

fizikai szemle



2013/5

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

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztőbizottság:

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

Szerkesztő:

Füstöss László

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mail címe:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>



A címlapon:

Hamarosan ezredik alkalommal
kápráztatja el a kisiskolásokat
a Fizibusz, azaz Tóth Pál tanár úr.

TARTALOM

<i>Blabó Miklós, Egri Ádám, Horváth Gábor, Barta András, Antoni Györgyi, Kriska György: Hogyan fogható napelemmel bögöly? – I. rész</i>	145
<i>Varga Péter: Esszé a mérésekről, amelyek a Planck-törvény felfedezéséhez vezettek – 5. rész</i>	149
<i>Völgyesi Lajos: A Föld precessziós mozgása</i>	152
<i>Vértessy Gábor: Ferromágneses anyagok roncsolásmentes vizsgálata mágneseshisztérezis-alhurok mérése alapján</i>	157
<i>Király Márton: Lehetséges megoldások az atomenergia-ipar jelenlegi problémáira – II. rész</i>	162
VÉLEMÉNYEK	
<i>Leitner Lászlóné: Egy természettudományos csoport munkájából</i>	166
A FIZIKA TANÍTÁSA	
<i>Hraskó Péter: Elmélkedés a Coriolis- és a centrifugális erőről</i>	168
<i>Riedel Miklós, Hollósy Ferenc, Szabolcs Imre, Vantsó Erzsébet: UV-sugárzás mérése a CERN-i tanulmányúton</i>	169
<i>Füstöss László: Ezredszer ér célba a Fizibusz</i>	173
HÍREK – ESEMÉNYEK	176

M. Blabó, Á. Egri, G. Horváth, A. Barta, G. Antoni, G. Kriska: How to catch tabanic flies with solar panels – part I.
P. Varga: On the measurements which led to the discovery of Planck's law – part 5
L. Völgyesi: The precession of Earth
G. Vértessy: The investigation of ferromagnetic materials based on the evaluation of secondary loops on their hysteresis curves
M. Király: Actual problems of industrial nuclear energy supply and their possible solutions – part II

OPINIONS

L. Leitner: The activities of the "Scientific group" of secondary school pupils

TEACHING PHYSICS

P. Hraskó: Thoughts on Coriolis and centrifugal forces
M. Riedel, F. Hollósy, I. Szabolcs, E. Vantsó: UV-measurements at the 2012 CERN Course for Hungarian physics teachers
L. Füstöss: Report on the "Bus of physics"

EVENTS

M. Blabó, Á. Egri, G. Horváth, A. Barta, G. Antoni, G. Kriska: Wie fängt man Bremsen mit ebenen Sonnenelementen – Teil I.
P. Varga: Über die Messungen, die zur Entdeckung des Planckschen Gesetzes führten – Teil 5.
L. Völgyesi: Die Präzession der Erde
G. Vértessy: Messungen an ferromagnetischen Stoffen durch Auswertung von Nebenschleifen an ihren Hysteresekurven
M. Király: Mögliche Lösungen aktueller Probleme der Versorgung mit Kernenergie – Teil II.

MEINUNGSÄUSSERUNGEN

L. Leitner: Die Arbeit einer „Naturwissenschaftlichen Schülergruppe“

PHYSIKUNTERRICHT

P. Hraskó: Gedanken zu Coriolis- und Zentrifugalkräften
M. Riedel, F. Hollósy, I. Szabolcs, E. Vantsó: UV-Messungen am CERN-Kurs 2012 für ungarische Physiklehrer
L. Füstöss: Bericht über den „Bus der Physik“

EREIGNISSE

M. Благо, А. Эгри, Г. Хорват, А. Барта, Д. Антони, Д. Крышка: Как ловить мухи на плоских детекторов солнечного света
П. Варга: Измерения, служащие основами изобретения закона Планка – часть пятая
Л. Велдеш: Прецессия Земли
Г. Верещи: Определение свойств ферромагнитных материалов путем анализа петл на характеристике гистерезиса
М. Кираь: Возможные решения актуальных проблем снабжения промышленной ядерной энергией – часть вторая

ЛИЧНЫЕ МНЕНИЯ

Л. Лайтнер: Работа т. н. научной группы учеников

ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

П. Храшко: Размышления по Кориоловой и центробежной силам
М. Ридел, Ф. Холоши, И. Саболч, Е. Ванчо: Измерение ультрафиолетового излучения
Л. Фюштош: Отчет о «Бус физики»

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

LXIII. évfolyam

5. szám

2013. május

HOGYAN FOGHATÓ NAPELEMMEL BÖGÖLY? – I. RÉSZ Fénypolarizációra és fotoelektromosságra épülő új rovarcsapda, avagy alapkutatásból gyakorlati haszon

Blahó Miklós, Egri Ádám, Horváth Gábor
Környezetoptika Laboratórium, ELTE Biológiai Fizika Tanszék, Budapest

Barta András
Estrato Kutató és Fejlesztő Kft., Budapest

Antoni Györgyi
ELTE Pályázati és Információs Központ, Budapest

Kriska György
ELTE Biológiai Intézet, Biológiai Módszertani Csoport, Budapest és
Dunakutató Intézet, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Vácrátót

A bögölyök (*Diptera: Tabanidea*) számos problémát okoznak az embereknek és az állatállománynak egyaránt, mivel vérszívó nőtényeik betegségek kórokozói terjesztik [1]. A vérszívó bögölyök folyamatosan zaklatják az állatokat, különösen a lovakat és szarvasmarhákat, aminek következtében azok nem tudnak eleget legelni, s így a hús- és tejtermelésük jelentősen csökken, ami komoly gazdasági károkkal jár [2]. Továbbá, a bögölyök csípései maradandó hegeket okoznak gazdaállatok bőrén. Minél nagyobb a heges terület a marhabőrön, annál inkább csökken a bőrükért tartott marhák értéke. Ezért a bögölycsapdák iránt – különösen a haszonállatok tartóinak körében – nagy a kereslet.

Hagyományosan fekete csalitárgyakkal ellátott sátras csapdákat használnak rutinszerűen a bögölyök elfogására [3, 4]. Szintén gyakori a kék-fekete vászonzól készült sátorcsapdák alkalmazása, amilyen például az úgynevezett Nzi csapda is [5]. E bögölycsapdáknál az a közös, hogy egy sátorból és a sátor alá fölfüggesztett csalitárgyból állnak. A csali feladata, hogy optikai tulajdonságaival (a visszavert fény intenzitásával és színével, a tárgy mozgásával) nagy távolságból odavonzza a bögölyöket. Mikor a nőtény bögölyök rászállnak a csalitárgyra s érzékelik, hogy az nem vérszívásra alkalmas gazdaállat, fölfelé kezdenek

repülni, és a fölfelé szűkülő sátor tölcészerűen bevezeti őket egy üveg vagy műanyag tárolóba, ahol csapdába esnek. E sátorcsapdák szinte kizárólag olyan nőtény bögölyöket fognak, amelyek gazdaállatot keresnek vérszívás céljából [1].

Korábban megmutattuk [6, 7], hogy a hím és nőtény bögölyök egyaránt vonzódnak a vízszintesen poláros fényhez, számos más vízirovarhoz hasonlóan [8–13]. Ennek oka, hogy a bögölyöknek vizet kell találniuk, mivel petéiket vízközeli növények leveleire rakják. Vízre pedig a vízfelszínről visszavert vízszintesen poláros fény segítségével bukkanak. E pozitív polarotaktikus viselkedés használható föl új bögölycsapdák kifejlesztésére.

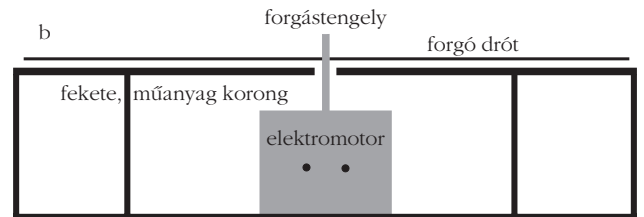
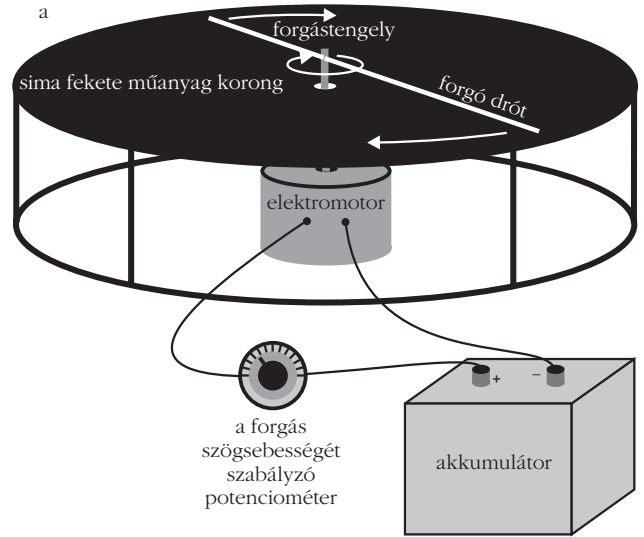
Cikkünkben egy ilyen merőben új típusú bögölycsapdát ismertetünk [14]. E csapdában a vizuális csalitárgy egy vízszintes napelemtábla, ami a felületéről visszavert erősen és vízszintesen poláros fényvel vonzza magához a polarotaktikus bögölyöket. A napelemtáblára rászállni próbáló bögölyöket egy gyorsan forgó drót kaszálja el, amit a napelemtábla által termelt villamos energiával forgatott elektromotor hajt. Részletesen bemutatjuk ezen új bögölycsapdát, amelynek hatékonyságát terepkísérletekkel bizonyítottuk, majd megvitatjuk e csapda előnyeit és hátrányait. Képzelt polarimetriával mértük a csapda

fénypolarizáló sajátságait, amelyek magyarázatot szolgáltatnak arra, hogy e csapda miért oly vonzó a bögölyök számára. Kutatásunk jó példája annak, hogy egy tisztán tudományos eredmény – a bögölyök pozitív polarotaxisának felfedezése – hogyan hasznosulhat a gyakorlatban egy új rovarcsapda kifejlesztésénél [14].

Napelemes bögölycsapda és terepkísérletek

Az 1. bögölycsapda csalifelülete egy vízszintes, kör alakú, sima, fekete műanyag lap (sugár = 30 cm, vastagság = 5 mm) volt, amit egy 15 cm magas és 25 cm sugarú alumínium keretre erősítettünk (1. ábra). A fekete körlap alatt egy elektromotort helyeztünk el úgy, hogy annak függőleges forgó tengelye a vízszintes körlap közepét szúrta át. A motortengelyhez vízszintesen egy vékony (0,5 mm vastag), 60 cm hosszú fém drótot erősítettünk a közepénél fogva. Így a drót a fekete körlap fölött (3 cm) foroghatott, annak közepé körül, a felülettel párhuzamosan. Az elektromotort egy 12 V egyenfeszültségű autóakkumulátor táplálta úgy, hogy az egyenáramot potenciométerrel lehetett változtatni, amivel egyúttal a drót forgásának szögsebességét is be lehetett állítani.

A 2. bögölycsapda két téglalap alakú (30×60 cm) vízszintes napelemtáblából (Omnitron F 10/12) állt, amelyeket egy alumínium vázra (60×60×20 cm) erősítettünk. A vízszintes, négyzet alakú (60×60 cm) felületet egy alumínium sáv (1×2×60 cm) osztotta ketté. E sávot metszette át egy elektromotor függőleges forgástengelye. E tengely hengeres (átmérő = 2 cm, magasság = 1 cm) fejrészébe egy 60 cm hosszú (0,5 mm vastag) drótot erősítettünk úgy, hogy az a napelem felületével párhuzamosan, afölött 3 cm magasan foroghatott. A két napelemtábla közti alumínium sávot és a napelemtáblák kereteit fekete festettük. Így a csapda teljes vízszintes felülete fényes fekete lett (2.a ábra), miáltal erősen (nagy polarizációfokú) és vízszintesen poláros fényt vert vissza, ezzel vonzva magához a polarotaktikus bögölyöket. Az elektromotort egy szabályzó elektronikán keresztül a napelemtáblák termelte egyenáram hajtotta. Az elektronika biztosította például, hogy bekapcsolás után az elektromotor tengelyforgása csak fokozatosan érte el a maximális szögsebességet. Enélkül a felpörgő drót föltekeredett volna az elektromotor forgástengelyére. Kikapcsolásnál e föltekeredés nem jelentkezett, így ilyenkor az elektronika nem avatkozott be a forgás tengelysúrlódás miatti lassulásába. Napos időben és a Nap kellően nagy θ elevációs szögénél ($> 29^\circ$) a két napelemtábla által termelt villamos energia elegendő volt az elektromotor tengelyének akkora szögsebességgel történő forgatásához, hogy a forgó drót minden odavonzott bögölyt elkaszáljon. Mikor a Nap elevációja alacsonyabb volt, mint 29° , két további, kiegészítő napelemtábla (Omnitron F 10/12, 2.a ábra) szükségeltetett, hogy a drót kellően gyorsan pörögessen. A két kiegészítő napelemtábla alumínium kereteit nem festettük fekete, mert azok szerepe



1. ábra. (a) Az 1. kísérletben alkalmazott 1. bögölycsapda vázlatos rajza. (b) A csapda keresztmetszeti képe. (c) A csapda terepen készült fényképe.

csak az elektromotor forgatásához szükséges villamos energia előállítására volt, nem pedig a bögölyök vonzása. Korábban megmutattuk [15], hogy az erősen fénypolarizáló, fényes, fekete felületek megfelelően sűrű, fehér vonalakkal történő rácsozással elvesztik a polarotaktikus rovarokra kifejtett vonzó képességüket.

A bögölycsapda drótszálának forgatásához szükséges teljesítmény számítása

Vegyünk egy $2R$ hosszúságú és a vastagságú drótot, amit a közepén rögzítünk! Forgassuk meg a drótot a középpontja körül ω szögsebességgel vízszintes síkban! Szemeljük ki a drót közepétől r távolságra egy

elemi dr hosszúságú darabkát (3. ábra)! Ezen elemi darabka kerületi sebessége $r\omega$, a rá ható elemi közegellenállási erő pedig

$$dF = \frac{1}{2} k \rho (a \cdot dr) (r\omega)^2 = \frac{1}{2} k \rho a \omega^2 r^2 \cdot dr, \quad (1)$$

ahol ρ a levegő sűrűsége, k pedig a drót alaktényezője (ami hengeres drótnál megegyezik egy kör keresztmetszetű henger alaktényezőjével). A dr elemi drótdarabkára ható elemi dF közegellenállási erő elemi forgatónyomatéka:

$$dM = r \cdot dF = \frac{1}{2} k \rho a \omega^2 r^3 \cdot dr. \quad (2)$$

Az elemi $ds = r \cdot d\phi$ ívdarabkán a dF közegellenállási erő által végzett elemi munka:

$$\begin{aligned} dW &= dF \cdot ds = dF \cdot r \cdot d\phi = \\ &= (dF \cdot r) \cdot \omega \cdot dt = dM \cdot \omega \cdot dt. \end{aligned} \quad (3)$$

Azon elemi teljesítmény, ami a drót dr darabkájának ω szögsebességgel történő forgatásához szükséges:

$$dP = \frac{dW}{dt} = \omega \cdot dM = \frac{1}{2} k \rho a \omega^3 r^3 \cdot dr. \quad (4)$$

Ekkora elemi teljesítmény szükséges ahhoz, hogy az ω szögsebességgel forgó drót elemi dr darabkájára ható elemi dF közegellenállási erő elemi dM forgatónyomatékát ellensúlyozzuk. Az ω szögsebességgel forgó, $2R$ hosszúságú drótra ható közegellenállási

erő forgatónyomatéka ellensúlyozásához szükséges teljes P teljesítmény meghatározásához a drót elemi dr darabkáihoz tartozó elemi dP teljesítményeket össze kell adnunk, vagyis integrálnunk a drót teljes hosszára:

$$\begin{aligned} P &= 2 \int_{r=0}^{r=R} dP = 2 \frac{1}{2} k \rho a \omega^3 \int_{r=0}^{r=R} r^3 \cdot dr = \\ &= k \rho a \omega^3 \left[\frac{r^4}{4} \right]_0^R = \frac{k \rho a \omega^3 R^4}{4}. \end{aligned} \quad (5)$$

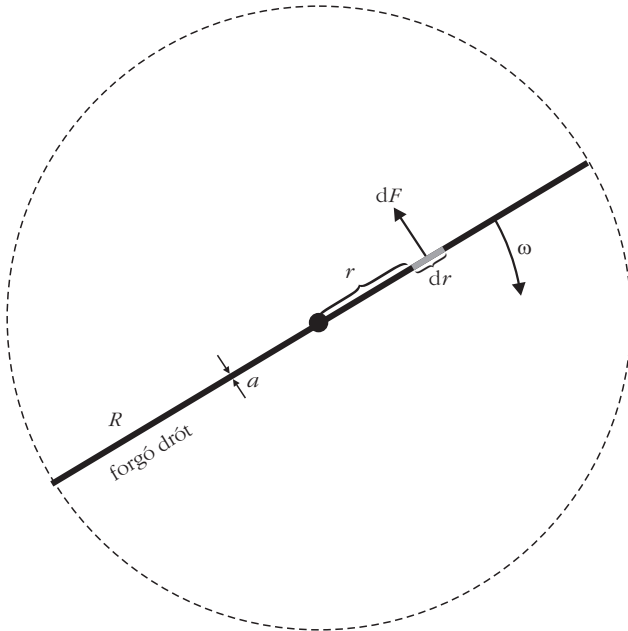
Az 1. kísérletet 2009. július 12. és 30. között 5 napon át Szokolyán ($47^\circ 52' N$, $19^\circ 00' E$), egy lovas-tanyán végeztük. E kísérlet célja annak vizsgálata volt, hogy (i) az 1. bögölycsapda drótjának forgása, (ii) a forgó drótszál zúgása és/vagy az általa keltett légmozgás (szellő) lerontja-e a csapda vízszintesen polarizáló felszínének bögölyvonzó hatását. A kísérlet során napos és meleg idő volt, ezért a füves talajra helyezett 1. bögölycsapda környezetében nagyszámú bögöly röpködött. Az 1. kísérlet minden nap 10:00-tól 15:30-ig tartott (helyi nyári idő = UTC + 2 óra). Az 1. bögölycsapda drótja 30 percig mozdulatlanul állt, majd 30 percig forgott, s ez ismétlődött naponta négyszer. A félórás forgás után a csapda felszínét 70%-os etanollal megtisztítottuk az elkaszált bögölyök testfolyadékaitól és petéitől. Mikor a drótszál mozdulatlan volt, a bögölyöknek a csapda fényes, fekete körlapjánál mutatott két tipikus reakcióját figyeltük meg és számoltuk: (i) a

2. ábra. (a) A 2–4. terepkísérletekben használt 2. bögölycsapda. Jobbra: a két vízszintes napelemtáblából és e napelemek felszíne fölött forgó vékony drótból álló csapda. Balra: ferde sítű két kiegészítő napelemtábla. (b–e) A csapda vízszintes napelemfelszínére leszálló bögölyök.



T felületérintést, ami a természetben előforduló jellegzetes viselkedés, amikor a bögölyök vizet isznak, vagy fürdőznek, hogy testüket lehűtsék, és (ii) a csapdafelszínre való L leszállást (néha járkálást). A bögölyök nem szállnak le a vízre és nem is járkálnak annak felszínén. L a bögölyök tipikus viselkedése az erősen és vízszintesen poláros mesterséges felületeken [6, 7, 11, 13, 15].

Annak ellenére, hogy a drótszál gyorsan forgott, néhány bögölynek sikerült forgás közben rászállnia a csapdafelszínre. Drótforgás közben a következő bögölyreakciókat számoltuk: T és L (mint korábban), valamint H, ami egy bögöly forgó drót általi elkaszálása, amikor próbálja megérinteni a csapdafelületet, vagy rászállni arra. Egy bögöly elkaszálásánál a fémszál jól hallható, pengő hangot adott, így a H bögölykaszálásokat könnyen lehetett szá-



3. ábra. Egy a vastagságú és $2R$ hosszúságú drót levegőbeli ω szögsebességgel való forgatásához szükséges P teljesítmény számításához. A drót a középpontjában van rögzítve a forgástengelyhez.

molni. A kísérlet során számos elkaszált bögölyt begyűjtöttünk a csapda környékéről.

A mozdulatlan drótnál a bögölyök reakciói tehát T és L voltak. Legyen $N_T^{\text{álló}}$ és $N_L^{\text{álló}}$ a csapdafelületet megérintő (T) és arra rászálló (L) bögölyök száma, amikor a drót mozdulatlan. Ha a drót forgott, és a forgás nem riasztotta el a vízszintesen poláros fény által odavonzott bögölyöket, a csapda $N_T^{\text{álló}} + N_L^{\text{álló}}$ bögölyt pusztíthatott el. Legyen $N_H^{\text{forgó}}$, $N_T^{\text{forgó}}$ és $N_L^{\text{forgó}}$ a forgó drótszál által elkaszált (H), a csapdafelületet megérintő (T) és arra rászálló (L) bögölyök száma, amikor a drót forgott (aminek időtartama megegyezett azzal, amikor a drót nem forgott). Ha a drót mozgása és/vagy annak zúgása és/vagy a forgás keltette légáramlatok megzavarták a vizuálisan odavonzott bögölyöket, akkor várhatóan

$$N_H^{\text{forgó}} + N_T^{\text{forgó}} + N_L^{\text{forgó}} < N_T^{\text{álló}} + N_L^{\text{álló}}.$$

A forgó drót általi zavarás mértékére a következő mennyiséget definiáljuk:

$$Q_{\text{zavarás}} = 1 - \frac{N_T^{\text{forgó}} + N_L^{\text{forgó}} + N_H^{\text{forgó}}}{N_T^{\text{álló}} + N_L^{\text{álló}}}. \quad (6)$$

Ha a drót forgása az összes polarotaktikusan odavonzott bögölyt elriasztja (ekkor $N_H^{\text{forgó}} + N_T^{\text{forgó}} + N_L^{\text{forgó}} = 0$), akkor $Q_{\text{zavarás}} = 1$ (100%), míg ha a drót forgása egyáltalán nem riasztja a bögölyöket (tehát $N_H^{\text{forgó}} + N_T^{\text{forgó}} + N_L^{\text{forgó}} = N_T^{\text{álló}} + N_L^{\text{álló}}$), akkor $Q_{\text{zavarás}} = 0$ (0%). Mivel az 1. bögölycsapdából csupán egyetlen példányunk volt, az $N_T^{\text{álló}}$ és $N_L^{\text{álló}}$, valamint az $N_H^{\text{forgó}}$, $N_T^{\text{forgó}}$ és $N_L^{\text{forgó}}$ mennyiségeket csak egymás után, nem pedig egyidejűleg tudtuk mérni. Hogy az 1. bögölycsapda környezetében lévő bögölyök számának időbeli változásából eredő elkerülhetetlen hatást minél

kisebbre csökkentjük, a drót forgását, illetve mozdulatlanságát valamennyi kísérleti napon 30 percként váltogattuk.

A 2. kísérletet az 1. kísérlet helyszínén végeztük 2010. július 11-én és 12-én. A 2. kísérlet célja annak megvizsgálása volt, hogy a 2. bögölycsapda drótyját képes-e a 60×60 cm méretű napelemtábla termelte villamos energia akkora szögsebességgel forgatni, hogy az a napelemet megérinteni próbáló minden bögölyt elkaszáljon. A kísérlet során napos és meleg idő volt, ezért a füves talajra helyezett 2. bögölycsapda környezetében nagyszámú bögöly röpködött. Az 1. kísérlethez hasonlóan jártunk el, csak most a 2. bögölycsapdával. A forgó drót bögölyzavarásának (6) szerinti mértékét itt is számoltuk.

A 3. kísérletet az 1. kísérlet helyszínén végeztük 2010. július 13. és 20. között. E kísérlet célja a 2. bögölycsapda tesztelése és a $Q_{\text{fogás}}$ bögölyfogó hatékonyságának mérése volt, a kiegészítő napelemtáblák nélkül. A kísérletet minden nap 10:00-tól 17:30-ig végeztük. A kísérlet során a 2. bögölycsapda drótyja folyamatosan, 7,5 órán át forgott. A drótforgás ellenére néhány bögölynek sikerült a csapda napelemlétfelületét megérintenie, vagy arra rászállnia. A napelemek felületét minden nap végén megtisztítottuk az elkaszált bögölyök ottmaradt testfolyadékaitól és petéitől. A 2. csapda bögölyfogó hatékonysága:

$$Q_{\text{fogás}} = \frac{N_H^{\text{forgó}}}{N_H^{\text{forgó}} + N_T^{\text{forgó}} + N_L^{\text{forgó}}}, \quad (7)$$

ahol $N_H^{\text{forgó}}$, $N_T^{\text{forgó}}$ és $N_L^{\text{forgó}}$ a H, T és L reakciók száma, miközben a drót forgott.

A 4. kísérletet az 1. kísérlet helyszínén végeztük 2010. augusztus 2. és 6. között. E kísérlet célja annak tesztelése volt, hogy a kiegészítő napelemtáblák mennyivel tudják megnövelni azon időtartamot, amikor a 2. bögölycsapda hatékonyan képes működni. A kísérlet naponta 9:00-tól 19:00-ig tartott. A kísérlet során a 2. bögölycsapda drótyja 10 órán át folyamatosan forgott. A 2. bögölycsapda vízszintes napelemtábláin kívül egy további, 2 napelemből (Omnitron F 10/12) álló tábla (60×60 cm) termelte a drót forgatásához szükséges villamos energiát. A kiegészítő napelemtáblát a vízszinteshez képest 45° -ban megdőntöttük, hogy fénygyűjtését minél hatékonyabbá tegyük, a kiegészítő napelemtáblát óránként forgattuk a Nap aktuális azimutirányába. Az előző kísérletekhez hasonlóan a T, L és H bögölyreakciókat számoltuk. A bögölyök egyszer sem érintették, vagy szálltak rá a kiegészítő napelemtáblára. Megint meghatároztuk a 2. csapda (7) szerinti bögölyfogó hatékonyságát.

A fénypolarizációs mintázatokat képalkotó polarimetriával [9] mértük a spektrum vörös (650 ± 40 nm = a polariméter CCD detektora maximális érzékenysége hullámhossza \pm annak félértékszélessége), zöld (550 ± 40 nm) és kék (450 ± 40 nm) tartományában. A polarimetriai méréseket tiszta, napsütéses időben végeztük.

Cikkünk II. részében a napelemes bögölycsapdánk terepen igazolt hatékonyságát mutatjuk meg, valamint tárgyaljuk e csapda előnyeit és hátrányait.

