szükséges eszközök vagy drágák, vagy csak „egyszer használhatósak”, gyakran megbízhatatlanok. Vannak eszközök, amelyek szinte elpusztíthatatlanok, ilyen a PET palack, amelyből sokféle alakú és méretű található. Nagy örömmel fedeztem fel, hogy egy hazai gyártó 200 ml-es, víz-tiszta átlátszó, gömb alakú palackban (1. ábra) forgalmaz folyékony szappant. Rögtön beszereztem többet is. (Fellelhetőségükre néhány internetcím az írás végén!)



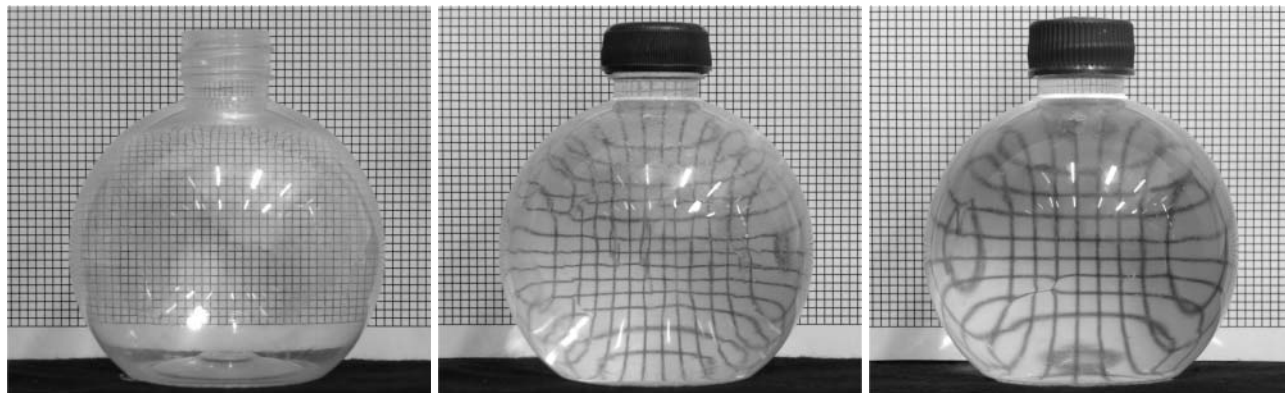
1. ábra. A folyékony szappantartó palack.

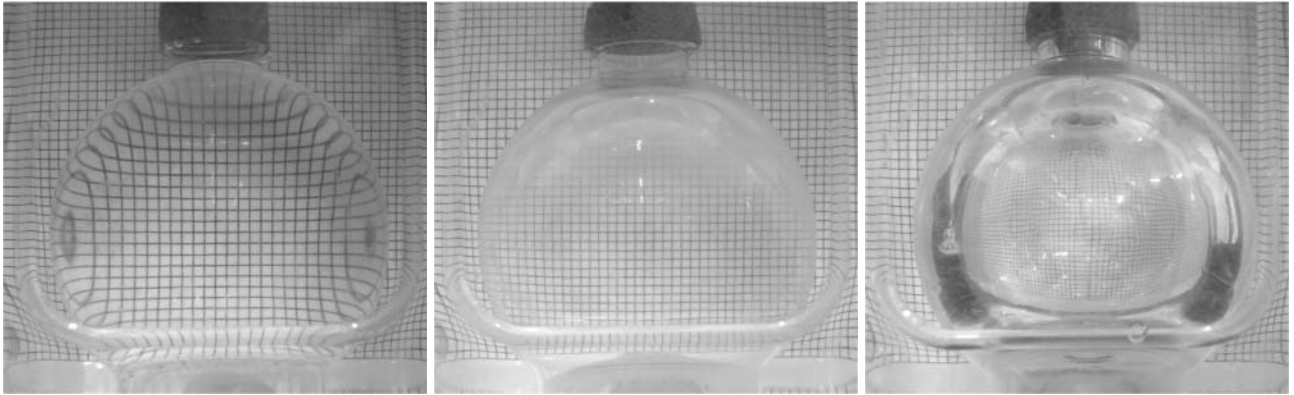
Buborékmentesen feltöltöttem az egyiket vízzel (sűrűsége $1,00 \text{ g/cm}^3$, törésmutatója (n_D) $1,3330$), a másikat glicerinnel (sűrűsége $1,261 \text{ g/cm}^3$, törésmutatója (n_D) 20°C -on $1,4729$), a harmadikat csak lezártam. Már kezdhethetünk is megfigyelni és kísérletezni. A folyadékkal töltött flakonok gyűjtőlencseként működnek, a levegővel teli pedig a tükröződések miatt leszámítva nem változtat a látott képen (2. ábra).

Kísérleteink folytatásához kell még egy flakon. Ez akkor felel meg, ha átlátszó, alakja hasonlít egy téglatesthez, legyen legalább két párhuzamos oldala és gömbflakonunk férjen be a száján. A flakon helyett kis méretű akváriumot is használhatunk, itt is fontos, hogy gömbflakonunk férjen el benne.

Ha párhuzamos oldalú tartályunkat vízzel töltjük meg és belehelyezzük gömbflakonjainkat, ismét tanulmányos látványban lesz részünk (3. ábra). A glicerinnel töltött gömb továbbra is gyűjtőlencseként fogja mutatni a világot, hiszen a glicerinnel a törésmutatója nagyobb a vízénél. A vízzel töltött szinte nyom-

2. ábra. Levegőben az üres palack nem változtat a képen, a víz- és a glicerintöltet gyűjtőlencsévé alakítja azt. A nagyobb törésmutatójú glicerinnel erősebb lencse készült.





3. ábra. Vízrel teli edényben a glicerinnel töltött palack továbbra is gyűjtőlencseként viselkedik, most a vízzel teli nem változtat a képen, míg a levegőt tartalmazó palackból szórólencse lett.

talánul tűnik el szemünk előtt, itt a törésmutató a flakonon kívül és belül megegyező. A levegővel töltött az, amely talán a legtöbb figyelmet érdemli. A flakon belsejében a levegő törésmutatója kisebb, mint a körülötte lévő vízé, így szórólencseként fog viselkedni! Figyeljük meg, hogy szórólencsénk szélei ezüstösen csillognak, amikor elmerítjük a vízben.

Az ezüstösen csillogó részen a teljes visszaverődés jelensége figyelhető meg.

Internetes palacklelőhelyek: <http://www.kellneked.com/alejobb/termekismerteto/egyeb-termekek/gomb-flakon-adagolo-pumpaval>
<http://www.unitron.hu/index2.php?tcskod=6&lang=hu&page=3&tvezer=1&PHPSESSID=2e5b36960655ddc664ee59425c0f618d>
http://pictzstika.dyndns.org/webshop/product.php?id_product=55

2011. ÉVI EÖTVÖS-VERSENY ÜNNEPÉLYES EREDMÉNYHIRDETÉSE

Pákó Gyula

ELTE Apáczai Csere János Gyakorló Gimnázium

A 2011. évi Eötvös-versenyt október 14-én rendezték meg, az ünnepélyes eredményhirdetésre november 25-én 15 órakor került sor az ELTE TTK Lóczy Lajos termében.

A megjelenteket *Radnai Gyula*, a versenybizottság elnöke köszöntötte. Az ünnepség első részében az utóbbi évek hagyományának megfelelően kivetítette és felolvasta az 50, illetve 25 évvel ezelőtti feladatokat, ismertette a versenyek helyezetteit, akiket igyekezett felkutatni és meghívni, végül bemutatta a jelenlévő egykori díjazottakat.

Az 1961. évi verseny

1. feladat

1 m hosszú, $0,25 \text{ g/cm}^3$ sűrűségű vékony fapálcát víz felszíne felett lógatunk úgy, hogy alsó vége 2 m-re van a víz színe felett. A pálcát elengedjük.

Vízbe esve milyen mélyre süllyed le a pálcát a vízben? Mi történik, ha a pálcát 0,5 m magasról ejtjük le? Mi történik, ha a pálcát a víz színe alól indítjuk el úgy, hogy felső vége indításkor 10 cm-re van a víz szintje alatt? Mi történik, ha ezt $0,75 \text{ g/cm}^3$ sűrűségű pálcával tesszük meg?

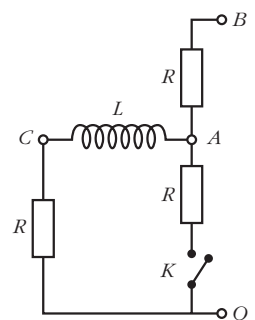
Minden súrlódás és közegellenállás elhanyagolandó.

2. feladat

Kapcsolásunkban a föld és B pont közé hosszabb idő óta 300 V egyenfeszültség van kapcsolva. Az R ellenállások mindegyike 100Ω -os és az L tekercs önindukciója 10 H. A K kapcsolót hirtelen kikapcsoljuk.

Mennyivel ugrik az A pont feszültsége közvetlenül a kapcsoló megszakítása után (például ezredmásodpercen belül)?

(Károlyházy Frigyes)



3. feladat

(Károlyházy Frigyes)

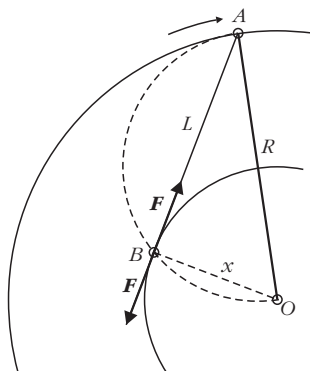
Ostornyél egyik végére vékony cérnaszálon elenyésző tömegű tollpíhét kötünk, és körbe forgatjuk. Milyen pályán mozog a pihe?

A megoldásokat és a díjazottak névsorát a Versenybizottság akkori elnöke, *Vermes Miklós* ismertette a *Középiskolai Matematikai Lapok* 1962. évi 1–2. számában.

Radnai tanár úr bemutatta a 3. feladat *Vermes Miklós* által közölt tömör, ötletes megoldását.

A pihére jellemző, hogy nincs tömege, súlya, és csak a közegellenállási erő hat rá. Az $R = AO$ hosszúságú pálcát végére $L = AB$ hosszúságú fonálra kötött pihére az F közegellenállási erő a sebesség irányával

ellentétesen hat, tehát a fonál iránya a pihe pályakörének érintője. A bot vége $R = AO$ sugarú kört ír le. A pihe pályakörének x sugarát Thalész-körrel kapjuk meg: $x = (R^2 - L^2)^{1/2}$. Ha a cérna hosszabb, mint a pálca, akkor nincs stabil pálya.



Az 50 évvel ezelőtti verseny I. helyezettje *Zakariás László* a budapesti

Piarista Gimnázium tanulója, tanára *Kovács Mihály*. II. díjat kapott *Fritz József* a mosonmagyaróvári Kossuth Lajos Gimnázium tanulója, tanára *Németh Béláné*. Dícséretben négyen részesültek: *Bollobás Béla* a budapesti Apáczai Csere János Gyakorlógimnáziumban *Csernák Emil* tanítványa, *Molnár Emil* a győri Révai Gimnáziumban *Bőnyi Mihály* tanítványa, *Perjés Zoltán* a budapesti Piarista Gimnáziumban Kovács Mihály tanítványa és *Sólyom István* a budapesti Vörösmarty Gimnáziumban *Óbegyi Ernő* tanítványa.

Az 1961. évi verseny díjazottjai közül jelen volt Zakariás László, Fritz József és Molnár Emil.

Elsőként Zakariás László olvasta fel visszaemlékezését. Gondosan megfogalmazott mondatokban hálával és szeretettel emlékezett meg volt iskolájáról a budapesti Piarista Gimnáziumról, Kovács Mihály tanár úrról, aki nemcsak fizikatanára, hanem osztályfőnöke is volt.

