

fizikai szemle



2015/10

MAGYAR TUDÓSOK ÉS MŰVÉSZEK SZÜLŐHÁZA

- akik Nyugaton alakították a 20. század történelmét és kultúráját

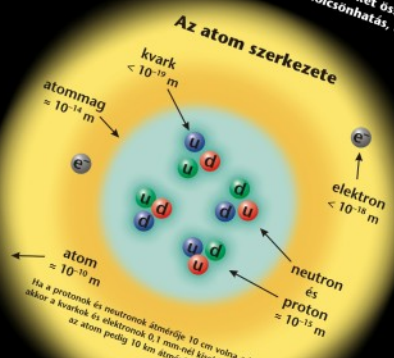
Z ELEMELI RÉSZECSKÉK ÉS ALAPVETŐ KÖLCSÖNHATÁSOK

Standard Modellje

Az elemi részecskékre és alapvető kölcsönhatásokra vonatkozó jelenlegi legpontosabb ismereteinket összegzi a Standard modell, amely az erős és egyesített elektromgennyel, a gravitáció, jöhetett alapvető kölcsönhatás, nem része a Standard modellnek.

leptonok (spin = 1/2)

jel/iz	tömeg GeV/c ²	elektromos töltés
elektron	< 10 ⁻⁶	0
neutrínó	0,000511	-1
muon	< 0,0002	0
tauon	0,106	-1
neutrínó	< 0,02	0
neutrínó	1,7771	-1



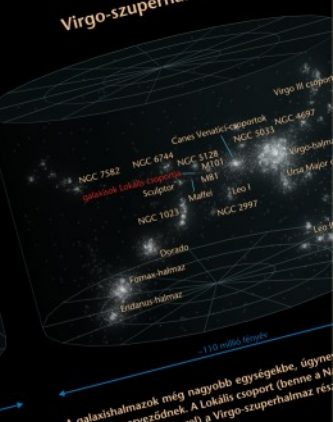
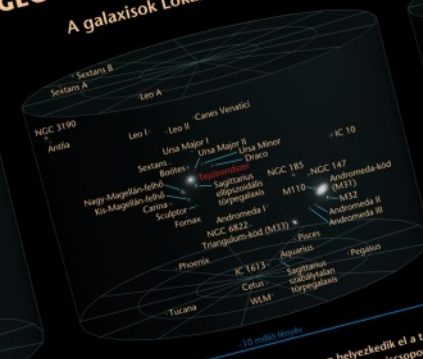
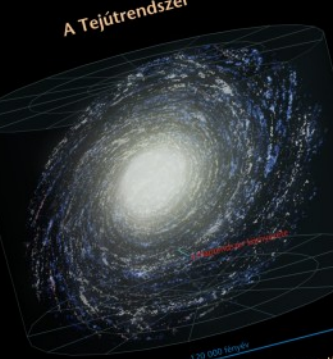
Bozonok - a kölcsönhatások közvetítői, spinjük: 0, 1, 2...

erős - a kölcsönhatások közvetítői	elektromgennyel		
jel/név	spin (spin = 1)	jel/név	spin (spin = 1)
gluon	0	gamma-foton	0
W boson	1	Z boson	1

A kölcsönhatások tulajdonságai

kölcsönhatás	erős	elektromgennyel
erős	szintöltés	szintöltés
elektromgennyel	gluonok	gluonok
gravitáció	hadronok	hadronok
erős	hadronok	hadronok
elektromgennyel	hadronok	hadronok
gravitáció	hadronok	hadronok

HELYÜNK A VILÁGEGYETEMEN



A Naprendszer nem ér véget a Kuiper-övezetig, kifelé még az üstökösöket tartalmazó Oort-felhő található, amelynek átmérője az 1 fényévet is meghaladja. A Naphoz legközelebbi csillag, a Proxima Centauri körülbelül 4,2 fényévre van tőlünk. A csillagok nem egyforma erősen sugároznak, ezért egy csillag látszó fényességéből nem lehet következtetni a távolságára. A csillag látszó fényességét (luminositása) a felszíni hőmérsékletétől és az átmérőjétől függ. Az égbolt legfényesebb csillaga a Sirius 8,6 fényre van tőlünk, jó néhány csillag ennél közelebbi. A legfényesebb csillagokra egyedi tulajdonságaikkal, a haláluk utáni állapotukkal és a csillagfajlagosságukkal kapcsolatos információkat lehet beszerezni.

A szabad szemmel látható csillagok - a csak távcsővön át látható lárszálakkal együtt - galaxisunk, a Tejútrendszer tagjai. A Tejútrendszer sávja valójában hatvány csillagok összehasonló fényű. A Tejútrendszer spirális csillagok mentén tömörül. Becslések szerint a Tejútrendszer 200 milliárd csillag alkotja.

A galaxisok túlnyomó többsége nem elszórtan helyezkedik el a térben, hanem csoportosulva. Néhány tucat tagból állnak a galaxiscsoportok, és több száz vagy akár ezer tagja is van a galaxis-halmazoknak. A Tejútrendszer a Lokális csoporthoz tartozik körülbelül 60 ismert galaxissal együtt. E csoport meghatározó tagjai a Tejútrendszer spirális csillagok mentén tömörül. Becslések szerint a Tejútrendszer 200 milliárd csillag alkotja.

A galaxis-halmazok még nagyobb egységekbe, úgynevezett szuperhalmazokba szerveződnek. A Lokális csoport (bennne a Tejútrendszerrel) a Virgo-szuperhalmaz részét képezi.

ÉNERGIÁHÁZTARTÁSA

A Föld energia-háztartása bolygónk súlyában lévő rendszerét írja le, egyensúlyban van a légkör erő, valamint az onnan érkező energiák. Ezek lehetnek a napfény (fény és hő) - értékeit a CERES műhold méri fel. A Föld felszínéről és a légkörből a Föld felé hőt szállítanak a hőáramlás és a párolgás. A Föld felé hőt szállítanak a hőáramlás és a párolgás. A Föld felé hőt szállítanak a hőáramlás és a párolgás.

a légkör által elnyelt **77 W/m²**

a felszín által visszavert **23 W/m²**

infravörös kisugárzás **239,7 W/m²**

a légkör által kibocsátott **170 W/m²**

a légkör által elnyelt **358 W/m²**

felhők által kibocsátott **100 W/m²**

légköri ablak **40 W/m²**

üvegházhatás **33 W/m²**

látható sugárzás **1000 W/m²**

hőáramlás és párolgás **100 W/m²**

POSZTEREINKET KERESD A FIZIKAISZEMLE.HU MELLÉKLETEK MENÜPONTJÁBAN!

A poszterek szabadon letölthetők, kinyomtathatók és oktatási célra, nonprofit felhasználhatók. Kereskedelmi forgalomba nem hozhatók, változtatás csak a Fizikai Szemle engedélyével lehetséges. A kirakott poszterekről fényképet kérünk a szerkesztok@fizikaiszemle.hu címre.



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, Czitrovszky Aladár, Faigel Gyula, Gyulai József, Horváth Gábor, Horváth Dezső, Iglói Ferenc, Kiss Ádám, Lendvai János, Németh Judit, Ormos Pál, Papp Katalin, Simon Péter, Sükösd Csaba, Szabados László, Szabó Gábor, Trócsányi Zoltán, 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 beküldött tudományos, ismeretterjesztő és fizikatanítási cikkek a Szerkesztőbizottság, illetve az általa felkért, a témában elismert szakértő jóváhagyó véleménye után jelenhetnek meg.

A folyóirat honlapja:
<http://www.fizikaiszemle.hu>



A címlapon:

A New Horizons hamisszínű képe a Plútóról. Lent a Tombaugh-régió világos jégpáncélja látszik, középen fent pedig két kráter aljzatán a világos anyag arra utal, hogy a Tombaugh-régió jege korábban kiterjedtebb lehetett. Balra lent az egyik nagyobb felbontású kép (Kereszturi Ákos írásában a 3. ábra) látható fekete-fehérben.