Irodalom

1. Lehane, M. J.: *The Biology of Blood-Sucking in Insects*. 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2005.
2. Harris, J. A.; Hillerton, J. E.; Morant, S. V.: Effect on milk production of controlling muscoid flies, and reducing fly-avoidance behaviour by the use of Fenvalerate ear tags during the dry period. *Journal of Dairy Research* 54 (1987) 165–171.
3. Malaise, R.: A new insect-trap. *Entomologisk Tidskrift Stockholm* 58 (1937) 148–160.
4. Hribar, L. J.; LePrince, D. J.; Foil, L. D.: Ammonia as an attractant for adult *Hybomitra lasiophthalma* (Diptera: Tabanidae). *Journal of Medical Entomology* 29 (1992) 346–348.
5. Mihok, S.; Lange, K.: Synergism between ammonia and phenols for *Hybomitra* tabanids in northern and temperate Canada. *Medical and Veterinary Entomology* 26 (2012) 282–290.
6. Horváth, G.; Majer, J.; Horváth, L.; Szivák, I.; Kriska, G.: Ventral polarization vision in tabanids: horseflies and deerflies (Diptera: Tabanidae) are attracted to horizontally polarized light. *Naturwissenschaften* 95 (2008) 1093–1100.
7. Horváth, G.; Blahó, M.; Kriska, G.; Hegedüs, R.; Geric, B.; Farkas, R.; Ákesson, S.: An unexpected advantage of whiteness in horses: the most horsefly-proof horse has a depolarizing white coat. *Proceedings of the Royal Society of London B* 277 (2010) 1643–1650.
8. Schwind, R.: Polarization vision in water insects and insects living on a moist substrate. *Journal of Comparative Physiology A* 169 (1991) 531–540.
9. Horváth, G.; Varjú, D.: *Polarized Light in Animal Vision – Polarization Patterns in Nature*. Springer-Verlag, Heidelberg–Berlin–New York (2004) p. 447
10. Kriska, G.; Bernáth, B.; Farkas, R.; Horváth, G.: Degrees of polarization of reflected light eliciting polarotaxis in dragonflies (Odonata), mayflies (Ephemeroptera) and tabanid flies (Tabanidae). *Journal of Insect Physiology* 55 (2009) 1167–1173.
11. Horváth, G.; Kriska, G.: Polarization vision in aquatic insects and ecological traps for polarotactic insects. In: *Aquatic Insects: Challenges to Populations*. (Lancaster, J. and Briers, R. A., eds.) CAB International Publishing, Wallingford, Oxon, UK (2008) Chapter 11, 204–229.
12. Lerner, A.; Meltzer, N.; Sapir, N.; Erlick, C.; Shashar, N.; Broza, M.: Reflected polarization guides chironomid females to oviposition sites. *Journal of Experimental Biology* 211 (2008) 3536–3543.
13. Horváth, G.; Kriska, G.; Malik, P.; Robertson, B.: Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7 (2009) 317–325.
14. Blahó, M.; Egri, Á.; Barta, A.; Antoni, G.; Kriska, G.; Horváth, G.: How can horseflies be captured by solar panels? A new concept of tabanid traps using light polarization and electricity produced by photovoltaics. *Veterinary Parasitology* 189 (2012) 353–365.
15. Horváth, G.; Blahó, M.; Egri, Á.; Kriska, G.; Seres, I.; Robertson, B.: Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. *Conservation Biology* 24 (2010) 1644–1653 + electronic supplement.

ESSZÉ A MÉRÉSEKRŐL, AMELYEK A PLANCK-TÖRVÉNY FELFEDEZÉSÉHEZ VEZETTEK – 5. RÉSZ

Varga Péter
KFKI

Elvarratlan szálak

Az optikában

Első kérdés: Miért feleltek meg izotermák (7., 8., 10. és 12. ábra) Wien törvényének, ha azt a mérések, a kapott c_2 mennyiség változásai és a 12. ábra izokromatái cáfolták?

Idézzük a sorozat 2., februári részéből a (15) formulát:

$$u(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1} \equiv \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{\exp\left(-\frac{c_2}{\lambda T}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{c_2}{\lambda T}\right)}$$

Látszik, hogy az intenzitás a Planck-törvény szerint felülmúlja azt, amennyit Wien törvénye alapján várnánk. A relatív többlet annál nagyobb, minél hosszabb a hullám, vagy minél magasabb a hőmérséklet. 1646 K hőmérsékletnél és 1 μm hullámhossznál a számított eltérés mindössze 0,02%, míg 5 μm hullám-

hossznál már +22%. Miért mértek mégis kevesebbet? Lehetséges oknak azt tartom, hogy a $\Delta\lambda$ hullámhossz-intervallum, amely a mérhető intenzitást meghatározó (7) formulában

$$I(\lambda, T) = i(\lambda, T) \Delta F \Delta \Omega \Delta \lambda$$

szerepel, nem volt állandó. *Lummerék* sehol sem foglalkoznak a belépő rés szerepével, *feltehetően* állandónak tartották. *Paschen* is csak az izokromataméréseknél [7] közli ezt az adatot, ahol éppen ez állandó lévén, nem játszott szerepet. A 2. részben láttuk, hogy a kilépő diafragma kivág egy tartományt a spektrumból. Minél nagyobb a diszperzió ($dn/d\lambda$) annál kisebb a fix szélességű rés által befogadott hullámhossz-intervallum, azaz $\Delta\lambda$. A diszperzió ($dn/d\lambda$) a mérésekben használt kalcium-fluorid prizma esetében 1 μm hullámhossznál $6 \cdot 10^{-4}$ μm , míg 5 μm -nél $11 \cdot 10^{-4}$ μm , tehát a $\Delta\lambda$ sáv szélesség a hosszabbik hullámhossznál közel a fele. A (7) összefüggés alapján ennek a mért teljesítményben is ugyanilyen arányban meg kellett jelennie. Lehet, hogy ezért mértek *Lummerék* kevesebbet?

Lehet, hogy *Paschen* erre gyanakodott? Ő intenzíven foglalkozott a kalcium-fluorid törésmutatójának meghatározásával az infravörösben. Már 1894-ben [28] közli az adatokat, majd 1901-ben megismétli a mérést

[29], eltérést csak a hat decimálist tartalmazó értékek utolsó jegyeiben kap, a görbe tendenciája nem változik. Ugyancsak alig térnek el a korabeli táblázatok adatai a ma használatos értékektől.

Második kérdés: Miért nem használtak spektrális bontóelemként optikai rácsot?

Nem tudom, hogy miért kellett egy merőben új jelenséget, a *Reststrahlung*-ot alkalmazni a spektrum előállításához a távoli infravörösben, ha már a prizma nem felelt meg. Hiszen *Rubens* és *Nichols* éppen transzmissziós ráccsal mutatta ki, hogy a Reststrahlung egyáltalán létezik. A rács 0,1858 mm (a szerzők adata) vastagságú párhuzamos ezüsthuzalokból állott, a térköz ugyancsak 0,1858 mm volt. A két adat megegyezéséből következik, hogyan készíthették. Téglalap alakú keretre vékony rézhuzalt csévélték fel, a meneteket szorosán egymás mellé. Ezt rögzítették, majd a lapos tárgy egyik oldaláról minden második szálát eltávolították, a másik oldalról pedig mindet. Készen volt a rács. (A szálak átmérőjét nyilván nem mikroszkóppal mérték, hanem feltehetően az anyag fajlagos ellenállására alapozva, ezért írhatták fel a huzal vastagságát szubmikron pontossággal.) A szilárdtestprizmák erős abszorpciója helyett az ilyen rácsnál csak a levegő gyenge elnyelése okozhat problémát. De létezett már karcolt reflexiós rács is. Paschen a [29] méréseket önfókuszáló Rowland-ráccsal végezte.

A fizika történetében

Dolgozatom 3. részében az *úgynevezett* Rayleigh–Jeans-törvényt említettem. A jelzővel azt akartam kifejezni, hogy ilyen törvény nincs, még akkor sem, ha a fizika tankönyveiben ez szerepel. Allításom bizonyítására két jeles tanúra hivatkozom: *Lorentz* [30], amikor a

$$u(\lambda, T) = \text{konst. } \lambda^{-4} k T$$

képletet idézi, egyszerűen *Jeans* formulájának nevezi, *Rayleigh*-re nem hivatkozik. *Einstein* is Jeansszel vitatkozik a Planck-formula védelmében [31].

Elsőként ugyan Rayleigh írta fel a fenti formulát, de nem a feketesugárzás, hanem gázok sűrűségfluktuációinak spektrumára. Az ominózus formulával szemben azt a kifogást szokás emelni, hogy a teljes spektrumra vett integrálja (tehát a teljes energiasűrűség) divergál. Ha viszont gázokról és nem fényről van szó, az egész leírás csak addig érvényes, amíg egy köbhullámhosszynyi térfogatban sok molekula van. Nem szabad a hullámhosszal a nullához tartani, mert akkor az elmélet ab ovo nem használható.

Rayleigh a formulát a feketesugárzással kapcsolatban csak akkor hozta szóba, amikor Jeansszel vitatkozott [32] és rámutatott, hogy a fenti képlet nagy hullámhosszakra a Planck-törvényből származtatható. Jeans volt az, aki ragaszkodott a képlethez, mint egyetlen megoldáshoz [33]. Cikkében úgy reagált *Rubens* és *Kurlbaum* kísérletére, hogy ők nem egyensúlyi állapotban mérték a sugárzást, az csak majd az

időbeli végtelenben áll be. Rayleigh (talán gúnyosan) megjegyezte, hogy a molekulák transzlációs mozgásánál *Jeans* elfogadja, hogy beállt a stacionárius állapot (lásd statisztikus gázelmélet), a molekulák rezgéseinél (sugárzás) pedig nem.

Ha *Jeans*-nek szót fogadnánk, akkor már több mint száz év óta őriznénk egy feketetestet konstans hőmérsékleten, és időként meg-megmérnénk az izotermáit. Erre senki sem vállalkozott, mégis megtörtént, a kísérlet nem maradt abba. Ha nem is állandó hőmérsékletű, hanem egy lassan hűlő és jóval több mint száz éve létező objektum, a *Világegyetem* adott erre módot.

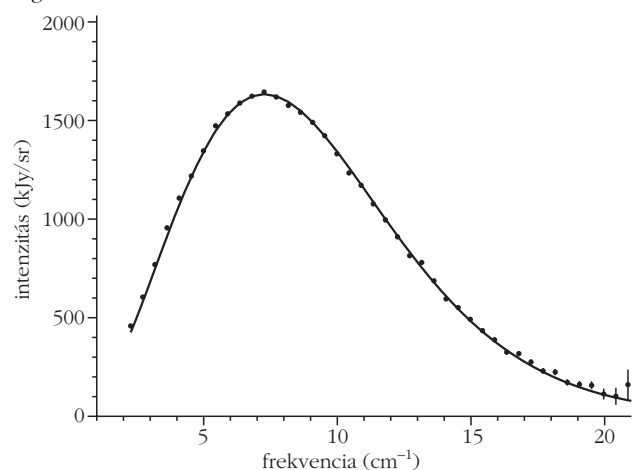
Vagy talán vegyük figyelembe, amivel tanulmányom bevezetését zártam: „egy kísérletet nem lehet befejezni, csak abbahagyni”?

A jelen állapot

A kozmológusok szerint a mindenség az uralkodó mikrohullámú spektrum szempontjából olyan zárt rendszer, amilyent *Kirchhoff* vizsgált. Mivel mi is benne vagyunk, ezért az eddigiektől eltérően nem egy kis lyukon át leskelődve, mint az elődök tették, hanem a feketetest belsejében tartózkodva mérjük a spektrumot. Megvalósul az a modell is, amelynek segítségével Planck tanulmányozta a sugárzást. Ő egy tükröző falú üreg belsejébe molekulákat képzelt, amelyek rezonátorként működtek (lásd a dolgozat 2. részét). A zárt világegyetem megfelel a tükröző falú (veszteségmentes) üregnek, az ember fabrikálta antenna rezonátornak – azzal a különbséggel, hogy hőmérsékletük más, mint a tágabban vett környezetéé, a *Világegyetemé*.

A mérést elvégezték [34], a spektrum, az izoterma a hullámszám függvényében, a 19. ábrán látható. A mért adatokat ponttal, az illesztett Planck-görbét folytonos vonallal jelölték. Illesztési paraméter a $T = 2,725$ K hőmérséklet. A mérést joggal tekintik a kozmológiai elmélet igazolásának. Hadd tekintsük mi Planck elmé-

19. ábra. A kozmikus háttérsugárzás frekvencia szerinti intenzitás-eloszlás pontosan illeszkedik a 2,725 K hőmérsékletű feketetest-sugárzás Planck-eloszlására [34].



lete igazolásának is. Ezzel kielégíthetjük természetes hiányérzetünket: ha a vizsgált spektrum kiterjesztése Paschen hullámhosszain túlra, a távoli infravörösbe, megcáfolta Wien sugárzási törvényét, nem történik-e meg ugyanez még hosszabb hullámokon Planck elméletével?

Az ördög, úgy látszik, most aludt.

Mi viszont nem. A 2. részben Paschen első kísérleti eredményeként számoltunk be arról, hogy a spektrum maximumának helye, λ_m és a feketetest T hőmérséklete között valóban fennáll a Wien eltolási törvényéből következő (4) egyenlet

$$\lambda_m T = A,$$

ahol az A állandó, továbbá $A = c_2/4,965$. Planck törvénye szerint $c_2 = 14\,387 \mu\text{mK}$.

A 19. ábrán a mért teljesítménysűrűség szerepel a $\hat{\nu}$ hullámszám függvényében, $\hat{\nu} = 1/\lambda = \nu/c$ (ν a frekvencia). A 19. ábra szerint a maximum az $5,5 \text{ cm}^{-1}$ értéknél van, ami $1800 \mu\text{m}$ hullámhossznak felel meg. Ha ezt az értéket tekintjük annak, amelynél a teljesítmény spektrális sűrűsége a maximális, ugyancsak ellentmondásba kerülünk a (4) egyenlettel. Eszünkbe jut, hogy Lummerék is azt találták, hogy az izokromáták meredeksége nem állandó. Nincsen baj, az eltérés oka a Planck-törvény elírásában keresendő.

A mért mennyiségek eloszlását úgy szoktuk ábrázolni, hogy független változóként azt használjunk, amit a mérés folyamán mi kezelünk. Ez az infravörös tartományban a hullámhossz volt. Az elméleti formulák is ezt használták. Rádiócsillagászatban a frekvencia a kézben tartható változó, ennek kellene szerepelni, de talán a történelmi hűség kedvéért valami olyat használtak, ami közelebb áll a hullámhosszhoz. A hullámszám meg arányos a frekvenciával, amit ma használunk a Planck-törvény felírásánál,

$$u(\nu, T) d\nu dV = c'_1 \frac{\nu^3}{\exp\left(\frac{c'_2 \nu}{T}\right) - 1} d\nu dV,$$

itt az állandók különböznek attól, ami a

$$u(\lambda, T) d\lambda dV = c_1 \frac{\lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1} d\lambda dV$$

függvényben szerepel ($d\nu$ és $d\lambda$ a frekvencia-, illetve a hullámhossz-intervallum, dV pedig a térfogatelem). Mindkét függvénynek van maximuma, de ezek helye, $\lambda_m \nu_m \neq c$.

Erre Gurevich cikke [35] hívta fel a figyelmet, hivatkozva arra, hogy három évvel korábban már Gersun is ugyanabban a folyóiratban megírta. Nem tudta, hogy Salpeter (nem azonos a Bethe-Salpater-egyenlet felírójával) már körülbelül egy évtizeddel megelőzte. Salpeter azt is javasolta, hogy a szimmetria megőrzés érdekében a $d\nu/\nu$ és a $d\lambda/\lambda$ relatív sáv szélességet használjuk. Ebben az esetben a maximumhelyekre a $\lambda_m \nu_m = c$ összefüggés is teljesül. A kísérleti fizikus azért is ért egyet a javaslattal, mert például $0,1 \text{ GHz}$ sáv szélesség elfogadható a mikrohullámú tartományban, de túl kicsi lenne a láthatóban.

Salpeter németül írt cikkét valaha olvastam, de nem találtam meg újra. Kérem a Tisztelt Olvasót, hogy higgyen a szerzőnek, akiben azért maradt meg a történet, mert Salpeter cikkét – a kor szokásának megfelelően – nem a munkahelyéről, hanem a földrajzi helyről datálta. Az utóbbi pedig Újpest volt.

Ki volt Salpeter?

Köszönetnyilvánítás

A szerző megköszöni Orosz Lászlónak (BME, Fizika Tanszék) értékes megjegyzéseit. Köszönet illeti Füstöss Lászlót nemcsak a kézirat gondos szerkesztéséért, hanem azért is, hogy felhívta figyelmet a mikrohullámú mérésekre. Ugyancsak köszönöm Kármán Tamásnak, hogy a harminc évvel ezelőtt készített folyóirat-kópiáimat közölhetővé varázsolta.

Irodalom

28. F. Paschen: Die Dispersion des Fluorits und die Ketteler'sche Theorie der Dispersion. *Annalen der Physik* 53 (1894) 812.
29. F. Paschen: Eine neue Bestimmung der Dispersion des Flussspates im Ultrarot. *Annalen der Physik* 4 (1901) 299.
30. H. A. S. Lorentz: *Theorie der Strahlung*. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1927.
31. A. Einstein: Zum gegenwärtigen Stand des Strahlungsproblems. *Physikalische Zeitschrift* 10 (1909) 185.
32. Rayleigh: The Dynamical Theory of Gases and of Radiation. *Nature* 72 (1905) 54.
33. J. H. Jeans: On the Law of Radiation. *Proceedings of the Royal Society A* 76 (1905) 545.
34. D. J. Fixsen et al.: The Cosmic Microwave Background Spectrum from the Full COBE FIRAS Data Set. *Astrophysical Journal* 473 (1996) 56.
35. M. M. Gurevich: On the Special Distribution of Radiant Energy. *Uspekhi Fizicheskikh Nauk* 56 (1955) 417.

Jobb egy mentőötlet mint öt mentő egylet

– írta Karinthy Frigyes az egyletistápolás margójára.

Most Társulatunk kér egyletmentő ötleteket!



Ezek az ötletek nem vesznek el,

ha a <http://forum.elft.hu>

linken, az ELFT stratégiai vitafórumán adjuk elő.



A Föld bonyolult forgási jelenségeinek megismeréséhez pontos fizikai alapismeretek szükségesek. A fogalmak nem egységes és hibás használata, valamint a precesszió és a nutáció jelenségének összekeveredése szükségessé teszi az alapfogalmak tisztázását [1]. A súlyos és az erőmentes pörgettyűk precessziós és nutációs mozgásának áttekintését követően a Föld forgásának részletes tanulmányozásával foglalkozunk, és javasoljuk a szaknyelvben széleskörűen elterjedt hibás elnevezések helyett újak, például a csillagászati nutáció helyett a precessziózavar fogalmának használatát. Ebben az írásban a Föld precessziós mozgásával, a rákövetkezőben pedig a pólusmozgással, vagyis a Föld nutációs mozgásával foglalkozunk.

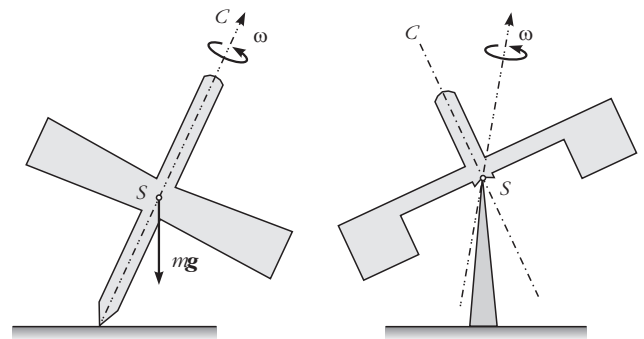
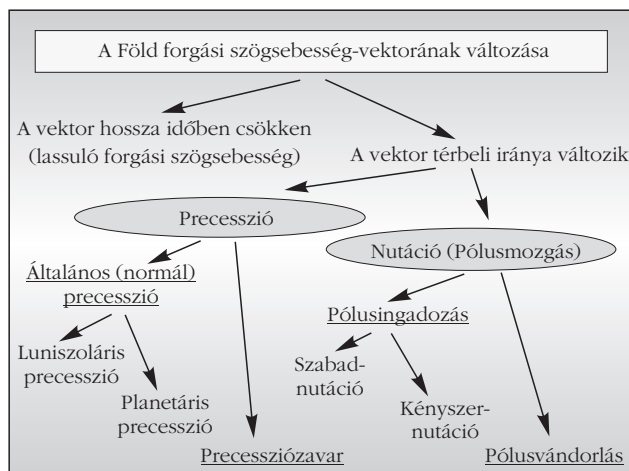
A Föld tengelykörüli forgása

A Föld saját tengelye körüli forgását az ω forgási szögsebességvektora jellemzi, ezért forgásának leírásához ismernünk kell a szögsebességvektor térbeli irányát és nagyságát, valamint a forgástengely és a Föld tömegének relatív helyzetét, mint az idő függvényét.

A tengelykörüli forgás során a szögsebességvektor térbeli iránya és nagysága is állandóan változik. A változásokat az 1. ábrán összefoglalva láthatjuk. A szögsebességvektor abszolút értékének (illetve a napok hosszának) változásaival most nem foglalkoztunk; csupán megjegyezzük, hogy a forgási szögsebesség szekuláris lassulása elsősorban a Hold és a Nap által okozott úgynevezett dagálysúrlódás következménye, az évszakos változást alapvetően felszíni (meteorológiai) tényezők, a rendszertelen változásokat pedig a Föld tömegátrendeződései okozzák.

A szögsebességvektor térbeli irányának változásai két csoportra oszthatók: a precessziós és a nutációs mozgásra. A nutációs mozgást a földtudományokban célszerűbben pólusmozgásnak nevezik.

1. ábra. A Föld forgása.



2. ábra. A súlyos és az erőmentes pörgettyű.

A súlyos és az erőmentes pörgettyűk

Pörgettyűnek nevezzük minden olyan tetszőleges alakú és tömegeloszlású merev testet, amely egyetlen rögzített pontja körül szabadon foroghat. Általánosabban pörgettyűnek nevezzük a rögzített pont nélküli testet akkor is, ha a tömegközéppontja körüli forgása a tömegközéppont mozgásától függetlenül tárgyaltható. Két alapvetően fontos fajtája a 2. ábrán látható úgynevezett *súlyos* és az *erőmentes* pörgettyű. A súlyos pörgettyű a súlypontjára ható forgatónyomaték hatására megfelelő ω forgási szögsebesség esetén *precessziós* mozgást végez, azaz a forgástengely a testtel együtt kúppalást mentén $\omega_{pr} \ll \omega$ szögsebességgel körbevándorol. Az erőmentes pörgettyű ettől abban különbözik, hogy a külső erőknek a súlypontjára vonatkozó forgatónyomatéka zérus (ilyen például a súlypontjában alátámasztott pörgettyű). Az erőmentes pörgettyű nutációs mozgást végez, amennyiben a test nem pontosan a szimmetriatengelye körül forog. Ekkor a test forgástengelye folyamatosan változtatja a testhez viszonyított helyzetét: a forgástengely a test szimmetriatengelye körül kúppalást mentén körbevándorol. Az erőmentes pörgettyű értelemszerűen precessziós mozgást nem tud végezni, viszont a súlyos pörgettyű a precessziós mozgása mellett nutációs mozgást is végezhet, amennyiben nem pontosan a szimmetriatengelye körül forog.

A súlyos és az erőmentes pörgettyűk különböző fajtái léteznek a tömegeloszlásuk, azaz a tehetetlenséginyomaték-tenzoruk főátlójában lévő A , B és C főtehetetlenségi nyomatékok függvényében. Például az $A = B \neq C$ (homogén forgásszimmetrikus testek) esetén *szimmetrikus* pörgettyűről beszélünk.

Szimmetrikus súlyos pörgettyű precessziós mozgása

Minden merev test forgása során a forgási tehetetlensége miatt igyekszik megtartani forgási állapotát, más szóval az impulzusnyomaték megmaradási törvénye

értelmében bármely zárt rendszer \mathbf{N} impulzusnyomatéka állandó, tehát $d\mathbf{N}/dt$ időbeli változása zérus.

Ha a forgó merev testre külső erők hatnak, akkor az impulzusnyomaték megváltozása a külső erők \mathbf{M} forgatónyomatékával egyenlő:

$$\frac{d\mathbf{N}}{dt} = \mathbf{M}. \quad (1)$$

A forgatónyomaték vektora az \mathbf{F} erő és az \mathbf{r} erőkar vektoriális szorzata:

$$\mathbf{M} = \mathbf{F} \times \mathbf{r}, \quad (2)$$

az impulzusnyomaték pedig:

$$\mathbf{N} = \mathbf{I} \boldsymbol{\omega}, \quad (3)$$

ahol \mathbf{I} a merev test tehetetlenségnyomaték-tenzora, $\boldsymbol{\omega}$ pedig a forgási szögsebesség vektora. Behelyettesítve a (2) és a (3) összefüggést az (1)-be:

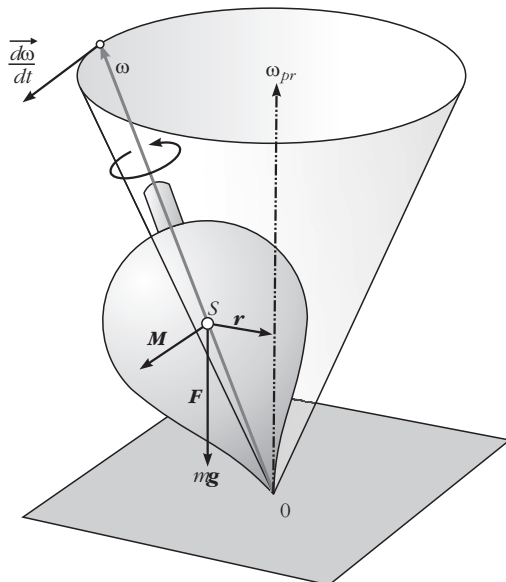
$$\frac{d}{dt} \mathbf{I} \boldsymbol{\omega} = \mathbf{F} \times \mathbf{r}. \quad (4)$$

Mivel merev test esetén \mathbf{I} állandó, ezért az \mathbf{I} kiemelhető a differenciálási jel elé, tehát (4) az

$$\mathbf{I} \frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt} = \mathbf{F} \times \mathbf{r} \quad (5)$$

formában is írható. Ebből viszont már közvetlenül látható, hogy külső forgatónyomaték hatására a nehézségi erőterben megfelelően gyorsan forgó merev testek (az úgynevezett súlyos pörgettyűk) $\boldsymbol{\omega}$ szögsebességvektorának térbeli iránya folyamatosan változik; az $\boldsymbol{\omega}$ vektor mindenkor az \mathbf{F} és az \mathbf{r} irányára merőleges irányban mozdul el. Ennek megfelelően a 3. ábrán látható ferde tengelyű, gyorsan forgó pörgettyű

3. ábra. A súlyos pörgettyű precessziós mozgása.



tyű (például a mindenki által jól ismert játék: a bűgöcsiga) nem dől el, hanem forgástengelye a test tömegével együtt függőleges tengelyű körkúp palástja mentén állandó $\boldsymbol{\omega}_{pr} \ll \boldsymbol{\omega}$ precessziós szögsebességgel lassan körbevándorol. A pörgettyű forgástengelyének ezt a mozgását *precessziós mozgásnak* nevezzük.

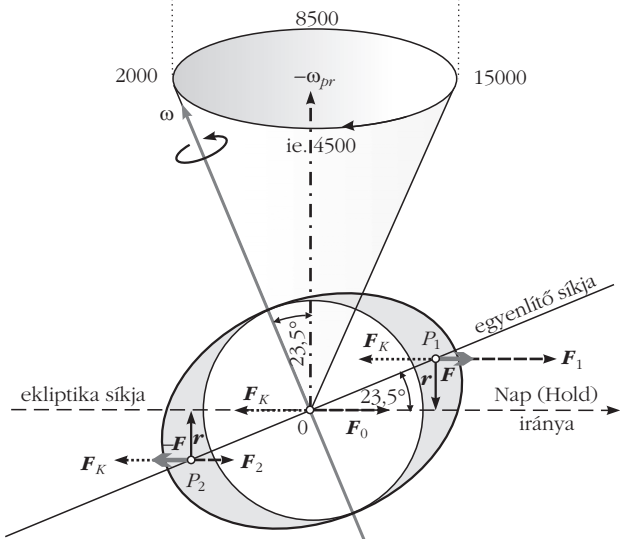
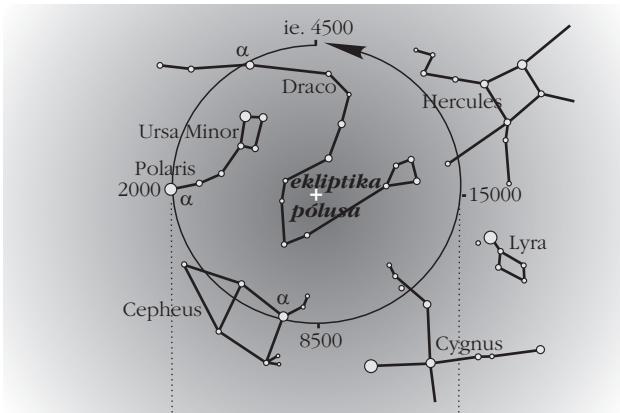
Ettől teljesen független az *erőmentes* (forgatónyomaték nélküli, súlypontjában alátámasztott) szimmetrikus pörgettyűk *nutációs* mozgása. A precesszióval ellentétben a nutáció során a test forgástengelye a szimmetriatengely körüli kúppalást mentén egyenletes sebességgel körbevándorol, amennyiben a forgás- és a szimmetriatengely nem esik egybe [2, 3].