„... Az első hónapok nagyon keservesen teltek: egyre-másra vittem haza a rossz jegyeket. Az, hogy nem hagytam ott akkor az iskolát, és négy év múlva kitűnően érettségiztem, majd részt vettem az Eötvös-versenyen, jórészt Kovács tanár úrnak köszönhető. Az útmutatása egyszerű volt: »Fiam, dolgozni kell. Az eredmények majd megjönnek.« Hát dolgoztam. És a jegyeim egyre jobbak lettek. Hozzászoktunk a követelményekhez. Az iskola nem szigorú volt, hanem igényes. Ez az igényesség – lassan-lassan – számunkra is természetessé vált. ...



1. kép. Radnai Gyula, a kivetítőn két ötven éves kép a KöMaL-ból: Fritz József és Molnár Emil.

A kedvenc tantárgyam természetesen a fizika volt. Kovács tanár úr minden eszköz nélkül is nagyon szemléletesen tudott magyarázni. Kezével a levegőbe rajzolta a kísérletet: »Én már látom, már a vak is látja, no ki látja még?« És láttuk. Értettük. Persze ennek ellenére, mindig sokat dolgozott azon, hogy érdekes kísérletekkel támassza alá a magyarázatát. Ha kellett, maga készített eszközöket a szemléltetéshez. ...

Gondolkodását a lényeglátás jellemezte. Minket is erre nevelt. Megkülönböztetni a probléma szempontjából fontos és lényegtelen dolgokat, az utóbbiakkal nem foglalkozni: ezek csak elvonják a figyelmet a lényeges összefüggések fölismerésétől. ...

A műszaki egyetemre első próbálkozásra nem vettem föl. Ősszel kihirdették az Eötvös-verseny eredményét. Első díjat nyert Zakariás László, az Elektronikus Mérőkészülékek Gyáranak dolgozója. »Te miért nem akarsz egyetemre menni?« kérdezte egy társam. Csak mosolyogtam. A műszaki egyetemre második próbál-

2. kép. Az ötven évvel ezelőtti versenyen kiemelkedően szereplők: Zakariás László (I. díj), Fritz József (II. díj) és Molnár Emil (dícséret).



kozásra sem vettek föl. Fellebbeztünk. A fellebbezést elutasították. A minisztériumi fellebbezéshez csatoltuk az Eötvös-verseny eredményét. Szeptember végén, a születésnapomon, levél érkezett a minisztériumból. Örömmel értesítjük, hogy felvételt nyert a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karára. Én voltam a világ legboldogabb embere.”

Fritz József jelenleg a Budapesti Műszaki Egyetem Differenciálegyenletek Tanszékének egyetemi tanára, akadémikus. Visszaemlékezésében elmondta, hogy a középiskolában kezdetben a matematika iránt érdeklődött, de főleg tanárának köszönhetően IV. osztályos korára megszerette a fizikát. Egyetemi tanulmányait az ELTE TTK fizikus szakán kezdte, majd két tanév után matematikusként folytatta. Úgy gondolta ugyanis, hogy a fizika megértéséhez a matematikán keresztül vezet az út. Jelenleg a hidrodinamika mikroszkopikus elméletével foglalkozik, ami akár a fizika fejezete is lehetne. Ebből kiindulva a továbbiakban a fizika és a matematika kapcsolatáról beszélt Galileitől napjainkig.

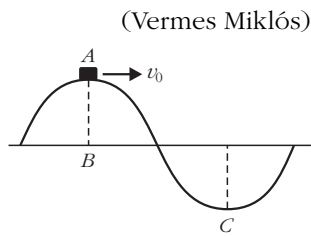
Molnár Emil matematika-fizika-ábrázoló geometria szakot végzett, ma a Budapesti Műszaki Egyetem Geometria Tanszékének professzora. Ő is megemlékezett egykori tanáiról. Matematikára édesapja tanította, fizikatanára Bőnyi Mihály volt, de nagyon sokat köszönhet a *Középfiskolai Matematikai Lapok* akkoriban indult fizika pontversenyének is. Központilag szervezett szakkörük meghívott előadói voltak többek között Vermes Miklós és *Abonyi Iván*. A verseny második feladatát nem tudta megoldani, a harmadikra viszont Vermes tanár úréval egyenértékű megoldást adott.

Az 1986. évi verseny

1. feladat

Egy 15 kg tömegű test súrlódásmentesen csúszik végig egy szinusz alakú lejtőn. Amikor A-ban van, akkor sebessége $v_0 = 6$ m/s, és ekkor éppen nem nyomja a lejtőt.

Mekkora erővel nyomja a lejtőt, amikor C-ben van? $AB = 1,4$ m, $g = 10$ m/s².



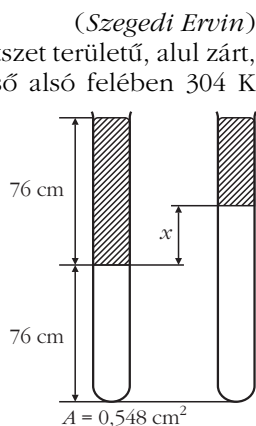
2. feladat

Egy $A = 0,548$ cm² keresztmetszet területű, alul zárt, felül nyitott, 152 cm hosszú cső alsó felében 304 K hőmérsékletű levegő, felette higany van. Az elzárt levegő hőmérsékletét lassan emeljük.

a) Legalább hány fokra kell emelnünk a levegő hőmérsékletét, hogy az összes higany távozzon a csőből?

b) Eközben mennyi hőt kell a levegővel közölnünk?

A külső levegő nyomása 76 cm magas higanyoszlop nyo-

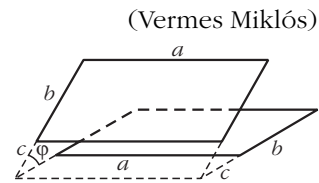


másával tart egyensúlyt. Ezen a nyomáson, 304 K hőmérsékleten a levegő sűrűsége 1,2 g/dm³. A levegő fajhője állandó térfogaton $c_v = 0,75$ J/gK. A higany és az üveg hőtágulásától eltekintünk.

3. feladat

Egy kondenzátor a és b méretű lemezeinek síkjai φ szöveget zárnak be.

Mekkora a kondenzátor kapacitása?



A megoldásokat és a díjazottak névsorát Vermes Miklós ismertette a *Középfiskolai Matematikai Lapok* 1987. évi 2. számában.

Az 1986. évi versenyen I. díjat ketten kaptak egyenlő helyezésben, *Kaiser András* és *Kobári Zsolt*. Mindketten a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karának hallgatói, a budapesti Fazekas Mihály Gyakorló Gimnáziumban érettségiztek, mint *Horváth Gábor* tanítványai.

II. díjat kapott *Drasny Gábor*, a budapesti Fazekas Mihály Gyakorló Gimnázium III. osztályos tanulója, tanára Horváth Gábor.

III. díjat öten kaptak. *Jakovác Antal* honvéd, aki a budapesti Apáczai Csere János Gyakorlógimnáziumban érettségizett, mint *Kelemen László* tanítványa. *Ligeti Zoltán* és *Montágh Balázs*, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karának fizikus, illetve matematikus hallgatói, mindketten a budapesti Fazekas Mihály Gyakorló Gimnáziumban érettségiztek, mint Horváth Gábor tanítványai. *Cynolter Gábor* és *Gyuris Viktor*, a budapesti Fazekas Mihály Gyakorló Gimnázium IV. osztályos tanulói, tanáruk Horváth Gábor.

Dicséretet ketten kaptak egyenlő helyezésben. *Benczúr András* a budapesti Fazekas Mihály Gyakorló Gimnázium IV. osztályos tanulója, tanára Horváth Gábor; és *Török Balázs* a budapesti I. István Gimnázium végzős tanulója, tanára *Moór Ágnes*.

A bizottság dicséretileg állapította meg, hogy a 2. feladatra kiemelkedően szép megoldást adott *Majoros László*, a budapesti Fazekas Mihály Gyakorló Gimnázium IV. osztályos tanulója, tanára Horváth Gábor.

Radnai tanár úr a *KöMaL* arcképcsarnokából gyűjtötte és kivetítette a díjazottak egykori fényképeit.

A 25 évvel ezelőtti verseny mindkét I. helyezettje megjelent.

Kohári Zsolt gimnáziumi fizikatanára, a teremben is jelenlévő Horváth Gábor szerepét emelte ki abban, hogy sikeres lehetett az Eötvös-versenyen. A Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán végzett, ma ott oktató, informatikát tanít. Reméli, hogy abból a szemléletből, amit volt tanáraitól kapott, oktatóként minél többet sikerül továbbadnia.

Kaiser András köszönetet mondott egykori tanárainak és osztálytársainak, akiknek jelentős szerepük volt az eredmények elérésében. További sikereket kívánt a mai diákoknak, illetve arra kérte őket, hogy fordítsanak figyelmet a politika, a gazdaság és a pénzügyek világára is, mert az országnak jelenlegi helyzete



3. kép. A negyedszázaddal ezelőtti két I. díjas: Kohári Zsolt és Kaiser András.

tében szüksége van jól felkészült, függetlenül gondolkozó, okos emberekre.

Drasny Gábor az ELTE TTK matematikus szakán végzett, tizenkét éve él az Amerikai Egyesült Államokban, az IBM-nél chippek tervezését és ellenőrzését segítő szoftvereket tervez. Ő levélben köszöntötte a versenyzőket. „Nagy volt az örömöm, amikor kiderült, hogy második díjat kaptam. Tovább növelte a boldogságot, hogy a tíz díjazottból 8 iskolatársam volt, sőt mindnyájan Horváth Gábor tanár úr tanítványai voltunk, akinek sokat köszönhetünk. Azt hiszem, ennek a 25 évvel ezelőtti versenynek az igazi nyertese ő volt.”

A szintén Amerikában tartózkodó Gyuris Viktor is levélben szólt a versenyzőkhöz. „Huszonöt éve magam is közöttetek ültem. A fizika és a matematika töltötte ki az iskolai és szabadidőm nagy részét. Tanáraitól – Horváth Gábortól, *Honyek Gyulától* és *Gnädig Pétertől* (ismerősek a nevek?) olyan lelkesedést kaptam, ami teljesen magával ragadott. A tárgy oly végtelen egyszerűnek tűnt. Oly átlátható és tiszta....” Ma ő is szoftverkészítéssel foglalkozik.

4. kép. Kürti Jenő, Csernik Kornél és Kroó Norbert átadják az I. díjat Budai Ádámnak.



A leveleket *Honyek Gyula* és *Vigh Máté*, a Versenybizottság tagjai olvasták fel.

Cynolter Gábor elméleti fizikusként az ELTE-n dolgozik, azokban a napokban egy szemináriumon Bécsben tartózkodott.

Az 50, illetve a 25 évvel korábbi versenyek felidézése után az ünnepség rendhagyó módon, az I. díj átadásával folytatódott. Radnai tanár úr köszöntötte *Kroó Norbertet*, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat elnökét és megkérte, hogy adja át az I. díjat. Mielőtt ez megtörtént volna, *Kroó Norbert* röviden szólt a megjelentekhez.

„Miközben hallottam a dicsérő mondatokat, egy olyan mondas jutott eszembe, amely most mind a tanárkollégáknak, mind a fiataloknak szól. Annak idején Newton a következőt mondta: ha netán az történt, hogy én messzebbre láttam, mint a kortársaim, az azért volt, mert óriások vállán állhattam. Azok a sikerek, amelyeket a fiatal kollégák példamegoldásban elértek azt jelentik, hogy szerencsére Magyarországon is vannak még óriások. Ezt különösen akkor fontos hangsúlyozni, ha azt látjuk, hogy például a Debreceni Egyetemre ketten jelentkeztek fizikatanárnak. Tudjuk, hogy százas nagyságrendű fizikatanár vonul nyugdíjba évente. Vészharangot kell kongatni, és a vészharang akkor szól a leghangosabban, ha azt egyre többen kongatják.”