Kereszturi Ákos: A New Horizons űrszonda első eredményei a Plútóról és holdjairól	330
<i>Csaknem tíz év utazást követően ért Plútó-közelbe a New Horizons űrszonda. Az első megfigyelési adatokból sok szempontból meglepő kép bontakozik ki a törpebolygóról és kísérőiről.</i>	
Aszódi Attila: Új blokkok a paksi telephelyen – 1. rész	334
<i>A bázai energiapolitika helyzete és várható kilátásai. Európai energiagazdálkodási stratégiák – eredmények és kérdőjelek.</i>	
Molnár János: Két muzeális műtárgy és egy régi törvény ürügyén – 1. rész	339
<i>A napóraszámítások elemei. Egy kilencven éves magyar szabadalom és a megvalósított gyűrű-napóra.</i>	
A FIZIKA TANÍTÁSA	
Hraskó Péter: Elmélkedés a relativisztikus sebességösszeadás képletéről	343
<i>Számolni könnyű vele, ám az eredményt elképzelni nehezebb.</i>	
Beke Tamás: Kerékpár mozgási jellemzőinek meghatározása iskolai projektfeladatban	344
<i>Rövid bicikliút kinematikai elemzésének néhány lehetősége.</i>	
Gyermán György: Számítógéppel segített mérések a fizika tanításában (MyDAQ és LabView segítségével)	348
<i>Kísérletek számítógépen grafikus programozási nyelv alkalmazásával. A rugóállandó, a nehézségi gyorsulás és a csillapodási tényező meghatározása.</i>	
Döményné Ságodi Ibolya: Nem csak a Zselicben pompázik csillagfényben az éjszakai égbolt	351
<i>A fényszennyezés hatása állatokra, emberekre. Abol még látható a csillagos égbolt. A fényszennyezés mérése szekszárdi diákokkal.</i>	
Barta Zsuzsanna: Játékok a fizikai mennyiségek jelének, mértékegységének gyakorlására	357
<i>Ha kisiskolás korodban nem tanulod meg a mértékegységeket, sobasem fogod tudni!</i>	
Eötvös-verseny 2015	358
HÍREK – ESEMÉNYEK	359

Á. Kereszturi: First results of the New Horizons spacecraft about the Pluto and its moons

A. Aszódi: New reactors at Paks Nuclear Power Plant – Part 1

J. Molnár: Under the pretext of two artefacts and an ancient law – Part 1

TEACHING PHYSICS

P. Hraskó: Meditation on the formula of the relativistic velocity summation

T. Beke: Measuring the velocity and acceleration of a bicycle with the help of secondary school students

G. Gyermán: Computer-aided measurements in the education of physics (with MyDAQ and LabView software)

I. Dömény-Ságodi: Not Zselic is the only place where the stars on the night sky are in full bloom

Zs. Barta: Games for practicing the units and signs of the quantities in physics

EVENTS



A NEW HORIZONS ŰRSZONDA ELSŐ EREDMÉNYEI A PLÚTÓRÓL ÉS HOLDJAIRÓL

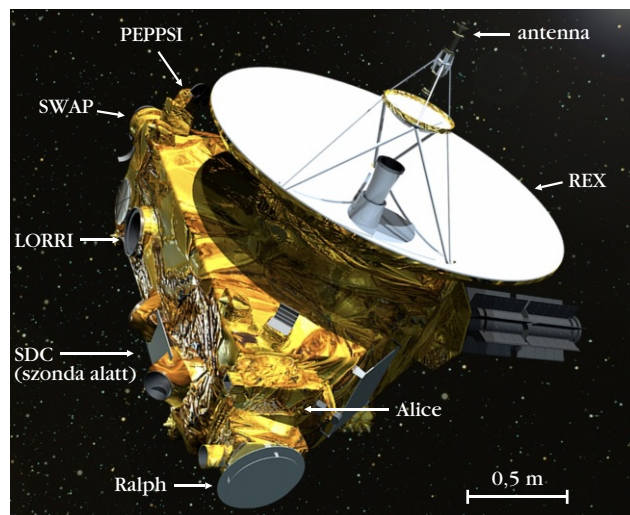
Kereszturi Ákos
MTA CSFK, Csillagászati Intézet

Sokáig a Naprendszer legtávolabbi bolygójaként tartották nyilván a Plútót, de az elmúlt közel húsz év felfedezései rámutattak, hogy sok hasonló égitest kering a Neptunusz pályáján túl. Ez a Kuiper-öv (pontosabban Edgeworth–Kuiper-öv), amelyben jelenleg közel kétezer égitest ismert. Noha közöttük az egyik legnagyobb a Plútó, a Nemzetközi Csillagászati Unió 2006-ban törpebolygóvá minősítette.

Gyors és apró űrszonda

A NASA New Horizons űrszondáját 2006. január 19-én indították a Földtől, minden korábbi űreszköznél gyorsabban, 45 km/s sebességgel. Miután elhaladt a Jupiter mellett, az űrszondát hibernálták, majd 4,8 milliárd kilométernyi út megtételét követően ébresztették fel. A Plútó még ekkor is csak apró folt volt a műszerek látómezejében, de látszó mérete napról napra növekedett, így elkezdődött a műszerek tesztelése, felkészülés a találkozóra. A tesztek rendben zajlottak, azonban a szonda automatikus rendszere néhány nappal a találkozó előtt hibát jelzett, ám hamarosan ez is megoldódott. A New Horizons már a közeledés során elemezte a Plútó rendszerét, részben mert felmerült, hogy a holdak pályasíkjában egy porkorong lehet. Egy ilyen porfelhőn történő gyors áthaladás igen veszélyes, ezért a LORRI kamerával poranyagot kerestek, de nem akadtak a nyomára. Nem mutatkozott további kísérő sem a legkisebb ismert holdnál, a Styxnél 15-ször halványabb fényességig – így az eredeti útvonal biztonságosnak bizonyult. Hasonlóan megnyugtató eredményt kapott a *Kiss Csaba* (MTA CSFK) vezette kutatócsoport is, amely a Herschel-űrtávcső mérései alapján zárta ki számottevő por előfordulását a rendszerben [1].

1. ábra. A New Horizons űrszonda és műszerei (NASA).



A közeli elhaladás során a megfigyeléseket több kamerával (LORRI, Ralph, Alice) végezte a szonda, a töltött részecskéket pedig a SWAP és PEPSSI detektorokkal érzékelte, emellett a poranyag előfordulását (SDC pormérő) és rádiókommunikációval a Plútó és légköre nyomán előálló változását (REX műszer) is elemezték (1. ábra). Mivel a kamerák rögzített felfüggesztésűek, ennek megfelelően az egész rendszert kellett forgatni a közelítés során. A találkozó ugyanakkor nagy (14 km/s) sebességgel történt, és rövid idő alatt kellett a célpontokat elemezni – a New Horizons e szerint pontosan tervezett műveletsort hajtott végre. A találkozó idején ezért az űreszköz teljesen „néma” volt, ekkor semmilyen adat nem érkezett róla a Földre. Néhány felvételt részben PR céllal a közelítés után nem sokkal már a Földre sugárzott, de a legtöbb adat csak szeptembertől érkezik. Akkortól ugyanis további megfigyelési feladat a Plútó rendszerénél nincs, és a szondát a nagy parabolaantennájával a Föld felé lehet fordítani az adatátvitelhez.

Hányatott sorsú égitest

A Plútó több szempontból is különleges égitest. 1930-as felfedezése után először nem akarták a nagybolygók közé sorolni, hiszen látszott, hogy igen apró (a mi Holdunknál is kisebb), pályája elnyúlt (napközben a Neptunusz pályáján belülré kerül), és pályasíkjá bolygótársaiénál nagyobb szöveget zár be az ekliptikával. Szoros dinamikai kapcsolatban is van a Neptunusszal. Később azonban holdat fedeztek fel körülötte, több hasonló égitest pedig nem mutatkozott a térségben – ezért a nagybolygók közé számították. Az elmúlt két évtizedben azonban egyre több objektumot azonosítottak a térségben. Közöttük az Erist nagyobbak tekintették a Plútónál, azonban ez az újabb adatok fényében kissé bizonytalan. Emellett sok, a Plútóhoz hasonló pályán mozgó kisebb égitest létezik a Kuiper-övben, ezeket plutínóknak nevezik. Mindezek fényében a Nemzetközi Csillagászati Unió 2006-ban „visszaminősítette” a Plútót törpebolygóvá (amely kategória létjogosultságát többen is kétségbe vonják). Jelenleg kisbolygóként is megtalálható a katalógusokban 134 340-es sorszámmal.