A luniszoláris precesszió

Földünk forgástengelye a külső erők hatására a fentiekben tárgyalt súlyos pörgettyű mozgásához teljesen hasonló mozgást végez, a különbség mindössze annyi, hogy a Föld esetében az $\boldsymbol{\omega}_{pr}$ vektor iránya (a forgástengely körbevándorlásának iránya) ellentétes. Ennek oka az, hogy a 3. ábrán látható pörgettyűre olyan irányú forgatónyomaték hat, ami a forgástengelyét fekvő helyzetbe igyekszik hozni; a Föld esetében viszont a Nap és a Hold egyenlítői tömegtöbbletre gyakorolt vonzása olyan erőpárt hoz létre, amely a Föld forgástengelyének irányát az ekliptika síkjára merőlegesen felállítani igyekszik.

Vizsgáljuk meg részletesebben a Föld precessziós mozgását és ennek okát. A Föld jó közelítéssel forgási ellipszoid alakú, amelynek egyenlítői sugara (fél nagytengelyének hossza) mintegy 21 km-rel nagyobb a sarkok felé mérhető távolságnál (a fél kistengelyének hosszánál). Ugyanakkor a Föld egyenlítői síkja mintegy 23,5 fokkal hajlik a Föld keringési síkjához (az ekliptika síkjához), amelyben a Nap, és amelynek közelében a Hold és a bolygók találhatóak. Az egyszerűség kedvéért egyelőre csupán a Nap tömegvonzásából adódó forgatónyomaték hatását vizsgáljuk meg. A Föld lényegében a Nap tömegvonzási erőterében végzi keringését és dinamikus egyensúlyban van; vagyis a Nap Föld tömegközéppontjára ható \mathbf{F}_0 tömegvonzásával a Föld Nap körüli keringéséből származó (az \mathbf{F}_0 erővel egyenlő nagyságú, de ellentétes irányú) $-\mathbf{F}_K$ keringési centrifugális erő tart egyensúlyt. Ez a keringési centrifugális erő a Nap–Föld közös tömegközéppontja körüli excentermozgás következtében a Föld minden pontjában azonos irányú és egyenlő nagyságú [4].

A gömbszimmetrikus tömegeloszlástól tapasztalható eltérés miatt osszuk a Földet a 4. ábrán látható belső gömbszimmetrikus tömegtartományra és az egyenlítő menti gyűrűszerű tömegtöbbletre! Legyen a Naphoz közelebb eső gyűrűrész tömegközéppontja P_1 , a távolabbi része pedig P_2 . A Nap Föld gömbszimmetrikus tömegtartományára ható tömegvonzását úgy értelmezhetjük, mintha ez csak a gömb 0 tömegközéppontjában lépne fel. A gyűrűrészekre ható vonzóerőt viszont a P_1 és a P_2 tömegközéppontban ható



4. ábra. A luniszoláris precesszió.

vonzóerőkkel helyettesíthetjük. A Newton tömegvonzási törvényének megfelelően a P_1 -ben nagyobb, a P_2 -ben pedig kisebb vonzóerő hat, mint a 0 tömegközéppontban. A keringési centrifugális erő viszont mindhárom pontban ugyanakkora [4], ezért a P_1 -ben és a P_2 -ben a kétfajta erő nincs egymással egyensúlyban; a P_1 -ben a vonzóerő, a P_2 -ben a keringési centrifugális erő a nagyobb. A két erő eredője a P_1 pontban: $\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 - \mathbf{F}_K$, a P_2 pontban pedig $\mathbf{F} = \mathbf{F}_K - \mathbf{F}_2$. Ez a két egyenlő nagyságú, de ellentétes irányú erő a 4. ábra síkjából merőlegesen kifelé mutató \mathbf{M} forgatónyomaték-vektort eredményez. A Naphoz hasonlóan a Hold is forgatónyomatékot fejt ki a Földre, sőt a Hold által keltett forgatónyomaték a Hold közelsége miatt jóval nagyobb. Az ily módon keletkező forgatónyomatékok együttes hatásának eredménye a Föld 4. ábrán bemutatott precessziós mozgása: az úgynevezett *luniszoláris precesszió*.

A luniszoláris precesszió során a Föld forgástengelye, az ekliptika és az égi egyenlítő síkja $23,5^\circ$ -os hajlásszögének megfelelően, $2 \times 23,5^\circ = 47^\circ$ -os nyílásszögű kúp palástja mentén mozog úgy, hogy egy teljes körüljárást közel 25 730 év alatt végez. Ez a 4. ábra tanúsága szerint azt jelenti, hogy a Föld forgástengelyének északi iránya körülbelül 5000 évvel ezelőtt az Alfa Draconis csillag közelébe mutatott, az égi pólus jelen-

leg az Alfa Ursa Minoris (Polaris) közelében van és körülbelül 5000 év múlva az Alfa Cephei közelében lesz. Így a jelenleg élő generációknak csupán véletlen szerencséje, hogy az égi északi pólus helyéhez közel viszonylag fényes csillag, a Sarkcsillag található.

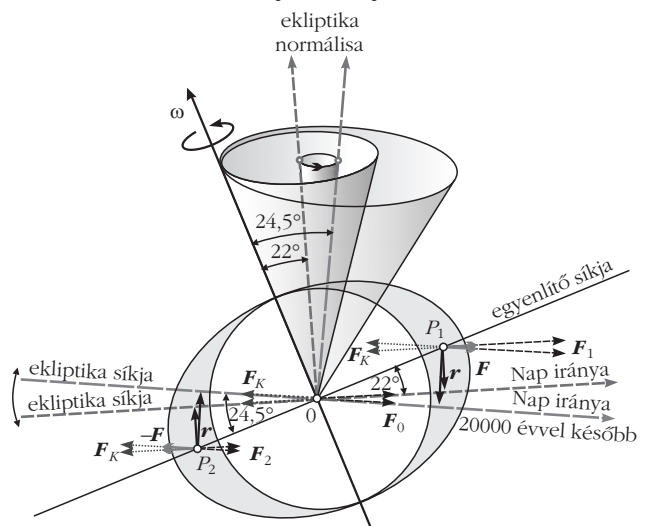
A planetáris precesszió

Mivel a Naprendszer bolygói nem az ekliptika síkjában keringenek a Nap körül, ezért tömegvonzási hatásukra a Föld keringési síkja állandóan lassú ingadozásban van a bolygók közepes pályasíkjához képest. Emiatt az ekliptika síkjának és az égi egyenlítő síkjának hajlásszöge közel 40 000 éves periódussal körülbelül 22° és $24,5^\circ$ között ingadozik, vagyis az ekliptika normálisa közel 40 000 éves periódussal körbevándorol egy körülbelül 2,5 fokos nyílásszögű körkúp palástja mentén (5. ábra). Mivel így folyamatosan változik az ekliptika pólusának helyzete, az égi pólus mozgását ehhez viszonyítva, az ekliptika pólusának mozgását is a forgástengely precessziós mozgásaként észleljük. A jelenséget *planetáris precesszió*nak nevezzük.

A planetáris precessziót tehát az ekliptika síkjának billegése okozza. Az ekliptika pólusának ezzel a mozgásával 40 000 éves periódussal hol kissé szétnyílik, hol kissé összeháródik a precessziós kúp nyílásszöge, ily módon a luniszoláris precessziós kúp nyílásszöge nem stabilan 47 fok, hanem közel 40 000 éves periódussal körülbelül $2 \times 22^\circ = 44^\circ$ és $2 \times 24,5^\circ = 49^\circ$ között ingadozik.

Valójában az történik, hogy az ekliptika síkjának mozgása miatt 40 000 éves periódussal folyamatosan más-más irányban látható a Földről a Nap és a Hold, és így az 5. ábra tanúsága szerint változik a P_1 és a P_2 rész-tömegközéppontok távolsága az ekliptika síkjától. Ezzel pedig – mivel változik az erő karja – folyamatosan változik (ingadozik) a precessziós mozgást előidéző forgatónyomaték.

5. ábra. A planetáris precesszió.



A luniszoláris és a planetáris precessziós mozgás eredője az *általános precesszió*, más néven a *normálprecesszió*. A normálprecessziós mozgás során az ekliptika pólusának változása miatt az égi pólus nem pontosan a 4. ábra felső részén látható körpálya mentén mozdul el, hanem az állócsillagokhoz viszonyítva a körpályát közelítő, de valójában *önmagában nem záródó görbe* mentén vándorol, és egy teljes körüljárás ideje is kissé megnő, közel 25 786 évre.

A precessziózavar

A Hold, a Nap és a bolygók Földhöz viszonyított relatív helyzetváltozásai következtében a Földre időben változó forgatónyomaték hat, ezért a normálprecessziós mozgásra különböző rövidebb periódusú ingadozások rakódnak. A forgástengely precessziós mozgásának ezen rövidperiódusú változásait sokan helytelenül *csillagászati nutációknak* nevezik. Valójában ennek semmi köze a nutációhoz, csupán formailag megtévesztően hasonlít egy nutációs mozgás rövidebb hullámaihoz. Célszerű ezért ezt a jelenséget inkább *precessziózavarnak* nevezni.

A precessziózavar több különböző periódusú és amplitúdójú mozgásból tevődik össze és rakódik rá a hosszúperiódusú (szekuláris) precessziós mozgásra.

A Nap és a Föld egymáshoz viszonyított helyzetváltozásai miatt két fontosabb periódusa van. A Nap által a Föld egyenlítői tömegtöbbletére kifejtett forgatónyomaték nagysága a Nap deklinációjának szögétől (a Föld egyenlítő síkja feletti magasságától) függ. A 4. ábra például a téli napforduló helyzetében ábrázolja a Földet, amikor $\delta = -23,5^\circ$. Ekkor és a nyári napforduló napján (amikor $\delta = +23,5^\circ$) a Nap maximális forgatónyomatékot fejt ki a Földre. A két helyzet között csökken, illetve növekszik a forgatónyomaték. A tavaszi és az őszi napéjegyenlőség pillanatában a Föld két egyenlítői tömegtöbbletének 4. ábrán értelmezett P_1 és P_2 súlypontja azonos távolságra van a Naptól, ekkor tehát

a precessziót okozó forgatónyomaték nulla. Ennek megfelelően, a Nap deklinációjának változása miatt, fél éves periódussal változik a Föld precessziós mozgása. Ehhez egy éves periódusú precessziós változás is járul, ami annak következménye, hogy a Föld ellipszis alakú pályán kering a Nap körül és ezáltal egy éves periódussal változik a Naptól mért távolsága, illetve ennek megfelelően a forgatónyomaték.

Többek között teljesen hasonló jellegű, de rövidebb periódusú és nagyobb amplitúdójú változásokat okoz a Hold a Föld körüli keringése során. A Hold a Föld körüli pályáját közel 28 nap alatt futja be, ezért a Hold deklinációjának változása miatt adódó precessziós periódus körülbelül 14 napos, az ellipszispályán történő keringés miatti változó Föld–Hold-távolságból származó periódus pedig 28 napos.

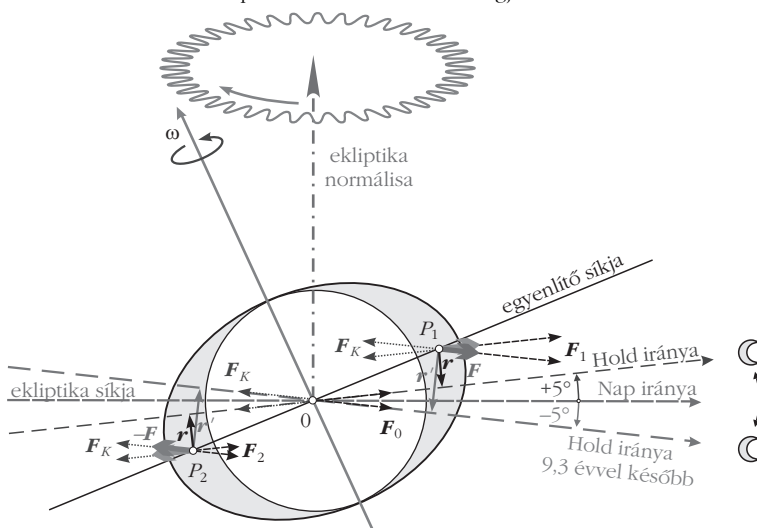
A Hold mozgásának azonban ezeknél jóval markánsabb hatása is van. Ez annak a következménye, hogy a Hold más síkban kering a Föld körül, mint amelyben a Föld kering a Nap körül. A Hold pályasíkja közel $5^\circ 09'$ szöget zár be az ekliptika síkjával, a Hold pályasíkjának az ekliptika síkjával alkotott metszésvonala (a holdpálya csomóvonala) pedig az ekliptika síkjában 18,6 éves periódussal hátráló irányban körbevándorol. Ennek következménye a precesszió szempontjából jól látható a 6. ábrán.

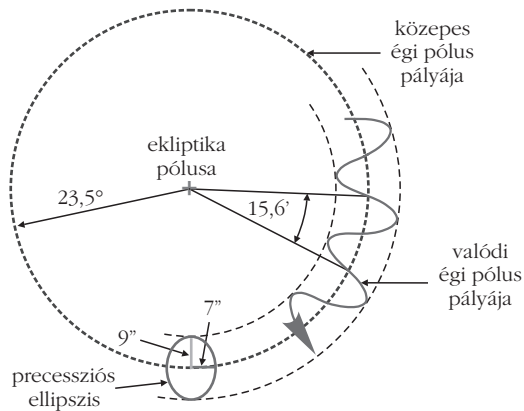
Ennek hatása nagyon hasonlít a planetáris precesszió 5. ábrán bemutatott hatásához. Valójában itt is az történik, hogy a holdpálya síkjának mozgása miatt 18,6 éves periódussal folyamatosan más-más irányban látható a Földről a Hold, és ezzel a 6. ábra tanúsága szerint folyamatosan változik a P_1 és P_2 rész-tömegközéppontok távolsága a holdpálya síkjától. Ezzel pedig, mivel folyamatosan változik az erő karja, folyamatosan változik (ingadozik) a precessziós mozgást előidéző forgatónyomaték.

A precessziózavar holdpálya csomóvonala mozgásából származó tagja sokszorososan nagyobb, mint a precessziót alkotó összes többi ingadozás együttesen, ezért ezt a *precessziózavar lunáris főtagjának* nevezzük.

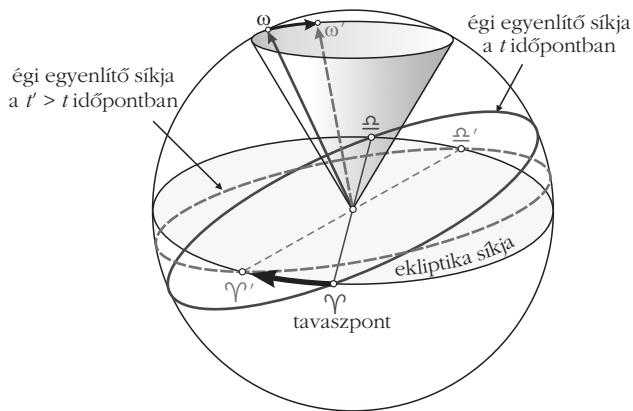
A Föld forgási szögsebességvektora tehát az ekliptika síkjának a Föld tömegközéppontján átmenő normálisa körül jelenleg körülbelül 47° -os közepes csúcshözzeggel a 6. ábrán látható hullámos kúppalást mentén közel 26 000 éves periódussal vándorol körbe. Ennek megfelelően az égi pólusok (az északi és a déli pólus) az ekliptika pólusaitól $23,5^\circ$ közepes pólustávolságban hullámos körpálya mentén mozognak. A hullámok közül kiemelkedően legnagyobb a precessziózavar lunáris főtagjának 18,6 éves periódusú hulláma. Az ekliptika pólusa körül az égi pólusok által leírt precessziós körön a precessziózavar lunáris főtagjának mintegy $26\,000/18,6 \approx 1400$ hulláma van. E hullámok amplitúdója körülbelül $9''$ (ennyi a forgástengely hajlásának ingadozása: az úgynevezett ferdeségi tag), hullámhossza pedig közel $15,6'$.

6. ábra. A precessziózavar lunáris főtagjának hatása.





7. ábra. A precessziós ellipszis.



8. ábra. A tavaszpont precessziós vándorlása.

A precessziós mozgást a precessziózavar főtagjával együttesen szokás a 7. ábrán látható úgynevezett *precessziós ellipszissel* is szemléltetni. (Nem szerencsés a gyakorlatban eddig elterjedt nutációs ellipszis elnevezés, hiszen ennek a nutációhoz szintén semmi köze.) Eszerint a precessziós ellipszis középpontja az ekliptika pólusa körül $23,5^\circ$ pólustávolságban egyenes sebességgel vándorol és tesz meg egy teljes kört közel 26 000 év alatt, miközben a valódi – a pillanatnyi – égi pólus a precessziós ellipszis mentén mozog 18,6 éves periódussal. A precessziós ellipszis $9''$ távolságú fél nagytengelye mindig az ekliptika pólusa irányába mutat, a $7''$ távolságú fél kistengelye pedig erre merőleges.

A fentiek alapján világosan látható, hogy a *csillagászati nutáció* helytelen elnevezés, egyrészt mert nem csillagászati, másrészt pedig nem is nutáció. Elvileg persze bármit bárminek elnevezhetünk, azonban szabadságunk mégsem teljes, mert egyaránt nem szerencsés, például egy kislányt Ádámnak, vagy a precessziót nutációnak nevezni. A Hold, a Nap és a bolygók Földhöz viszonyított relatív helyzetváltozásai miatt az időben változó forgatónyomaték következtében kialakuló rövidebb periódusú ingadozások nem nevezhetők fizikai értelemben nutációnak. Az érintett égitestek bonyolult mozgása miatt ugyanis a precessziót előidéző forgatónyomaték változik, ami következtében a Föld tömege a hozzá képest rögzített helyzetű forgástengelyével együtt végzi a *változó* precessziós mozgását. Ezzel szemben a nutációs mozgás során a Föld forgástengelye nem együtt mozog a Föld tömegével, hanem bármiféle forgatónyomaték hatásától függetlenül, a Föld tömege, illetve szimmetriatengelye különválva a forgástengelytől végzi a bonyolult sajátmozgását (ami pusztán abból adódik, hogy a forgás nem pontosan a szimmetriatengely körül történik). Egyszerűbben fogalmazva *a precessziós mozgásért a Földön kívüli tömegek forgatónyomatéka felelős, a*

nutációs mozgásban viszont kizárólag a Föld saját tömegének (tömegeloszlásának) a forgástengelyéhez viszonyított helyzete játszik szerepet.

A precesszió csillagászati és geodéziai hatása

A Föld precessziós mozgása a csillagászati megfigyelések szempontjából abban nyilvánul meg, hogy az égi pólus (a Föld forgástengelye és az éggömb metszéspontja) az ekliptika pólusa körül lassan körbevándorol (8. ábra). Az égi egyenlítő síkja merőleges a Föld forgástengelyére, ezért a forgástengely irányának elmozdulása az égi egyenlítő síkjának elfordulásával is jár. Tehát az ekliptika és az égi egyenlítő síkjának metszéspontjában levő Υ tavaszpont is elmozdul az ekliptika mentén, ami viszont a csillagászatban használatos ekvatoriális (égi egyenlítői) koordinátarendszer kiinduló iránya. Így a normálprecesszió és a precessziózavar az égitestek égi egyenlítői koordinátáinak (α rektaszenciójának és δ deklinációjának) folyamatos változását okozzák.

A Föld tömege a forgástengelyével együtt végzi a leírt precessziós mozgásokat, ezért a földfelszíni pontok forgástengelyhez viszonyított földrajzi koordinátái a precessziós mozgástól függetlenek. Így a földi koordináták, a szintfelületi földrajzi szélesség- és hosszúságértékek a normálprecesszió és a precessziózavar hatására nem változnak.

A Föld nutációs mozgásával (a pólusmozgással) a következő cikkben foglalkozunk.

Irodalom

1. Hráskó P.: Merre mutat a Föld forgástengelye? *Fizikai Szemle* 62 (2012) 376.
2. Völgyesi L.: A pólusmozgás fizikai alapjai. *Geomatikai Közlemények V. Sopron*, (2002) 55.
3. Völgyesi L.: A Föld precessziós mozgásának fizikai alapjai. *Geomatikai Közlemények V. Sopron*, (2002) 75.
4. Völgyesi L.: *Geofizika*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2002.

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-postacím: 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)

FERROMÁGNESES ANYAGOK RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATA MÁGNESESHISZTERÉZIS-ALHURKOK MÉRÉSE ALAPJÁN

Vértesy Gábor
MTA TTK Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet

Olyan új, gyorsan elvégezhető, megbízható és gazdaságos roncsolásmentes vizsgálati módszert fejlesztettünk ki, amely alkalmas a ferromágneses szerkezeti anyagokban bekövetkező változások ellenőrzésére. Az iparban alkalmazott ferromágneses anyagok roncsolásmentes vizsgálata nagyon időszerű probléma, amely az ipar számos ágát érinti. A feladat a vas- és acélipar alapvető termékeinek gyártás közbeni ellenőrzésével kezdődik és egészen a késztermékek használat közben történő rendszeres vizsgálatáig tart. Elsősorban olyan esetekről van szó, ahol a használat közben anyagkifáradás, megnyúlás, öregedés, termikus hatások, korrózió, sugárzás és egyéb káros folyamatok mehetnek végbe. Ide tartozik a csővezetékek, hidak, hajók, nyomástartó edények (és még sok egyéb) esetében a szerkezeti elemek élettartamuk alatt történő ellenőrzése, valamint az acélokban bekövetkező szerkezeti változások roncsolásmentes módon történő kimutatása a hengerléssel, sajtolással, darabolással történő anyagmegmunkálás során. A rendszeres, roncsolásmentes vizsgálatokkal megelőzhető a szerkezeti anyagok kifáradása miatt bekövetkező balesetek.

A mágneses módon elvégzett vizsgálatok egyszerűségük és gazdaságosságuk miatt tarthatnak számot a széleskörű érdeklődésre a fenti esetekben. Ezek a módszerek azon a tényen alapulnak, hogy az anyagok szerkezeti változásai és mágneses jellemzői között jól kimutatható kapcsolat van [1]. A mágneses tulajdonságok vizsgálatának egyik hatékony (de természetesen nem egyetlen) módja az anyag mágneseshisztéris-görbéjének mérése. A hisztérisgörbe a ferromágneses anyagok viselkedésének jellemzésére szolgáló, leggyakrabban használt paraméter. Ez az a zárt görbe vonal, amely megmutatja, hogy az anyagra ható (váltakozó nagyságú és irányú) H mágneses gerjesztő térerősség esetén hogyan változik a B mágneses indukció az anyagban [2]. A hisztérisgörbe alakja, például a szélessége vagy a meredeksége érzékenyen követi a mágneses anyag szerkezetében bekövetkező változásokat. Ennek kimutatására számos olyan vizsgálati módszert alkalmaznak a gyakorlatban is, ahol szerkezeti anyagok hisztéris-görbéjét közvetlenül mérik, és ebből vonnak le következtetéseket azok fáradására vagy egyéb, az anyagszerkezetben bekövetkező változásra [3].

Ezen módszerek hátránya azonban, hogy a mágneseshisztéris-mérések sokszor csak nehezen valósíthatók meg, különösen, ha nagy méretű, szabálytalan alakú mérendő objektumról van szó, valamint csupán néhány, a hisztérisgörbéből származtatható paraméter (telítési indukció, koercitív erő, remanencia stb.) mérésére van lehetőség. További hátrány, hogy ezen paraméterek megbízható méréséhez az anyagot mágnesesen telíteni kell, ami a nagy lemágnesezési

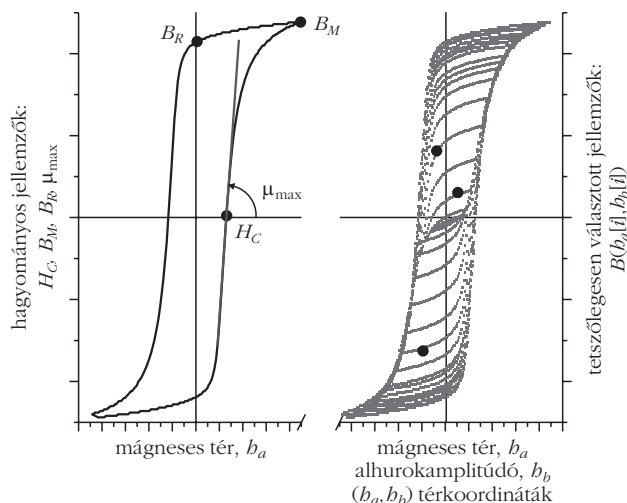
tényezőből adódó szórt mágneses tér miatt nagyon sok esetben nehéz, vagy egyenesen lehetetlen.

Jelen munkában egy olyan, az elméleti mágneseshisztéris-modellezésen és -számításon alapuló mérés-technikát ismertetek, amelynek során a teljes hisztéris-hurok mérése helyett a hisztéris-alhurkok sorozatának mérésével határozhatók meg az anyagtól függő paraméterek. Mint azt számos esetben kimutattuk, ez a módszer sok előnyt kínál a hagyományos hisztéris-mérésekkel szemben [4], és általában is versenyképes az egyéb mágneses mérési technikákkal (például Barkhausen-zaj, magnetoakusztikus emisszió stb.).

Mágneses adaptív teszt (MAT)

Az elnevezés arra utal, hogy a mérési eljárás során mindig azokat a jellemzőket határozzuk meg, amelyek leginkább jellemzik a vizsgált anyagban a szóban forgó degradáció következtében kialakult változásokat. Vagyis a kiértékelést úgy optimalizáljuk, hogy a kapott paraméterek a legjobban adaptálhatók legyenek a megrendelőt érdeklő szerkezeti változásokra. Ez a mérési módszer jól kihasználja a korszerű számítástechnika lehetőségeit, és segítségével sokkal több információ származtatható, mintha csak a hisztéris-hurok néhány kiválasztott paraméterét mérnénk. A MAT-eljárás lényege, hogy egy külső mágnesező járom segítségével szisztematikusan, lemágnesezett állapotból kiindulva, váltakozó mágneses térben, növekvő amplitúdóval mágnesezzük a mérendő mintát. A mérés során a minta permeabilitását (vagyis a válto-

1. ábra. A hagyományos, telítési hisztérisgörbe (balra) és a hisztéris-alhurkok mérésén alapuló módszer (jobbra) közti különbség szemléltetése.