A fiatalokhoz szólva idézte kedvenc tanárát. „Ha nagyon pontosan tudod, hogy mit akarsz, és azt elég erősen akarod, akkor azt el is fogod érni. Ez persze nem megy magától. Senki se felejtse el, hogy munka nélkül nincs eredmény.”

A körülmények ma zavarosabbak, mint korábban voltak, ebben helyesen tájékozódni legalább olyan fontos, mint fizikafeladatokat jól megoldani. A továbbiakra mindenkinek sok sikert és örömet kívánt.

Kroó professzor mellett *Csernik Kornél* a MOL képviselőjében és *Kürti Jenő*, Társulatunk főtíkára adta át a díjat.

A 2011. évi verseny I. helyezettje *Budai Ádám* a Budapesti Műszaki Egyetem BSC hallgatója, aki a miskolci Földes Ferenc Gimnáziumban érettségizett, mint *Bíró István* és *Zámborszky Ferenc* tanítványa.

Radnai tanár úr bejelentette, hogy az első helyezett 30 000 Ft pénzjutalomban is részesül. A MOL által nyújtott támogatásból a díjazott versenyzők

tanárai 20 000 Ft-os kedvezményrel vehetnek részt a 2012. évi fizikatanári anketon. A jelenlévő tanárok továbbá választhatnak a kiállított könyvekből, melyek a Typotex és a Vince Kiadó adományai.

Kroó Norbert köszönetet mondott a MOL nagyvonalú anyagi támogatásáért.

A továbbiakban a szokásos módon folytatódott a rendezvény. Radnai tanár úr egyesével haladva kivette és felolvasta a feladatokat, majd részletesen ismertette a megoldásokat. A harmadik feladat eredményeit kísérletben is megvizsgáltuk.

A 2011. évi verseny

1. feladat

Pályafutásuk végén a sorsukra hagyott műholdak a sebesség négyzetével arányos légellenállási erő hatására fokozatosan veszítenek mechanikai energiájukból, és végül a légkör sűrűbb rétegeibe érve elégnék. Belátható, hogy az eredetileg körpályákon keringő műholdak a Föld felszínéhez közeledve mindvégig közelítőleg körpályákon haladnak, miközben a „körpályák” sugara lassan csökken.

Tegyük fel, hogy egy $m_0 = 500$ kg tömegű műholdat, amely az Egyenlítő síkjában, $b = 400$ km-es magasságban körpályán kering, magára hagynak! A műholdra ható légellenállási erőt az $F_{lég} = K\rho v^2$ alakban adhatjuk meg, ahol $K = 0,23$ m², ρ a levegő sűrűsége a műhold magasságában, v pedig a műhold sebessége.

a) Határozzuk meg a műhold sebességváltozását, miközben pályamagassága a felére csökken ($b \rightarrow b/2$)!

b) A légellenállási erő, valamint a műholdra ható két erő (gravitációs és légellenállási) eredőjének pályamenti (érintőleges) összetevője között egy egyszerű összefüggés állapítható meg. Hogy szól ez?

c) Mekkora a levegő sűrűsége $b/2 = 200$ km magasságban, ha itt egy fordulat alatt a műhold pályasugara 100 m-rel csökken?

A megoldáshoz szükséges további adatokat táblázatokból vehetjük.

2. feladat

Egy függőlegesen álló, henger alakú zárt tartály magassága legyen 20 cm! Tegyük fel, hogy a tartály falának és belső tartalmának hőmérséklete huzamos ideje $T = 1$ °C! A tartalom pedig egy, a tartály alaplappal borító papírvékony vízréteg és fölötté ennek a telített gőze, más semmi. Az oldalfalat hőszigetelőnek tekinthetjük, az alap- és fedőlap azonban igen jó hővezető vékony fémlemez, amelyek hőmérsékletét kívülről szabályozhatjuk.

A lehetőséggel élve emeljük a fedőlap hőmérsékletét $T_f = 100$ °C-ra, miközben az alaplapp hőmérsékletét $T = 1$ °C-on tartjuk, és gondoskodjunk róla, hogy ezek az értékek elég sokáig így maradjanak! Várjuk meg, amíg az edényben kialakul a víz, illetve a gőz új stacionárius állapota, amely már nem változik tovább!



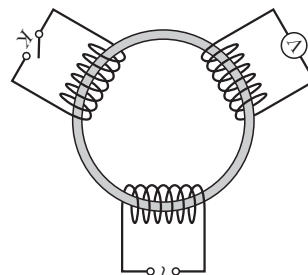
5. kép. Ajtay János a 3. feladat kísérleti összeállításával.

a) A korábbi egyensúlyi állapothoz képest megváltozott-e említésre méltó mértékben a gőzállapotban lévő vízmolekulák száma, és ha igen, akkor nőtt vagy csökkent?

b) Vajon mi lenne a válasz, ha a kezdeti állapotban a vízréteg magassága 10 cm lenne?

3. feladat

Egy toroid (úszógumi) alakú „sovány” vasmagra szimmetrikus elrendezésben három egyforma „kövér” elektromágneses tekercs van felfűzve az itt látható ábra szerint. Az első tekercsre váltóáramú feszültségforrást kapcsolunk, a második



tekercs kivezetéseit szabadon hagyjuk, a harmadik tekercs csatlakozóira pedig voltmérőt kötünk. Ekkor a voltmérő a feszültségforrás effektív értékének felét mutatja.

Ezután a második tekercs kivezetéseit a K kapcsolóval rövidre zárjuk. Mit mutat ebben az esetben a voltmérő?

Útmutatás: A tekercsek ohmos ellenállása elhanyagolható, a feszültségforrást és a voltmérőt ideálisnak tekinthetjük. A vasmag mágneses permeabilitása nem függ a mágneses fluxustól.

Az első feladathoz Honyek Gyula és Kürti Jenő fűzött megjegyzést. Honyek tanár úr utalt a feladat véletlen aktualitására, a NASA Felső Légköri Kutató Műholdjának (UARS) közelmúltbeli, Csendes-óceánba való lezuhanására.

A harmadik feladat egy lehetséges másik megoldását vázolta hozzászólásában Zakariás László.

A 2011. évi feladatsor megoldása várhatóan a *Középiskolai Matematikai Lapok* 2012. évi 3. számában jelenik meg.

A megoldások ismertetése után, a megkezdett sorrendben folytatódott az eredményhirdetés. A díjakat a továbbiakban Kürti Jenő és Csernik Kornél adta át.



6. kép. Első sor (balról jobbra): Szabó Attila, Budai Ádám, Jéhn Zoltán, Kalina Kende, Molnár Emil. Második sor: Jenei Márk, Bolgár Dániel, Batki Bálint, Kovács Péter, Forman Ferenc. Harmadik sor: Kohári Zsolt, Kaiser András.

II. helyezést hárman értek el: *Jéhn Zoltán*, a Budapesti Műszaki Egyetem fizika szakos BSc hallgatója, aki a pécsi Babits Mihály Gyakorlógimnáziumban érettségizett, mint *Koncz Károly* és *Kotek László* tanítványa.

Kalina Kende, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karának matematika szakos BSc hallgatója, aki a budapesti Fazekas Mihály Gyakorló Gimnáziumban érettségizett, tanárai voltak Horváth Gábor, *Csefkő Zoltán* és *Szokolai Tibor*.

Szabó Attila a pécsi Leőwey Klára Gimnázium 11. évfolyamos tanulója, felkészítő tanárai *Simon Péter* és *Kotek László*.

III. díjat ketten vehettek át: *Bolgár Dániel* a pécsi Leőwey Klára Gimnázium 12. évfolyamos tanulója, felkészítő tanárai *Almási László* és *Simon Péter*.

Kovács Péter az ELTE Apáczai Csere János Gyakorlógimnázium 12. évfolyamos tanulója, tanára *Pákó Gyula*.

Dicséretben hárman részesültek: *Batki Bálint*, a Budapesti Műszaki Egyetem fizika szakos BSc hallgatója, aki az ELTE Apáczai Csere János Gyakorlógimnáziumban érettségizett, mint *Zsigri Ferenc* tanítványa. *Forman Ferenc*, az ELTE Radnóti Miklós Gyakorlógimnázium 10. évfolyamos tanulója, felkészítő tanára Honyek Gyula.

Jenei Márk, a budapesti Fazekas Mihály Gyakorló Gimnázium 11. évfolyamos tanulója, *Dvorák Cecília* és *Csefkő Zoltán* tanítványa.

A II. és III. helyezést elért versenyzők pénzjutalomban, a dicséretet kapott tanulók könyvjutalomban részesültek, továbbá valamennyi díjazott átvehette a Nemzeti Tankönyvkiadó *Ember a Holdon* című kiadványát.

Az ünnepség végén Radnai tanár úr köszönetet mondott a támogatóknak és meghívta a résztvevőket az állófogadásra, amelynek anyagi háttérét a Ramasoft Zrt. biztosította. Elkészült a szokásos csoportkép is a 2011. évi verseny díjazottjairól.

KÖNYVESPOLC

METEOR Csillagászati Évkönyv 2012

Magyar Csillagászati Egyesület Budapest 2011, 344 oldal

A Csillagászati Évkönyv azoknak készül, akik érdeklődnek a csillagos ég látványa és a róla szereshető aktuális tudásunk iránt. A csillagos ég látványa ugyan egy városi ember számára csak szervezés és utánajárás révén áll elő, ám ha mégis összejön, jogos igény, hogy minél többet tudjunk az elénk tárulóról. Ezt szolgálja a kiadvány több mint felét kitevő *Kalendárium*.

A *Kalendárium* hagyományos naptár-része minden hónapban két oldal táblázattal kezdődik, amely a Nap és a Hold kelési, delelési és nyugvási időpontjait, a Julián-dátumot és a greenwichi csillagidőt, valamint az adott napon megülhető névnapokat tartalmazza.

A déli és az északi égbolt hó közepi térképvázlatai alatt a bolygók havi megfigyelhetőségi adatai, majd az *Eseménynaptár* található. Az eseménynaptár napról napra megadja a jellegzetes együttállásokat, szélső helyzeteket, észlelni érdemes jelenségeket. Általában szó van a fontosabb üstökösökről, néha együttérző, családias stílusban: „C/2006 S3 (LONEOS)... Unalmas csillagkörnyezetben, a Libra csillagképben tart nyugat felé...” (101. oldal).

Minden hónapra jut egy vagy több évforduló, ami egy-egy tudománytörténeti értekezés alapjául szolgál. A Hold csillagfedéseit havonta egy táblázat foglalja össze; ugyancsak minden hónapban szerepelnek a Jupiter-holdak és a legfényesebb Szaturnusz-holdak

láthatósági ábrái. Minden hónaphoz tartozik egy vagy több esszé, valamely csillagászati jelenségkör összefoglalása, elemzése.