A 2370 km átmérőjű Plútó átlagsűrűsége 2 g/cm³, anyagának 65%-át H₂O, a maradékot kőzet alkothatja. Tengelyforgási ideje 6,4 nap, forgástengelye 120 fokos szöveget zár be pályasíkjá merőlegesével, ezért erős évszakos ingadozások lépnek fel rajta, amelyeket tovább fokoz elnyúlt pályája. Naptávolban a légkör nagyobb része kifagyhat a felszínre. Felszínét főleg nitrogén- és metánjég borítja, amelyek a –220 °C alatti hőmérséklet miatt szilárd halmazállapotúak. A felszíni jegekből főleg nitrogén szublimál, ritka légkört alkotva a Plútó körül.



2. ábra. A Plútó, középen a Tombaugh-régióknak nevezett világos, jeges alakzat, fent a sötétebb vidék a pólussapka térsége (NASA, JHUAPL, SWRI).

Legnagyobb holdját, a Charont 1977-ben fedezték fel, majd az ezredfordulót követően még négy apró kísérőt azonosítottak körülötte. A Charon körülbelül feleakkora, mint a Plútó, tömege pedig körülbelül 12%-a, ezért sokan kettős égitestnek is tartják a rendszert. A Charon felszínén vízjég is van, és mintha hidratált ammónia is akadna rajta a színképi mérések alapján. A két égitest tengelyforgása kölcsönösen kötött („farkasszemet néznek egymással”), egymás egén nem változik a látszó helyzetük. A többi négy hold – Nix, Hydra, Kerberos és Styx – 10 és 130 km közötti átmérőjűek, és 20-40 nap közötti keringési idővel, azonos pályasíkokban járják körbe a Plútó–Charon-rendszer közös tömegközéppontját. Az égitestek között pályarezonanciák is fellépnek: a Styx, a Nix, a Kerberos és a Hydra 3:1, 4:1, 5:1, és 6:1 arányban állnak a Charon keringési idejével.

Villámrandevű a Földtől 4,5 milliárd kilométerre

A New Horizons az öt hold pályájánál közelebb haladt el a Plútó mellett, a törpebolygó felszínétől 12 500 km-es távolságban, a Földtől egyébként ekkor 7,5 milliárd kilométerre volt. A közelítés egyértelműen sikeres volt, minden a tervek szerint zajlott, a teljes megfigyelési programot sikerült végrehajtani. Bár még csak néhány adatot sugárzott haza a szonda, már az első képek is látványosak és meglepőek (2. ábra). Azok várakozása igazolódott, akik érdekes, változatos objektumra számítottak – azonban a Plútó fiatalos és aktív megjelenése még közülük is sokakat meglepett.

A felszínen viszonylag kevés a nagy kráter, ami arra utal, hogy keletkezése óta a Plútó jelentősen változott, tehát valamilyen aktív folyamatok megújították. A korbecslés ugyanakkor nehéz, mivel nem tudni, hogy a

Naprendszer belső részére érvényes kráterstatistikai adatok mennyire relevánsak a Naptól ilyen nagy távolságra. Kevesebb vagy akár több egykori becsapódó égitest is lehetett a Plútó térségében a Föld környezetéhez viszonyítva, emellett a becsapódási sebességek is sokkal kisebbek ilyen messze, aminek következtében kisebb krátert üt egy adott tömegű objektum. Mindezekről függetlenül a Plútó felszínének sík területei egészen fiatalok, akár 100 millió évesek is lehetnek – sőt az sem zárható ki, hogy egyes területeken ma is aktív felszínalakító folyamatok zajlanak.

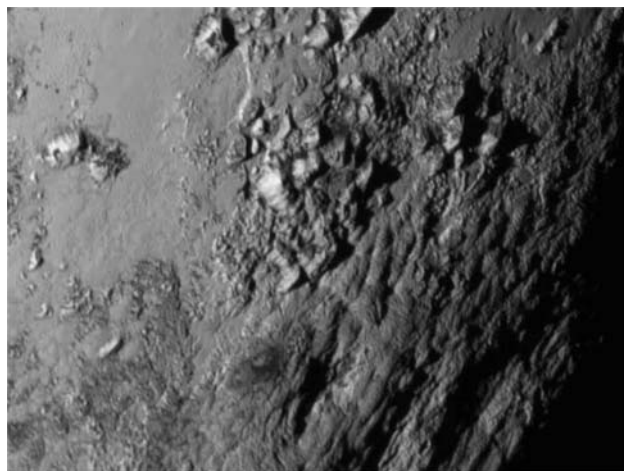
Változatos felszínformák

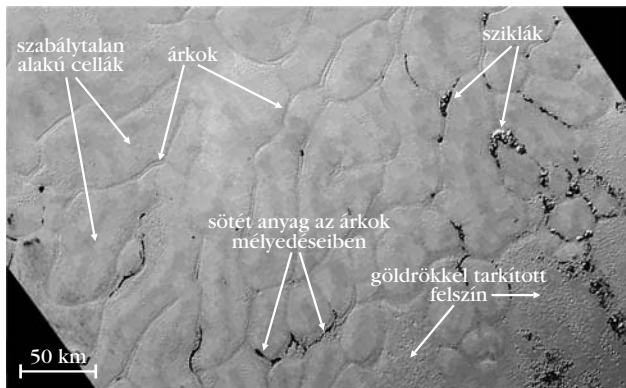
Sok *hegyvonulat* látszik a Plútó felszínén, amelyek magassága néhol a 3,5 km-t is eléri (3. ábra). Néhány blokk közel szögletes, esetenként elnyúlt alakú, ami alapján töréses, tektonikus folyamatok hozták létre azokat. A meredekebb hegytömbök peremén lejtős tömegmozgással, omlással keletkezett sávok mutatkoznak. Ezek mellett akadnak lankásabb, összefüggő hegyvonulatok is, amelyek nem külön blokkokból állnak, inkább összekapcsolódó, helyenként ívesen görbülő hajlatokból tevőnek össze, tetőszintjük pedig a fentiekkel ellentétben lapos. Párhuzamos mélyedések is sejthetők rajtuk a felbontóképesség határán, amelyek valamilyen eróziós folyamatra utalnak. Néhol pedig nagy mélyedések akadnak az íves vonulatok között – eredetük egyelőre ismeretlen.

Sík területek is vannak a Plútón, amelyek valamilyen feltöltő folyamat révén keletkeztek, sokan a vulkanizmust, pontosabban a kriovulkanizmust valószínűsítik itt. Utóbbi igen alacsony hőmérsékleten zajló vulkáni folyamat, a benne résztvevő anyagok általában folyadékok vagy gázok a földfelszíni viszonyok között. Egyik legjobb jelölt rájuk a H₂O és az NH₃ keveréke, amely igen nagy hidegben is cseppfolyós maradhat.

A síkságokon néhol cellákra emlékeztető, 20-60 km átmérőjű alakzatok sorakoznak egymás mellett, ame-

3. ábra. Kiemelkedő hegycsúcsok a Plútón, amelyek közül a nagyobbak a kép közepe felé mintegy háromszor magasabbak a Mátánál. Lejtőjükön omlás- és csuszamlásnyomok sávjai mutatkoznak (NASA, JHUAPL, SWRI).





4. ábra. Furcsa sejtes szerkezet, amelyeket elválasztó árok területéről elszublimáló jég sötét sávokat rajzol ki (NASA, JHUAPL, SWRI).

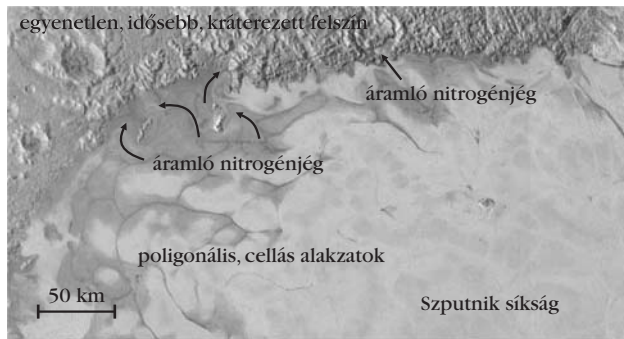
lyeket árok választanak el, utóbbiakban helyenként sötét területek látszanak, feltehetőleg elszublimált jég vagy felhalmozódó por nyomán (4. ábra). A sejtekre emlékeztető mintázat részben a földi iszapos területek száradással repedéseire hasonlít. Elképzelhető, hogy zsugorodással jöttek létre, mint például a hűlő bazaltláva oszlopos elválása is. Az is felmerült, hogy felszín alatti konvektív anyagáramlástól születtek a cellák.