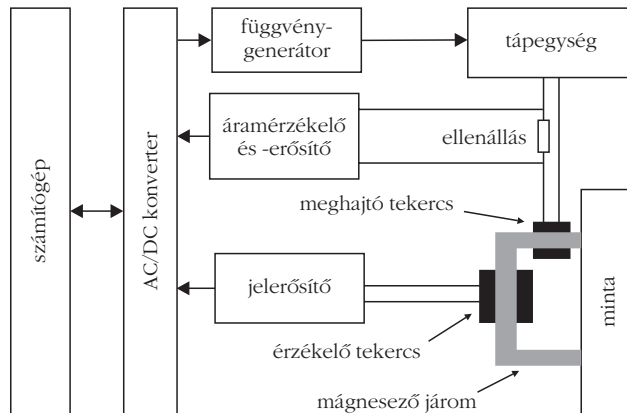
zó külső tér hatására a mintában bekövetkező mágneses indukció-változást) detektáljuk a mágnesező jármön elhelyezett érzékelő tekercssel, és ebből számítjuk ki a hiszterézis-alhurkokat. A hagyományos, a telítési hiszterézisgörbe mérésén alapuló, és az általunk bevezetett, a hiszterézis-alhurkok mérésén alapuló módszer közti különbséget mutatja az 1. ábra.

A teljes görbe mérése során általában a telítési indukciót (B_M), a remanens mágnesezettséget (B_R) és a koercitív erőt (H_C), néha a maximális permeabilitást (μ_{\max}) határozzák meg. Ezen fizikai jellemzők jelentését az 1. ábra mutatja. A módszer hátránya, hogy ezek a paraméterek függenek a telítési mágnesező téről. A MAT-eljárás esetén viszont számos, jól definiált alhurkot mérünk, amelyek minden pontja hordozhat valamilyen információt. Vagyis akár több ezer vagy tízezer, jól reprodukálható, a megfelelő (h_a, h_b) térkoordinátákkal és az ezekhez tartozó $B(h_a, h_b)$ mágneses értékekkel jellemzett mérési pont is a rendelkezésünkre áll, amelyek közül egy erre a célra kifejlesztett szoftver segítségével választjuk ki azokat, amelyek a legnagyobb érzékenységgel és egyúttal a legjobban reprodukálható módon jellemzik az anyagban bekövetkező változást a megadott független változó (például mechanikai deformáció) függvényében. A $B(h_a, h_b)$ értékeket a mért permeabilitásgörbe alapján számítjuk ki. A szemléltetés kedvéért a 3. ábrán bemutatom, hogy egy mintasorozaton a közvetlenül mért permeabilitásgörbék hogyan változnak az anyagban végbemenő degradáció (jelen esetben hengerlés) következtében.

A későbbiekben használt, „optimális MAT-paraméter”-nek nevezett jellemzőket a mért permeabilitás görbéből számolt $B(h_a, h_b)$ értékek halmazából úgy határozzuk meg, hogy az összes $B(h_a, h_b)$ pontot feldolgozzuk a külső, független változó (deformáció, keménység stb.) függvényében, és ebből választjuk ki azokat, amelyek a külső hatásokra változó anyagi tulajdonság és az arra legérzékenyebb hiszterézis-alhurkok-csoporthoz tartoznak. Értelemszerűen nemcsak egy ilyen $B(h_a, h_b)$ paraméter van, és a mérést akkor tekintjük megbízhatónak és reprodukálhatónak, ha egy viszonylag széles (h_a, h_b) tartományból az egymást követő mérési pontok csak kis mértékben különböznek egymástól. Ebben az esetben a megismételt mérés is ugyanazt, vagy hibahatáron belül hasonló $B(h_a, h_b)$ értéket eredményez, még ha a h_a illetve h_b értékeket nem is sikerül pontosan reprodukálni.

A mérés nem abszolút, mindig a hasonló mérési paraméterekkel felvett referencia méréssel hasonlítjuk össze (általában arra normáljuk) a mintasorozat adott elemén mért azonos paramétereket. Így egy mérési sorozat jól mutatja, hogyan változik az aktuális minta mágneses viselkedése a deformáció mértékével arányos módon. Ismeretlen mintán történő mérés esetén előzőleg fel kell venni a kalibrációs görbét egy ismert (referencia) mintasorozaton.

Az eljárás jelentős előnye még, hogy az anyagot nem kell mágnesesen telíteni: a lemágnesezett állapot környékén mért hiszterézis-alhurkok sorozatából is tökéletesen és nagy érzékenységgel jellemezhető az anyag-

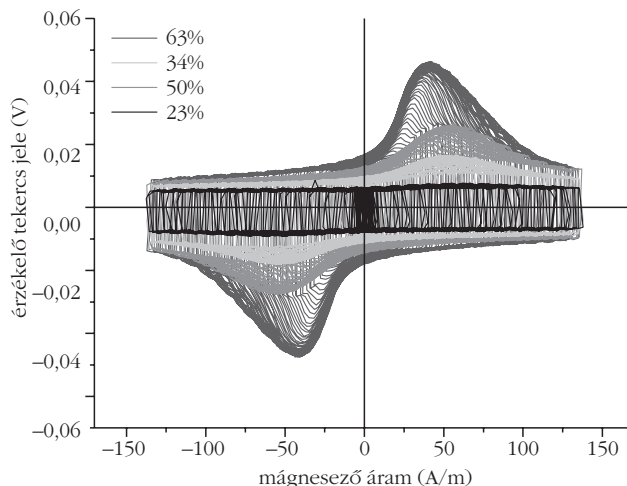


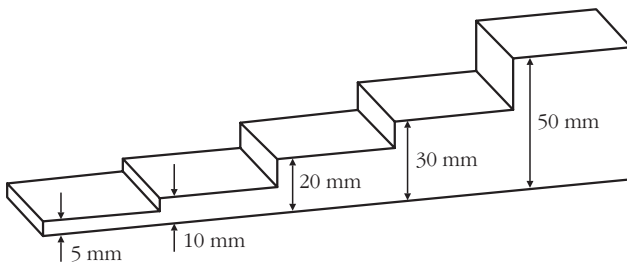
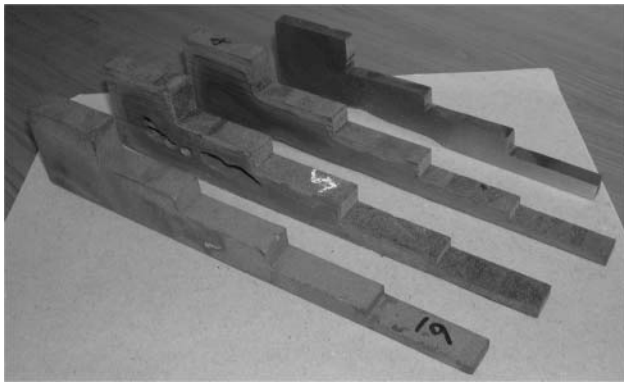
2. ábra. A mérési elrendezés blokkvázlata.

ban végbemenő változás. A módszer részletesebb leírása, számos gyakorlati példával illusztrálva a [4] hivatkozásban szerepel. A 2. ábrán látható a mérési elrendezés blokkvázlata. A minta felületére helyezett, lágymágneses anyagból készült mágnesező jármönra tekercselt meghajtó tekercsen átvezetett áram segítségével periodikusan mágnesezzük a mintát, és az ennek hatására az egész mágneses körben (amelynek a minta is része) generált mágneses indukció-változást mérjük az érzékelő tekercs (amely szintén a mágnesező jármönön helyezkedik el) segítségével. A tekercsben indukált feszültség az időfüggő mágneses gerjesztés miatt változó indukció időderiváltjával arányos. Az érzékelő tekercs jele látható (a mágnesező áram függvényében) egy hidegen hengerelt rozsdamentes acél mintasorozat négy eleme esetén a 3. ábrán. (A mérésről magáról később szó lesz a hideghengerléssel alakított rozsdamentes acél mintákon kapott eredményeket ismertető alfejezetben.) Az ábra egyúttal mutatja magát a mérési folyamatot is, jól láthatók a különböző alhurkokon a folyamatosan növekvő mágnesező térrel detektált jelek.

A jelen munkában – mintegy illusztrálva a fent elmondottakat – a MAT-módszer segítségével, különféle mintákon elvégzett mérések eredményét foglalom össze. A kiértékelés során a MAT-paramétereket összeha-

3. ábra. Az érzékelő tekercs jele a mágnesező áram függvényében négy különböző mértékben hengerelt rozsdamentes acél minta esetén.





4. ábra. A lépcső alakú öntöttvas minták.

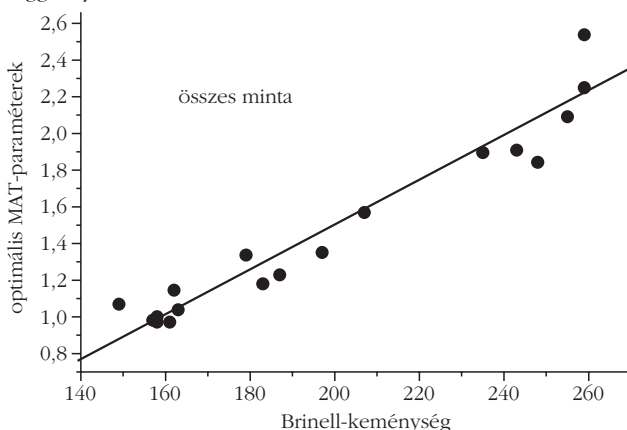
sonlítottam az ugyanazon mintasorozaton, független, roncsolásos módon mért paraméterekkel. Ezek a paraméterek (keménység, átmeneti hőmérséklet vagy Charpy-teszt) a szabvány szerint mérendő jellemzők, amelyeket előírás szerint rendszeresen mérni kell a nagy igénybevételnek kitett szerkezeti elemeken.

Öntöttvas minták mérése

Megfelelő formába történő öntéssel négy, speciális, lépcső alakú öntöttvas minta készült. A minták alakja és a lépcsők vastagsága a 4. ábrán látható, míg kémiai összetételüket az 1. táblázat tartalmazza. A különböző vastagságú lépcsőkbe történő beöntés során az olvadt vas különböző idő alatt hűl le, emiatt szerkezete is különbözik.

Metallurgiai vizsgálatok igazolták, hogy a különféle vastagságú lépcsők szerkezete jelentős mértékben különbözik egymástól (perlit-, ferritarány, grafit szemcsék

5. ábra. Öntöttvas mintákon mért MAT-paraméterek a keménység függvényében.



1. táblázat

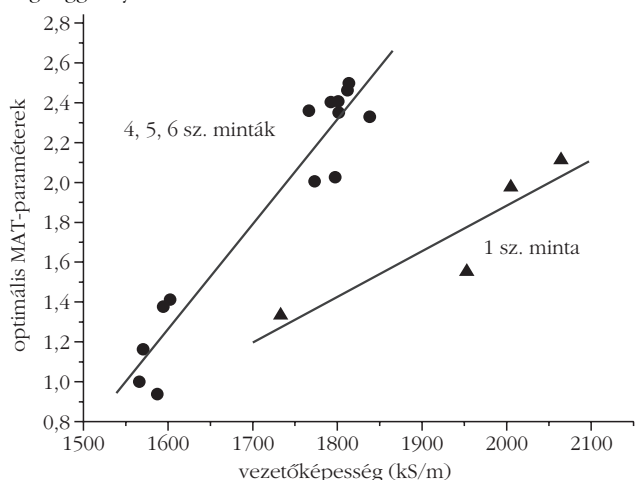
Öntöttvas minták kémiai összetétele (súlyszázalékban)

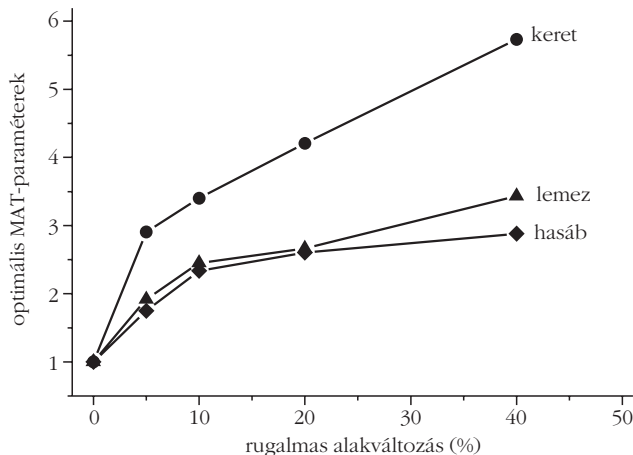
minta	C	Si	Mn	P	S	Mg
1	3,05	2,041	0,166	0,049	0,016	0,024
4	3,58	2,592	0,127	0,065	0,016	0,025
5	3,46	2,575	0,128	0,066	0,015	0,025
6	3,43	2,523	0,130	0,064	0,016	0,026

nagysága stb.). Mind a négy minta mindegyik lépcsőjén végeztem mágneses méréseket a MAT-módszerrel. Az így módon kapott eredményeket összehasonlítottam a független laboratóriumban elvégzett keménység- (Brinell) és elektromos vezetőképesség-mérések eredményével. Mint korábban említettem, az alábbiakban bemutatott mérésekben a MAT-eljárás során mindig kiválasztottam a kapott adathalmazból azokat a paramétereket, amelyek az adott független paraméter (például keménység) változását a legnagyobb érzékenységgel, de ugyanakkor a legjobb reprodukálhatósággal írják le. A továbbiakban az így meghatározott jellemzőt, mint optimális MAT-paramétert fogom említeni.

A 5. és 6. ábra mutatja a mérések eredményét. Az 5. ábrán az összes minta összes lépcsőjén mért MAT-paraméter szerepel a Brinell-keménység függvényében. Látható, hogy az adatok kis szórással egy egyenes mentén helyezkednek el, vagyis jó korrelációt sikerült kapni a mágneses paraméterek és a keménység között. A 6. ábrán, ahol a vezetőképesség függvényében szerepelnek a MAT-paraméterek, kétféle függés különíthető el. A 4., 5. és 6. számú mintákon mért értékek egy egyenes mentén fekszenek, míg az 1. számú minta esetén ettől jelentősen eltérő meredekséget kapunk. A különbség a kémiai összetétel alapján értelmezhető: a 4., 5., 6. számú minták összetétele nagyon közel van egymáshoz, míg az 1. minta markánsan különbözik a többi mintától, mint az az 1. táblázatból látható. Ez okozza a vezetőképességben mért nagyobb értékeket, amelyek jól követhetők a mágneses mérésekkel is.

6. ábra. Öntöttvas mintákon mért MAT-paraméterek a vezetőképesség függvényében.



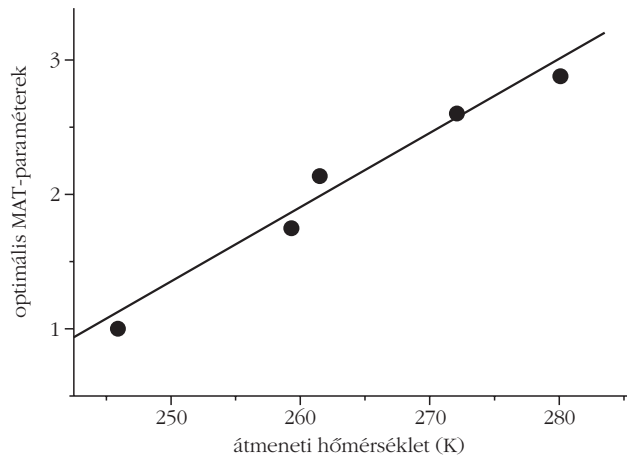


7. ábra. Optimalizált MAT-paraméterek a rugalmas alakváltozás függvényében hideghengerléssel alakított különböző alakú szénacél minták esetében.

Szénacél minták mérése

Alacsony széntartalmú acél (0,16% szenet, 0,20% szilíciumot és 0,44% mangánt tartalmazó) mintasorozatot vizsgáltam. Az anyagot hideghengerlés segítségével plasztikusan deformáltuk ($\epsilon = 0, 5, 10, 20$ és 40%), majd az így módon deformált acélból megfelelő alakú darabokat vágtunk ki. Három különböző alakú mintát, keret formáját, lemezt, illetve hasábot készítettünk. A lemezt és a hasábot a 2. ábrán bemutatott módon, vagyis külső mágnesező járommal mágnesztük, míg magára a keretre cséveltük a mágnesező és érzékelő tekercseket. Ez utóbbi geometria biztosítja csak a „tökéletes” mágneses mérést, mert nem kell számolni a minta alakjából adódó lemágnesezési effektussal, valamint a járom és minta közötti légrés hatásával. Valamennyi hasáb egyik oldalán egy „V” alakú bemetszést alakítottunk ki, amely az úgynevezett Charpy-teszt elvégzését teszi lehetővé. (Ez a teszt a nukleáris iparban rutinszerűen elvégzett roncsolásos mérés, ami azt mutatja, hogy az anyag mennyire lesz törékeny, például neutronbesugárzás hatására. Eredménye az úgynevezett átmeneti hőmérséklet, ami az anyag ridegtörési érzékenységét jellemzi. Az atomreaktorok nyomásálló tartályának megbízhatóságát így módon ellenőrzik.) Elvégeztük a Charpy-tesztet, valamint Vickers-keménységet is mértünk valamennyi mintán. Transzmissziós elektronmikroszkópos vizsgálatokat is végeztünk, ami kimutatta a mikroszerkezet változását: a diszlokáció-sűrűség 10^9 -ról 10^{10} cm^{-2} értékre nőtt a hengerlés hatására, ami megfelel a deformált anyag mechanikai és mágneses keményedése során megfigyelt és elvárt értékeknek.

A mérések eredménye azt mutatja, hogy a minta alakjától függetlenül a MAT-mérések során meghatározott optimális mágneses jellemző (MAT-paraméter) és a rugalmas deformáció között jól kimutatható kapcsolat van. Ezt a mérési eredményt mutatja a 7. ábra. Az ábra alapján levonható fontos következtetés, hogy a minta alakja, és az, hogy mágnesesen nyitott vagy zárt kört mérünk, *kvalitatíven* nem befolyásolja a kapott eredményt, vagyis az anyag degradációja és a

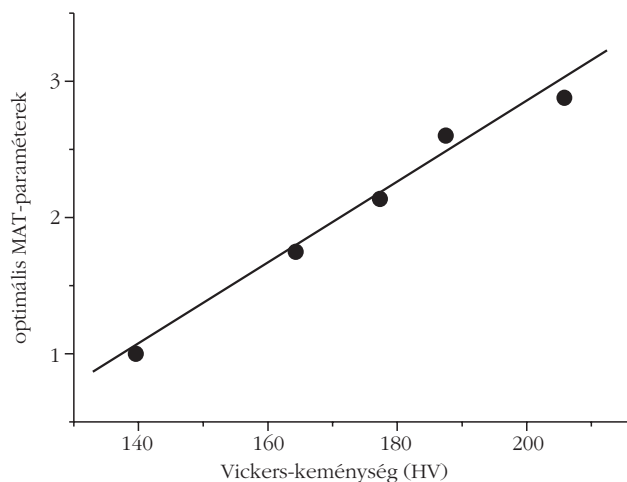


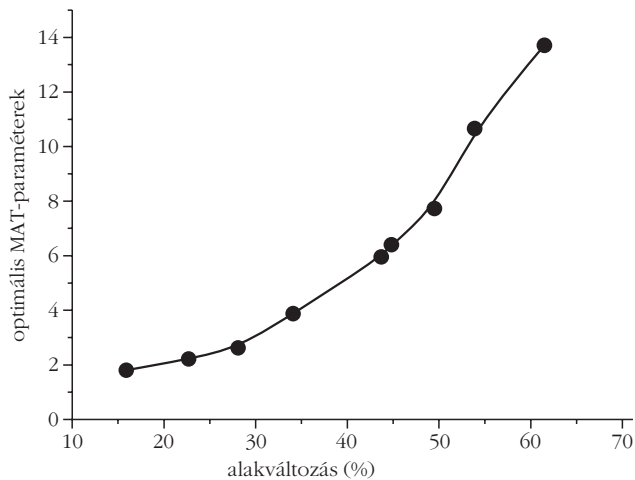
8. ábra. A szénacél mintákon mért MAT-paraméterek az átmeneti hőmérséklet függvényében.

mért mágneses jellemző közötti összefüggést. Ez a tény a jövőbeni ipari alkalmazást nagymértékben elősegíti. Ugyanis a külső járommal történő mágnesezés során mindig fellép a légrés hatása, ami módosítja (néha akár jelentősen is) a mért jelet. Mágneses szempontból abszolút mérést csak zárt mágneses körben (gyűrű, vagy keret alakú mintán) lehet végezni, de ez értelemszerűen nem tehető meg a gyakorlati szempontból fontos esetekben. A 7. ábrán látható eredmény viszont azt mutatja, hogy a kapott összefüggés *jellege* nem változik, ha ugyanazokon a mintasorozatokon zárt vagy nyitott körben történik a mérés.

A roncsolásmentesen mért mágneses MAT-paraméterek és a hagyományosan, roncsolásos módon meghatározott Vickers-keménység, valamint az átmeneti hőmérséklet között egyértelmű, nagyon szabályos, lineáris kapcsolatot mutattam ki a mérési pontok kis szórása mellett. Ezen mérések eredményei láthatók a 8. és 9. ábrákon. Ennek alapján biztosan állítható, hogy a vizsgált anyagokban bekövetkező mechanikai degradációra közvetlen, kvantitatív adatot tudunk szolgáltatni roncsolásmentes méréssel, ha a mérést először egy ismert mintasorozaton kalibráljuk, és az ismeretlen mintán végzett mérést ezzel a referenciaadattal vetjük össze.

9. ábra. A szénacél mintákon mért MAT-paraméterek a Vickers-keménység függvényében.





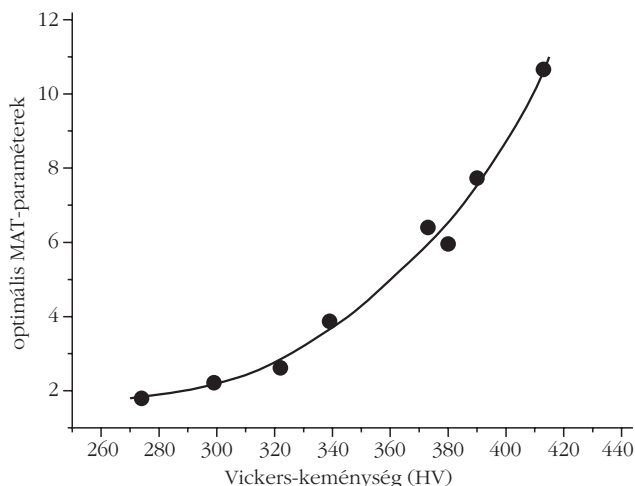
10. ábra. 18/8 típusú, titánnal stabilizált ausztenites acél mintákon mért MAT-paraméterek az alakváltozás függvényében.

Említést érdemel még az a körülmény, hogy míg a vizsgált mintasorozat esetén az átmeneti hőmérsékletben mintegy 20%, a Vickers-keménységben mintegy 50%-os változás következett be, a mágneses jellemzők mintegy 270%-kal változtak, még a legkedvezőtlenebb esetben is (hasáb alakú minta). Vagyis a mágneses mérés segítségével a bekövetkező szerkezeti változások jóval nagyobb érzékenységgel mutathatók ki, mint a roncsolásos mérések segítségével.

Rozsdamentes acél minták mérése

Lemez formájú, 18/8 típusú, titánnal stabilizált ausztenites acél mintákat 1100 °C-os hőkezelésnek vetettünk alá, majd a mintákat vízfürdőben edzettük. Ezután hideghengerléssel különböző mértékben alakítottuk őket. Az anyag az eredeti paramágneses fázisból fokozatosan részben ferromágnesessé vált, mert a hengerlés mértékének függvényében ferrittartalom alakult ki. A 3. ábrán jól látható, hogy a növekvő ferrittartalom milyen jól tükröződik a mért jelalakban. Az ábrán négy különböző módon hengerelt mintán

11. ábra. 18/8 típusú, titánnal stabilizált ausztenites acél mintákon mért MAT-paraméterek a Vickers-keménység függvényében.



mért jel látható. Minél erősebb a minta deformációja, annál nagyobb a ferromágneses fázis aránya, és annál nagyobb a mérhető permeabilitás.

A 10. ábrán látható az optimális MAT-paraméterek függése az alakváltozástól. 60%-os alakváltozás a mágneses jellemzők mintegy 14-szeres változását okozza, ugyanakkor a Vickers-keménységben ez csak 55% növekedést jelent, amint az a 11. ábrán látható. Vagyis a rugalmas deformáció hatására kialakuló ferromágneses fázis jelenlétét igen jó érzékenységgel lehet ilyen módon detektálni, és a mérési pontok szórása is kicsi. Néhány százalékos ferrit tartalom vagy ferrit tartalom változás is kimutatható a mérési hibahatáron belül.

Összegzés, következtetések

A többféle mintán elvégzett mérések eredményét összegezve megállapítható, hogy az általunk bevezetett új, mágneseshiszterézis-mérésen alapuló módszer jó eredményeket ad, segítségével nagy érzékenységgel és megbízhatóan jellemezhetők a ferromágneses anyagokban bekövetkező szerkezeti változások. Valamennyi anyag esetén, ahol rendelkezésre álltak ilyen adatok, igen jó egyezés mutatható ki a hagyományos módon, roncsolással végzett mérések eredménye, valamint a roncsolásmentesen elvégzett mágneses mérések eredménye között.

Figyelemre méltó, hogy a mágneses alhurkok mérésének megfelelő kiértékelésével kapott optimális mágneses jellemző az alkalmazott mágneses tér olyan értékeinél adódott, ami messze van az anyag mágneses telítettségétől. A gyakorlatban sűrűn előforduló, nagy méretű szerkezeteken végzendő mérések esetén ez igen fontos körülmény, mert ezek a mintadarabok mágnesesen nem telíthetők.

Megítélésem szerint ezért jó esély van arra, hogy a ferromágneses anyagból készült szerkezeti elemek rendszeres megbízhatósági ellenőrzését, maradéklelettartam becslését roncsolásmentesen végezhető mágneses mérésekkel végezzük el. A módszer sikeres jövőbeli alkalmazásához először természetesen minden esetben hagyományos, roncsolásos mérésekre van szükség mintasorozaton, amely alapján a MAT-mérések „taníthatók”. Ezen tanulási folyamat alatt kell meghatározni azokat a MAT-paramétereket, amelyek a legjobban jellemzik az illető anyag degradációját, és amelyek a jövőbeli mérésekben a legérzékenyebbek és legmegbízhatóbbnak minősülnek.

Irodalom

1. D. C. Jiles: Review of Magnetic Methods for Nondestructive Evaluation. *NDT Int.* 21 (1988) 311–319.
2. Kovács E., Paripás B.: *Fizika II.* Miskolci Egyetem Földtudományi Kar, 2011. vagy: www.uni-miskolc.hu/~www_fiz/KovacsE/EAeldin.pdf
3. C. C. H. Lo, et al.: Evaluation of fatigue damage using a magnetic measurement technique. *IEEE Trans. Mag.* 35 (1999) 3977.
4. I. Tomáš, G. Vértessy: Magnetic Adaptive Testing. In *Nondestructive Testing*. (Editor M. Omar), InTech-d.o.o. – Open Access publisher: www.intechopen.com/articles/show/title/magnetic-adaptive-testing, ISBN 979-953-307-487-9 (2012) 145–186.

LEHETSÉGES MEGOLDÁSOK AZ ATOMENERGIA-IPAR JELENLEGI PROBLÉMÁIRA

II. rész – A tóriumos tenyésztő reaktorok

Király Márton
Budapest

A tórium

A következőkben a tóriumciklusról és a tóriumalapú energiatermelésről írok, előbb azonban bemutatom a tóriumot, mint a periódusos rendszer egy kevésbé ismert elemét.