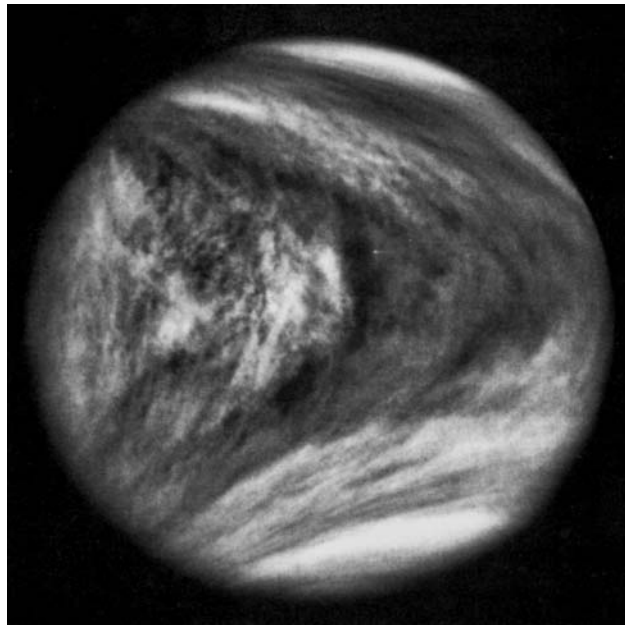
Ilyen tanulmány írja le az év csillagászati eseményét a június 6-án, szerdán zajló Vénusz-átvonulást. „A látványosság napkeltekor már zajlik, és helyi idő szerint rövidebb hét óra előtt ér véget, azaz kicsivel több mint egy órán át láthatjuk a Vénusz csöppnyi korongját a Nap fényes arca előtt. Amint azt a 2004-es esemény során már megtapasztalhattuk, szabad szemmel is látható lesz az apró foltocska – természetesen a Nap megfigyeléséhez kötelező védőfelszerelés használata mellett” (85. oldal). Aki ezt elmulasztja, az egyúttal le is mond erről a fajta személyes élményről, lévén a következő Vénusz-átvonulás 105 év múlva esedékes.

A *Kalendárium*ot 16 oldalnyi színes képmelléklet követi, a következő tanulmányok ábrái, illusztrációi. Ám mielőtt érdekünk fűződne a képekhez a szövegek megértése végett, örömmel lehetjük bennük a legyszerűbb kanti értelemben.

A 130 oldal terjedelmű nyolc cikk azokhoz is szól, akik amatőr szinten sem gyakorolják a csillagászkodást. *Galántai Zoltán* a 2012-es világvége ürügyén tekinti át a civilizáció fenyegetettségének legfontosabb szempontjait. A jövőkutató sok megközelítési lehetőséget kínál: „...valószínűtlennek tűnik, hogy akár az ember, akár bármilyen élet létezhetne, ha nem került volna sor látványos kozmikus katasztrófák sorozatára, mint amilyenek azok a szupernóva-robbanások is voltak, amelyek kitermelték a vérünkben is megtalálható vasat és kalciumot” (182. oldal).

Földhözragadtabb szempontból is felvethető a kérdés: „De valójában azt sem tudjuk, hogy miként kellene értelmezni az »egész civilizáció« pusztulását. A Nyugat-római Birodalom bukása nem jelentette Bizánc bukását is, és még amikor az egész akkor ismert világon végigsöpört az 1347-es pestis ...akkor ez az addig vezető szerepet betöltő muszlim civilizáció hanyatlását – és ezzel párhuzamosan a nyugati felemelkedését eredményezte” (185. oldal). A szerző gondos kockázatelemzés, valamint az általudományok szerepének taglalása után joggal jut arra a következtetésre, hogy „abban viszont teljesen biztosak lehetünk, hogy újabb világvége-elméletek a jövőben is lesznek” (192. oldal).

Kereszturi Ákos a naprendszerbeli újdonságok közül hatot válogatott ebbe az évkönyvbe. A 2009-ben a Hold déli pólusánál lévő kráterben létrehozott robbantás elemzéseinek eredményét foglalja össze: „...a 98 kilométeres Cabeus-kráterben több km³ jég is lehet, ami megegyezik egy kisebb földi tó térfogatával” (195. oldal). Az, hogy a Marson van jég nem újdonság, de a jég elhelyezkedése, mennyisége, mozgásának története az utóbbi néhány év megfigyeléseinek eredménye. Más a jégkép a Tritonon, a Neptunusz legnagyobb holdján: „...déli féltékén jelenleg nyár van, és az onnan szublimáló nitrogén, metán és szén-monoxid táplálja az egyébként nagyon ritka légkört” (203. oldal).



Az ultraibolya hullámhosszon készített felvételen a Vénusz felhőzete ragyogóan kirajzolja az egyenlítőre szimmetrikus légköri áramlásokat. A balról sütő Nap hatására a szubszoláris pont környékén a légkör konvektív, amely 60° szélességek környékén átmegegy egy simább, sávós áramlásba. Ez a Vénusz lassú forgása miatt az éjszakai oldal felé egyre kisebb szélességekre terjed ki (Y-alak a felhőzetben), majd átadja helyét a fényes poláris gallérnak, amely körbezárrja a poláris örvényt (a képen nem látszik). (Illés Erzsébet írásából.)

Az üstökösökről és kisbolygókról nemcsak képek, de anyagminták is szolgáltak újdonsággal. A 2010-ben Szudánban becsapódó kisbolygó lehullott darabjainak vizsgálatokor „...aminosavakat is sikerült kimutatni. Ez azért meglepő, mert a meteoritban lévő különféle ásványi nyomok alapján még jóval a földi légkörbe történő belépés előtt anyagának nagyobb része 1000 °C-ra hevült... Bár az ütközés nyomán feltehetőleg lebomlottak a szerves molekulák, de gyorsan újabbak is kialakultak az aktív töredékekből” (206. oldal).

Illés Erzsébet írása – *A Vénusz, ahogy ma látjuk* – az utóbbi évek megfigyelési és mérési eredményeit foglalja össze. Leírja a felszínt, a vulkáni tevékenység valószínűsíthető természetét, a Vénusz légkörének összetételét és mozgását, valamint a tervezett Vénusz-kutatásokat. A legtöbb érdekességet az összefoglaló kérdéscsoportok adják: „A Venus Express után tehát most már több kérdésre meg lehet adni a választ, mint korábban.

Ha azt kérdezzük: miért olyan sűrű a Vénusz légköre és miért nincs rajta lemeztektonika? *A válasz:* mert nincs vize.

Ha azt kérdezzük: miért nincs a Vénuszon víz? *A válasz:* mert nincs mágneses tere.

Ha azt kérdezzük: miért nincs mágneses tere? *A válasz:* mert lassan forog.

Ha azt kérdezzük: miért forog olyan lassan? *A válasz:* mert ????” (233. oldal)

A szerző szerint a sok kérdőjelre a bolygóösszeállítás idején bekövetkezett becsapódások adhatnak választ.

Kovács József az asztrofizika új eredményeiből válogatott. A nyilván szubjektív válogatás elsőként a szupernagy tömegű fekete lyukak meglepő inaktivitására számol be. A másik kiválasztott újdonság a fehér törpék összeolvadásaként értelmezett Ia típusú szupernóva-robbanás. Egyes fehér törpék összeolvadásig is szolgálnak érdekességgel – egy tíz percnél rövidebb periódusidejű rendszer, amely a megfigyelések, a látható és röntgentartománybeli spektroszkópiai mérések szerint „...két fehér törpéből kell, hogy álljon, amelyek a gravitációs hullámok általi folyamatos energiavesztés miatt egyre közelebb kerülnek egymáshoz...” (243. oldal).

Kun Mária írása: *Száz éve ismerjük a reflexiók ködök természetét* elmondja a felfedezés vonzó történetét, bemutat öt csodálatos színes felvételt a ködökről és ismerteti a ködök csillagászatbeli szerepét. *Slipher* 1912-ben kimutatta 21 órás expozícióval készült spektroszkópiai felvételéről, hogy a Pleiadok csillagainak fénye szóródik a csillagközi poron. Mára világos lett, hogy „a felhőbe ágyazott csillag nagy segítség a csillagközi anyag galaktikus eloszlásának feltérképezésében” (253. oldal). Azonban „előfordul, hogy a ködöt megvilágító csillag közvetlenül nem figyelhető meg, csak a csillag körüli porról tükröződő fénye... a köd színképéből sok mindent megtudhatunk a beágyazott csillag természetéről” (257. oldal).

Gyürky György írja *Magreakciók a csillagokban* című írása zárszavában: „Ebben a cikkben röviden áttekintettem a magfizika szemszögéből azokat a legfontosabb folyamatokat, amelyek hozzájárulnak egy csillag energiatermeléséhez, fejlődéséhez, illetve a világunkat felépítő kémiai elemek szintéziséhez” (279. oldal). A *Fizikai Szemle* olvasói számára ismerős a téma, hiszen a 2011. februári szám Gyürky *Hélium-*

atommagok reakciója az ősrobbanásban, a napban és a laboratóriumban című cikkével indul.

Frey Sándor *Kettős aktív galaxismagok* című írásának tárgya egyszerűen megfogalmazható: „...kell lenniük olyan galaxismagoknak is, amelyek még nem váltak eggyé, jelenleg »szoros« kettősként figyelhetők meg. Közvetett, de közvetlen bizonyítékaink is vannak arra, hogy ilyen kettős, szupernagy tömegű fekete lyukak valóban léteznek” (290. oldal). A részletekben rengeteg a megoldandó kérdés. Ezeket járja körül a dolgozat.

Horváth István a *Gammakitörések*ben leírja, hogy a Nemzetközi Atomcsend Egyezmény betartásának ellenőrzésére pályára állított műholdak megfigyelési adatai mutatták a gammakitöréseket. Az azóta eltelt negyven évben műholdas, űrtávcsöves megfigyelések, majd a Nagylátóterű Gamma Űrtávcső segítségével a gammakitörések forrásainak távolságáról, eloszlásáról, a kitörések időbeli lezajlásáról sok mindent sikerült megtudni. „Vöröselölődés-mérések alapján kiderült, hogy a sugárforrások átlagos távolsága nyolcmilliárd fényév, de találtak olyan kitörést is, amelynek fénye több mint 12 milliárd évet utazott idáig. A kitörések kozmológiai eredete ezzel bizonyosságot nyert” (303. oldal). További részletek is találhatóak a szerző és munkatársai 3 hónappal ezelőtt a *Fizikai Szemle*ben közölt cikkében.¹

Csillagászati Évkönyvről van szó, így az utolsó 30 oldal csillagász szervezetek éves beszámolóit tartalmazza. Akinek az elméleti résztől nem jött meg a kedve, itt elcsúbulhat a szakkörök, táborok, észlelő hétvégék gazdag kínálatától.

Füstöss László

¹ Balázs Lajos, Horváth István, Kelemen János: Gammakitörések. *Fizikai Szemle* 61 (2011) 371.

Palágyi Menyhért: A TÉR ÉS IDŐ ÚJ ELMÉLETE

Hiador, Paks, 2010, 52 o.

A tetszetős kivitelű, igényes kis könyv tulajdonképpen egy tudománytörténeti dokumentum. *Palágyi Menyhért* 1901-ben Lipcsében német nyelven megjelent munkájának első magyar nyelvű fordítása.

De ki is volt Palágyi Menyhért? A könyv fedőlapjának hátoldalán lévő szöveg szerint matematikus, filozófus, irodalomtörténész. A *Magyar Nagylexikon*ból viszont megtudhatjuk, hogy a matematikai-fizikai alapképzettségű Palágyi igen széles körű műveltséggel és ennek megfelelő tevékenységgel rendelkezett. Egyrészt irodalmi folyóiratokat szerkesztett, irodalmi és irodalomkritikai tanulmányokat írt, másrészt publikációi kiterjedtek az esztétikum és a pszichológia érintésével a logika és a természettudományok ismeretelméleti problémáinak tárgyalására. Palágyi Pakson született 1859-ben, munkásságát hazánkban fejte

ki, de élete utolsó évtizedét Darmstadtban töltötte és ott is halt meg 1929-ben.¹ A *Fizikai Szemle*ben már olvashattunk Palágyi Menyhértről és munkásságáról (Fiz. Szemle 1976/8. 301. o.).