A jég közvetlenül a felszínen látszik áramlani a Tombaugh-régió peremvidékén, ahol részben a földi *gleccserekre* emlékeztető morfológiájú alakzatok is mutatkoztak – noha a hasonlóság nem feltétlenül jelent azonos eredetet. Ugyanakkor valószínűsíthető, hogy a képződményeket az áramló és lassan deformálódó nitrogén-, szén-monoxid- és metánjég hozta létre.

Egzotikus jegek keveréke a Plútón

A Plútót elsősorban nitrogén- és metánjég borítja, amelyeket a -220 °C körüli hőmérséklet tart szilárd állapotban. A fenti cellás alakzatok a Tombaugh-régió területén mutatkoznak, amelynek nyugati és központi részén *szén-monoxid-jeget* sikerült azonosítani, ennek koncentrációja nő a szív alakú terület belseje felé (5. ábra). A színképi mérésekkel továbbá sikerült igazolni a felszíni metánjég létezését a Plútón.

Néhol olyan sötét, diffúz sávok is mutatkoztak a síkságokon, amelyekhez hasonló a Neptunusz Triton nevű holdján azonosítottak korábban. Ez utóbbi égitest egyébként mérete, tömege és sűrűsége alapján erősen hasonlít a Plútóhoz. Ez is Kuiper-objektum volt egykor, de a legkülső óriásbolygó befogta és holdjává tette a múltban. A Tritonon ezek a sávok egymással közel párhuzamosak, és feltehetőleg a nitrogénjégből kitörő gázsugarak által felkapott por visszahullásával jöttek létre. Hasonló irányukat a Tritonon uralkodó szelek okozzák. További érdekesség, hogy a néhol „gejzirszerű kitöréseknek” titulált folyamatot a napfény okozhatja: besüt az áttetsző nitrogénjégen, 1-2 méter mélyen elnyelődik, majd az elszublimáló nitrogéngáz utat talál magának felfelé. Talán a Plútó esetében is működik a jelenség, de a mérések további vizsgálata szükséges ennek megállapításához.



5. ábra. A szív alakú Tombaugh-régió részlete. Ennek belső területén látszanak a cellás kinézetű alakzatok, peremvidékén pedig a nyilak a feltételezett jégáramlás útját mutatják (NASA, JHUAPL, SWRI).

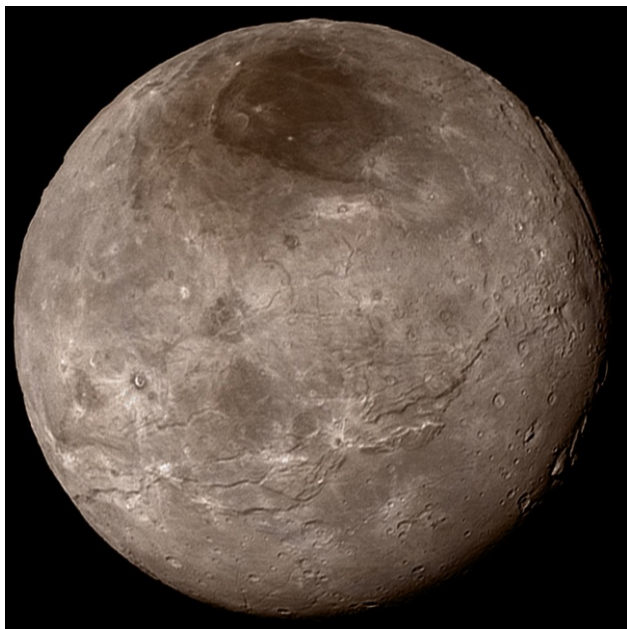
Lassan elszökő, kiterjedt atmoszféra

A Plútó felszíni jegeiből főleg nitrogén szublimál, így ritka légkör keletkezik a Plútó körül. A folyamat révén az égitest születésétől napjainkig akár 0,5-1 km vastag nitrogénjég is eltűnhetett a felszínről. A bolygó sajátos pályaelemei hatására a légkörben élénk évszakos változások mutatkoznak. Naptávokban az atmoszféra nagyobb része kifagyhat a felszínre, és a forgástengely térbeli helyzete miatt (majdnem a pályasíkban fekszik) sajátos a jég szublimációjának és kicsapódásának térbeli viszonya.

Néhány órával a közelítés után a szonda „visszatekintve” a Plútó *légkörén* áthaladó napfényt is megfigyelte, ami az összetétel pontos becslésére ad lehetőséget. A 6. ábrán így, hátsó megvilágításból látható a légkör, amelyben aeroszolok és köd is van legalább 130 km magasságig. Két sűrűbb ködréteget sikerült azonosítani, a felszín felett 50 és 80 km körüli magasságban. Az utóbbiak főleg etánból és etilénből állnak, feltehetőleg a felszínről elszublimáló metánból keletkeznek a Nap UV sugárzásának hatására. Az így létrejött ködből a felszínre kicsapódó anyag is közreműködhet az ott megfigyelt vörös árnyalat kialakításában.

6. ábra. Ködréteg a Plútó légkörében, hátsó megvilágításban, amikor a szonda már 3 millió km távol volt az égitesttől.





7. ábra. A hatalmas törésekkel szabdalt, szintén fiatalos kinézetű Charon hold felszíne. A kép felső részén lévő sötét terület a pólus-sapka vidéke (NASA, JHUAPL, SWRI).

A nitrogénlégkör egyébként a felszín fölé legalább 1600 km-ig terjed, azaz a várakozásoknak megfelelően igen kiterjedt (korábban a felszíntől csak 270 km magasságig volt biztos nyoma a gázoknak). Mágneses tér hiányában az anyagot a napszél intenzíven „fújja”, amely így hideg, ionizált felhőként üstököscsóvára emlékeztetve a Plútótól a Nappal ellentétes irányban közel 10 ezer kilométer távolságig elnyúlik.

A Plútó holdjai közül a legnagyobb Charon a legérdekesebb (újonnan nyert átmérője a korábbihoz közeli, 1208 km), felszínén szintén viszonylag kevés becsapódásnyom mutatkozott. Néhány fiatalabb sugársávós kráter is megfigyelhető, valamint egy hatalmas, legalább az égitest felét körbeérő repedésrendszer is látszik (7. ábra). Az eddig közölt részletes felvételeken a 43×33 km méretű Hydra és az átlagosan 35 km-es Nix holdak láthatók, mindkét égitest szabálytalan alakú (8. ábra).

Mit adhat nekünk távlatilag a Plútó?

A Plútó megismerése több területen gazdagítja a Naprendszerrel szerzett tudásunkat. Ez lett az első meglátogatott Kuiper-objektum, tehát segítségével többi társának jellemzőire is következtethetünk. A becsapódásos kráterek Plútó felszínén megfigyelt méreteloszlása a Kuiper-öv objektumainak méreteloszlására utal, az pedig a Naprendszer peremvidékének fejlődéstörténetéről árulkodik.

A mérések alapján az is pontosodik majd, hogy milyen dinamika jellemzi a két hasonló méretkategóriájú objektum (Plútó és Charon) körüli apró holdak rendszerét, ami az egyedi felépítésű, kettős exobolygórendszerek dinamikai viselkedésének megértésében is segíthet. Emellett a Plútó sajátos helyzetű for-



8. ábra. A Nyx (balra) és Hydra (jobbra) holdak képe (NASA, JHUAPL, SWRI).

gástengelye is hasznos lehet egyes exobolygók megismerésében – sok Naprendszeren kívüli planéta ugyanis annyira közel kering csillagához, hogy annak fénye mindig csak egyik oldalát világítja meg – nem tudjuk, hogy ilyenkor miként viselkednek az illékony felszíni anyagok, esetleg mind az árnyékos oldalra vándorolnak, avagy nem.

A Plútó *belső szerkezetét* leíró modellek választ adhatnak arra a kérdésre, hogy volt-e valamikor cseppfolyós vízréteg a felszín alatt. Ilyen vízréteg megjelenését az olvadáspont-csökkentő ammónia és a Charonnal fennálló (mára feltehetőleg gyengült) árapályhatás generálhatta. Megismerése, illetve nyomának azonosítása fontos támpontot ad az egyre több jeges hold belsejében feltételezett vízrétegek kialakulásához és fennmaradásához, és ezzel összefüggésben a Földön kívüli élet potenciális előfordulási helyszíneinek jobb megértéséhez [2].