A tórium a természetben előforduló radioaktív, a periódusos rendszer 90. eleme, vegyjele Th. 1828-ban fedezte fel *Jöns Jacob Berzelius* és a skandináv mitológiában a villámok és zivatarok istenéről, az emberiség védelmezőjéről, Thorról nevezte el. A tóriumnak a természetben gyakorlatilag egyetlen izotópja fordul elő, a ^{232}Th , mely 14 milliárd éves felezési idővel bomlik, alfa-részecskét emittálva. Ez az idő nagyjából a Világegyetem általánosan elfogadott életkorával egyenlő. A bomlási sor többi izotópja lényegesen gyorsabban, néhány nap alatt lebomlik, az ^{208}Pb zárja a sort. A tórium többi izotópja rövidebb felezési ideje miatt csak nyomokban található meg. Az ^{238}U bomlási sorában megtalálható, 246 ezer év felezési idejű ^{234}U és az alfa-bomlásával keletkező leányelem, a 75 ezer év felezési idejű ^{230}Th egymáshoz képesti mennyisége radioaktív kormeghatározást tesz lehetővé. Ezt a módszert pár millió éves mészkő üledékek esetén használják [11].

A tórium gyakorisága a Földön az ólomhoz hasonló, átlagosan 10 ppm, mintegy 3-5-ször olyan gyakori, mint az urán. Kitermelhető készletei világszerte több milliárd tonnára tehető, felhasználása azonban jelenleg korlátozott. Főként ritkaföldfémekkel együtt fordul elő, a különböző monazitok egyik fő összetevője, azonban az értékes ritkaföldfémek kinyerése után hulladékként jelentkezik. Általában jelentős mennyiségben megtalálható az uránbányászat során visszamaradó meddőben is. Legnagyobb koncentrációban a thorit nevű ásványban fordul elő, amelynek összegképlete $(\text{Th,U})\text{SiO}_4$. Ez az urán egyik bányászott formája Kanadában. A tórium általában az uránbányászat mellékterméke. A monazit 2010-ben nem jelent meg eladható termékként, árat nem határoztak meg hozzá, világszerte szabadon bányászható.

A tórium nukleáris üzemanyagként is hasznosítható (2. ábra). A ^{232}Th egy neutron befogásával ^{233}Th -má alakul, mely 22 perces felezési idővel bétabomlással ^{233}Pa -má alakul. A protaktínium, ha nem fog be több neutron, 27 napos felezési idővel bétabomlás következtében ^{233}U -má alakul. Az ^{233}U -t 1942 decemberében fedezte fel *Glenn Seaborg* a tórium besugárzása során, a Fermi-féle atommáglya építésével egy időben. Ekkorra az USA-ban a Manhattan-projekt keretében már több elgondolás is készen állt

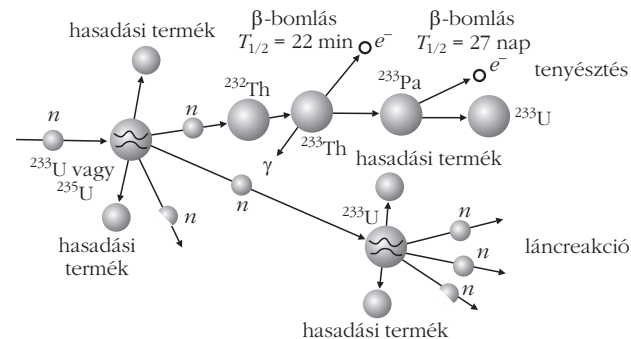
az ^{235}U dúsítására és az előző év elején felfedezett elem, a plutónium előállítására, szeparálására és felhasználására.

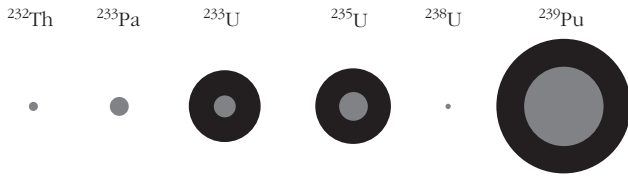
Az ^{233}U alkalmas nukleáris üzemanyagnak mind atomerőművek, mind atombombák számára. Egy mag hasadása során 197,9 MeV energia szabadul fel, amely közel azonos az ^{235}U hasadási energiájával. A tórium ciklusban egy ^{233}U hasadása során keletkező átlag 2,5 neutron közül egy továbbviszi a láncreakciót, egy másikat befog egy ^{232}Th , így tartva fenn a tenyésztést, a fennmaradó neutronok pedig elnyelődnek a szerkezeti anyagokban. A tóriumciklusban a késő neutronok aránya 2,03%, amely háromszor több, mint az ^{235}U hasadványai esetén ($\beta = 0,65\%$). Ez sokkal szélesebb szabályozási tartományt enged meg, jelentősen egyszerűsítve ezzel a láncreakció kézben tartását.

Az USA az ötvenes években kipróbálta az ^{233}U hadi célú alkalmazását. A számított kritikus tömeg 16 kg, azonban az ^{232}U szennyezés miatt feldolgozása nehezebb, detektálása könnyebb volt. Az ^{232}U az ^{233}U -ból keletkezhet ($n, 2n$) reakcióban, vagy a ^{233}Pa -ból keletkezik a ^{232}Pa ($n, 2n$) reakció során és ez bomlik bétabomlással ^{232}U -vé. Az ^{232}U felezési ideje 72 év, a keletkező ^{218}Th -é 1,9 év, a leányelemei azonban jóval rövidebb, néhány órás felezési idejűek és több közülük erős gamma-sugárzó (például ^{208}Tl , $E = 2,6$ MeV). Ez jelentősen megneghezíti a tóriumciklusban keletkező urán hadi alkalmazását, ugyanakkor a reaktor biztonságos üzemeltetését is, távirányítás megvalósítását teszi szükségessé [13].

A ^{232}Th termikus neutronbefogási hatáskeresztmetszete háromszor nagyobb, mint az ^{238}U -é (3. ábra). Az ^{233}U termikus neutronbefogási és hasadási keresztmetszete is kedvezőbb, mint ^{235}U esetén. Az ^{233}U hasadási neutronhozama magasabb, mint az ^{235}U -nél vagy a ^{239}Pu -nél, lassú, rezonancia és gyors neutronok ese-

2. ábra. A tenyésztési reakció bemutatása: a tórium egy neutron befogásával két lépésben átalakul hasadóanyaggá, ^{233}U -má, amelynek hasadása átlagosan 2,5 neutron eredményez (ezt jelzik az ábrán a „fél neutronok”) [12].



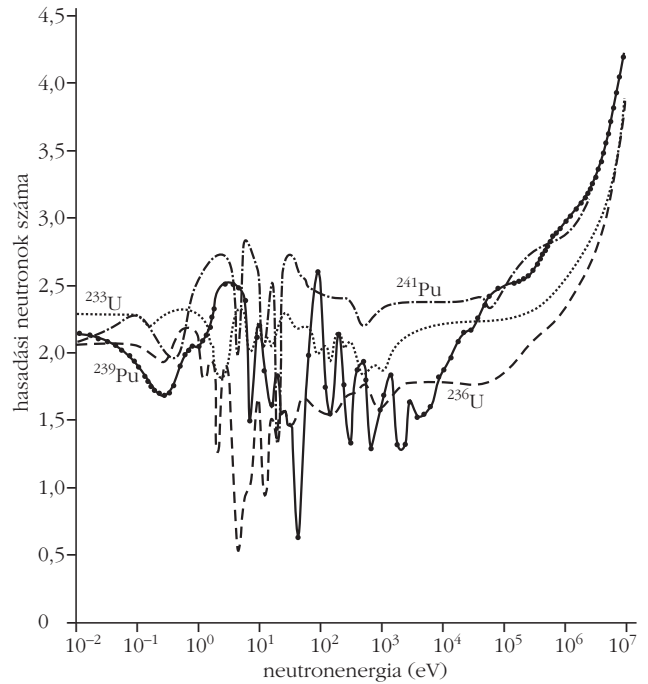


3. ábra. Termikus neutronokra vonatkozó relatív befogási (világosabb szürke) és hasadási (sötét szürke) hatáskeresztmetszetek aránya (a területek arányában) [14].

tén is 2 fölötti (4. ábra). A több termelőző neutron javítja a tenyésztés fenntarthatóságát. Az U-Pu tenyésztők nagy hátránya, hogy a ^{239}Pu a termikus neutronok jó részét hasadás nélkül befogja, amely rontja a neutronháztartást, ez gyors neutronok esetén erősen csökken. Az ^{233}U esetén ez sem okoz gondot, a termikus befogás esélye is megfelelően kicsi. Továbbá a befogási és hasadási hatáskeresztmetszetek termikus neutronokra sok százszor nagyobbak, mint gyors neutronokra, így kevesebb üzemanyag elég a kritikuság eléréséhez.

MSBR – A sóolvadékos tenyésztő reaktor

1969 végén a MSR-programot leállították és kezdetét vette a már hosszabb ideje tervezett, ezen kísérlet eredményein és a tóriumcikluson alapuló sóolvadékos tenyésztőreaktor (Molten Salt Breeder Reactor, MSBR) egyes elemeinek kipróbálása. Az első tervek szerint két, egymástól elválasztott körre van szükség: a reaktor körül található tenyésztő és árnyékoló külső körre, amelyből egy lépésben kivonható az ^{233}U és ezt

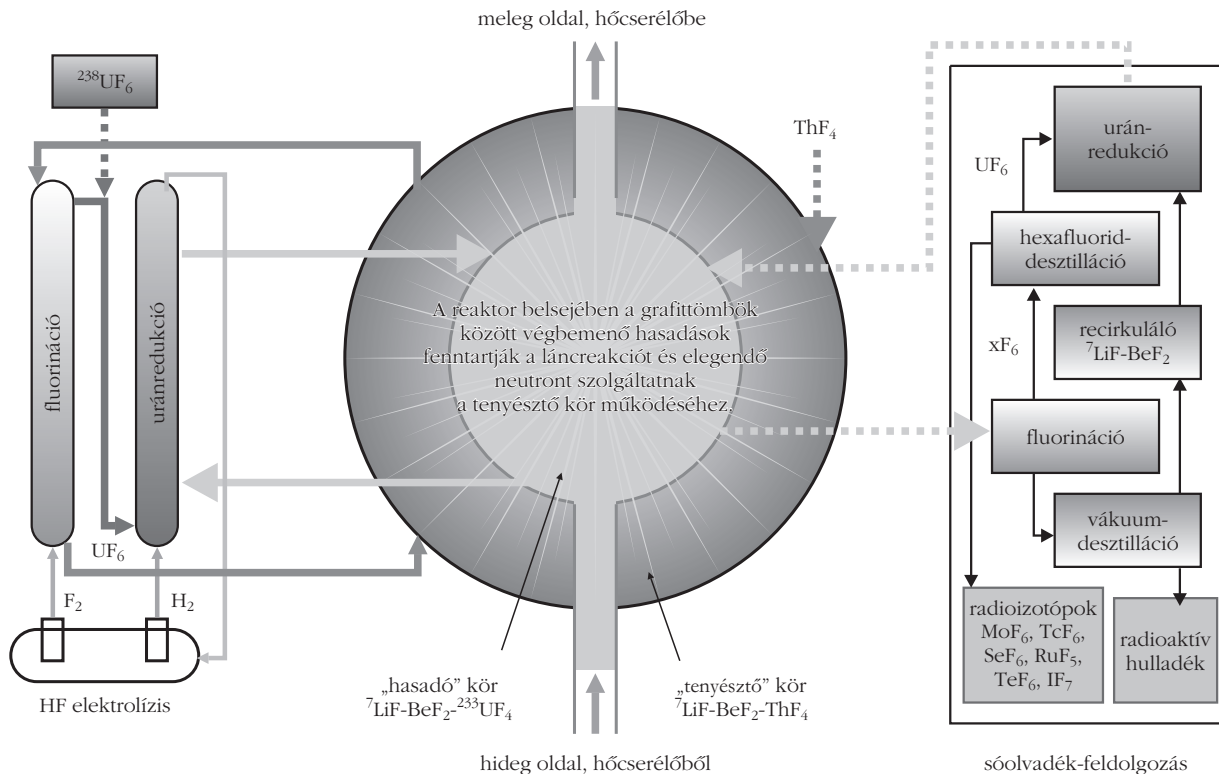


4. ábra. Néhány izotóp átlagos hasadási neutronhozama a neutronok energiájának függvényében [15].

használva működik a kritikus állapotú reaktor maga, a belső kör. Ebben fenntartható a láncreakció és egyben neutronokat is szolgáltat a külső, tenyésztő kör működéséhez (5. ábra).

Későbbi vizsgálatok kimutatták, hogy nincs feltétlenül szükség két körre, mivel a számítások szerint 1,065-ös tenyésztési arány érhető el a tórium és az

5. ábra. A kétkörös sóolvadékos tenyésztő működési vázlatja [16].



urán 5:1 arányú elegyítése mellett, továbbá sikerült kifejleszteni egy technológiát, a folyékony bizmuttal történő redukív extrakciót, amely képes az uránt, a protaktíniumot és a ritkaföldfémeket szelektíven extrahálni a sóból. Ehhez a moderátor grafit mennyiségét csökkenteni kellett a reaktoron belül és megoldásokat kellett találni felületének lezárására, bevonat képezésére, így akadályozva meg a xenon felhalmozódását a pórusokban. Az így létrehozott elképzelés az eredeti sóolvadékos technológia kiterjesztésének és méretnövelésének is felfogható, mivel a tervek egy 1000 MW elektromos teljesítményű lakossági erőmű kifejlesztéséről szóltak. Több ilyen terv is készült, amelyek több száz oldalas, részletes leírásokat tartalmaznak az addig elért eredményekről és a jövőben elvégzendő munkákról [17]. A kutatási eredmények ismeretében 1972-ben a gyorsreaktorokat részesítették előnyben, a program költségvetését fokozatosan csökkentették, majd 1976-ban gazdasági okokra hivatkozva megszüntették [18]. Azóta sem történt meg e lassan negyven éve született, javarészt politikai döntés hivatalos felülvizsgálata.

A tóriumos tenyésztő reaktor előnyei a következőkben foglalhatók össze:

- a tóriumciklus 200-szor hatékonyabb a jelenlegi ^{235}U technológiákhoz képest (bányászat, dúsításra nincs szükség),
- az éppen elégséges tenyésztési arány miatt nem vagy csak kevés ^{233}U többletet termel,
- termikus neutronokkal működik, kevés hasadóanyagra van szükség,
- legalább 600 évre elegendő a globális tóriumkészlet, az uránnál ötször gyakoribb, a fosszilis energiahordozók kiválthatók,
- az indítótöltet lehet reprocessálásból és leszerelelésből származó ^{235}U vagy ^{239}Pu is,
- nincs utólagos reprocessálás, működés közbeni szeparáció lehetséges, értékes orvosi izotópok nyerhetők ki (^{99}Mo , ^{213}Bi , ^{225}Ac , ^{229}Th , ^{125}I , ^{106}Ru , ^{90}Y),
- ^{232}U szennyezés javítja a proliferáció-állóságot, csak békés célokra alkalmas,
- a radioaktív hulladék fluorapatit formában egyszerűen és biztonságosan tárolható,
- alig keletkeznek transzuránok, csak rövidebb felezési idejű izotópok,
- a keletkező hulladékban 100 év alatt a bomlások 84%-a lezajlik,
- a tórium nem képes önmagában hasadásra, tehát tiszta állapotban is biztonságos.

A fenti elveken működő reaktorok és a tórium energetikai hasznosításának elterjedéséért a következő, különböző volumenű összefogások léteznek világszerte:

- Generation IV International Forum, USA Department of Energy,
- Thorium Energy Alliance (TEA),
- International Thorium Energy Organisation (IThEO),
- Thorium Molten-Salt Nuclear Energy Synergetic System (THORIMS-NES), Japán,
- FLIBE Energy Co., USA (*Kirk Sorensen*),

- Weinberg Alapítvány, Egyesült Királyság,
- Chinese Academy of Sciences, Kína.

Ezek közül az első kettő nemzetközi akadémikus összefogást jelent, évente tartott konferenciáik a világ minden területéről vonzzák az atomenergia ezen területének kutatóit. A japán kutatás egy pénzühiányokkal küzdő kutatócsoport, amely az Oak Ridge-ben elért eredmények reprodukálását tűzte ki célul. A FLIBE Energy egy magánkézben lévő vállalat, amely kormányzati és katonai pályázatok segítségével igyekszik kis méretű reaktorok építésén keresztül gyártási, üzemeltetési és piaci tapasztalatot szerezni a sóolvadékos technológia gyors és olcsó gyakorlati alkalmazását keresve. A Weinberg Alapítvány politikai nyomást igyekszik gyakorolni a tórium alapú nukleáris energiatermelésnek az Egyesült Királyság energiastratégiájába való beépítésére. India gazdag tóriumkészleteit újonnan épülő nehézvízes erőművekben szeretné felhasználni, mivel ezek a típusok alkalmasak szinte bármilyen nukleáris üzemanyaggal való működésre. Külön figyelmet érdemel a kínai kutatások megindulása, mivel Kína nem titkolt szándéka a sóolvadékos technológia kifejlesztése és az intellektuális tulajdon birtokában annak a nyugati világ számára történő értékesítése [19].

Kombinált tenyésztő reaktorok

Léteznek olyan tervek is, amelyek nem kizárólag egyfajta elképzelés mentén indulnak el, hanem két vagy több elképzelés előnyeinek egyesítéséből származnak. A klasszikus, termikus reaktorokban is lehet üzemanyag tenyésztést létrehozni. Az első kísérlet erre a Shippingport Atomic Power Stationben történt. Ez volt a világ első kizárólag békés célra használt atomerőműve, amely *Eisenhower* elnök 1953-as *Atoms for peace* beszéde után jött létre. A nyomtárolt víz erőmű 1957-ben kezdte meg működését és 60 MW elektromos teljesítménnyel üzemelt. 1977-ben átalakították a reaktor aktív zónáját. A közepén meghagyták a neutronokat termelő „magot”, majd ezt körülvették – felülről és alulról is – tóriumreflektorokkal [20].

Ez az elképzelés újfajta szabályozási lehetőséget adott a mérnökök kezébe. A belső mag a reflektorok nélkül szubkritikus volt. Ha a reaktor teljesítményét csökkenteni kellett, akkor a magot lejjebb eresztették, így több neutron szökött ki a zóna szélén, ezzel csökkent a reaktivitás. A magot a középső pozícióba hozva a reaktor ismét kritikussá vált, mivel a neutronok nagyobb hányada verődött vissza. Az erőművet 1982-ben, pénzügyi nyomásra leállították, a tenyésztő koncepció felülvizsgálata azonban még 1987-ig várattat magára. Ekkor kiderült, hogy az aktív zóna 1,3%-kal több hasadóanyagot tartalmazott, mint a kísérlet kezdetekor. Ebből 1,01 tenyésztési arány számítható, vagyis könnyűvízes termikus reaktorból is lehetséges tenyésztő reaktort építeni [21].

Ezt az eredményt Indiában is szeretnék megismételni. Az Bhabha Atomic Research Centre (BARC) által

fejlesztett nehézvízes reaktor (AHWR) szilárd fűtőelemei a tervek szerint $\text{ThO}_2\text{-PuO}_2$ és $\text{ThO}_2\text{-}^{233}\text{UO}_2$ összetételű pálcákból állnak majd, a negatív üregegyütthatóval épített reaktor amorf szén moderátorral és nyomott nehézvízzel fog működni, egybeolvasztva a CANDU és a PHWR-ok tapasztalatait és a shippingporti eredményeket. A tervezés során nagy hangsúlyt fektettek a passzív biztonsági berendezésekre is, amelyek egy esetleges áramszünet esetén is biztosítják az aktív zóna folyamatos hűtését. A KAMINI reaktor a világ első, kifejezetten ^{233}U -mal való működésre tervezett reaktora. Ez a 15 éve működő 30 MW termikus teljesítményű könnyűvízes kutatóreaktor urán-alumínium ötvözetet használ [22].

Az *Alvin Radkowsky* után elnevezett Radkowsky Thorium Reactor is a shippingporti eredmények alapján képzeli el a tenyésztőreaktorok jövőjét. Ez a konstrukció a PWR technológiát veszi alapul és kapcsolja össze a tóriumciklussal. Az elképzelés szerint a „mag” maximum 20%-os dúsítású uránból állna, de az üzemanyag urán-cirkónium ötvözet formájában kerülne a reaktorba. Ezeket a kazettákat 3 éves ciklusidő után kellene cserélni. A mag körüli kazetták tóriumból és dúsított uránból állnának, amelyek 10 évig maradnának a reaktorban. Az aktív zónát a mai PWR-ekhez hasonlóan évente kellene átrakodni, tehát a mag kazettái 3, a köpeny pedig 10 cikluson keresztül maradnának a reaktorban. Az egyszerűbb kazettagyártás, az olcsó tórium és a hatékonyabb üzemanyagciklus gazdaságilag kifizetődővé tenne egy ilyen atomerőművet. A ma Lightbridge Corporation néven működő vállalat a Kurcsatov Intézettel közösen végezte az újfajta fűtőanyag irradiációs vizsgálatait, 2009 óta pedig az AREVA-val és az Egyesült Arab Emírátsokkal együttműködésben szeretnék mindezt a gyakorlatban is kipróbálni [23].

Carlo Rubbia Nobel-díjas felvetette egy spallációs neutronforrással kombinált tóriumos reaktor gondolatát, amelynek segítségével úgy lehetne villamos energiát termelni, hogy az atomerőművek számos ismert problémája nem merül fel. Egy szinkrotronban 1 GeV energiára gyorsított protonokat nehézfémm (például ólom) targetre löve spallációs reakció révén intenzív neutronforrást kapunk. A neutronok egy grafittal moderált és vízzel hűtött, tóriumot tartalmazó rendszerbe jutnak. A tórium-grafit fűtőelemek golyó alakúak. A neutronok hatására a tóriumból ^{233}U izotóp keletkezik, és a berendezésben ennek hasadása révén termelődik energia. Ha megfelelően választjuk meg a rendszerben kialakuló neutronfluxus nagyságát, akkor a gyorsító által fogyasztott villamos energia sokszorosát kapjuk így vissza. Erre való tekintettel nevezte el rendszerét Rubbia energiasokszorozó rendszernek, amint ez *Szatmáry Zoltán* cikkében is olvasható [24].

Számítások szerint az ^{233}U mennyisége hozzávetőleg 10^{22} n/cm² értékű integrált neutronfluxus elérése után arányossá válik a ^{232}Th (lassan csökkenő) mennyiségével. A tisztán hasadási technológia útján való tenyésztéssel szemben a spalláció/hasadás kombinációnak az a legfőbb előnye, hogy a spalláció neutro-

nokban sokkal gazdagabb reakció, mint a hasadás: hasadásonként 2-3 neutront kapunk, egy spallációban pedig 20-40-et. Ehhez az elképzeléshez azonban szükség van egy 60 mA protonáramot előállító részecskegyorsítóra, amely jelenleg még nem létezik. Az elképzelésen azonban érdemes elgondolkodni és szem előtt tartani a műszaki fejlődés előrehaladásával.

Összefoglalóan cikkemben röviden áttekintettem a jelenleg működő atomerőművek nehézségeit és néhány régi, hosszú ideje mellőzött technológia előnyeit mutattam be. A IV. generációs elképzelések közé sorolt gyorsreaktorok mellett a sóolvadékos reaktor több egyedi biztonsági és gazdasági előnnyel is rendelkezik, és a legújabb reaktortervekkel szemben megállja a helyét. A mai napig léteznek összefogások a tórium, a jövő egyik lehetséges energiaforrásának kiaknázására és a felhasználására született remek ötletek terjesztésére és népszerűsítésére. Több kidolgozott koncepció is született a tórium energetikai hasznosítására, ezek közül azonban – befektetők hiányában – eddig csak az indiai reaktor áll készen. A fejlesztés újraindítására lenne szükség, azonban alapvetően az új nukleáris technológiák a tudományos és gazdasági bizalmatlanság és a befektetők hiánya miatt nem fejlődnek. Az ipar szereplői, a kormányok és a kutatóintézetek közötti kapcsolatok felélénkítése elemi érdekünk. Fontos továbbá a szakma figyelmét is felhívni a tóriumciklus jelentőségére, kezdve azzal, hogy nagyobb hangsúlyt kell kapnia az egyetemi oktatásban. A következő mérnökgeneráció fogja majd a ma felvetett elképzeléseket megvalósítani, de csak akkor, ha hallanak róla és érdeklődésüket sikerül felkelteni.

Irodalom

11. <http://en.wikipedia.org/wiki/Thorium>
12. Ralph Moir, Teller Ede: Egy tórium alapon működő, sóolvadékos, föld alá telepített atomreaktor lehetősége. *Fizikai Szemle* 61/11 (2011) 367. oldal, 2. ábra.
13. <http://en.wikipedia.org/wiki/Uranium-233>
14. www.growingnewlife.com/web_images/fission_absorption_cross_sections.gif
15. <http://ralphmoir.com/media/tenneyMerged.pdf>, A System Study of Tokamak Fusion-Fission Reactors. Princeton University, 1978, PPPL-1450, 11. oldal.
16. www.lernerconsult.com/images/how-lfr-uses-thorium.png
17. R. B. Briggs: Molten-Salt Reactor Program Semiannual Progress Report For Period Ending February 28 1966, ORNL-3936, Oak Ridge National Laboratory (1966)
18. L. E. McNeese: Molten-Salt Reactor Program Semiannual Progress Report For Period Ending February 29 1976, ORNL-5132, Oak Ridge National Laboratory (1976)
19. <http://energyfromthorium.com/2011/01/30/china-initiates-tmsr>
20. <http://files.asme.org/ASMEORG/Communities/History/Landmarks/5643.pdf>
21. <http://atomicinsights.com/1995/10/light-water-breeder-reactor-adapting-proven-system.html>
22. P. N. Manoharan, K. V. Suresh Kumar, G. Srinivasan: Fifteen years of operating experience of KAMINI reactor; www.pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1575_CD_web/datasets/papers/B11%20Manoharan.pdf
23. www.ltbridge.com/leadership/history
24. Szatmáry Zoltán: Mit old meg Carlo Rubbia tóriumos energiasokszorozója? *Fizikai Szemle* 44/7 (1994) 293; www.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz9407/szz9407.html

EGY TERMÉSZETTUDOMÁNYOS CSOPORT MUNKÁJÁBÓL

Leitner Lászlóné

Nyíregyházi Evangélikus Kossuth Lajos Gimnázium

A csoport megalakulása, céljai

A fizika tanítása során több alkalommal tudatosítjuk a tanulókkal, hogy ez az a tudomány, amely a természet megfigyelésével, vizsgálatával, törvényeinek megismerésével foglalkozik. A fizika elnevezést, amely görög eredetű, és jelentése természet/természetes, a magyar nyelvújítás korában a „természettan” helyettesítette, majd a 20. században újra visszatértek a fizikához. Jelenlegi oktatásunkban a fizika tudományos, elsősorban kísérleti módszerének megismerésére alig marad idő, és csak a tanítási órák kereteiből kilépve tehetjük élményszerűvé, mélyíthetjük el tanítványainkban a fizika szó jelentését.

Természettudományos szempontból a nevelés során a megismerési folyamatokat segítő tanár fontos céljainak egyike, hogy a tanulókkal megismertesse a természettudomány egységét. E célt a természettudományos tárgyakat tanítók együttműködésével lehet a leghatékonyabban elérni. A természet megfigyelését, megismerését, kutatását a különböző lehetőségek felismerésével, a tanulói szemlélet szélesítésével, ugyanakkor bizonyos fokú összehangolásával lehet jól végezni.