Mi indokolja Palágyi 1901-ben megjelent művének lefordítását, kiadását és ismertetését? *Toró Tibor* a könyv e kiadása elé írt soraiban azt írja Palágyi munkájáról, hogy ebben felvetette a „...két filozófiai és fizikai alapfogalom, a tér és az idő egyesítése szükségességének a gondolatát, melyet ő a XX. század elején a világon is az elsők között fogalmazott meg”.

Fizikusi-matematikusi képzettsége ellenére a tér és az idő problémáját a filozófia oldaláról közelíti meg, bár felfogásában, álláspontja kialakításában szerepe

¹ Toró Tibor szövegében az 1924-es évszám valószínűleg téves.

van az úgynevezett projektív vagy szintetikus geometriának. Ezért könyvének alcíme: *Egy metageometria alapfogalmai*. E geometria lényege, hogy „...a különféle jelenségek a térbeli világban egymással kapcsolatban vannak” – írja *Jakob Steiner* a tárgyra vonatkozó alapvető művében és Palágyi így folytatja: „Értelmünk néhány alapkapcsolat felismerése által, ura kell legyen a legbonyolultabb mértani összefüggéseknek.”

A következőkben idézzük Palágyi néhány fontos megállapítását a térről és az időről, illetve kölcsönös összefüggésükről. „...úgy találom, hogy az uralkodó felfogás az idő és tér elméletével kapcsolatban is értelmünk hamis kettős látásának betegségében szenved. ... semmilyen érzéki jelenség nincs, amely csak térben, vagy pedig csak időben kimutatható lenne. ... egy tér fogalma az időfogalom közrejátszása nélkül sohasem konstruálható. Az idő ezen közrejátszását a térbe használja fel mindenkor a mértan művelője, valahányszor például a vonalat egy pont mozgása által, vagy a síkot egy vonal mozgása által létrehoz. ... Megfordítva: a térfogalom az időfogalom képzésében elengedhetetlen részt vállal. Mi az időt ugyanis folyamatosnak gondoljuk, és pedig oly mód folyamatosnak, hogy a tér bármelyik pontját is alapul véve, az idő minden részének ezen a térponton át kell folynia.”

Részletesen tárgyalja a dimenziók kérdését, elemezve a valóság egy-, két-, három- és több-dimenziós megközelítését.

Nem csak a tér-idő egységének megállapításával előremutató Palágyi műve, de például a következő gondolataival is. „Minden időpont a most-pont általi elfedéséről beszélve arra gondolok, hogy ez a fizikai jelenség független az akaratomtól, azaz természeti szükségszerűségként megy végbe. Ha viszont azt mondom, hogy én az összes időpontot egy most-pontban összefoglalom, úgy ezzel azt akarom kifejezni, hogy én ezt az összefoglalást, mint a tudatom egy gondolati tettét, azaz az akaratomtól függőnek tekintem.” Másrészt felmerül nála a dualitás fogalma is. Egyik fejezetének címe: *A tér és idő egysége és dualitása*.

Közben bevezeti a *folyó tér* fogalmát. „...az összes térpontot az idő most-pontjába (t_0) fogjuk össze. ... Ha tehát idővel a t_0 most-pont helyébe újabb t_1, t_2, t_3 ... stb. most-pontok lépnek, úgy logikus jogosultsággal állíthatom, hogy mindegyiküknek egy új most-

tér, mint R_1, R_2, R_3 ... stb. felel meg. Ily módon jutok el a terek egy folytonos sorának fogalmához, amit én összességében folyó térnek nevezek.”

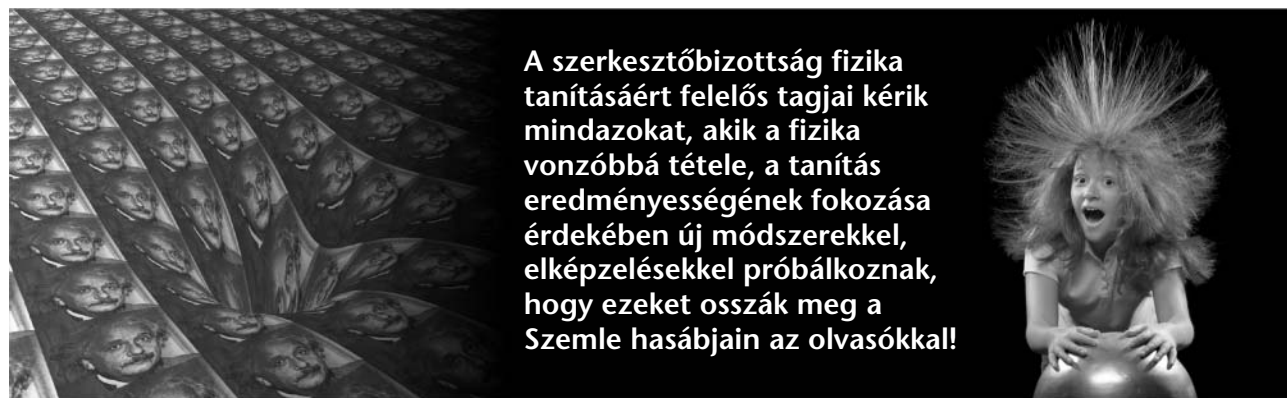
Végül a könyv utolsó bekezdésében így foglalja össze munkáját: „...a folyó terek fogalomkonstrukciója ... a természet-megfigyelés elmélyítéséhez vezet. ... az idő szubjektív (ideális) dimenzióját teljesen nyíltan az érzéki világ vizsgálatába állítom. A természettudomány ily módon átszellemül, objektivált pszichológiává és objektivált logikává válik. A folyó terek fogalma a természet- és szellemtudományok kölcsönös átjárhatóságát, tehát egy egységes világkép kialakulását segíti elő. *Egy egységes világkép megközelítése a legmagasabb cél, amit az emberi értelem maga elé tűzhet.*”²

Nehéz lenne megmondani, hogy Palágyi műve miért maradt ismeretlen, annak ellenére, hogy külföldön és német nyelven jelent meg. Talán az is hozzájárulhatott, hogy a későbbiekben Palágyi a relativitáselmélet ellen foglalt állást.³

Berényi Dénes

² Kiemelés tőlem, B. D.

³ A *Gazda István* által szerkesztett és az Akadémiai Kiadó gondozásában megjelent *Einstein és a magyarok* című nagy szöveggyűjteményben sok minden olvasható még Palágyiról. Idézi például *Illy József* tudománytörténész, a relativitáselmélet története neves kutatója megállapításait is. Íme Illy véleménye Palágyiról: „Kár, hogy Palágyi nem a fizika útján haladt célja felé. Bár fizika-matematika szakos tanár volt, írásain ezt elég nehéz észrevenni. Szélsőségesen szubjektív, szertelen gondolkodásmódja a tudomány és általában a műveltség sok területére csábította, s vitte bele értelmetlen vitákba. A XIX. század vége felé Madáchról, majd Petőfiről írt tanulmányát, a Barabás Miklósról szóló esztétikai cikkét még az iránta rajongó és róla elfogult könyvet író Solt Hugó is túlzónak tartotta; a darwini evolúciós elméletet támadó és saját »koevolúciós« elméletét propagáló dolgozata a szakember Méheltytől kapta meg jogosan szigorú bírálatát. Még a marxizmus kritikájával is foglalkozott... A kolozsvári tanonciskolában tanító, »meg nem értett« embert Németországban bizonyos körök nagyra értékelték (különösen Klages), a relativitáselmélet pronáci-antiszemita ellenségei (Lenard, Lipsius, Gehrcke) pedig mindenkit örömmel üdvözöltek, akinek műveit, nyilatkozatait felhasználhatták Einstein ellen. Így került Palágyi is a »Hundert Gelehrten gegen Einstein« (Leipzig, 1931) föltűnő rosszindulatról és elfogultságról tanúskodó kiadványba. Hosszú volt ez a kitérő, de nem mehettem el szótlannal a mellett az ember mellett, aki bármilyen mellézköngésekkel is, de az egyetlen magyar volt a téridő fölismérésének történetében.” Palágyival kapcsolatos tájékoztatóunkat még segíti az ugyancsak a paksi Hiador kiadónál néhány évvel korábban (2007) megjelent másik munka is: *Serdült Benke Éva A meg sem ismert Palágyi* című 84 oldalas kötete.



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

A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

Az ELFT felhívása a fizika barátaihoz

Tisztelt Fizikabarátok!

A Nemzeti Erőforrás Minisztériuma (NEFMI) a kulturális intézmények átszervezésének kapcsán a Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeum *Elektrotechnikai Múzeumát* (1075 Budapest, Kazinczy utca 21.) „lemónóstette” múzeumról Közérdekű Muzeális Gyűjteményé, így 2012. március 18-tól *megszűnik* a korábbi nyitvatartási kötelezettség. Az Elektrotechnikai Múzeum valamennyi munkatársa – az intézményvezető kivételével – megkapta felmondólevelét. Az épület bezárása talán nincs napirenden, de a jelenlegi nyitvatartási idő maximum heti három alkalomra csökken majd. A kiállított tárgyak felügyeletére az anyacég – a Közlekedési Múzeum – küld majd nem-elektrotechnikai szakember „teremfelügyelőket”, amikor az szükségesnek látszik. Ez azonban azt jelenti, hogy a múzeum eddigi legfőbb erőnye, az *interaktivitás megszűnik*, helyette csupán a vitrin alatt lehet majd megtekinteni a kiállított tárgyakat. Ha valóban így lesz, akkor *megszűnik* a múzeum természettudományos *ismeretterjesztő* jellege, legjobb esetben is átalakul valamiféle technikatörténeti múzeummá. Féltő, hogy ebben a minőségében jóval kevesebb érdeklődőt fog vonzani, és valószínűleg egy idő után az „érdeklődés hiányára” hivatkozva könnyű lesz majd végleg bezárni.

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat vezetősége levélben is kifejezte tiltakozását a NEFMI illetékesei felé az Elektrotechnikai Múzeum átminősítése miatt.

Az Elektrotechnikai Múzeum sok éve sikeresen szolgálja a természettudományos ismeretterjesztést, elsősorban az iskolás gyerekek körében. A múzeum jelenleg nemcsak az elektrotechnika történetét mutatja be, hanem különleges programjai (*Vándorló múzeum, Rendbogyó fizikaóra, Készíts iránytűt, Te is tudsz villanymotort készíteni, Készíts detektoros rádiót* stb.) *élő kísérletezéssel*, az eszközök *működés közben történő bemutatásával*, és a látogatók (tanulók) által végrehajtott kísérletekkel az elektrotechnika fogalmait is elmélyítik, és ezzel hatékonyan szolgálják a hazánkban olyannyira szükséges és javítandó természettudományi oktatást. A múzeum a tavalyi évben 10 135 látogatót fogadott az épületben, 5950 látogató volt a múzeumon kívüli rendezvényeken és 680 résztvevő a múzeumon kívüli iskolai bemutatókon, összesen tehát 16 765 fő. Ez a szám mutatja a múzeum és rendezvényei iránti társadalmi igényt.

Felhívunk minden fizikát szerető embert, hogy – a hátsó borítón található módon – a múzeum utolsó napját, március 17-ét, szombatot tegyük az ésszerűtlen, a természettudományos oktatást sújtó intézkedés elleni demonstráció napjává!