A Plútó körüli holdak anyaga feltehetőleg egy ősi ütközés során robbant ki, amikor egy Kuiper-objektum a Plútóval találkozott. A legnagyobb darabból keletkezett a Charon, a kisebbek pedig a többi kísérőt hozták létre. A rendszer elemzése rámutathat, hogy miként játszódott le a Föld Holdjának születése, és mi történt az anyag kirobbanása után – a mi kísérőnk ugyanis szintén becsapódástól kilökött anyagból keletkezett.

Korábban felmerült, hogy a New Horizons űrszonda szerencsés eseten egy további égitestet is meglátogathat. Ilyen esetben ideális helyzetű Kuiper-objektum azonosítására célzott kereséseket végeztek a Hubble-űrtávcsővel, valamint a VLT-vel, a Gemini- és a Keck-távcsövekkel. A New Horizons a tervek alapján 2019 januárjában, a Naptól 43,3 CSE-re fogja megközelíteni a 30-45 km-es 2014 MU69 jelű Kuiper-objektumot. Meghatározza méretét, színét, tömegét, sűrűségét, a felszín összetételét és hogy van-e holdja. Az objektum egy ősi, „klasszikus” égitest lehet a térségben, amely jól jellemzi a Kuiper-öv tagjait.

Irodalom

1. Marton G., Kiss Cs., Balog Z., Lellouch E., Verebélyi E., Klaas U.: Search for signatures of dust in the Pluto-Charon system using Herschel/PACS observations. *Astronomy and Astrophysics* 579 (2015) L9.
2. Kereszturi Á.: *Asztrobiológia*. Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest, 2011.

ÚJ BLOKKOK A PAKSI TELEPHELYEN – 1. RÉSZ

Aszódi Attila

A Paksi Atomerőmű kapacitás-fenntartásáért
felelős kormánybiztos, Miniszterelnökség
BME Nukleáris Technikai Intézet

2014. január 14-én minden híradás vezető helyén szerepelt: a magyar kormány államközi egyezményt írt alá az orosz kormánnyal két új atomerőművi blokk építéséről a paksi telephelyen. Az érdeklődés – érthető okokból – azóta sem csitul: a döntés évtizedekre meghatározza Magyarország energiapolitikáját. Vannak, akik a megújuló energiaforrások elterjedésének akadályát látják az építésben, mások kizárólag politikai döntésként értelmezik azt, miközben számos szakmai vélemény szerint elkerülhetetlen a beruházás.

Kétrészes cikkünk első írásában áttekintjük a hazai energiatermelés helyzetét és várható alakulását a következő évtizedekben, és megindokoljuk, miért van szükség az új atomerőművi blokkokra. A második rész bemutatja az engedélyezési folyamatot és az építés várható ütemtervét, valamint a VVER-1200 technológiai, biztonsági paramétereit fogja ismertetni.

Magyarország villamosenergia-termelése napjainkban

Magyarország villamosenergia-fogyasztása az elmúlt közel egy évtizedben rendre 42-43 TWh körül alakult. Ez az érték némileg csökkent a 2008-as gazdasági világválság következtében, az utóbbi években azonban – a gazdaság bővülésével párhuzamosan – kis mértékű, körülbelül 1%-os növekedés volt megfigyelhető a bruttó fogyasztási értékekben. 2013 és 2014 között a rendszer csúcsterhelése is 2,44%-kal nőtt. Fontos felismerni, hogy a villamosenergia-piaci mechanizmusok és a hazai erőműpark sajátosságai következtében az elfogyasztott villamos energia hazai

erőművekben megtermelt részaránya eközben folyamatosan csökkent, így az ország egyre növekvő mértékben a villamos energia importjára támaszkodik. 2014-ben a nettó import aránya az összes felhasználáshoz képest elérte a 31,44%-ot (1. ábra).

Ez az importhányad kiemelkedően magas, az Európai Unióban Magyarország az import/fogyasztás arányt tekintve a harmadik legnagyobb villamosenergia-importőr (2. ábra). Csupán Luxemburg és Litvánia tudta „megelőzni” ezen a kétes értékű rangsoron, előbbi nyilvánvalóan méretéből, utóbbi pedig az Ignalina atomerőmű leállítását követő importkitettségből adódóan. Tehát a magyar villamosenergia-rendszer a jelenlegi helyzetben jelentős mértékben függ az importtól, és a tendenciákat vizsgálva ez a függés a jövőben tovább fokozódhat.

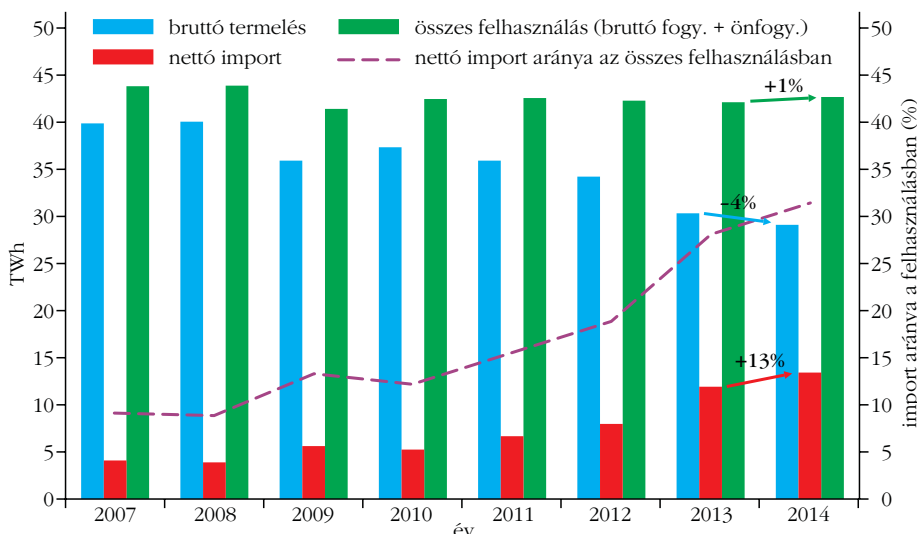
Jelenleg – részben a Németországban telepített és erősen támogatott megújuló kapacitások által okozott időszakos túltermelésnek és az alacsony széndioxid-kibocsátási árak (az elmúlt évben 5-7 EUR/tCO₂) köszönhetően – az európai nagykereskedelmi piaci villamosenergia-árak igen alacsonyak. Ebben a gazdasági környezetben a hazai erőművek jelentős része versenyképtelen az olcsó importtal szemben, különösen igaz ez a magas tüzelőanyag-költséggel üzemelő gáztüzelésű erőműveinkre. A gáztüzelésű erőművek üzemelésének ellehetetlenülése más európai országokban is aktuális probléma. Magyarországon nem csupán az idősebb erőművek, de modern, magas hatásfokú kombinált gázgőz ciklusú erőműveink (Gönyű, Dunamenti) is nagyon alacsony, körülbelül 10% körüli kihasználtsággal üzemeltek 2013-ban. A hazai termelési adatok alapján 2013-ban a hazai erőművekben megtermelt 30,3 TWh villa-