Erre a célra hoztuk létre a természettudományos csoportot, amely a személyi (tanári és tanulói) és tárgyi (eszköz) lehetőségekhez alkalmazkodva épült ki, és folytatta kutatói tevékenységét.

A természettudományos csoport célkitűzései között szerepel:

- átfogó, és a lehetőségekhez mérten komplex méréssorozat végzése,
- különböző mérőeszközök, elektronikus tároló és feldolgozó rendszer használatának elsajátítása,
- a mérési eredmények matematikai, statisztikai és természettudományos elemzésének megismerése,
- a mért adatokból levonható következtetések megalkotása, az objektivitás lehetőségének elemzése,
- az elvégzett munka és a levonható következtetések megismertetése az iskola tanulóival.

A beválogatás szempontjai:

A programba beválogatott mérések a lehetőségeket kihasználva adódtak a rendelkezésre álló eszközök alkalmazásával. A munkát vezető szaktanárok az általuk irányított területen a mérési eszközök használatában, a mérési adatok értelmezésében és az esetleg hiányzó, de a méréshez nélkülözhetetlen természettudományos ismeretek elsajátításában vállaltak jelentős

szerepet. A tanulók kiválasztása az önkéntesség és motiváltság elve alapján történt; az egyes mérésekhez azon évfolyam tanulói csatlakozhattak, akik előzetes ismereteik alapján tisztában voltak a kérdéses adatok által nyújtott információk jelentés tartalmával.

A megvalósítás módszertana:

A program az alprogramok kialakítását követően a mérés vagy a megfigyelési sorozat megtervezésével, annak értelmezésével, célok megfogalmazásával kezdődött. Ezen alkalmakkor a programot irányító szakember határozta meg a csoportban az elvégzendő feladatok körét, a mérések helyszínét, idejét, a mérési adatok, a mintavételek számát és gyakoriságát. A létrehozott kutatási tervet a csoportok rögzítették, a mérések, megfigyelések során a mért adatokkal, megfigyelésekkel, esetleges eltérésekkel, módosításokkal kiegészítették. A munka során a programot a kooperatív tevékenység jellemezte. Ezen tevékenységek folyamán a diákok a munkát előzetesen saját attitűdjüknek megfelelően elosztó, aktív közreműködőként dolgoztak. A mérésekben részt vállaló csoportokban a munkamegosztás rendje könnyen kialakult, a tanulók hamar megtalálták a személyiségüknek megfelelő részfeladatot. A személyiség harmonikus fejlődésének egyik legjobb színtere volt az esemény, hiszen a steril tantermi körülményeket mellőzve, ismeretet, tudást mélyítve, érdeklődést fenntartva volt lehetőségük a csoporttagoknak közösen dolgozni.

A program záró pontja a mérési eredmények, tapasztalatok közvetítése volt az iskola tanulói felé. Mindegyik csoport beszámolót készített a saját kutatási területéről: ismertette annak célját, előzményeit, a hozzá kapcsolódó szakmai tartalmat, a munka során szerzett szakmai és személyes tapasztalatokat, valamint beszéltek a további lehetőségekről, tervekről. A beszámolókat a csoportok a mért adatokkal, azok elemzésével, a természettudományos háttér-információk ismertetésével, valamint a munkasorozat során készített, többnyire jó hangulatról árulkodó felvételekkel tették színesebbé.

A természettudományos csoport programja

A programot négy alprogram alkotta:

- Vízminőség mérése
- Hőmérsékletmérés
- Hangforrások erősségének mérése
- Háttérsugárzás-mérés

Vízminőség mérése

Helyszín: Nyíregyháza természetes és mesterséges folyóizei; ivóvízminták. Cél: a város természetes vízei minőségének meghatározása, adatok közötti kapcsolat keresése. Módszerek: helymeghatározás, alapfeltétel meghatározása, mérések megtervezése, mintavétel, adatrögzítés, mérésorozat adatainak feldolgozása, adatelemzés, értékelés. Eszközök: ECOLOG XL.

A munkát irányító szaktanár a vízminőség mérésében gyakorlott, szakjához kapcsolódóan a mérés során a tanulóknak megfogalmazódó kérdésekre adekvát feleletet adni tudó személy. Személyiségéből fakadóan is környezettudatos, a természet védelmének elkötelezett híve. A kiválasztott tanulókkal több éve dolgozik együtt, mérési eredményeiket az intézmény honlapján folyamatosan publikálják. Népszerűsítik a környezettudatos gondolkodást a világ alaposabb, módszeres megismerésének segítségével is.

Hőmérsékletmérés

Helyszín: Nyíregyháza belváros, NYEKLG intézmény épületei, termei. Cél: a külső hőmérséklet és a tanterem hőmérsékletének összehasonlítása az időjárási változások függvényében. Módszerek: külső és belső hőmérséklet mérése, az adatok rögzítése a kiválasztott helyszín több pontján, több mérésben. Kiindulási feltételek rögzítése, mérési adatokkal való összevetése. Eszközök: ECOLOG XL, tanulói hőmérők.

A munkát irányító szaktanár a különböző helyszínen mérhető hőmérsékleti értékek rögzítését, feldolgozását, a helyszín kijelölését, külső hatások, befolyásoló tényezők felismerését, kiküszöbölését, vagy azok jelentőségének kimutatását rutinosan megoldó szakember, aki a tanulókkal a tanítási órákon hetente több alkalommal is találkozik.

Hangforrások erősségének mérése

Helyszín: Nyíregyháza belvárosa, a NYEKLG intézmény kiválasztott terme, uszoda, parkerdő, külváros, építkezés, közlekedés, tetszésnyilvánítás, kutyaugatás... Cél: zajszennyezés mérése a hangerősség mérésének segítségével; a hangerősség és az emberi viselkedés közötti kapcsolat keresése. Módszerek: a tanítási időszak során és tanítási időszaktól eltérő időpontban vett hangerősség-minta, valamint a város egyes pontjain vett hangminták adatainak, továbbá az iskolai „alapzaj” összehasonlítása. Az emberi viselkedés és a hangerősség közötti kapcsolat keresése. Eszközök: ECOLOG XL.

A munkát irányító szaktanár a helyszíneket és az időpontokat a mérési időszak során a mért adatoknak, a természetes vagy mesterséges környezeti hatások adta lehetőségeknek megfelelően változtatta. A minták alapján a zaj és a viselkedés közötti kapcsolat keresését tudatosan irányította. A zajszennyezés mérésével újabb eszközt használ fel az egészséges életmódra nevelés érdekében.

Háttérsugárzás-mérés

Helyszín: Nyíregyháza belváros, NYEKLG intézmény épületei, termei, külváros. Cél: természetes hát-

térsugárzás mérése, az azt befolyásoló tényezők kutatása. Módszerek: a kiválasztott helyszínen mérésorozatot végzése, eredmények elemzése. A mérésorozat segítségével kapcsolatok keresése a Naptevékenység és a háttérsugárzás, az építőanyagok, emberi tevékenységhez kapcsolódó tárgyak, valamint a természetes háttérsugárzás között. Annak vizsgálata, hogy a lehetőségeinknek megfelelő módon mért háttérsugárzást az időjárási körülmények változásai milyen módon befolyásolják. Eszközök: GAMMA-SCOUT.

A munkát irányító szaktanár a háttérsugárzás mérésakor a mérést befolyásoló tényezőkre, azok mérhető paramétereire, valamint a mért adatoknak rögzítésére összpontosította a figyelmet. A mérésekkel párhuzamosan a mérésorozatban részt vevő tanulók egy része a nyilvánosan, elektronikusan elérhető, a településhez közeli, valamint nagyobb távolságban lévő mérőállomás adataira támaszkodva végezte az adatgyűjtést. Az így kapott egyes adatokat a saját mérési adatokkal összehasonlítva alakulhatott ki az „egységkülönbség” fogalomkör a mért területre vonatkozóan. A mért adatok elemzésében, összefüggések feltárásában a tanulóknak segítséget nyújtva lehetőséget biztosított arra is, hogy a gyakorlati munka mellett a tanulók matematikai, statisztikai elemző képessége is kialakuljon, fejlődjön.

A programok irányítói

Vízminőség mérése: *Pénzesné Fekete Henriett* biológia-földrajz szakos tanár, környezetmérnök;

Hőmérsékletmérés: *Szigeatiné Szemerszki Éva* matematika-fizika-technika szakos tanár;

Hangforrások erősségének mérése: *Pócsik Csabáné* földrajz-testnevelés szakos tanár, gyógytestnevelő;

Háttérsugárzás-mérés: *Leitner Lászlóné* matematika-fizika szakos tanár, mérésértékelési szakértő.

Tapasztalatok, további tervek

A különböző területeken dolgozó csoportok tagjai elégedetten, tapasztalatokkal és sikerélménnyel gazdagodva zárták a munkát. A tapasztalatok alapján a munkában részt vállalók a következő mérési időszakra új mérési területen vállalnának feladatokat. A mérőeszközök és a helyi adottságok függvényében a mérési területek skálája bővíthető, de ennek leginkább a személyi feltételek szabnak határt: az érdeklődő tanulók és a munkában tapasztalattal rendelkező szaktanárok száma is adott.

Fontos, hogy mind a diákok, mind a mérési sorozat irányításában részt vevő szaktanárok nevében nyugodtan állíthatom, hogy a kötelezően végzendők mellett ez a feladat valóságos feltöltődést jelent a hét teendői között.

Mindezen túl közelebb kerülünk a tanulókkal együtt a természet többirányú, alaposabb megismeréséhez, amivel a fizika tudományának és egyben önmagunknak is tartozunk.

ELMÉLKEDÉS A CORIOLIS- ÉS A CENTRIFUGÁLIS ERŐRŐL

Hraskó Péter

PTE Elméleti Fizika Tanszék

Egy tömegpont síkbeli mozgását többnyire Descartes-koordinátákban, de talán még gyakrabban polárkoordinátákban tárgyaljuk. A Descartes-koordinátákban érvényes

$$m \ddot{x} = F_x \quad m \ddot{y} = F_y \quad (1)$$

egyenletekről az

$$x = r \cos \varphi \quad y = r \sin \varphi$$

transzformációval térünk át polárkoordinátákra, de a koordinátákon kívül természetesen az erő Descartes-komponenseit is ki kell fejezni az F_r , F_φ poláris komponenseken keresztül. Az eljárás a jól ismert

$$m \ddot{r} = F_r + m r \dot{\varphi}^2, \quad (2)$$

$$m r \ddot{\varphi} = F_\varphi - 2 m \dot{r} \dot{\varphi} \quad (3)$$

egyenletekre vezet.

Az egyenleteket úgy rendeztük, hogy – az (1)-hez hasonlóan – a bal oldal most is csak a gyorsulással arányos tagot tartalmazza. Ennek azonban az lett a következménye, hogy a jobb oldalon az erő megfelelő komponensén kívül egy-egy új tag is megjelent. Ezeket a jól ismert tagokat logikus ugyancsak erőnek tekinteni, elfogadott nevük is ezt a felfogást tükrözi: A (2) jobb oldalán a második tagot centrifugális erőnek, a (3)-ban megjelenőt pedig Coriolis-erőnek hívjuk.

De álljunk meg itt egy pillanatra. Az eddigi egyenletek felírásánál automatikusan feltettük, hogy inerciarendszerben vagyunk, mert a Newton-egyenletben csak a valódi \mathbf{F} erőt szerepeltettük, inerciaerőről egyáltalán nem esett szó. A kiinduló Descartes-koordináta-rendszerünk is és a belőle képzett polárkoordinátáink is inerciarendszert határoznak meg (inerciarendszerhez vannak rögzítve). Márpedig inerciarendszerben nem lép fel se centrifugális, se Coriolis-erő, hiszen ezek inerciaerők, amelyek csak forgó vonatkoztatási rendszerekben hatnak a bennük nyugvó és mozgó testekre.

Ezt a terminológiai kifogást nem lehet csak úgy félretolni. Egyet tehetünk: A (2) és a (3) jobb oldalán megjelenő két fiktív erőtagra más, semleges elnevezést vezetünk be. Elfogadhatónak látszó elnevezés az, hogy ezek *geometriai erők*, mert utal rá, hogy tisztán geometriai úton, a t időt nem tartalmazó koordináta-transzformáció következtében jelentek meg.

De ettől még igaz marad, hogy ezek a geometriai erők *a matematikai alakjukat tekintve* pontosan

megegyeznek a centrifugális és a Coriolis-erővel. Megmutatjuk, hogy *egy másik gondolatmenet alapján* valóban lehet őket *így is* értelmezni.

Kezdjük megint a kályhától. Képzeliük el a tömegpont valamelyik megvalósuló mozgását az (x, y) síkban, és vezessünk be új vesszős Descartes-koordinátákat úgy, hogy a vesszős és a vesszőtlen rendszer origója, valamint z -tengelye legyen közös, de a vesszős rendszer forogjon oly módon a közös z -tengely körül, hogy *a tömegpont maradjon rajta folyamatosan* az x' -tengelyen. Hogyan fog kinézni a tömegpont mozgásegyenlete a vesszős Descartes-koordinátákban?

Most természetesen figyelembe kell venni az inerciaerőket is, amelyek képlete

$$\mathbf{F}^* = -2 m (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}') - m (\boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r})) - m (\dot{\boldsymbol{\omega}} \times \mathbf{r}).$$

A jobb oldal első tagja az \mathbf{F}_c^* Coriolis-erő, a második az \mathbf{F}_{cf}^* centrifugális erő, és van egy harmadik tag is, amelyre, mivel tudomásom szerint nincs elfogadott neve, „szöggyorsulási erőként” fogok hivatkozni. Az $\boldsymbol{\omega}$ az a szögsebesség, amellyel a vesszős rendszer forog az inercia-rendszerekhez képest.

Specializáljuk ezeket a mennyiségeket az (x', y') síkban történő mozgásra. A szögsebesség nyilván a következő:

$$\boldsymbol{\omega} = (\omega_x, \omega_y, \omega_z) = (0, 0, \dot{\varphi}),$$

az erő pedig

$$\mathbf{F} = (F_{x'}, F_{y'}, F_{z'}) = (F_r, F_\varphi, 0).$$

A tömegpont helyzetvektorának, sebességének és gyorsulásának csak x' komponense van:

$$\mathbf{r}' = (x', y', z') = (r, 0, 0),$$

$$\mathbf{v}' = (\dot{x}', \dot{y}', \dot{z}') = (\dot{r}, 0, 0),$$

$$\mathbf{a}' = (\ddot{x}', \ddot{y}', \ddot{z}') = (\ddot{r}, 0, 0).$$

A Coriolis-, a centrifugális erő és a szöggyorsulási erő komponensei a következők:

$$\mathbf{F}_c^* = (0, -2 m \dot{\varphi} \dot{r}, 0),$$

$$\mathbf{F}_{cf}^* = (m r \dot{\varphi}^2, 0, 0),$$

$$-m (\dot{\boldsymbol{\omega}} \times \mathbf{r}) = (0, -m r \dot{\varphi}, 0).$$

Természetesen a komponensek az inerciaerők képletében is a vesszős koordinátákra vonatkoznak.

Most már könnyen felírhatjuk az $m\mathbf{a} = \mathbf{F} + \mathbf{F}^*$ Newton-egyenlet x', y' komponenseit:

$$m \ddot{r} = F_r + m r \dot{\phi}^2,$$

$$0 = F_\phi - 2 m \dot{\phi} \dot{r} - m r \ddot{\phi}.$$

Ez az egyenletrendszer pontosan megegyezik (2)-vel és (3)-mal, a fiktív erők pedig valóban azonosak benne a Coriolis-erővel és a centrifugális erővel.

Ezzel beláttuk, hogy a vizsgált esetben a geometriai erők egyben inerciaerők is, de szerintem ebből nem szabad levonni azt a következtetést, hogy a két fogalom közül az egyik – a geometriai erő – fölösleges. Ezt a következtetésünket meg se tudtuk volna foglal-

mazni mindkét fogalom együttes használata nélkül. Különbösen is, a két fogalom biztosan nem esik egybe, mert a ϕ -koordináta második időderiváltjával arányos tag inerciaerő, de nem geometriai erő. Más, összetettebb feladatokban pedig valószínűleg még inkább különböznek egymástól.

Még egy utolsó megjegyzés: azt szoktuk mondani, hogy egy körpályán mozgó bolygó esetében, amikor $\ddot{r} = 0$, a centrifugális erő egyensúlyt tart a gravitációs vonzással ($F_r < 0$, $F_\phi = 0$). Mások meg éppen arra figyelmeztetnek, hogy ez félrevezető konklúzió, mert egyáltalán nem következik a (2)-(3) egyenletek levezetési módjából. Most látjuk, hogy a kijelentés korrekt, de nem az inerciarendszerhez rögzített szokásos polárkoordinátákra kell vonatkoztatni, hanem arra a vesszős Descartes-rendszerre, amely együtt forog a bolygóval.

UV-SUGÁRZÁS MÉRÉSE A CERN-I TANULMÁNYÚTON

Riedel Miklós – ELTE TTK Fizikai Kémiai Tanszék

Hollósy Ferenc – Premier Research Hungary, Budapest

Szabolics Imre – Képző- és Iparművészeti Szakközépiskola, Budapest

Vantsó Erzsébet – ELTE TÖK Matematika Tanszék

Az utóbbi időben az ózonlyukjelenség miatt megnőtt a földfelszínre érkező napsugárzásban az ultraibolya (UV) sugarak hányada. Emiatt a napozás során gyorsabban leégünk, és hamarabb keletkeznek bőrelváltozások. Ha ismerjük a sugárzás aktuális mértékét, megfelelően védekezhetünk ezek ellen a déli órákban, magas hegyekben, a tengerparton stb. Az UV-sugárzás mennyiségi kísérleti tanulmányozására jó lehetőséget adott a fizikatanárok CERN-i tanulmányútja, és az azzal kapcsolatos magashegyi túra.

Elméleti háttér

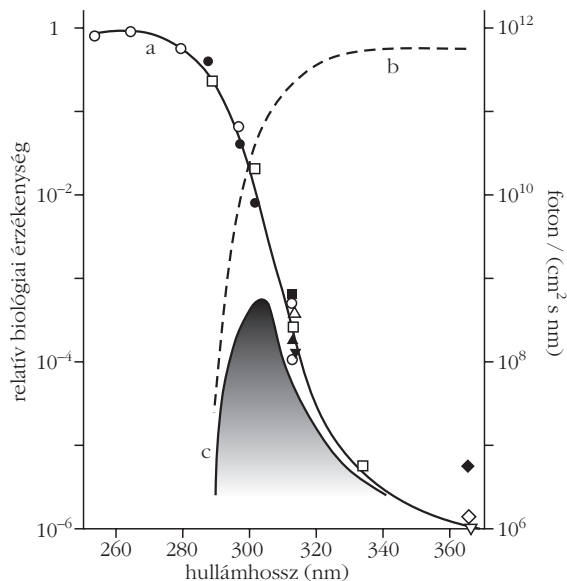
Az elektromágneses színekép 1 nm-től 1 mm-ig terjedő hullámhossztartományát optikai sugárzásnak nevezzük. Ezen belül a különböző hullámhossztartományokat másként érzékeljük. Szemünk a látható sugárzást fényként érzékeli, ennek hullámhosszhatárai (400–780 nm), az ultraibolya sugárzás hullámhossza 100 és 400 nm közé esik, az infravörös sugárzás a 780 nm fölötti tartomány. Az ultraibolya színeképtartományt nemzetközileg elterjedt módon három részre szokás osztani: 100–280 nm UV-C, 280–320 nm UV-B, 320–400 nm UV-A. A Nap sugárzó energiájának mintegy 7%-a az ultraibolya és rönt-

gentartományba tartozik, 46%-a a látható fény, további 47% pedig az infravörös tartomány része. A UV-C lenne az élő szervezetre a legveszélyesebb, ezt azonban – szerencsére – a légkör csaknem teljesen elnyeli. A magas légköri ózonréteg az UV-B jó részét is elnyeli és az UV-A is veszít erejéből. A Napból a földfelszínre érkező UV-sugárzás az egészségre részben hasznos: elősegíti a D-vitamin képződését, a mesterséges UV-sugárzást pedig felhasználják a gyógyászatban és fertőtlenítésre is. Egy bizonyos mértékét meghaladó ultraibolya sugárzás viszont káros lehet, hatására bőrpír (erythema), bőroregedés, bőrdaganatok, szürke hályog keletkezhet, sőt a DNS károsodása is felléphet [1–3, 11].

A napsugárzás intenzitása és a biológiai érzékenység együttes hatását az *1. ábra* szemlélteti a DNS-sérülés érzékenysége, a napsugárzás intenzitása és ezek szorzata, azaz a napsugárzás biológiai hatékonysága (DNS-károsító hatása) ábrázolásával. A beszürkített görbe alatti terület az effektív biológiai besugárzás, ennek a besugárzási idővel való szorzata adja meg biológiai effektív dózis értékét [2].

A sugárzás intenzitását watt/m² egységben fejezik ki, az utóbbi időben azonban megnőtt az igény arra, hogy a szélesebb közönség tájékoztatására a Nap UV-B sugárzásának kifejezésére valamely könnyen áttekinthető skálázást vezessenek be. Ez az úgynevezett UV-index (UVI) [4–7]. Kanada volt az első ország (1992 után), amely a napi időjárás-előrejelzésben a várható UV-sugárzás maximális értékét is megadta. Az UVI-t a WHO standardizálta, így fogalma, meghatározása és skálázása az egész világon egységes.

A mérésben részt vettek: Riedel Miklós (vezető), Azari Henriette, Csatlós Mária, Hollósy Ferenc, Horváth Krisztina, Kovács Zoltán, Lábás Antalné Pém Judit, Láng Róbert, Papp Géza, Pájer Szabolcs, Ságiné Valaczka Ilona, Szabolics Imre, Tóth Diana, Vantsó Erzsébet, Varjasiné Balla Edit, Várnainé Benedek Ágnes.



1. ábra. Az effektív biológiai besugárzás és dózis szemléltetése [2].

A Föld különböző helyein eltérő mértékű az UV-sugárzás. Az ezt okozó magaslégtörő ózonréteg vékonyodása leginkább az Antarktisz, az Északi-sark felett mutatkozik meg. Mi, közepes szélességi fokon élők is számolhatunk az ózonréteg csökkenése miatt az UV-intenzitás növekedésével. Európában általában 0 és 8 közötti UVI-értékeket tapasztalnak, de az ózonréteg vékonyodásával a felső érték növekedhet. Az Egyenlítő táján, illetve Ausztráliában a 12-es indexérték sem ritka.

Az UV-index skála megállapításánál az előbb említett két tényezőt vették figyelembe. A különböző hullámhosszú UV-sugarak intenzitása és a sugarak káros biológiai hatása is hullámhosszfüggő, emellett az emberek, bőrtípus szerint (1. táblázat) és egyéni is különbözőképpen érzékenyek az UV-sugárzás mennyiségére. Az egyes bőrtípusok között természetesen nehezen húzható határvonal [12]. A négy típus szerinti csoportosítás esetén mi, közép-európai emberek többnyire a kettes vagy harmas csoportba vagyunk sorolhatók.

A fenti két hatást a bőrtípustól is függő McKinlay–Diffey-féle tapasztalati függvény (Erythema Action Spectrum Function, 1987) írja le. Ez azt az időt adja meg órában, ami már éppen bőrpírosodást (erythe-

2. táblázat Az UV-B-sugárzás éppen bőrpírosodást okozó súlyozott hatása három, 1 nm széles hullámhossztartományra			
Hullámhossz (nm)	Intenzitás (W/m ²)	McKinlay–Diffey-féle súlyozó szorzó (óra)	Szorzat (súlyozott hatás) 1 nm széles sávra ([W/m ²]×óra)
295,0	0,0006	1,00	0,0006
305,0	0,0740	0,22	0,0163
325,0	0,4780	0,03	0,0138

1. táblázat Az emberiség felosztása négy csoportba a bőrtípus szerint		
bőrtípus	barnulás/leégés	jellemzők
1	Nem barnul, mindig leég	Nagyon világos bőr, kék szem, sok szeplő, vörös-szőke haj
2	Ritkán barnul, gyakran leég	Világos bőr, kék/zöld szem, szétszórt szeplők, vörös-szőke haj
3	Közepesen barnul, néha leég	Világosbarna bőr, szürke/barna szem, barna/fekete haj
4	Gyorsan barnul, ritkán (vagy sosem) ég le	Barna/fekete bőr, barna szem, fekete haj

mát) okoz az adott hullámhosszú UV-sugárzásból. (A különböző forrásokban kissé eltérő értékek találhatók [13].). A két hatás (intenzitás és biológiai hatás) együttesét tehát a függvényértékek szorzata fejezi ki. Ezt három jellemző hullámhossz esetére a 2. táblázat mutatja be.

A két függvény szorzatát integrálják (bőrtípusonként) a 290–330 nm tartományra, és a kapott számot könnyebben kezelhető értékekre kerekítik. Így áll elő a MED (Minimal Erythema Dose, azaz minimális bőrpírosodást okozó dózis) mennyiség. Ez az a minimális besugárzási energia a Napsugárzás teljes UV-tartományában (J/m² egységben), amely már éppen bőrpírosodást okoz. A MED bőrtípus szerinti értéke a 3. táblázatban látható.

Ebből a „hétköznapi használatra” szánt, a sugárzás intenzitását kifejező UV-indexet (UVI) a 2-es bőrtípusra kapott értékhez (1 MED = 250 J/m², illetve 1 MED/h = 0,0694 W/m²) illesztették, és úgy definiálták, hogy a szokásos napi maximális UV-sugárzási értékek egy kis számokat tartalmazó (nagyjából 10-ig terjedő) skálán kifejezhetőek legyenek:

$$1 \text{ UVI} = 0,025 \text{ W/m}^2 = 0,36 \text{ MED/h.}$$

Ennek alapján az aktuálisan mért UV-intenzitásból kiszámítható az a maximális napozási idő, ami alatt már éppen bekövetkezik a bőr kipírosodása.

Egy példa: ha az UV-index értéke 5, az intenzitás 5 UVI = 0,125 W/m². Ezt 2000 s-mal kell szoroznunk ahhoz, hogy 1 MED = 250 J/m² értéket kapjunk. Ez a 2-es bőrtípusra azt jelenti, hogy 2000 s ≈ 33 percnyi napozás

3. táblázat Az 1 MED értéke a különböző bőrtípusokra	
bőrtípus	1 MED értéke az adott típusra (J/m ²)
1 (nagyon világos bőr...)	200
2 (világos bőr...)	250
3 (világosbarna bőr...)	350
4 (barna/fekete bőr...)	450



2. ábra. UV-mérés az Aiguille-du-Midi csúcson.

okok már éppen bőrpirosodást. Ezt az átszámolást a mindennapi használatra szánt UV-mérők automatikusan elvégzik, és kijelzik a használó számára.

A fényvédő krémeken feltüntetett faktorszámok azt fejezik ki, hogy hányzorosára növeli a még biztonságosnak tekinthető napozási időt a krém használata. A krémeket a gyakorlatban tesztelik, a faktorszám tapasztalati. Nagy lehet a szórás értéke, a bőrtípustól és az egyéni érzékenységtől függően.

Mérési feladatok, kísérleti eszközök

A földfelszínre érkező UV-B sugárzás mértékét a lég-reteg vastagsága is befolyásolja, így előre sejthető, hogy reggel és este kisebb, a deleléskor nagyobb UV-index értékeket mérünk azonos napsugárzási és légköri viszonyok mellett. Ugyanígy ok miatt várható, hogy a tengerszint feletti magasság növekedésével nő az UV-sugárzás mértéke. Ezeket az ismereteket kívántuk a tanulmányút során végzett mérésekkel közvetlenül is megtapasztalni.