Az ELFT Elnöksége

A Vákuumfizikai, -technológiai és Alkalmazásai Szakcsoport hírei

Az ELFT Vákuumfizikai, -technológiai és Alkalmazásai Szakcsoportban 2011 decemberében megtartott tisztújítás eredményeképpen a szakcsoport új vezetése:

Elnök – *Pécz Béla*

Titkár – *Csik Attila*

A vezetőség tagjai – *Czigány Zsolt, Hárs Gyögy, Kövér László, Lobner Tivadar, Óvári László, Szikora Béla*

2012 első félévének szemináriumai

Február 28. (kedd) 13⁰⁰ óra

Picosun (<http://www.picosun.com/>) cégbemutató
Balázs Katalin (MTA TTK-MFA): Titán alapú biokompatibilis vékonyrétegek előállítás és vizsgálata
Bokányi Eszter (TDK, ELTE): Fázisátvitel ótvözet (Cu-Ag) nanoszemcsékben

Pető Gábor, Daróczi Csaba (MTA TTK-MFA): Sn komponensek Si mátrixban

Bobátka Sándor: Magyar Vákuumtársaság éves beszámolója

Az előadások helye: MTA TTK-MFA Tanácsterem, Budapest, KFKI 26. épület, I. emelet.

Április 24. (kedd) 13⁰⁰ óra

Osvey Károly (SZTE – Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék / ELI-Hu kft.): Az ELI-ALPS felépítése és lézeres paraméterei

Dombi Péter (MTA – Szilárdtestfizikai Kutatóintézet / ELI-Hu kft.): Az ELI-ALPS másodlagos fényforrásai és az azokkal végezhető kísérletek

Hernádi Klára (SZTE – TTIK Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék): Nanotechnológiai kutatások a napenergia-hasznosítás területén

Óvári László (SZTE – Kémiai Kutatóközpont, Reakciókinetikai Laboratórium): A nanoszerkezet szerepe a katalizátor-adalékok hatásmechanizmusának pontosabb értelmezésében

Kiss János (SZTE – TTIK Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék): Oxid-nanocsövek alkalmazása katalizátor hordozóként: lehetőségek és nehézségek

Az előadások helye: MTA SZAB Székház, Szeged, Somogyi u. 7., I. emelet 110. terem.

Laborlátogatás

A TTIK Kémiai és Fizikai Tanszékcsoportjai felújított épületeinek és néhány laboratóriumának megtekintése.

Semináriumi alkalmainkra a Magyar Vákuumtársasággal (HVS), az MTA Elektronikus Eszközök és Technológiák Bizottságával (EETB) és az MTA Felületkémiai és Nanoszerkezeti Munkabizottsággal közös szervezésben kerül sor. Minden tagunkat és érdeklődőt szeretettel hívunk és várunk szemináriumainkon!

HÍREK ITTHONRÓL

Búcsú Keszthelyi Lajosné Lándori Sárától

Lándori (Szteblo) Sára békéscsabai pedagógusok gyermekeként 1927-ben látta meg a napvilágot. A békéscsabai tanulmányok után beiratkozott a budapesti Pázmány Péter, jelenlegi nevén Eötvös Loránd Tudományegyetemre. Matematika-fizika szakos tanári oklevelét 1950-ben szerezte. Ezután kilenc évig vezette a Természettudományi Kar Fizikai Intézetének szakkönyvtárát és részt vett az oktatási tevékenységben is. Emellett az Eötvös Loránd Fizikai Társulat titkára is volt. Ő szervezte meg az első Fizikus Vándorgyűlést Pécsen 1951-ben. Ebben az időszakban ment férjhez *Keszthelyi Lajos* fizikushoz, amely házasság élete végéig kölcsönös boldogságot és biztonságot nyújtó kapcsolat maradt.

1959-ben a Gamma Művekhez került, ahol az akkor létesített nukleáris műszergyártó részleg munkatársa, majd az Izotóplaboratórium vezetője lett. Szcintillációs számlálók – főként a nukleáris medicina által igényelt detektorok – fejlesztése, ellenőrzése volt a fő feladata. Nagy fordulatot jelentett szakmai pályafutásában és a hazai orvosműszer-gyártásban egyaránt, hogy a gyár vezetése kiküldte őt az Egyesült Államokba a Picker céghez az akkor legkorszerűbb nukleáris orvosi diagnosztikai berendezés, a szcintillációs gammakamera licencének átvételére. A tanulmányútról visszatérve főként a kamerák fejlesztésével, végső beszabályozásával foglalkozott. Szabadalmakat és tudományos dolgozatokat készített, konferenciákon vett részt. Rövid idő alatt a hazai nukleáris medicina meghatározó személyiségévé vált. Naprakészen ismerte a szakirodalmat, a tengernyi cikk között mindig megtalálta az igazán előremutatókat és az azokban leírtakat azonnal próbálta a műszergyártásban és az ellenőrzésben alkalmazni. Kitartó munkával sokszor a lehetetlennek látszó célokat is meg-



valósította, szakmai elkötelezettsége adott neki ehhez energiát. Nagy szerepe volt abban, hogy a nukleáris diagnosztikai eljárásokat egyre szélesebb körben alkalmazták a hazai kórházakban és rendelőkben. Mindig követte a Gamma Művek által gyártott és üzembe helyezett műszerek (főként a gammakamerák) kórházi alkalmazását, itthon és külföldön egyaránt. Tanárszakon végzett, és a tanári szemlélete megmaradt: feladatának tekintette, hogy magyarázson munkatársainak, a Gamma műszereit használó orvosoknak és kórházi fizikusoknak. A Gamma Művekbe látogató hazai és külföldi vendégek mindig hosszú időt töltöttek az Izotóplaboratóriumban – Sára magyarázatait hallgatva.

Fáradhatatlan volt, energiája, érdeklődése soha nem fogyott ki, ha a szakmáról volt szó. Munkatársaitól sokat kívánt, de a legtöbbet önmagától várt el. Lelkesedése, a szakma iránti elkötelezettsége másokra is átsugárzott. Bár 1992-ben nyugdíjba ment a Gammából, azonban kapcsolata a nukleáris medicinával még hosszú éveken keresztül töretlenül megmaradt: 2005-ig tanácsadó fizikusként dolgozott a Mediso Kft.-nél. Lelkesedése ott sem hagyott alább. Rengeteget foglalkozott a cég nemzetközi ügyeivel: szervezte az International Atomic Energy Agencyvel kötött szerződések alapján a szcintillációs kamerák szállítását, szervizelését, sőt még új eszközök fejlesztésének előkészítésében is részt vett. A javaslatára elindított program során kifejlesztett, kisállatok vizsgálatára szolgáló pozitronemissziós tomográf termékévé vált. Megérte és súlyos betegsége ellenére talán meg is értette, hogy ezért a Mediso Kft. 2011-ben Innovációs Nagydíjat kapott.

Nem lehet véletlen, hogy a fizikának éppen az orvosi alkalmazása töltötte ki munkásságának nagy ré-

szét: az a terület, ahol az embereken segíthetett. Tudta, ezen korszerű műszerek alkalmazásával a diagnózis úgy tehető minden addiginál pontosabbá, hogy közben a beteg a lehető legkisebb veszélynek van kitéve. Sok esetben – például a szív vizsgálatánál – a szcintillációs műszerek alkalmazásával elkerülhető a diagnosztikai célból végzett műtéti beavatkozás.

Nemcsak szakmai munkásságán keresztül segített az embereken, hanem a Sztehlo Gábor alapítvány egyik alapító és élete végéig igen aktív tagjaként is. Az alapítvány célkitűzése, hogy segíti az intézetekben nevelkedő fiatalokat életkezdésükben és tanulmányaikban.

Felüldülést talált a komolyzene hallgatásában és művelésében. Édesapjától kapta a komolyzene szeretetét, ami egész élete során végigkísérte. Sokszor felidézte, hogy gyermekkorának meghatározó élménye volt, ha édesapja zongorájátékát hallgathatta. Később ő is megtanult ezen a kisgyermekként megszeretett

hangszeren játszani. Amíg a betegség nem fosztotta meg tőle, nagy örömét lelta a házimuzsikálásban.

Bár csupán néhány évig dolgoztunk együtt a Gamma Művekben, személyisége mégis kitörölhetetlen hatással volt az én életemre is. Az élet nagy ajándékának érzem, hogy ismerhettem őt, és élvezhettem megtisztelő barátságát. Kapcsolatunk életének utolsó pillanatáig megmaradt, talán azért is, mert minket – a házimuzsikálásunkon és közös hangversenyélményeinken keresztül – a komolyzene is összekötött.

A tudomány és a zene iránti érdeklődését súlyos betegsége sem tudta megtörni, szinte utolsó percéig követte az új tudományos eredményeket és hallgatta a szép komolyzenei felvételeket.

2011. április 14-én hosszú betegség után távozott az élők sorából. Hamvait a Farkasréti temetőben családi sírban helyezték örök nyugalomra.

Igaz ember volt, nyugodjék békében.

Adorjánné Farkas Magdolna

Kovács István (1933–2011)

2011. november 21-én hosszú, súlyos betegség után elhunyt *Kovács István*, az ELTE professor emeritusa, nyugalmazott tanszékvezető egyetemi tanár, a magyarországi fizikai felsőoktatás és kutatás kiemelkedő, iskolateremtő egyénisége. Vezetésével alakult meg 1971 szeptemberében az ELTE Általános Fizika (ma Anyagfizikai) Tanszéke, amelyet 24 éven keresztül, 1995 júliusáig irányított. Kutatói munkásságának középpontjában a kristályos szilárd anyag rácshibáinak, és azok az anyag fizikai tulajdonságaiban tükröződő hatásainak tanulmányozása állt. 1965-ben jelent meg *Diszlokációk és képlékeny alakváltozás* című (*Zsoldos Lebel*lel közösen írt) könyve, amelynek angol változatát a Pergamon Press kiadó jelentette meg 1973-ban. Ez a könyv ma is az egyik alapmű a területen, akkoriban úttörő újdonság volt: a fizika bonyolult matematikát alkalmazó, kvantitatív szemléletmódját vitte be az inkább tapasztalatok összegzésén és leírásán alapuló mérnöki-technológiai anyagtudományba. Ezzel egyik korai klasszikusa lett a fizikai anyagtudománynak. Ő írta a *Fizikai Kézikönyv* (Akadémiai Kiadó, 1983) *Szilárdtestek plasztikus tulajdonságai* és *Rácsbibák* című fejezeteit. Tagja volt a *Review of Deformation Behaviour of Materials* nemzetközi folyóirat szerkesztőbizottságának. 2001 és 2005 között jelent meg a *Szilárdtestek mechanikai tulajdonságai* című háromkötetes egyetemi jegyzete, amely teljesen új felépítésben tárgyalja a témakört.

Kutatásaiban alapvető új eredményeket ért el a képlékeny alakváltozás mechanizmusának vizsgálatá-



ban. Egyidejű csavarási és nyújtási deformációval párhuzamosan végzett elektromos ellenállásmérés révén új kísérleti módszert valósított meg az alakítás során keletkező kristályhibák vizsgálatára. A csavarási deformációval elérhető nagy képlékeny alakváltozások vizsgálatával elsőként ismerte fel az 1960-as években az alakítási keményedés IV. szakaszát, amely 20 évvel később lett az e területen folyó kutatás egyik központi problémája.

Kovács István kutatómunkájának másik fontos területe az alumínium alapú ötvözetekben lejátszódó kiválási folyamatok mechanizmusainak tanulmányozása. A kiválások fázisátalakulás eredményeként kialakuló két- vagy többfázisú mikroszerkezet eredményezi a nemesíthető ötvözetekben a szilárdságnövekedést, amelynek alapja a diszlokációknak az idegen fázis részecskéivel való kölcsönhatása. Kovács István mind a kiválások képződésének, mind a diszlokáció-részecske

kölcsönhatás leírásának terén lényeges új eredményeket publikált. Nemzetközi folyóiratokban több mint száz publikációja jelent meg. Műveire több mint 1500 független hivatkozás ismert.