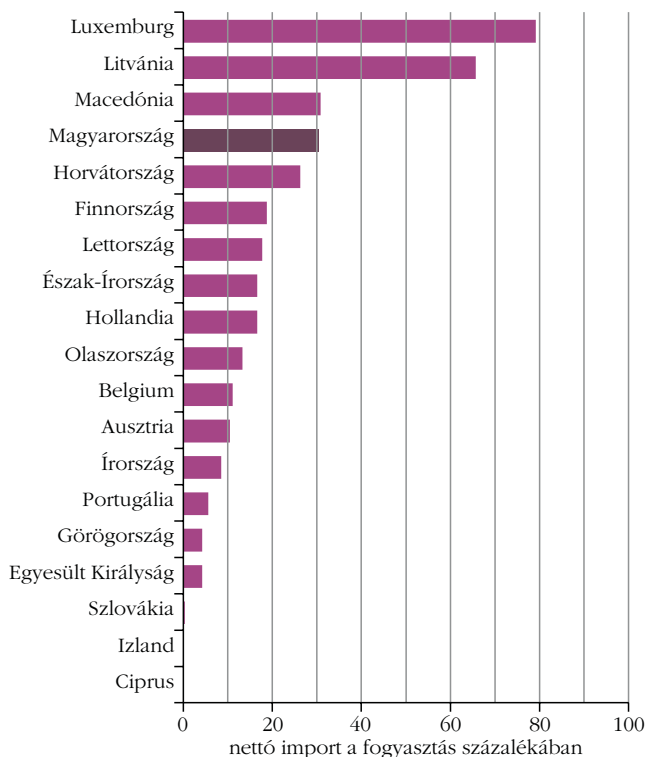
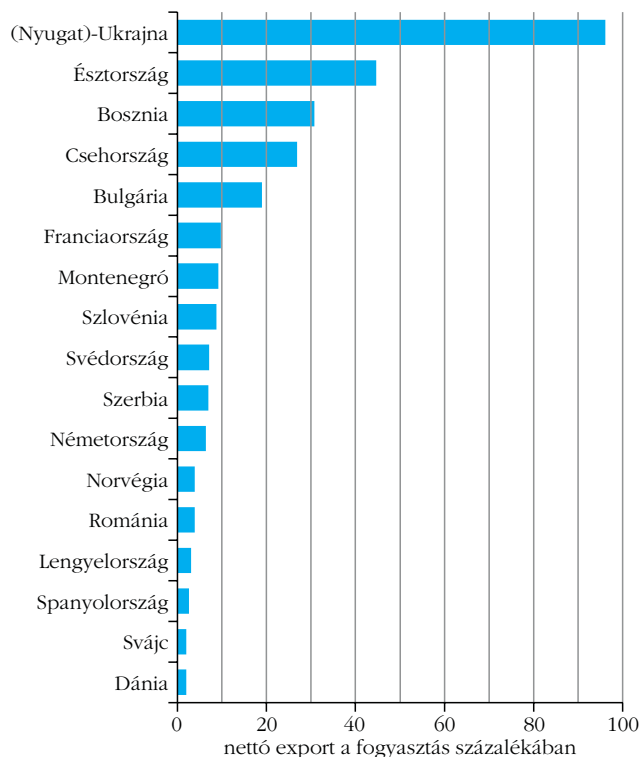
mos energia mintegy 71%-át összesen két erőműben állították elő: a Paksi Atomerőműben (2000 MW beépített nukleáris kapacitás) és a Mátrai Erőműben (950 MW beépített széntüzelésű teljesítmény).

Import vagy önellátás?

A hazai energiapolitikai szereplők körében gyakran elmentéses véleményeket hallani a magas importhányad kedvező vagy éppen kedvezőtlen hatásairól. A tiszta piaci megközelítés szerint az alacsony árú import kedvező a hazai gazdaságnak, ezért érdemes

1. ábra. A magyar villamosenergia-rendszer termelési és fogyasztási adatai (forrás: MAVIR, 2014).





2. ábra. A villamosenergia-export mértéke és az -import részaránya a fogyasztásban az EU országokban, 2013-ban (forrás: ENTSO-E).

kihasználni azt, és előnyben részesíteni a drágább hazai termeléssel szemben. A másik oldalon az ellátásbiztonság előtérbe helyezése áll, akár a pillanatnyi piaci előnyöket is háttérbe szorítva. Az optimális megoldás valahol a két véglet – tisztán hazai termelés vagy 100% villamosenergia-import – között helyezkedik el, a vélemények a még biztonságosnak tekinthető importarány nagyságában térnek el.

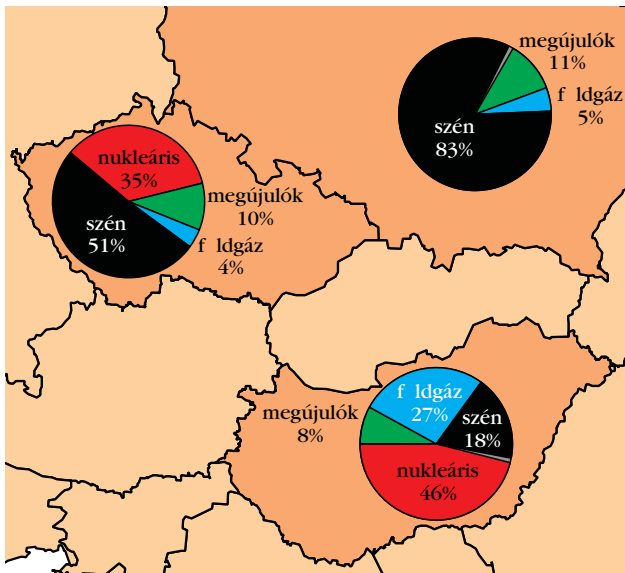
Véleményünk kialakításakor figyelembe kell venni azt a tény, hogy az energetikában hosszú időre kell terveznünk. Egy esetlegesen kialakuló, hosszan tartó, magas importhányad mellett a hazai termelői oldal elsorvad. Ennek következtében a termelőegységeket fokozatosan leépítik, bezárják. Valójában nem ekkor, hanem több év vagy évtized elteltével kerül veszélybe az ellátásbiztonság, amikor a kialakult helyzet orvoslása rendkívül sok pénzbe és időbe kerülhet. Ha a hazai kapacitás leépítését követően valamilyen oknál fogva megszűnik vagy jelentősen megdrágul az import, már nem lesz lehetőség azt saját termeléssel kiváltani, és az erőműépítések hosszú időtávja miatt (szinte minden esetben évekről van szó) a problémát nem lehet gyorsan kezelni.

Mint korábban említettük, jelenleg az európai nagykereskedelmi piacon a villamosenergia-ár rendellenesen alacsony, számos termelő időszakosan akár önköltségi ár alatt kényszerértékesít, vagy kedvezőtlen gazdasági konstrukcióban lát el szabályozási feladatokat. Valószínűnek tűnik, hogy ez a rendszer hosszú távon nem fenntartható, a változás feltételezhetően az árak emelkedését fogja maga után vonni. Emellett az európai CO₂-kibocsátási árak várható emelkedése szintén drágíthatja az importot, ezt a magyar importforrások vizsgálatával könnyen beláthatjuk.

Hazánkba jelenleg Szlovákia és Ukrajna felől érkezik jelentős mennyiségű villamos energia. Az ukrán villamos hálózat nagyobb része nem csatlakozik a kontinentális európai szinkronzónához, azonban Nyugat-Ukrajna térségében üzemel olyan széntüzelésű erőmű (Bursztin), ami az európai hálózatra, Magyarország számára termel energiát. A közép-európai villamosenergia-rendszert vizsgálva megállapítható, hogy a Szlovákiából importált évi 8 TWh villamos energia nagy része tulajdonképpen tranzitenergiaként, Lengyelországból és Csehországból érkezik Magyarországra (lásd a színes *ábrát* a hátsó fedélen).

Lengyelországban a villamos energiát 83%-ban, míg Csehországban 51%-ban szén alapon állítják elő, a megújuló energiatermelés aránya pedig mind a két országban 10-11% körül volt 2012-ben. Ezek az adatok azt jelentik, hogy a Magyarországra importált villamos energia – bár jogilag számunkra karbonmentesnek tekinthető – valójában széntüzelés alapú (*3. ábra*). Ennek negatív hatásait most még nem tapasztaljuk, az EU 2020–2030 közötti időszakra meghirdetett energiapolitikája miatt azonban a széndioxid-kibocsátás ára a széndioxid-kvótákon keresztül – várhatóan – jelentősen növekedni fog. Ez pedig erősen megdrágíthatja a széntüzelésű erőművekben termelt energiát, ami nyilván negatívan érinti majd az importáló országokat, köztük Magyarországot is.

Összességében elmondható: az import áramra való támaszkodás, illetve az önellátásra berendezkedés is rendelkezik előnyökkel, de kockázatokat is hordoznak. A két lehetséges útirány közül a hosszú távú energiapolitika megalkotásakor kell választani az adott ország preferenciái alapján. A magyar kormány



3. ábra. A Magyarországra effektíven villamos energiát exportáló országok tüzelőanyag-összetételei. (Forrás: *EU energy in figures 2014*, p. 92; s. sz.)

által kiadott *Energiastratégia* [1] az önellátást preferálja, ami rövidebb távon jelentős erőműpark-fejlesztést igényel ugyan, hosszabb távon azonban minimalizálja az ellátásbiztonsági kockázatokat.