A mérőcsoport tagjai két kísérletsorozatot végeztek:

- egy egyszerű zsebműszerrel mérték az UV-sugárzás intenzitását (az UVI-t) reggeltől alkonyatig nagyjából óránként a napszaktól (napmagasságtól) való függés észlelése céljából,

- vizsgálták az UVI változását (növekedését) a tengerszint feletti magasság függvényében a tanulmányút Aiguille-du-Midi csúcsra (3842 m) történő kirándulása során.

A most már akár áruházi szinten is beszerezhető UV-sugárzásmérő könnyen elérhető, nem drága, a nagyközönségnek szánt eszköz. Számos kivitelben forgalmazzák, internetes megrendeléssel is beszerezhető. Az eszköz az UV-B sugárzás átlagos értékét méri egy plexibe ágyazott AlGaN fotodióda segítségével nagyjából a 240–320 nm-es tartományban [8]. Egyes eszközök különféle kényelmi szolgáltatásokat is nyújtanak, például hangjelzéssel figyelmeztetnek, ha az adott körülmények között veszélytelennek tekinthető napozási idő lejárt, esetleg figyelembe veszik a használt napvédő készítmény faktorát, mérik a levegő hőmérsékletét stb. Ezekben az egyszerű eszközökben a kijelzés rendszerint 1 digit, azaz az UV-index egész

számként jelenik meg. Az eszközök pontosságát a gyártók óvatosan ± 1 -nek adják meg. Ez természetesen nagyon durva adat, több műszert összehasonlítva a $\pm 0,5$ értéket tartjuk reálisnak. A mérési tartomány 0-tól akár 20-ig is terjedhet, bár ilyen irreális értékű napsugárzás aligha valósul meg.

A műszer érzékelőjét mérés-kor gondosan a Nap irányába kell fordítani, ezt a szögbeállítást kis irányzótűske felszerelé-

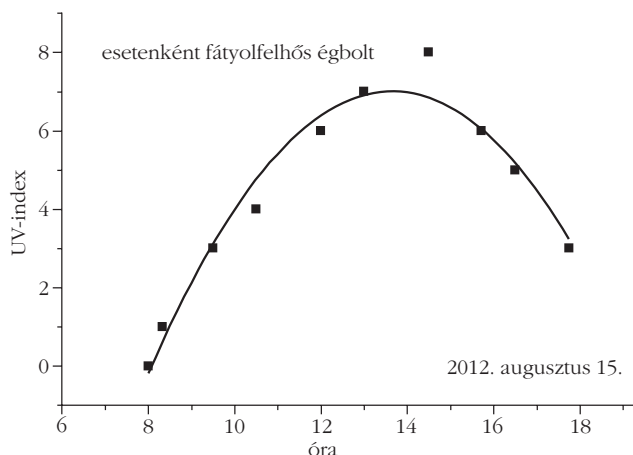
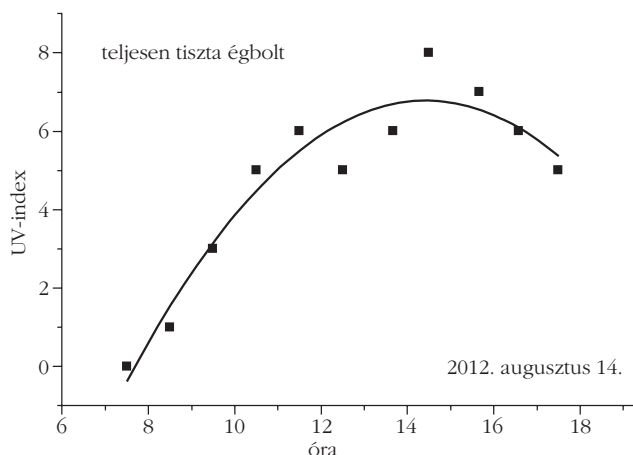
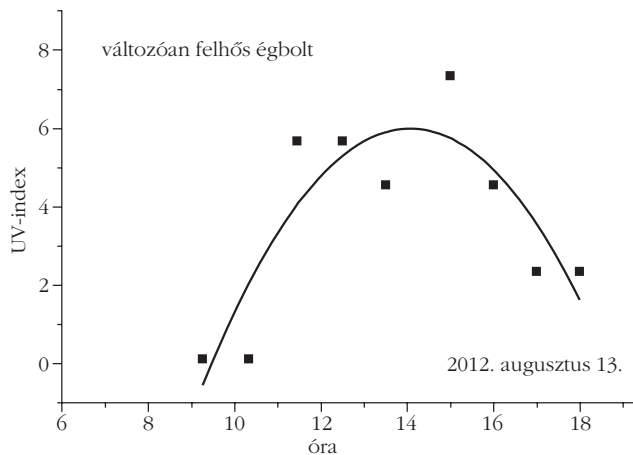
sével könnyíthetjük meg. A mérést többször megismételve, helyes mérés esetén egyező adatokat kapunk (figyelembe véve az 1 számjegyes kijelzést). Ha az adatok nem egyeznek, az vagy átmeneti felhősödést, vagy mérési hibát jelent, ilyenkor ismételjük meg a mérést, és a maximális értéket fogadjuk el.

Mérések, eredmények és tapasztalatok

Az UV-sugárzás napszaktól (napmagasságtól) való függését három egymást követő napon (2012. augusztus 13–15.) a CERN területén körülbelül 430 m tengerszint feletti magasságban, nyílt terepen való mérésekkel vizsgáltuk. (Augusztus 13-án délután – a tanulmányút programjából adódó ok miatt – a mérések egy részére a mintegy 50 km-re, de azonos tengerszint feletti magasságban lévő Lausanne-ban került sor.) A méréseket nagyjából óránként végeztük a reggeli óráktól alkonyatig (2. ábra).

A mérési eredményeket a 3. ábra foglalja össze. A mérési pontokra másodfokú polinomot illesztettünk, és meghatároztuk a napi maximum értékét. Augusztus 13-án az égbolt változóan felhős, 14-én teljesen tiszta, 15-én esetenként fátyolfelhős volt. Ez a légköri helyzet a mérési adatok szórásán jól látszik. Az UV-index napi várható maximális értékét ma már a médiában is elérhető módon közlik [9]. Ennek segítségével méréseinket össze tudtuk hasonlítani a német meteorológiai szolgálat Genf területére közölt adataival [10] (4. táblázat). Látható, hogy az egyezés – figyelembe véve eszközünk egyszerűségét – egészen jó, bár mért értékeink szisztematikusan kisebbek (ha a kiugróan nagy értékeket nem vesszük figyelembe). A napi maximum 14 óra körül jelentkezik annak megfelelően, hogy a Nap delelése ezen a hosszúsági fokon a nyári időszámítási periódusban 14 h körül van.

Az UV-sugárzás tengerszint feletti magasságtól való függését az Aiguille-du-Midi csúcsra vivő felvonó alsó (1035 m), középső (2317 m) és felső (3842 m) állomáson vizsgáltuk tiszta égbolt mellett 2012. augusztus 18-án 9:50 és 11:00 óra között. Az egy magasságban átlagolt mérési pontokra egyenest illesztettünk (4. ábra). A közvetlenül mért adatok azonban módosítandók, mert a 3. ábráról leolvashatóan a mérések



3. ábra. Az UV-index napi változása Genf körzetében, három egymást követő napon, nagyrészt tiszta égbolt esetén.

között eltelt körülbelül 1 óra alatt az UV-index egy adott tengerszint feletti magasságnál is körülbelül 1,5 egységgel növekszik. Az ilyen módon, 11 órára korri-

4. táblázat			
2012. augusztus 13. és 15. között Genf területére előrejelzett és a mért UV-index értékek összehasonlítása			
dátum	13.	14.	15.
előrejelzés Genf területére	7	7	8
mért maximum az illesztett görbéből	6,3	6,8	7,0

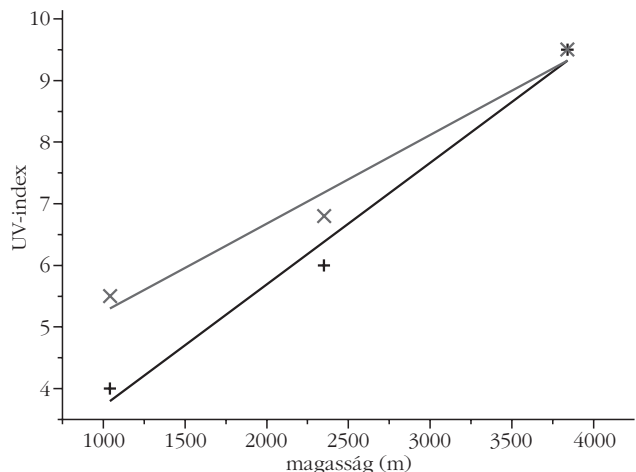
gált egyenes is látható a 4. ábrán. A mérés igazolta előzetes várakozásunkat: a tengerszint feletti magassággal növekedett az UV-sugárzás értéke, 1000 méterenként körülbelül 1,4 egységgel. Egyébként ezen a napon UVI = 10 maximumot 14:50-kor 2300 m magasságban mértük, szemben az előző napokban, 430 méteren mért maximumokkal.

Tanulságok, megfontolások az oktatásban való alkalmazhatóságra

A mérések az iskolában könnyen és gyorsan elvégezhetők, az eredményeket az iskolatípustól és az érdeklődéstől függően fel lehet használni különböző tantárgyakban különböző mélységű tárgyalásra. Felhasználható az egészségi hatások taglalására, környezetvédelmi témák bevezetésére, a fényvédő krémek összetételéről, hatásáról szóló megbeszélésre stb. Hasznos lehet annak megtárgyalása, hogy mi mindentől függhet egy adott fizikai mennyiség, hogyan választhatók meg a kísérleti körülmények úgy, hogy egyszerre az adott mennyiségnek csak egy-egy faktortól való függését vizsgáljuk. A kiértékeléseket számos, rendelkezésre álló számítógépes programmal el lehet végezni. A mérés segítségével mélyebben megérthető a mérési hiba és a mérési pontokra illesztett függvény fogalma.

Az itt bemutatottakon kívül az UV-mérővel számos más kísérlet is elvégezhető. Tanulságos a közönséges üveg és a kvarcüveg UV-áteresztő/elnyelő képességének vizsgálata megfelelő lapocskák (például diaüveg) segítségével. Megvizsgálhatók különböző, UV-védőréteggel ellátott szemüveglencsék és napszemüvegek, bár hangsúlyozni kell, hogy az UV-index a bőr és nem a szem érzékenységevel kapcsolatosan definiált mennyiség, és az egyszerű UV-mérőket a bőrre kifejtett hatás mérésére készítik. UV-védő krémek vizsgálatát viszont nem lehet megbízható körülmények között elvégezni, mert ehhez egy kvarcra egyenes réteget kellene felvinni (lehetőleg a tiszta hatóanyagból), ami aligha valósítható meg.

4. ábra. Az UV-index változása a tengerszint feletti magassággal (+ nem korrigált, × korrigált értékek).



A természetes UV-sugárzás monitorozására akár iskolai hálózat is szervezhető, illetve iskolai kirándulás, biciklitúra alkalmával az interdiszciplináris szemlélet szellemében a diákok ilyen vizsgálatokat is elvégezhetnek. Így a kirándulás testi felüdülése szellemi örömmel is párosulhat. Az összehasonlítás-hoz az UV-index előrejelzés Magyarországra is elérhető [9].

Irodalom

1. Schanda János: Élet a sugárözönben. *Magyar Tudomány* 2002. augusztus.
2. Gáspár Sándor, Bérces Attila: Az ultraibolya sugárzás hatása a környezetünkre. *Fizikai Szemle* 43/4 (1993) 153.
3. Hollósy Ferenc: Az UV-B-sugárzás (1. rész). *Természet Világa* 126 (1995) 258.

4. Ultraviolet index; http://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet_index
5. UV-Index for the Public; http://www.higieneocupacional.com.br/download/uv_index_karel_vanicek.pdf
6. The UV-Index Poster; http://meteo.lcd.lu/papers/uv/uvi/uvi_03.html
7. How is the UV-Index Calculated? http://serc.edu/labs/photobiology/UVIndex_calculation.aspx
8. Necz Péter Pál: Az UV-sugárzás mérésére szolgáló műszer fejlesztése; http://kornyezet.elte.hu/cimlap/hu/kornytud/Zarovizsga/Vedes_prez/110120/Necz_Peter_Pal.pdf
9. Országos Meteorológiai Szolgálat, Országos UV-index előrejelzés; <http://www.met.hu/idojaras/humanmeteorologia/uv-b/>
10. http://kunden.dwd.de/uvi/maxe_s?uv_euro=ID1
11. Liszky Gabriella: Klímaváltozás és bördaganatok. *Magyar Tudomány* 2011. február; www.matud.iif.hu/2011/02/04.htm
12. <http://www.webbeteg.hu/cikkek/borbetegsegek/237/onkonyen-leeg>
13. http://meteo.lcd.lu/uvi_calculator/02-UVI-Calculations-2-7.PDF

EZREDSZER ÉR CÉLBA A FIZIBUSZ

Füstöss László
BME Fizikai Intézet

A Western Electric és az AT&T (American Telephone & Telegraph Company) éppúgy nem a tudományápolás céljából hozta létre a Bell Laboratóriumot, ahogy az Egyesült Izzó is a versenyképesség fokozása érdekében alapította Kutatólaboratóriumát. És valóban hozták az elvárt profitot miközben világraszóló tudományos eredményeket értek el.

Az elektromosság minden alkalmazása jótékony hatással van a szürkeállományra. A hétköznapi felhasználásnál is tudnunk kell, hogy hova nyúlhatunk és hova nem, és érdemes azon is elgondolkodni, hogy mi a teendő, ha villanyszámlánkat pénzügyi lehetőségeinkkel összhangba akarjuk hozni.

Az ELMŰ-ÉMÁSZ (Budapesti Elektromos Művek – Észak-magyarországi Áramszolgáltató) társaságcsoporthoz már hét éve működött az *Energiasuli* programot. „Őszintén hisszük, hogy közös feladatunk felhívni a felnövekvő generáció figyelmét az energiatakarékoság és a környezetvédelem összefüggéseire, fontosságára, ahogy továbbra is nagy hangsúlyt szeretnénk fektetni arra, hogy közelebb vigyük a gyerekekhez a fizika tudományát és általában a természettudományokat” – olvashatjuk honlapjukon.



E program keretében vetette fel *Härtlein Károly* 2007 elején az országjáró fizikaóra, a *Fizibusz* program gondolatát. Az ötlet szinte azonnal támogatást kapott, és néhány hónap alatt létrejött egy olyan mikrobusz formájú fizikaszertár, amely hívásra házhoz, pontosabban iskolához megy. A buszt a kísérleteket bemutató tanár vezeti. Hatodik éve járja az országot, idén májusban kerül sor az ezredik kísérleti kilencven percre. Ahol persze nem a kilencven perc a kísérleti, azon már öt éve túljutott, hanem a jelenségekben előhívott fizika.

A fenti leírás minden eleme lényeges. Fontos a szerzetár, mert olyan eszközöket is tartalmaz, amelyek a legtöbb iskolában nem találhatók meg. Fontos a (mikrobuszt) vezető tanár, aki nyilván jó vezető, mert 160 000 km-es útja során egyszer sem törte össze a járművet. És ami a legfontosabb: *Tóth Pál* tanár úr szakszerűen, érdekesítően, az évek alatt sem halványuló jó humorral tudja előadni a kísérletekhez tartozó fizikát.

Közel az ezredikhez vehettem részt a két féldős fizikaórán. A szünet nélküli kilencven perc meglepően hamar telt a Budapesthez közeli nyolcosztályos gimnázium aulájában. Minden iskolánál ez a kérdés: egy méretes terem – általában tornaterem – ahol elviselhető a másfél óra és úgy helyezhető el a közönség, hogy mindenki láthassa a produkciót. A gimnázium aulájában elhelyezkedő mintegy 300 gyerek mindegyike jól tudta követni a látottakat, hallottakat. *Tóth Pál* tanár úrnak az első perctől sikerült bekapcsolnia a hallgatóságot – annak aktív részét mindenesetre – a kérdések megvitatásába. Hogy mi van a tartályban? Miért nem hidrogén? Miből áll a levegő? Ha van cseppfolyós nitrogénünk, akkor segítségével elgondolkozhatunk a nyomás és a hőmérséklet jelentésén. Hogy miképp lehet a szűk lombiknyakon átpréselni a főtt tojást. És ha már van főtt tojásunk, akkor miképp lehet megkülönböztetni a nyerstől? Mire képes a roncsolásmentes anyagvizsgálat?

A kérdések szinte önmaguktól adódtak. Közben vállalkozó szellemű gyerekek elmondták a róka és a gólya kölcsönös vendéglátásának történetét. Majd egészen egyszerű kísérleti eszköz került elő – egy szívószál, aminek végét kellett meghúzni egy fogóval és máris síp lett, amit a teljes szolmizációs hangsor bemutatására lehetett használni egy olló gyors csatogtatásával. A tanár úrról kiderült, hogy nemcsak a zeneszerszámok hullámhosszát ismeri, de zenei hallása segítségével bonyolultabb produkciókra is képes.

Befejezésül jött a villámló Van de Graaff generátor, aminek segítségével egy dús hajú leányt is érintésmentesen lehetett borzolni. Pontosabban csak neki kellett a generátor gömbjét bátran megragadni, ahogy az már száz évvel ezelőtt is megtörtént a *Tanár úr kérem* fizikaóráján: „Borzasztó dolgok történtek: Pollákovics ráállt egy üveglábú zsámolyra, mire beleeresztették a villamosságot, mire Pollákovicsból szikrák pattantak ki, és a haja égnek meredt. Müller elmagyarázta, hogy Pollákovics, mint emberi test, jó vezető. Pollákovics szerényen és áhítattal állt a zsámolyon, mint ahogy egy jó vezetőhöz illik, és lelke mélyén homályos örömmel villant át az elektromos áram szárnyain, hogy Müller ezek után feltétlenül kijavítja kettesre a háromnegyedét – hiszen nem lehet ő rossz tanuló, lám milyen szépen átvezette a villamos áramot is –, zavarosan olyan érzése van, hogy aki nem érti a fizikát, azon nem megy át a villamos áram, mely a tanár úr szolgálatában áll, és mint ilyen, tisztában van a helyzettel és az osztálykönyvvel.”

A villamosságról ezen kívül sok gyakorlatias dolgot meg lehetett tanulni: hogy amennyiben takarékoskodni akarunk az energiával – legyen az bármi, esetünkben a villanyszámla végösszegével arányos mennyiség – nem az izzókat kell elsőként kicserélni, hanem a fűtés, a vízmelegítés (beleértve a mosógépet) csökkentését kell elérni a hőszigetelés javításával, a melegvízfogyasztás visszafogásával.

Az előadás végén a taps erős, meggyőző volt. Erre szükség van, ettől lehet bizakodni az eredményességben.

Volt időnk, hogy beszéljünk a Fizibusszal kapcsolatos tapasztalatokról. Ezerszer másfél óra alatt sok minden tisztázódik. Ami a legfontosabb: az Energiasuli célcsoportja, az általános iskola felső tagozata 95%-ban elfogadó közönséget jelent. Az ELMŰ tanév elején elküldi a programját. A Fizibusz produkciójára évi 300-400 jelentkező van, aminek a fele lehet eredményes, átlagosan évi 170 helyszín.

A Fizibusz még határon túli magyar iskolákban is megjelenik.

A tapasztalat szerint minél nehezebb eljutni valahova (rossz, kátyús utak), annál nagyobb odafigyelésre lehet számítani. „Minél nagyobb a jólét, nyilván annál több lehetőség van egyéb dologra ... talán másfélék az emberek is. Bár alapvetően nagyon jók a tapasztalataim, de átlagban itt sokkal nagyobb eséllyel futok bele egy közömbösebb társaságba, mint egy kis, isten háta mögötti faluban. Nem emlékszem, hogy egy ilyen helyen gondom lett volna az érdeklődéssel bármikor is.”



Ami az alapfeladatot illeti: „e programnak hármasképe van. Először is az ELMŰ részéről ez egy társadalmi felelősségvállalási program része. 2005-ben kitalálták azt, hogy azon pénzek egy részét, amit mások óriásplakátokra költenek, az oktatás támogatására fordítják. Ezért indult el az Energiasuli 2005-ben és a Fizibusz program ennek része. Az energiatakarékosság is része a mutatványnak, hogy az energia, amit ők szolgáltatnak, annak felhasználása a lehető legesszerűbb legyen. A harmadik: a természettudományos képzést támogassák azzal, hogy a gyerek olyan formában is találkozzon a természettudományokkal, ahogy az iskolai tanórán talán nem. A természettudományos tárgyak óraszámja csökken. Amikor 2007-ben elindultunk a program mottója egy *Bor Zsolt* idézet volt, amely szerint a harmadik évezred igazi környezetvédelmi kockázata maga az ember, az a generáció, amelyik természettudományos ismeretek nélkül nő föl. Az energiatakarékosságról beszélve hihetetlen téveszmék uralkodnak. Nem a gyerekek a hibásak, ők a rádióból, tévéből, újságokból tájékozódnak. Ha megkérdezem őket, hogy az energiatakarékosságról hallva mi jut eszükbe, elsőnek mindig a világítást említik, holott világításra a háztartásban felhasznált energia 3-4%-a fordítódik. A fűtés nincsen a tudatukban, ahogy a második helyen álló meleg víz sem.”

Kiindulva az egyes előadások fogadtatásából Tóth Pál tanár úr a Fizibusz programon túlmutató, igen tanulságos következtetésekké jut el: „Az én konkrét visszajelzésem, hogy amikor befejezem vagy megtapsolnak vagy nem. Megtapsolnak. Gyakran menet közben is. Nem szerénytelenség talán, ha azt mondom, hogy amit csinálok, az sikeres. Hogy ennek milyen hosszú távú hozadéka van? Szerintem nincs ember, aki ezt meg tudná mérni... bár néha vannak konkrét és időben kissé elhúzódozó visszajelzések. Például amikor

olyasvalaki ül a nézők között, aki iskolaváltás előtt, korábbi lakhelyén már látta az előadást, és emlékszik az ott elhangzottakra, vagy amikor a kisebbik fiam unokatestvérenek iskolájában voltam és a szülők kérdezték másnap az édesanyját, hogy »ki volt ez az ember, meg mi volt ez az egész, mert a gyerekek azóta állandóan kísérletezni akar«. Az iskolában, ahol óradóként tanítok, csináltam az alsósoknak egy szakkört. Kéthetente egyszer jöttünk össze. Mélységében nem értették meg, hogy miről van szó (ez nem is volt cél, sem elvárható eredmény), de tetszett nekik. A fizikával, meg a kémiával az is a baj, hogy amíg eljut a gyerek hetedikig, nem nagyon találkozik ilyesmivel. Az alsós tanmenetek – ha nem is vagyok teljesen tisztában velük, de a gyerekeimnél láttam, hogy biológiához voltak feladatok: gyűjtsél falevelet, csíráztassál magot..., de fizikai vagy kémiai kísérlettel a gyerek hetedik osztályos koráig szinte egyáltalán nem találkozik. Kevéske elektromosságtanra, mágneses jelenségekre emlékszem természetismeret tantárgyból, de kémiára például egyáltalán nem. Lehet, hogy kopik a memóriám, de az úgynevezett természetismeret tantárgy zöme földrajz és biológia. Nehogy félreértse bárki is: fontosak ezek. Azok, akiket az iskolámban alsós korukban »előkészítettem« már várják, hogy választ kapjanak kérdéseikre. Nem mondom, hogy különösen nagy eredménnyel folyik az oktatás, de nem utasítják el sem a fizikát, és talán a kémiát sem – mint általában. Érdeemes lenne azon is elgondolkodni, hogy azokat az ismereteket, amelyeket át akarunk adni, a kornak megfelelően, a mai gyerekek érdeklődésének megfelelően adjuk-e át. Előadásaim talán egyik legnagyobb tanulsága számomra az, hogy egyáltalán nem mindegy, az ismereteket mibe »csomagoljuk« be.

Sokszor egyes érzelmekkel látom azon eszközök képét a tankönyvekben, amiket én is láttam gyerekkoromban. Csak hát eltelt negyven év azóta... Ezek a gyerekek, már azt sem tudják mi az, hogy csengő (ez például szerepel a tananyagban), mert mindenütt bim-bam dallamcsengők vannak... Van viszont okostelefonjuk, használják az internetet, a számítógépet... és tetszik, nem tetszik, ezek foglalkoztatják őket a mindennapjaikban. Vizuálisan és egyébként is teljesen más ingerekkel találkoznak, mint mi, annak idején.



Sokszor gondolok arra is, hogy talán azért nem vagyunk elég sikeresek a tudás átadásában, mert nem ismerjük őket eléggé..., mármint a gyerekeket, és ragaszkodunk olyan módszerekhez, amilyenekkel diákként mi találkoztunk..., de ez egy hosszú beszélgetés témája lehetne.

Véleményem szerint a tanári továbbképzések közül rengeteg a gyakorlatban használhatatlan. Nem arról van szó, hogy nem hangzanak el értelmes dolgok, vagy érdekes dolgok, de én azt gondolom, hogy a helyzet azért súlyos, mert egyfelől nincsenek kísérleti eszközök, másrészt az átlag fizikatanár – ha létezne ilyen – az egy 45 és 50 év körüli valaki. Az országos átlagnak megfelelően minden második elvált és egy csomó problémával küszködik. Ott vannak a sokszor egyre nehezebben kezelhető gyerekek, és egy nem túl népszerű, »macerás« tantárgy. A fizikaszertárban általában nem sok minden van, vagy ha mégis, akkor elavultak, hiányosak. A kötelező eszközlista legtöbbször csak papíron létezik. Ő maga pedig, mint fizikatanár, jellemzően nem örvend túl nagy népszerűségnek. Többszörösen frusztrált állapot.

Hogy konkrét kísérletről szóljak: a szívószálduda az »átlagtanár« szerint OK, de a legtöbbjük nem fogja megcsinálni..., mert nincs kéznél szívószál, nincs kéznél fogó vagy egy alkalmas üvegtölcsér. Amikor elmegy továbbképzésre, akkor sok mindenről hall. Az iskolába visszatérve továbbra sem lesz ott a szívószál, a fogó vagy az alkalmas üvegtölcsér, és sem diákjainak, sem neki nem lesz jobb... és nem tíz- meg száz-ezer forintos eszközzel van szó... Személyes véleményem szerint, ha van egy tanártovábbképző pontrendszer, akkor olyanokért, hogy Feng Shui (tudomásom szerint van, vagy legalábbis biztosan volt ilyen), meg hogy nem szakrendszerű oktatás (és nem a témát akarom »degradálni«) egy fizikatanárnak se járjon pont. Olyan továbbképzéseket kell csinálni, amitől neki, személy szerint jobb lesz... és akkor nincs kétség, hogy a diákjainak is jobb lesz... Ha hazamegy, legyen könnyebb a munkája, azaz élhetőbb az élete. Meg kell mutatni neki azokat a kísérleteket, amikkel sikere lesz, amelyek a gyerekeket motiválják, sőt továbbmegyek: azokat az egészen egyszerű, filléres, de némi utánjárást igénylő eszközöket is oda kell neki adni. Ne várjuk el tőle, hogy tanítás után, két korrepetálás, meg a vacsorafőzés között elmenjen a boltba, azután a másikba, azután a harmadikba, hogy összerakja az eszközt! Ne kelljen az alkatrészekért mászkálnia! Ha továbbképzés van, adjuk oda, vigye haza, és használja! Biztos vagyok benne, ha a fizikatanár megcsinálja azt, amit meg tud csinálni, akkor neki jobb lesz, mert személyes elfogadottsága is nő, és sokkal könnyebb dolga lesz. És ami ennél is fontosabb: elfogadottabb lesz a tantárgy és hatékonyabb az oktatása.”