Tanszékén a szilárdtestfizikai-anyagtudományi kutatási tevékenység mellett az egyetemi és a középiskolai fizikaoktatás módszereinek fejlesztésében is jelentős eredményeket értek el. Számos egyetemi jegyzet, gimnáziumi és szakközépiskolai fizikatanönyv szerzője és szerkesztője volt. Vezetése alatt tanszéke kiemelten foglalkozott a fizikus és fizikaszkos tanárképzés speciális feladataival. Ezek közé tar-

tozik a fizikai ismereteket megalapozó egyetemi bevezető előadások induktív és sokoldalú előadási demonstrációs kísérleteken alapuló felépítése. Kidolgozta az anyagtudományi mérnök-fizikus szak képzési tervét, valamint az ELTE Fizika Doktori Iskola *Anyagtudomány és szilárdtestfizika* programját, amelyet 1999-ig vezetett.

Kovács István tanítványai közül eddig négyen szereztek egyetemi tanári címet, tanítványai vendégprofesszorként, illetve vendégkutatóként meghívást kaptak számos vezető külföldi egyetemre és kutatóintézetbe (ETH Zürich, McGill University Montreal, Leuven Catholic University, University of Delft, Max-Planck-Institut Stuttgart, University of Edinburgh stb.).

Kovács István a szakmai közéletben is jelentős szerepet vállalt, 5 éven keresztül volt az ELTE Fizika Tanszékcsoporthoz vezetője, főtárgyára volt az Eötvös Loránd Fizikai Társulatnak, tagja volt az MTA Fizikai Bizottságának, elnöke az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Fémfizikai Szakcsoportjának. Számos nemzetközi konferencián volt meghívott előadó, és maga is több nemzetközi konferenciát szervezett. Munkássága elismeréséül 1998-ban az MTA Fizikai Fődíjával tüntették ki.

Halálával egy elmélyült, tudós kutatót és tanárt, iskolateremtőt vezetőt és egy nagyszerű embert veszítettünk el. Emlékét megőrizzük.

Lendvai János, Groma István

Ericsson-díj 2011 – ünnepélyes díjátadás

Három fővárosi és hét vidéki intézmény tanára részesült 2011-ben az Ericsson-díjban. Az elismerést olyan középiskolai tanárok kapják, akik kiemelkedő teljesítményt nyújtottak a matematika és a fizika tudományának népszerűsítésében és a tehetséggondozásban.

A díjazottak között találjuk a Tudományok Hídján diákjaival robotprogramozási és fizikai kísérleteket bemutató fizikatanárt, a *Matematika Érettségi Feladatgyűjtemény* szerzőjeként játékos matematikai honlapokat szerkesztő pedagógust és a Nemzetközi Matematikai Diákolimpia egyik ezüstérmesének „trénerét”, aki szabadidejében tehetséggondozó táborokat szervez, és a *Mathematics Teacher*ben publikálja újszerű oktatási módszereit. A díjakat négy kategóriában, tíz tanárnak ítélték oda, az elismerés mellé 250 000 Ft értékű pénzjutalom is jár.

Az Ericsson-díj fizikatanár kitüntetettjei

Az *Ericsson a matematika és fizika népszerűsítéséért* 2011. évi díját fizikából

Győri István, a Szegedi Tudományegyetem Ságvári Endre Gyakorló Gimnázium tanára,

Jendrék Miklós, a váci Boronkay György Műszaki Középiskola és Gimnázium tanára, valamint

Zsigó Zsolt, a nyíregyházi Bánki Donát Műszaki Középiskola tanára kapta.



Az *Ericsson a matematika és fizika tehetségeinek gondozásáért* 2011. évi díját fizikából

Ábrám László, a budapesti Városmajori Gimnázium tanára és

Kispál István, a dunaújvárosi Széchenyi István Gimnázium tanára kapta.

A díj 12 éves története alatt 152 matematika- és fizikatanárt díjazott az Ericsson Magyarország. A 2011. december 12-i díjátadón *Kroó Norbert*, az ELFT elnöke örömet fejezte ki, hogy a vállalatok egyre több forrást mozgósítanak a hazai oktatás fejlesztésére, egyben abbéli reményének adott hangot, hogy a gazdasági helyzet javulásával ez a helyzet erősödik.

Ericsson-díj 2012 – felhívás díjazandó tanárok ajánlására

Az Ericsson Magyarország Kutatás-Fejlesztési Igazgatósága által 1999-ben alapított díjat *általános-, vagy középiskolásokat tanító fizika- és matematikatanárok* nyerhetik el, az alább részletezett feltételek szerint. A díj alapításának célja, hogy támogassa és erősítse a magyarországi matematikai és természettudományos alapképzés világviszonylatban is kiemelkedő színvonalát, igényességét. Ennek köszönhető ugyanis, hogy a hazai műszaki és természettudományi diplomával

rendelkezők tudása megfelelő szellemi értéket képvisel az igényes hazai és külföldi befektetők előtt és vonzóvá teszi Magyarország bekapcsolását a távközlés és egyéb csúcstechnológiák nemzetközi kutatási fejlesztési láncába.

Az Ericsson-díjakat 2012-ben két kategóriában ítélik oda.

Az *Ericsson a matematika és fizika népszerűsítéséért* díj 2 matematika- és 2 fizikatanár részére egyen-

ként 250 000 Ft-tal járó díj, amelyet olyan tanárok kaphatnak, akik tanítványaikkal aktívan bekapcsolódtak a *Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok* vagy az *Abacus* folyóiratának pontversenyeibe, vagy tanítás mellett évek óta a legtöbbet teszik a tantárgyuk iránti érdeklődés felkeltéséért és megszerettetéséért.

Az *Ericsson a matematika és fizika tehetségeinek gondozásáért* díj 2 matematika- és 2 fizikatanár részére egyenként 250 000 Ft-tal járó díj, amelyet olyan tanárok kaphatnak, akiknek tanítványai a *Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok* vagy az *Abacus* versenyein, vagy a Varga Tamás, Kalmár László, Arany Dániel matematikaversenyek, matematika vagy fizika OKTV, Öveges József, Jedlik Ányos, Mikola Sándor, Szilárd Leó fizikaversenyek, a Nemzetközi Matematika vagy Fizika Diákolimpiák, a Kürschák József matematikai tanulmányversenyek vagy az Eötvös Loránd fizikaversenyek valamelyikén a 2007–2008-as tanévtől kezdődően elnyerték az első öt díj egyikét.

A díjakat a MATFUND Középiskolai Matematikai és Fizikai Alapítvány ítéli oda, a Bolyai János Matematikai Társulat és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Ericsson-díjbizottságainak ajánlása alapján.

A díjazandókra írásos javaslatot nyújthatnak be szakmai és társadalmi szervezetek, a javasolt tanár tevékenységét ismerő kollégák, tanítványok. *Az ajánlásnak tartalmaznia kell a javasolt személy részletes szakmai jellemzését* különös tekintettel azokra a szempontokra, amelyek alapján a díjra érdemesnek tartják. Segítségként használhatják a különböző kategóriák *Pályázati adatlapjait*. Az adatlap letölthető a <http://www.komal.hu> és a <http://www.ericsson.hu/ericsson-dij-2012> internetcímeiről. Ha a korábbi években már javasolt tanár nem kapott díjat, a felterjesztést (hivatkozva a már beküldött jellemzésre, esetleg kiegészítve azt) kérjük, ismételjék meg!

A beérkezési határidő: 2012. április 16. Cím: MATFUND Alapítvány, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A. Kérjük, a borítékra írják rá: Ericsson-díj! E-mail cím: matfund@komal.hu.

A bizottságok a benyújtott írásos javaslatok alapján 2012. április 23-ig döntést hoznak a jelöltek sorrendjéről. A bizottságok részletes indoklását tartalmazó jelentése után a MATFUND kuratóriuma 2012. április 30-ig dönt a díjazandók személyéről. A díjkiosztó ünnepségre 2012 júniusában kerül sor.

Nyári továbbképzés tanároknak az ESA központjában, Hollandiában

Az Európai Űrkutatási Hivatal (ESA) fontosnak tartja, hogy első kézből adjon át ismereteket tanároknak, nyújtson bepillantást a tudományos kutatás élvonalába tartozó intézmény életébe.

2011. július 11–14. között egy izgalmas továbbképzés került megrendezésre az ESA Kutatási és Technológiai Központjában (ESTEC), Norwijkban Európa különböző országaiból érkezett fizikatanárok részére. Az ESA 19 tagállamából és néhány társult országból – ilyen Magyarország is – mintegy 150 pályázat érkezett, ezekből választották ki a 40 résztvevőt.

A négy nap során számos izgalmas előadásra, kísérleti bemutatóra és személyes találkozásra került sor. Néhány ezek közül: Sötét anyag kozmológia, Föld típusú bolygók keresése a Naprendszerünkön kívül, Földmegfigyelések a világűrben

Érdekes újrámű az Eurobot Rover



Az egyik legsikeresebb találkozóra *Leopold Eyharts* francia űrhajóssal került sor, aki járt a Miren és a Nemzetközi Űrállomáson (ISS) is, az utóbbin közel két hónapig dolgozott az európai Columbus-modul felszállításán és beüzemelésén.

Érdekes volt látni a műholdak rendkívüli igénybevétele tesztelő laboratóriumokat és berendezéseket. 3D-s túrán mutatták be az ISS működését.

Tanári szempontból nagyon hasznosnak tartom azokat az egyszerű kísérleteket, projekt-ötleteket amelyeket diákokkal órán és szakkörön tudunk elvégezni, itt számos ilyenrel találkoztam:

- Hogyan készítsük el egy üstökös anyagának modelljét folyékony nitrogén segítségével?
- Mely kísérletek bemutatását javasoljuk a Nemzetközi Űrállomáson egy ottani fizika órára?
- Tervezzünk utazást a Marsra (például legkevesebb üzemanyagot felhasználó útvonalat)!
- Műholdak adatainak használata a tanórákon (ESA SOHO adatok, Eduspace eszközök földmegfigyelésre).

Egy aktualitás diákoknak: középiskolai tanulók számára az ESA az *Explore the high energy Universe* pályázatot írta ki. Benyújtási határideje 2012. március 31-e. Bővebb információval a http://www.esa.int/SPECIALS/Education/SEM1XP3UNSG_0.html honlap szolgál.

A következő nyári továbbképzés pályázati határideje június vége. A pályázatban elnyert támogatás fedezi a szállás és étkezés teljes, valamint maximum 200 euró összegig az utazás költségeit.

Nagy Tibor

Varga Katalin Gimnázium, Szolnok

Határ a csillagos ég 2011 – három díjnyertes asztrofotó

Immáron harmadszor került megrendezésre az MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézet középiskolás diákok számára kitalált távcsőidő-pályázati versenye. 2011 tavaszán a pályázati felhívásban azt kértük a háromfős középiskolás csapatoktól, hogy tudományos érveléssel készítsenek pályamunkákat, amelyekben leírják, hogy milyen égitestről milyen megfigyeléseket végeznének az ország második legnagyobb távcsövével, a piszkéstetői 60/90/180 cm-es Schmidt-teleszkóppal. A pályázat első díja a mérésekben való személyes részvétel volt a mátrai észlelőhelyen, míg a második és harmadik díjas pályázatok megfigyeléseit az obszervatórium munkatársai végezték el.

A 2009-es és 2010-es érdeklődést megidéző számban érkeztek színvonalas pályázatok. A háromfős zsüri lényegében egyhangúan választotta ki a három díjnyertes munkát. Ezek a következők voltak:

1. helyezett: Kulin – *Grósz Péter, Szabó Péter, Horváth Balázs* (Könyves Kálmán Gimnázium, Budapest), felkészítő tanár: *Udvardi Imre*, objektum: M27;

2. helyezett: Milky Way – *Tamás Melitta* (Árpád Gimnázium), *Prósz Aurél* (Móricz Zsigmond Gimnázium), *Hanyecz Ottó* (Szilágyi Erzsébet Gimnázium, Budapest), tanáruk: *Horvai Ferenc*, objektum: NGC 7479;

3. helyezett: Sagittarius – *Borók Zsuzsanna, Szabó Balázs, Horváth Nikoletta, Kerekes Viktor* (Illéssy Sándor Szakközép- és Szakiskola, Kisújszállás), tanáraik: *Sánta Gábor* és *Vígh Lajos*, objektum: NGC 6822.