A magyar villamosenergia-szektor jövője

A hazai villamosenergia-termelés nagy részét adó erőműveket vizsgálva megállapítható, hogy a jelenlegi tervek szerint a Mátrai Erőmű öt egysége 2018 és 2025 között, a Paksi Atomerőmű jelenleg üzemelő négy reaktorra pedig 2032 és 2037 között kerül kivezetésre a magyar villamosenergia-rendszerből. A két nagy termelő mellett több előregedő erőművünk is van. Ha figyelembe vesszük, hogy a jelenlegi prognózisok alapján a hazai fogyasztásban körülbelül évi 1%-os növekedés várható a következő évtizedekben, a MAVIR becslése szerint a leállásokat is számításba véve 2030-ig 7300 MW új erőművi kapacitás létesítésére lenne szükség (4. ábra). Ennek jelentős része (körülbelül 3100-6500 MW) nagyerőművi kapacitás lehet, emellett körülbelül 1600 MW beépített teljesítményű új kiserőművi kapacitás építésére is szükség van, amely természetesen megújuló energiaforrások hasznosításával is megoldható.

A hiányzó kapacitás természetesen különböző energiaforrás-kombinációk, energiameixek segítségével is előállítható. Az energiameixek össze-

tételét az ország energiapolitikája határozza meg. A magyar kormány által 2011-ben elfogadott, 2015-ben frissített hosszú távú energiapolitika (*Nemzeti Energiastratégia 2030-ig, kitekintéssel 2050-ig*) az úgynevezett Atom–Szén–Zöld forgatókönyvet tartja reálisan megvalósíthatónak. Eszerint középtávon fenn kell tartani a jelenlegi nukleáris termelőkapacitást, a megújuló energiaforrások fejlesztését pedig a Nemzeti Cselekvési Tervben (NCST) megfogalmazott célok szerint kell folytatni, továbbá az energiastratégia feltételezi egy új szénerőmű építését is.

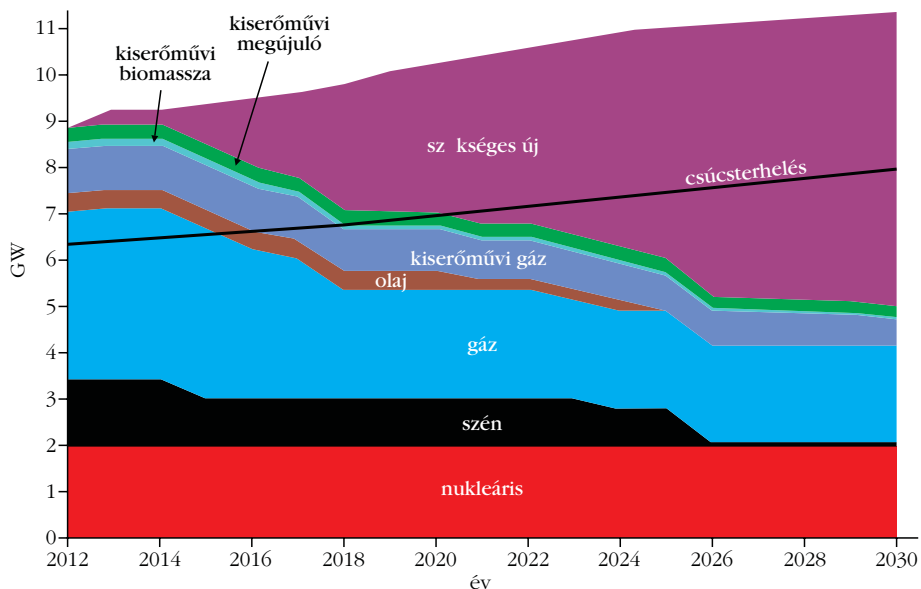
Az energiastratégia elfogadása mindazonáltal nem jelent merev, megváltoztathatatlan irányvonalat. A benne foglaltakat két évente felül kell vizsgálni, és figyelembe kell venni az időszak során bekövetkezett gazdasági, társadalmi változásokat, új technológiai fejlesztéseket, kutatási eredményeket.

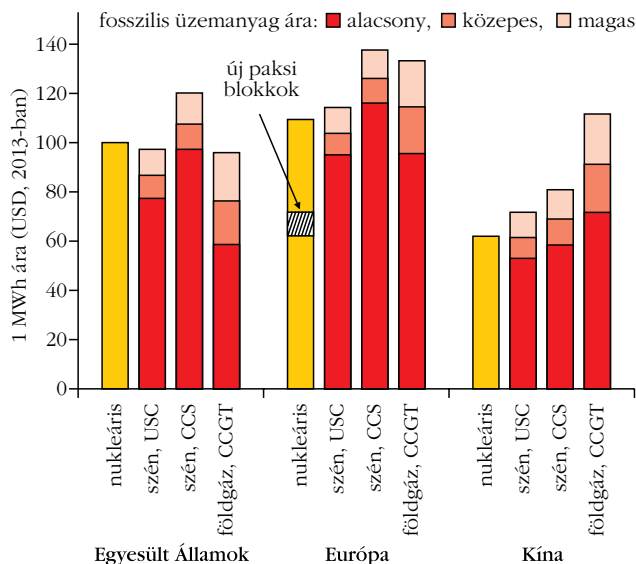
A projekt helye Európában

Az új paksi blokkok kapcsán gyakran felmerül a kérdés, jó ötlet-e a jelenlegi Európában atomerőművet építeni, miközben több ország az atomenergia teljes kivezetése mellett döntött az elmúlt években, és gyakran éri támadás a lakosság és a politika részéről is a nukleáris energiatermelést.

E kérdés megválaszolásához érdemes áttekinteni a jelenlegi európai helyzetet. Németország a fukushimai atomerőmű balesetét követően visszatért az ország korábbi elhatározásához és ismét meghirdette az atomerőművek teljes kivezetését 2022-ig. Németországgal szemben azonban jelenleg is új atomerőművi blokk épül Finnországban és Franciaországban, és a finn Fennovoima vállalat az új paksi blokkokkal megegyező reaktorra kötött szerződést a Roszatommal. Szlovákiában a jelenlegi paksi blokkokkal megegyező, VVER-440 típusú blokkokat fejeznek be a Mohi

4. ábra. A magyar villamosenergia-rendszer csúcsterhelésének és szükséges beépített kapacitásának alakulása 2030-ig (forrás: MAVIR).





5. ábra. Fosszilis és nukleáris energiaforrások termelési költségének alakulása az üzemanyagok árának függvényében [3]. Rövidítések: USC – Ultra-szuperkritikus gőzgenerátor, CCS – szén-dioxid-elválasztás és -tárolás, CCGT – kombinált ciklusú gázturbina.

atomerőműben, amelyek építését még 1992-ben hagyták félbe. A 2015-ös cseh energiapolitika legalább kettő új, piaci alapon épülő atomerőművi blokkal számol az országban, és a bolgár nukleáris szektor jövője sem dőlt még el. Atomerőművek építését tervezi a jelenleg még nagymértékben szénalapú energia-termelésre támaszkodó Lengyelország is. Nem igaz tehát, hogy senki ne építene vagy ne tervezne építeni új atomerőművet Európában. Ráadásul egy-egy ország energiatermelési portfóliójának (energiamixének) összeállítása tagállami hatáskör, amennyiben az nem sérti az európai uniós alapelveket.

A jelenlegi közös európai energiapolitikai célok meglehetősen általános célkitűzéseket határoznak meg, ilyen a villamosenergia-ellátás biztonságának növelése, a klímaváltozási hatás mérséklése vagy a versenyképesség fenntartása. Az ellátásbiztonság szempontjából az atomenergia kedvezőnek tekinthető, hiszen magas kihasználtság mellett kínál alaperőművi villamosenergia-termelést, miközben üzemanyaga főként politikailag stabil országokból származik, hatalmas energiasűrűsége, könnyű kezelhetősége miatt pedig évekre előre készletezhető, így csökkenti az import miatti kitétséget. Még az EU-ba importált nukleáris üzemanyag esetében is a villamosenergia-termelés az EU területén valósul meg, így az atomerőmű segít az Unió közösségi céljainak elérésében. A klímavédelem szempontjából a megújuló energiaforrások mellett jelenleg csupán az atomenergia képes reális alternatívát nyújtani, hiszen ennek üzemében egyáltalán nem, építése, leszerelése, üzemanyag-ellátása során pedig csak igen csekély mennyiségben jelentkezik üvegházhatású gáz kibocsátása [2]. A Nemzetközi Energia Ügynökség (International Energy Agency – IEA) *World Energy Outlook 2014* című kiadványában [3] összehasonlítja a fosszilis és nukleáris energiaforrások termelési költségének alakulását az

üzemanyagok árának függvényében (5. ábra). Eszerint Európában az atomenergia továbbra is teljesen versenyképes a többi alaperőművi energiaforrással, az épülő új paksi blokkok pedig még az IEA-számításnál is jelentősen olcsóbban termelhetnek a kedvező kamatozású államközi hitelnek köszönhetően.