Egy beszélgetés diktafonnal felvett anyagából idézem. Ha intézkedni képes körökben lenne rá igény, sokoldalúan ki lehet fejteni a felvetett gondolatokat. De ebben a nyers formájában illik talán leginkább a Fizibusz programhoz: használjunk minél kevesebb energiát, és segítsük minél erőteljesebben az embereket!

BÚCSÚ SEBESTYÉN ÁKOSTÓL

Sebestyén Ákos 1959 elején, 24 éves korában lett a KFKI Kozmikus Sugárzási Osztályának tudományos segédmunkatársa. Az Intézetben akkor még csak kísérleti fizikai osztályok működtek, de a Kozmikus Osztály vezetője, *Fenyves Ervin* támogatásával egy kis létszámú, Ákossal együtt négy fiatal kutatóból álló csoport munkaidejének felében elkezdhetett elméleti fizikával foglalkozni. A munkaidő másik felében e csoport tagjai részt vettek az erősen kölcsönható részecskék – nukleonok, mezonok – kölcsönhatásainak kísérleti vizsgálatában. Ennek megfelelően Ákos első publikációi ehhez a témakörhöz kapcsolódnak. 1972-ben a Részecske és Magfizikai Kutatóintézet megalakulásakor létesült egy elméleti fizikai osztály is, részecskefizikai, magfizikai és relativitáselméleti csoportokkal. Ákos ez utóbbi, *Perjés Zoltán* vezette csoporthoz csatlakozott, mivel érdeklődése már a 60-as évek közepén az általános relativitáselmélet nyitott problémái felé fordult.

A csoport elsősorban az Einstein-egyenletek egzakt megoldásainak felderítésével foglalkozott. Vizsgálataik fókuszában olyan, időfüggetlen és tengelyszimmetriával is rendelkező vákuummegoldások álltak, amelyek gravitációs összeomlás végállapotát modellezhetik. E csoport és benne Ákos egy figyelemre méltó, nemzetközi visszhangot kiváltó, és a mai napig hivatkozott *nem-perturbatív* eredménye a gömbi topológiájú fekete lyukak végállapotának stabilitását garantálja: megmutatták, hogy a szférikus topológiájú fekete lyukak egy nagy osztályát is tartalmazó Robinson–Trautman-téridőkben létezik egy globálisan definiált monoton csökkenő Ljapunov-funkcionál (ami lényegében a Bondi-tömeg), amelynek aszimptotikus értéke a funkcionál *globális minimuma*, és ez a minimum éppen a gömbszimmetrikus fekete lyukat leíró Schwarzschild-megoldás. Ákos



másik kutatási területe a gravitáció és a Yang–Mills-szerű mértékelméletek viszonyának tisztázása, illetve a gravitáció mértékelméletként történő megfogalmazása volt. Már a nyolcvanas évek elején egy diszkusszió során felvetette, hogy a gravitáció egy kovariáns kvantumelméletében alapváltozókként a vonatkoztatási rendszereket kellene használni. Öt évvel később egy nagyon hasonló ötlet óriási visszhangot kiváltva bukkant fel és eredményezte azokat a változókat, amelyeket ma a relativitáselméleti szakirodalom Ashtekar-változók néven ismer.

Ákos kandidátusi fokozatát a hetvenes évek közepén védte meg. Disszertációjában a kovariancia elvének belső szabadsági fokokra történő kiterjesztését vizsgálta.

A hetvenes években több monográfia magyarra fordításával gazdagította a magyar nyelvű fizikai szakirodalmat (és a szaknyelvet). Ő fordította a híres Feynman-féle *Mai fizika* sorozat 8. és 9. kötetét, *Neumann János* alapvető fontosságú könyvét, *A kvantummechanika matematikai alapjait*, és (*Györgyi Géza* halála után) ő szerkesztette és fordította tovább *Wigner Jenő Csoportelméleti módszerek a kvantummechanikában* című könyvét. E szabatos és igényes fordítások készítették Wigner Jenőt azon meleg hangú köszönőlevél megírására, amit Ákos talán a kapható legnagyobb elismerésnek tartott, és amire méltán volt büszke.

Ákos tucatszámú diplomamunkás, illetve doktorandusz diákját ismertette meg a tudományos kutatás alapjaival. A problémák, kérdések tiszta, matematikailag is precíz megfogalmazására törekvő igényével példát mutatott és mély nyomokat hagyott az utána következő generáció gondolkodásában. Igyekszünk hűek maradni e szellemi örökséghez és kutatói mentalitáshoz. Emlékét megőrizzük.

Frenkel Andor, Szabados László



SZÁMÍTUNK RÁD, LÉGY A FIZIKA BARÁTJA!

Támogasd adód 1%-ával az Eötvös Társulatot!
Adószámunk: 19815644-2-41

KITÜNTETÉSEK

Széchenyi-díj

Március 15-én Széchenyi-díjat kapott *Mezei Ferenc*, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja, a Magyar Tudományos Akadémia Wigner Jenő Fizikai Kutatóközpontjának tudományos tanácsadója a neutronkutatásban elért, nemzetközileg kimagasló eredményeiért és a magyar ipar által nagy értékben exportált neutronoptikai berendezések kifejlesztéséért, nemzetközileg is nagyra becsült tudományos munkássága elismeréseként.

A Széchenyi-díjat megosztva kapta *Oszlányi Gábor*, a Magyar Tudományos Akadémia doktora, a Magyar Tudományos Akadémia Wigner Fizikai Kutatóközpontja Szilárdtestfizikai és Optikai Intézetének tudományos tanácsadója és *Sütő András*, a Magyar Tu-

dományos Akadémia doktora, a Magyar Tudományos Akadémia Wigner Fizikai Kutatóközpontja Szilárdtestfizikai és Optikai Intézetének fizikusa a kristallográfiai fázisprobléma megoldására alkalmas, világszerte alkalmazott új eljárás kidolgozásáért, tudományos eredményeik elismeréseként.

Hibaigazítás

2013. áprilisi számunkban tévesen közöltük, hogy *Horváth Dezső* idén kapott Széchenyi-díjat. A valóság az, hogy a Széchenyi-díjat tavaly kapta. A helytelen információért elnézést kérünk.

A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

Magyar Fizikus Vándorgyűlés – Debrecen, 2013. augusztus 21–24.

A konferencia a magyar fizikusok három évenként megrendezendő legnagyobb seregszemléje. Meghívott előadások, plenáris és parallel előadások mellett posztereken mutatják be eredményeiket hazai és határon túli magyar fizikusok, fizikatanárok, doktoranduszok.

A konferencia első napja 2013. augusztus 21., szerda, tehát közvetlenül a híres Debreceni Virágkarnevál után lesz. Ezt érdemes megfontolni az utazás tervezésekor, a szállás foglalásakor.

A Vándorgyűléssel kapcsolatos határidők a következők:

A kivonatok beérkezési határideje: 2013. május 15.

A résztvevők értesítése a döntésről (előadás/poszter): 2013. június 5.

Jelentkezési határidő: 2013. június 15.

A részvételi díj átutalása a Társulat számlájára: 2013. június 30.

A részletes program megjelentetése: 2013. július 31.
Magyar Fizikus Vándorgyűlés, Debrecen: 2013. augusztus 21–24.

Cikkek, összefoglalók beküldése a *Fizikai Szemlé*-hez: 2013. szeptember 15.

Megvalósítani John Wheeler álmát: általános relativitáselmélet az egyetemi alapképzésben

Előadás az Eötvös Loránd Fizikai Társulat szervezésében

2013. július 11-én, csütörtökön 14:00 órakor az ELTE TTK, Északi épület (XI., Pázmány Péter sétány 1/A) 0.81. (Ortvay) teremben előadást tart *Edwin F. Taylor* (Massachusetts Institute of Technology, MIT). Az előadás angol nyelvű, de a közönség rendelkezésére fog állni a kivetített diák magyar fordítása.

Edwin F. Taylor az Oberlin College-en megszerzett BA-fokozatot követően a Harvardon szerzett PhD-fokozatot fizikából. Témavezetője *Nicholaas Bloembergen* (fizikai Nobel-díj, 1981) volt. Taylor először a Connecticut állambeli Wesleyan Egyetemen oktatott. A Princeton Egyetemen töltött egyéves alkotói szabadsága alatt alakult ki az a szoros munkatársi kap-

csolata *John Archibald Wheeler*rel,¹ amelyből két egyetemi tankönyv született: a speciális relativitáselméletet bemutató *Spacetime Physics* (1963, magyarul *Téridőfizika* címmel 1974-ben és 2006-ban jelent meg) és az általános relativitáselméletet tárgyaló *Exploring Black Holes* (2000). Taylor az MIT oktatója lett. Itt írta *Anthony P. French*-csel közösen az *An*

¹ John A. Wheeler (1911–2008) a világ egyik legelismertebb elméleti fizikusa, fiatalon *Albert Einstein* és *Niels Bohr* munkatársa volt. Ő alkotta meg a fénysugarakat is rabul ejtő téridő-szingularitás leírására a „fekete lyuk” kifejezést. Évtizedeken át dolgozott a Princeton Egyetemen, ahol számos kiváló PhD-hallgató (például *Richard Feynman*, *Kip Thorne*) témavezetője volt.

Introduction to Quantum Physics című tankönyvet. Éveken át volt az *American Journal of Physics* főszerkesztője, és 1998-ban elnyerte az American Association of Physics Teachers legrangosabb kitüntetését, az Oersted Medalt. Jelenleg az *Exploring Black Holes* új kiadásán dolgozik *Edmund Bertschinger*rel, az MIT Fizika Tanszékének vezetőjével.

John Archibald Wheeler az általános relativitáselméletet az egyetemi alapképzés részévé akarta tenni. Ezt a álmát két kulcsgondolatra alapozta. Először is: a görbült téridő bemutatását ne a téregyenletekkel, hanem a megoldásukkal, a metrikával kezdjük. Ez a szükséges matematikát az egyváltozós differenciál- és

integrálszámítás szintjére redukálja. Másodszor: a Világegyetem legegyszerűbb rendszere, a fekete lyuk metrikájával kezdjük. Az ezen elvekre épülő tankönyv, az *Exploring Black Holes* 2000-ben jelent meg, és azóta is széles körben használják. A könyv második kiadásában az előadó egyszerűsíti és kibővíti az elméletet, és azt nem csak különféle asztrofizikai rendszerekre, hanem a Világegyetem kozmológiai fejlődésére is alkalmazza.

Az előadással és a könyvekkel kapcsolatos további információkat ad *Bokor Nándor* (BME Fizika Tanszék), telefon: 463-2311, e-mail: nbokor@eik.bme.hu, n_bokor@yahoo.com.

AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

MTA Posztdoktori Kutatói Program 2013

Az akadémiai kutatóintézet-hálózat megújítási programjának újabb elemeként a teljes kutatói pályáiv kiépülését szolgáló és a kutatócsoportok versenyképességét erősítő posztdoktori pályázatot hirdetett meg az MTA elnöke.

A Posztdoktori Kutatói Program az egyik legfontosabb kutatói pályaszakasz eredményességét támogatja az MTA kutatóközpontjaiban és kutatóintézeteiben, valamint a magyarországi egyetemeken működő kutatócsoportjaiban. A magyar és külföldi kutatók számára meghirdetett posztdoktori pályázat a doktori fokozat megszerzése utáni tudományos témaválasztás és a kutatócsoportbeli témaintegráció sikerességét, a versenyképesség megalapozását és megtartását szolgálja a tudományos kiválóságok akadémiai intézményi bázisán.

A pályázat a perspektivikus kutatói pályáiv tudatos építésével az akadémiai kutatóhálózatban foglalkoztatott friss diplomások (úgynevezett „fiatal kutatók”) és a *Lendület*-pályázók közötti korosztályt célozza meg. A nyertes pályázók kutatási témáján olyan akadémiai kutatócsoportok tagjaként dolgozhat tovább, amelyekben szigorú teljesítménykövetelmények teremtenek hosszú távon is ígéretes tudományos kilátásokat. A határozott időre szóló posztdoktori szerződés keretében eldől, hogy a fokozatot szerzett fiatal megállja-e helyét a kutatók között, tovább tudja-e építeni, meg tudja-e erősíteni saját és kutatócsoportja eredményes

tudományos tevékenységét. Az akadémiai posztdoktori kutatói programban tehetséges külföldiek is lehetőséget kaphatnak arra, hogy magyarországi kutatócsoportban bontakoztassák ki képességeiket, tovább erősítve ezzel a hazai kutatóbázist.

A körülbelül ötven, havi bruttó 300 ezer forintos juttatással járó posztdoktori állást olyan kutatók kaphatják, akik 2010-ben vagy azt követően szereztek doktori (PhD vagy DLA), illetve azzal egyenértékű tudományos fokozatot, megfelelő kutatási tapasztalattal rendelkeznek, továbbá e pályázat keretében való foglalkoztatásuk kezdetekor nem töltik be a 35. évüket. A 2013. május 31-ig benyújtandó pályázatokat az MTA elnöke által felállított bizottság bírálja el, a kiválasztás eredményéről 2013. augusztus 1-jéig értesítik a befogadó intézmények vezetőit és a nyertes pályázókat, a jelentkezőknek pedig vállalniuk kell, hogy a pályázat elnyerése esetén posztdoktori foglalkoztatásukat 2013 szeptemberében elkezdik.

A „postdoc”-ok számára a program megfelelő felkészülési időszakot jelenthet az Európai Unió kiválósági pályázataira és a hazai *Lendület* pályázat elnyeréséhez is. A pályázatok nyerteseinek legeredményesebbjeitől a kutatói közösség elvárja, hogy a posztdoktori időszak végén sikerrel vegyenek részt a hazai és nemzetközi kiválósági megmérettésekben.

http://mta.hu/mta_hirei

Kiválóak összefogása az Európai Tudományos Térség fejlődéséért

„Magyarországnak komoly tudományos hagyományai vannak, kiváló a tudományos infrastruktúrája, kiemelkedő tudósai a világ minden táján bizonyítottak, a Magyar Tudományos Akadémia pedig a közelmúltban épp a hatékonyság és versenyképesség jegyében alakította át intézethálózatát” – indokolta *Peter Gruss*, a

Max Planck Társaság (MPG) elnöke, hogy miért az Akadémián ismertette elsőként a régióban a *Kiválóak összefogása* elnevezésű kezdeményezést.

Peter Gruss az MTA-n rendezett tanácskozáson kormányzati szereplők, kiváló kutatási potenciállal rendelkező hazai egyetemek vezetői és akadémiai intézeti

igazgatók előtt ismertette a *Teaming for Excellence* elnevezésű kezdeményezést, amelyet az MPG és nyolc másik vezető nyugat-európai tudományos szervezet dolgozott ki az Európai Tudományos Térség megerősödése, egyenletesebb fejlődése érdekében. „Kontinentünk gyarapodását gátolják a térségei között, a kutatók és az innováció területén megmutatkozó egyenlőtlenségek, ezért itt az ideje, hogy Nyugat-Európa lépéseket tegyen a kelet-európai országok tudományossága érdekében” – hangsúlyozta az MPG elnöke.

Mint kifejtette, a döntéshozók sokszor csak a gazdaság szempontjait veszik figyelembe, holott valójában az innováció a gazdaság motorja. „Létfontosságú, hogy támogassuk a kiválóságokat” – fogalmazott Gruss. Elképzelései szerint a kutatási infrastruktúra terén kevésbé fejlett régióknak a vezető tudományos szervezetekkel együttműködve úgynevezett kiválósági központokat kellene létrehozniuk. A fejlesztéshez szükséges pénz az EU strukturális alapjaiból lehetne biztosítani, és a tervek megvalósulása nyomán egy sokkal versenyképesebb európai tudományos rendszer jöhetne létre.

„Minden országnak vannak kiemelkedő tudósai, ők viszont oda mennek, ahol megfelelőek a kutatási feltételek. Kulcskérdés, hogy miként lehet őket visszacsbátítani” – mutatott rá a Max Planck Társaság elnöke. Meggyőződése szerint a helyzet akár már középtávon is megváltozhat, s az új kiválósági központok az adott régió gazdasági fejlődését is elősegíthetik.

Pálinkás József az mta.hu-nak elmondta, hogy a *Kiválóak összefogása* kezdeményezés hozzájárulhatna az európai kutatási infrastruktúra kiegyenlítettbb fejlesztéséhez, egyúttal az európai kutatási pénzeket a valóban kiemelkedő eredményeket felmutató intézményeknek juttatná. „A Magyar Tudományos Akadémia *Lendület* programja és neves külföldi tudósok meghívását célzó projektje összhangban van a *Kiválóak összefogása* célkitűzéseivel. A legjobbak számára vonzóvá kell tenni néhány magyar kutatóintézetet és egyetemet. Azt gondolom, ebben egyetértés van az Akadémia, a kormány és a tudomány meghatározó képviselői között” – emelte ki Pálinkás József.

<http://mta.hu>

A Wigner FK RMI részvételével készülő műszerek is felkerülnek az Európai Űrügynökség első nagy bolygóközi űrszondája fedélzetére

Az Európai Űrügynökség (ESA) JUICE (JUperiter ICY moons Explorer) missziója 11 tudományos kísérletet visz majd a fedélzetén, hogy tanulmányozzák a gázóriást és jeges holdjait, amelyek felszíne alatt jelenlegi ismereteink szerint óceánok lehetnek. A kísérletek során megismerjük e holdak felszínét, belső szerkezetüket, és annak lehetőségét, kialakulhattak-e az élıhetőség feltételei. 2013. február 21-én az ESA tudományosprogram-bizottsága döntött a szondájára kerülő műszerek kiválasztásáról. A fellövést 2022-re tervezik, megérkezés a Jupiterhez 2030-ra várható. Ezután kezdődik a Naprendszer legnagyobb bolygójának és három legnagyobb holdjának (Ganyemedes, Callisto és Europa) minden eddiginél részletesebb vizsgálata.

Az európai kutatóintézetek és egyetemek nagy megmérettetése volt ez a kiválasztás, hiszen bolygóközi missziókra egyre ritkábban kerül sor. Az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Részecske- és Magfizi-

kai Intézetének kutatói két műszer sikeres pályázatában vettek részt. Ausztria, Belgium, Csehország, Finnország, Franciaország, Hollandia, Írország, Olaszország, Lengyelország, Magyarország, Spanyolország, Svájc, Svédország, az Egyesült Királyság, valamint az Amerikai Egyesült Államok és Japán kutatóival együtt fogják a szondára kerülő tizenegy műszert kifejleszteni és megépíteni. Magyarországról a Wigner intézet mellett az SGF Kft. mérnökei is részt vesznek a műszerek fejlesztésében. A kft. több mint 15 éve fejleszt az űrkutatás területén használandó műszereket.

Az egyik műszer, amely hazai részvétellel készül, egy magnetométer (MAG), amely a Jupiter és nagyszámú (jelenleg 64) holdjának mágneses terét kutatja majd. A másik kísérletcsomag (PEP: Particle Environment Package) a Jupiter-rendszer plazmakörnyezetét fogja vizsgálni.

<http://www.rmki.kfki.hu>

HÍREK A NAGYVILÁGBÓL

Át kell alakítani az óriáslézert a magfúzió megvalósításához

Bár a világ legnagyobb lézere késésben van a magfúzióval történő tiszta energiatermelés megvalósításában, egy független értékelő bizottság szerint a technológia eléggé ígéretesnek tűnik ahhoz, hogy folytassák az erőfeszítéseket – néhány módosítással.

Az Egyesült Államok National Ignition Facility (NIF) berendezése a kaliforniai Lawrence Livermore Nemzeti Laboratóriumban a lézerek sorában az utolsó, amelyet azért építettek, hogy a magfúziót tanulmányozzák. A cél az, hogy egy nap majd helyettesít-

hessék az uránon alapuló maghasadást a tisztább és biztonságosabb magfúzióval az erőművek működtetésében.

A csillagok belsejében, a magfúzióban hidrogén atommagok ütköznek és hélium atommagot hoznak létre, miközben hatalmas mennyiségű energia szabadul fel. A csillagok tömege olyan nagy, hogy ezeket a fúziós reakciókat fenn tudják tartani a bennük uralkodó nagy nyomás miatt. A Földön egy hidrogén céltárgyra lött gyors lézertimpulzusnak képesnek kell lennie hasonló hő és nyomás létrehozására. Az NIF esetében a cél a begyújtás (ignition) volt, amelynél a magreakciók több energiát kezdenek termelni, mint amennyit kezdetben befektettek.

Az Egyesült Államok Kongresszusa 2012. szeptember 12-ét tűzte ki határidőnek a begyújtás elérésére, de ennek betartása nem sikerült az NIF-nek. Most az amerikai National Research Council által felállított vizsgálóbizottság több ajánlást fogalmazott meg a fejlesztők számára, köztük új típusú céltárgyak és más tervezésű lézerek használatát, valamint még azt is, hogy a lézereket nehézion-nyalábokkal helyettesítsék.

Az NIF módszere abban állt, hogy 192 lézernyalábot fókuszáltak egy ceruzahegyező méretű fémtartályra, amelyben egy gombóc lefagyasztott hidrogén volt. Ez a folyamat röntgensugár-kitörést hoz létre, amely felmelegíti és összenyomja a hidrogént, amelynek atommagjai robbanásszerűen fúziót valósítanak meg.

Amikor az 1990-es években megépítették az NIF-et, számítógépes modellek azt sugallták, hogy az 1,8 megajoule teljesítményt leadó lézertimpulzusok létre tudják hozni a begyújtáshoz szükséges nyomást. Az óriáslézer tavaly már túlhaladta ezt az energiaszintet, azonban a nyomás még mindig nem volt elegendő.

A panel ajánlása szerint, amíg nem lehet tudni, miért nem járt az NIF sikerrel, addig más lehetőségeket is ki kell próbálni, esetleg más típusú lézerek használatát. Ha például kripton és fluor gázok keverékét elektronokkal bombázzák, akkor nagyon fényes és rövid hullámhosszú lézertimpulzusok jönnek létre. Ez a technológia még nem eléggé fejlett, azonban, ha működik, akkor a céltárgyat egyenletesebben tudja majd begyújtani, mint az NIF lézerei.

A fejlesztők esetleg megpróbálhatják megváltoztatni a céltárgyat. Az NIF-nél a lézernyalábok egy fémhengert bombáztak, mivel úgy gondolták, hogy a nyomás egyenletesebben fog eloszlani a hidrogén gombócon. Új optikai technikákkal azonban közvetlenül a hidrogént bombázták lézertimpulzusokkal és így is egyenletes volt a kompresszió. A bizottság kipróbálni javasolja ezt a technikát is.

Egy másik elképzelés szerint teljesen félre kell tenni a lézereket és részecskegyorsítókból származó nehézionnyalábokat kell használni, hasonlóan ahhoz a módszerhez, ahogy a CERN-ben az LHC gyorsítónál ősrobbanásszerű állapotot akartak létrehozni. Az ionnyalábok elegendő energiát tudnak átadni, bár a most elérhető nyalábergiák még messze nem elegendők a magfúzióhoz.

Mike Dunne, a Livermore Laboratórium lézertimpulzió-program igazgatója nagyra értékelte a bizottság jelentését, de nem ez az egyetlen lehetséges út, amelyet vizsgálnak. Az angliai Culhamban működő, valamint a franciaországi Cadarache-ban építés alatt álló ITER Test Reactor kutatói tovább vizsgálják azt a módszert, amelynél mágneses térrel igyekeznek együtt tartani a forró hidrogént. Csak az idő döntheti el, melyik technikával sikerül először csillagot létrehozni a Földön.

<http://www.newscientist.com>

A visszavont cikkek kétharmadánál csalás vagy plágium gyanítható

Egy új tanulmány szerint a tudományos folyóiratokban közzétett publikációk visszavonásának oka túlnyomó részben tudományetikai vétség – beleértve a csalást, a csalás gyanúját és a plágiumot. Az orvosi biológiai és élettudományi tanulmányok mindössze 21,3%-át vonták vissza jóhiszemű tévedés okozta érvénytelen megállapítás miatt a *Proceedings of the National Academy of Sciences*-ben megjelent közlemény szerint.

A visszavonást gyakran nem magyarázzák meg, vagy igyekeznek a valódi okot titkolni, állítja *Antonio Casadevall*, a tanulmány egyik szerzője, az Albert Einstein College of Medicine, New York City mikrobiológusa, és az *mBio* folyóirat szerkesztője.

A probléma nagyságának felmérésére Casadevall és társszerzői a PubMed adatbázisban szereplő 2047 visszavont cikket vizsgálták meg. A visszavonások 67,4 százalékának oka tudományetikai vétség volt.

A csalások számának tapasztalt növekedéséért a tudomány kultúrájának változása okolható: a folyóiratokban megjelent publikációkat széles körben használ-

ják a kutatók teljesítményének és sikerének mérésére. „A vétség a sportban jelentkező doppinghoz hasonló jelenség. Lényegében tisztességtelen előny szerzése a versenytársak felett” – állítja *Daniele Fanelli* az Edinburgh Egyetemen. „Az a tény, hogy a nulla visszavonástól a 0,01 százalékgig jutottunk néhány évtized alatt, csupán egy bátorító jele annak, hogy egyre inkább tudatában vagyunk a problémának.”

A tekintélyes folyóiratokban való publikálás kényszere, valamint az egyre nehezebben megszerezhető anyagi támogatás a csalások melegágya. Ilyen kényszerre menő, kiélezett verseny tapasztalható a csalási ügyekben szereplő országokban, mint például az Egyesült Államokban, Németországban, Kínában és Japánban, állítja *Kalevi Korpela*, a finnországi Tampere Egyetem pszichológusa. Bár Casadevall azért aggódik, hogy kutatási eredményeiket a tudomány lejáratására is felhasználhatják a nagyközönség előtt, a probléma szöveg alá söprése még nagyobb károkat okozhat.

<http://www.sciencenews.org>

Rendhagyó fizikaórák a szegedi Agórában



Az SZTE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék együttműködve a DEAK Kooperációs Kutatási Nonprofit Zrt.-vel március vége óta kísérletes bemutatókat tartanak optikai, fotonikai témakörökből a Szent-Györgyi Albert Agóra – Informatoriumban. A Szegedi Tudományegyetem tudományos aktivitásának bemutatására – a Szent-Györgyi Albert Agórán belül – létrehozott Informatorium területén tartott rendhagyó fizikaórákon a diákok kísérleteket láthatnak és próbálhatnak ki a színeképek, a színkeverés, a polarizáció, az UV- és infravörös sugárzás és az optikai távközlés témaköreiből. Az ingyenes foglalkozások célja, hogy a jelenségek megértését olyan kísérletekkel segítsék, amelyeket az iskolákban idő- és eszközhiány miatt általában nem tudnak bemutatni.

Legközelebb májusban és júniusban lesznek rendhagyó fizikaórák, amelyeket ajánlunk minden szegedi és Szegedre látogató osztály, diákcsoporthoz számára. A pontos időpontokról és a jelentkezés módjáról érdeklődni lehet a következő címen: kopaszka@titan.physx.u-szeged.hu (Kopasz Katalin).

Szeged új közösségi tere különböző programokat kínál az iskolák számára (www.informatorium.hu, www.agoraszeged.hu). Az Informatorium időszakos programjai mellett állandó programok (Informatika-történeti Kiállítás, MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont Látványlaborja) is várják az érdeklődőket. A rendhagyó fotonikai bemutatók a DEAK Zrt. TÁMOP-4.2.3-12/1/KONV-2012-0058 azonosítószámú, „Hétköznapi tudomány” című pályázatának keretein belül valósulnak meg. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.



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



Jövők energiája



paksi atomerőmű

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



Várjuk vendégségbe Magyarországot!