Az alábbiakban bemutatjuk a 2011 augusztusa és októbere között felvett digitális képek alapján elkészült színes asztrofotókat, illetve két csapattól részletes beszámolót a pályázat tapasztalatairól, végrehajtásáról.

Irány az M27!

A Könyves Kálmán Gimnázium diákjainak élménybeszámolója a piszkéstetői észlelésről:

„A nyári szünet örömteli híre volt számunkra, hogy megtudtuk: a *Határ a csillagos ég* pályázat idei győzteseiként vendégül látnak bennünket Piszkéstetőn, ahol elkészíthetjük a 60 cm-es Schmidt-teleszkóppal saját felvételünket kedvenc objektumunkról, az M27-es planetáris ködről. Iskolánkban, az újpesti Könyves Kálmán Gimnáziumban Kulin Györgynek köszönhetően nagy hagyományai vannak az amatőr csillagászati megfigyeléseknek. Mi is hat éven át voltunk tagjai a csillagász szakkörnek, többször volt alkalmunk az iskola távcsöveivel felvételeket készíteni az M27-ről, a Mátrában található rózsaszentmártoni észlelőtáborunkban. Így érthető, hogy milyen izgalommal készültünk a piszkéstetői észlelésre. Vajon hogy csinálják a profik? Milyen képfeldolgozási eljárást alkalmaznak? Tudunk-e az ott látottakból mi is profitálni, fejleszteni megfigyelési módszereinket?

Amint megérkeztünk, az obszervatóriumban *Sárnecky Krisztián* fogadott bennünket, aki az ott-tartózkodásunk egész ideje alatt nagyon készséges, segí-

tőkész volt. Részletesen elmagyarázta az észlelés minden fázisát, hasznos ismeretekkel bővítve tudásunkat a képfeldolgozásról. Részesei lehettünk munkájának, közelről láthattuk, milyen a mai modern csillagász élete. Különös élmény volt vele együtt figyelni az új szupernóva kifényesedését az Örvény-galaxisban, látni testközelből a sikeres kisbolygó-vadászatot.

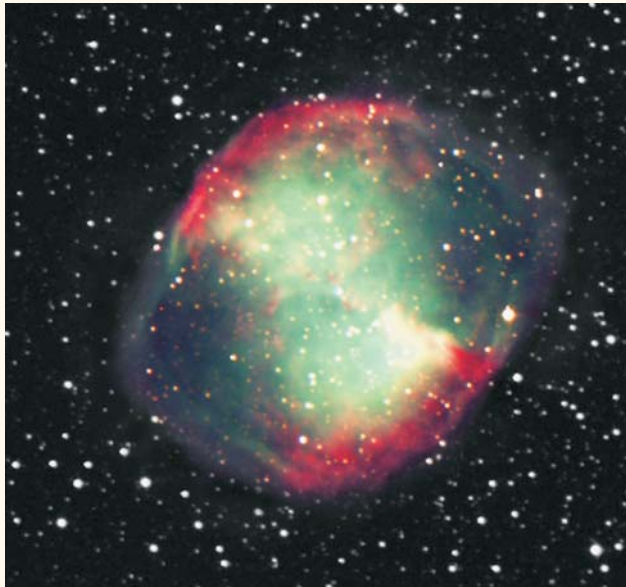
Nagyszerű érzés volt az is, amikor először meglátuk a Schmidt-teleszkópot, azt a műszert, ami csak arra várt, hogy aznap éjszaka mi irányítsuk. Amikor a kupola vagy ez a hatalmas tubus megmozdult, hirtelen hangyányinak éreztük magunkat alatta. A legnagyobb meglepetés mégis akkor ért bennünket, amikor megtudtuk: nem a távcső mellett fogjuk eltölteni az éjszakát, ugyanis az teljes mértékben automatizált. A távcsövet így csak elő kellett készíteni az észleléshez.

Míg kint voltunk a kupolában, gyorsan ránt sötétetett, ezért sietve mentünk vissza a néhány száz méterre lévő kényelmes észlelő helyünkre, ahol mindössze egy laptopra volt szükségünk a vezérléshez. Krisztián itt megmutatta, hogy rövid parancsokkal miként lehet ezt a hatalmas »játékszert« irányítani, majd gyorsan ráálltunk az objektumra, hogy az érdemi munka elkezdődhessen. A laptop internetkapcsolaton kommunikált a távcsövel, ezért csak azt kellett megterveznünk, hogy a teleszkóp a különböző színszűrőkkel hány darab és milyen hosszú expozíciós idejű felvételeket készítsen. Amint a beállításokat elküldtük a kupolába, a távcső azonnal elkezdte gyűjteni a fényt a Súlyzó-ködről, a kész képeket pedig visszaküldte a laptopra.

Csak néztünk tágra nyílt szemekkel, nehéz volt felfogni, hogy milyen precíz technika előtt ülünk – gondoltuk, majd rögtön meg is jelentek az első beérkező képek a monitoron. Tökéletesen éles, részletgazdag képeket küldött vissza távcsövünk, így folytathattuk a munkát a 3 másik színszűrővel is. Érdekes volt, hogy például infravörös (I) színtartományban a kód nem sugárzott ki fényt, így a többi szűrővel ellentétben alig látszott a felvételünkön az objektum.

Összesen 20 db képet készítettünk a B, V, R és I szűrők felhasználásával, majd következhetett a képfeldolgozás. Itt a körülbelül 2–2,5 perc hosszú expozíciókat színszűrőnként úgy dolgoztuk össze, hogy a képek fényereje és részletgazdagsága összeadódjon, ugyanakkor a fellépő digitális zajt és az optika leképzésének hibáit kiszűrjük. Ahogy a bonyolult képfeldolgozó programokkal dolgoztunk, folyamatosan körvonalazódott a kész kép kinézete.

A képünket végül csak másnap délelőtt tudtuk befejezni. A négyféle színszűrővel készült összegzett fekete-fehér képeket külön-külön megszíneztük, majd ezeket összefésültük, hogy a végleges színes képet megkapjuk. A színvilág pont olyanak mutatkozott, mint amilyennek azt előre elképzeltük, ezért már csak kisebb képszerkesztő beavatkozások választottak el bennünket attól, hogy a kész képet lementsük. Összesen 8–10 óra számítógépes utómunka után nagyon boldo-



M27-es planetáris köd, a 2011-es első helyezett pályázat felvétele (részletkép, a látómező körülbelül 20x20 ívperc).

gan dőlünk hátra a fotelben: elkészült felvételünk a Súlyzó-ködről. A köd olyan részleteit tudtuk előcsalni, amilyenekre saját műszereinkkel a legjobb körülmények között se lettünk volna képesek.

Indulás előtt még maradt egy kis időnk fotózkodni a távcsövekkel, majd meglátogattuk az obszervatórium legnagyobb, 1 m átmérőjű távcsövét is.

Kár, hogy az idő gyorsan múlt, és azon vettük észre magunkat, sietnünk kell, hogy elérjük a hazafelé tartó buszt. Furcsa érzés volt úgy elhagyni az obszervatórium területét, hogy az éjszakai égboltot egy pillanatra sem láttuk, hiszen végig mindent számítógépen keresztül intéztünk. A sok teendő közben teljesen elfeledkeztünk arról, hogy kimenjünk az éjszakai égboltban gyönyörködni.

Lefelé jövet csodálva a Mátra nyárvégi tájait, arra gondoltunk, jó lenne még visszajönni ide. Köszönjük a szervezőknek, a pályázat megálmodóinak, és minden közreműködőnek ezt a felejthetetlen élményt!”

Grósz Péter, Horváth Balázs, Szabó Péter

Az eltorzult spirálkarokat mutató NGC 7479 jelű galaxis a Pegasus csillagképben. A kompozit kép elkészítéséhez használt B, V és I felvételeket Tamás Melitta, Hanyecz Ottó és Prósz Aurél készítette 2011. október 21-én este. A teljes expozíciós idő 32,5 perc.



Galaxis a déli Tejút peremén

Az Illéssy Sándor Szakközép- és Szakiskola természet-tudományi szakkörös diákjai nagy örömmel fogadták a hírt, hogy a *Határ a csillagos ég* elnevezésű csillagászati pályázaton 3. helyezést értek el. A pályázati programjukban a vizsgálat tárgyát képező Barnard-galaxisról (NGC 6822) elkészült nyers felvételeket a kutatóintézet interneten keresztül rendelkezésünkre bocsátotta. A mátrai Schmidt-teleszkóppal rögzített felvételek külön-külön a B (kék), V (zöld), R (vörös) színszűrők használatával és egyenként 15 perces expozíciós idővel készültek el. Ezen képek mellé készültek még a képrögzítő eszköz műszereffektusainak kiküszöbölését szolgáló kalibrációs felvételek, összesen 15 perc expozíciós idővel.



NGC 6822, a Barnard-galaxis.

A különböző hullámhosszakon elkészült felvételek feldolgozása elkezdődhetett. A feldolgozást az IRIS nevű, kimondottan ilyen típusú műveletekre kifejlesztett ingyenes alkalmazással végezték a szakkörtagok. A digitális képek zajszűrése (dark és flat-field zajkorrekciós képek levonása és leosztása) után összeadásra kerültek a felvételek a következő lépésekkel. A B-V-R színszűrős képeket rendre 4:2:1 súllyal vettük figyelembe, majd elkészítettük a galaxis hamisszínes RGB színterű végleges képét, amelyen első pillantásra megállapítható volt a galaxis szabálytalan formája. A csillagváros peremén északra csillagban és csillagközi anyagban sűrű terület észlelhető. Feltűnő forma a galaxistól jobbra eső anyagfelhő, amely egy buborékformához hasonlítható. Feltételezhető, hogy ezek a területek intenzív csillagkeletkezési zónák.

A diákok ezúton szeretnék megköszönni a programban közreműködő és segítséget nyújtó személyek munkáját, a Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézet munkatársaiét és iskolai szakkörvezető tanáraikét.

*Borók Zsuzsanna, Horváth Nikolett,
Szabó Balázs, Kerekes Viktor
és Sánta Gábor, Vígh Lajos (felkészítő tanárok)*

Várunk az utolsó múzeumi előadásra!

Március 17-én, szombaton azok az **interaktív villamosságtani kísérletek**, amelyeket az **Elektrotechnikai Múzeum** iskolás korú diákok számára hozott létre a fizika megszerettetése, a fizika iránti figyelem felkeltése érdekében, és amelyek a tanórai anyagok elmélyítését célozzák, még utoljára bemutatásra kerülnek. Felhívunk minden fizikát szerető embert – kutatót, fizikatanárt, diákot, szülőt –

SEGÍTSE MUNKÁNKAT

hogy jöjjenek el ezen a napon a múzeumba, nézzék meg a fizikát értő és szerető szakemberek által utoljára bemutatásra kerülő kísérleteket, vegyék kezükbe az eszközöket, és végezzenek saját maguk is kísérleteket!
Legyünk minél többen!
Legyen ez a nap demonstráció is az ésszerűtlen, a természettudományos oktatást sújtó intézkedés ellen!

Az ELFT Elnöksége

Magyar Elektrotechnikai Múzeum, 1075 Budapest, Kazinczy utca 21.
Nyitva keddtől péntekig 10.00–17.00, szombaton 9.00–16.00 óráig
web: www.emuzeum.hu • tel./fax: (06-1)-342-5750