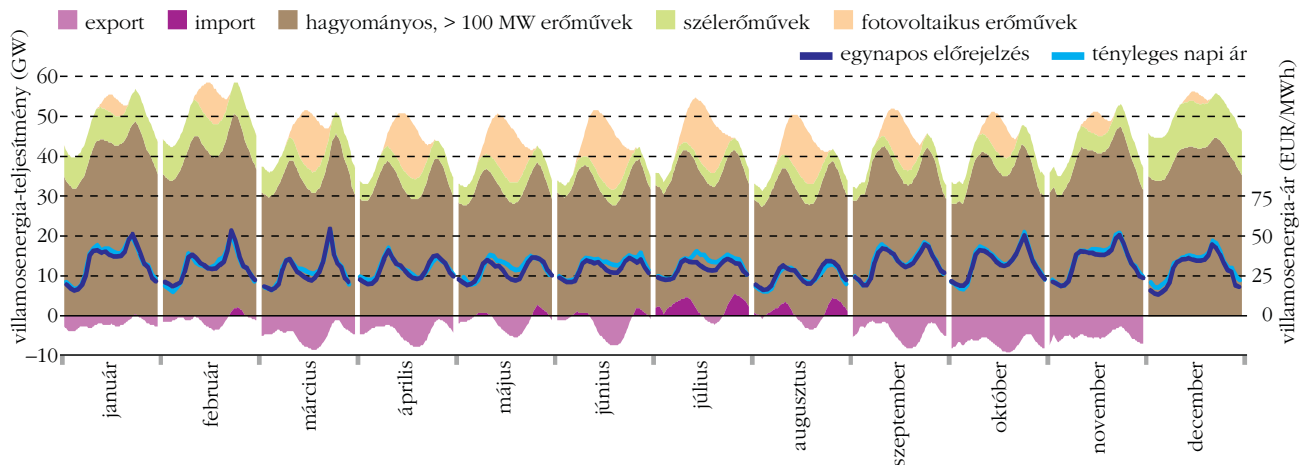
Összességében tehát megállapíthatjuk, hogy az új blokkok építése megfelel mind az ellátásbiztonsággal, mind a versenyképességgel kapcsolatban elvárt célok, valamint a klímavédelmi törekvéseknek is. Természetesen nem ez az egyetlen jó megoldást kínáló útvonal, az egyes országok saját preferenciáik és elérhető energiaforrásaik alapján más-más megoldást tarthatnak megvalósítandónak az EU-s célok elérése érdekében.

A német megújulóenergia-támogatás és hatása a villamosenergia-rendszerre

Nagyon gyakori, de hibás ellenérv az atomerőműről szóló vitában, hogy az új blokkok a megújuló energiaforrások telepítése előtt vennék el a lehetőséget, illetve az új reaktorok teljes egészében kiválthatók lennének megújuló forrásokkal. Ezek az állítások ebben a formában teljesen hibásak és tévútra viszik az energiapolitikai vitákat, hiszen a megújulók és az alaperőművek tulajdonságai és szerepe teljesen eltér a villamosenergia-rendszerben.

Ennek szemléltetésére érdemes alaposabban megvizsgálni az újabbban Európa-szerte mintának tekintett német villamosenergia-szektor. Németországban az Energiewende (Energiafordulat, a megújuló alapon működő villamos szektor támogatott megteremtése) kezdete óta rohamos ütemben nő a szélenergia és a fotovoltaikus naperőművek részesedése a villamosenergia-termelésben, 2014 első 11 hónapjában ez a két forrás adta a német villamosenergia-termelés 15,8%-át (miközben a német beépített kapacitás több mint 40%-a ide tartozott). A megújuló elterjedését komoly állami támogatások, a kötelező átvétel, illetve a megújulóenergia-törvény (EEG, Erneuerbare Energien Gesetz) által meghatározott kötelező átvételi ár hajtja. Ennek eredményeként mára ezek az erőművek jelentős befolyással bírnak a német és a környező országok villamosenergia-rendszerére és a piaci villamosenergia-árra is.

A 6. ábra mutatja a Németországban 2014-ben fotovoltaikus és szélenergia-erőművek által termelt energia mennyiségét a többi energiaforráshoz viszonyítva. Az ábrán az egyes hónapokra vonatkozó napi átlagtermelések szerepelnek havi bontásban. Ezen jól látszik, hogy a téli hónapokban elsősorban a szélenergia-erőművek termelnek, a naperőművek átlagos termelése rendkívül kis mértékű. Nyáron a helyzet pont fordított, ekkor a napelemek adnak jóval nagyobb energiamentisírt – de csupán a nap közepén. Azt gondolhatnánk, hogy a két ingadozó forrás ilyenképpen kiegyenlíti egymást, ez azonban sajnos nem így van: a naposabb időszakokban is előfordul erősen szeles időjárás és fordítva: télen is telhetnek el napok szél



6. ábra. A német hagyományos erőművek, szél- és fotovoltaikus erőművek, a német import-export mérleg és a kialakuló villamosenergia-ár 2014-ben (decemberre csak előzetes adatok) [4].

nélkül. Ennek következtében 2014 első tíz hónapjában a szél- és fotovoltaikus erőművek által együttesen termelt energia napi mennyisége 0,022 TWh és 0,58 TWh között változott Németországban [4], azaz a legkisebb és legnagyobb áramtermelésű nap között több mint 25-szörös volt a különbség! A német villamosenergia-rendszerben ezeket az ingadozásokat a fosztilis (elsősorban a feketekőszén-tüzelésű) erőművek terheléskövető üzemével, valamint az import-export változtatásával igyekeznek kiegyenlíteni. A megújulók jelentős túlermelésekor gyakran elkerülhetetlen a kényszerexport, mivel egyes erőműveket technikai vagy gazdasági okok miatt nem lehet leállítani vagy kellően visszaterhelni – ilyenek a tipikus alaperőművek, a barnaszén-tüzelésű vagy nukleáris erőművek –, miközben a megújulók által termelt áram átvétele kötelező, így azok leállítására nincs reális oka az üzemeltetőnek. Szélsőséges esetben, főként amikor a fogyasztás alakulása előrejelzési pontatlanságokkal is terhelt, negatív piaci villamosenergia-ár is létrejöhethet: ilyenkor egyes fosztilis vagy nukleáris erőművek gyakorlatilag azért fizetnek a hálózatüzemeltetőnek, hogy közben maradhassanak. Ez a helyzet természetesen roppant kellemetlen a hagyományos termelőknek, a kiszámíthatatlan üzemvitel mellett az alacsony áramár is versenyhátrányba hozza őket. A jelenlegi rendszer további következménye, hogy megfelelő garanciák nélkül a rendszer stabilitásához szükséges termelőegységek beruházásai késedelmet szenvedhetnek vagy elmaradhatnak, így fokozva az ellátásbiztonsági és rendszerszabályozási kockázatokat.

Németország a határain belül megtermelt, rendszeres időközönként feleslegesnek mutató villamos energiát kényszerexportálja, azaz az európai villamosenergia-hálózatot használja kiszabályozási feladatokra. Ez egyrészt a más országokbeli szolgáltatókat is nehéz helyzet elé állítja, másrészt érdemes belegondolni, mi történne, ha több nagyobb ország is a német példát követné. Megjegyzendő, hogy ez a piaci mechanizmus csak azért tudott kialakulni, mert az európai villamosenergia-rendszerben a korábban alkalmazott, országokként értelmezett energiaszabályozás miatt

jelentős mennyiségű kihasználatlan kapacitás volt jelen, amelynek egy része a piacok összekapcsolásával felszabadult, így a piacon túlkínálat jelent meg. Ezek a – többségében öreg – erőművek az üzemanyagköltséget megközelítő változó költség mellett képesek villamos energiát hálózatra adni, így a piaci árakat alacsonyan tartani, azonban üzemidejük végével ezen kapacitások pótlására szükség lesz. A jelenlegi piaci környezet miatt elmaradó beruházások negatív hatásai várhatóan csak a következő évtizedekben fognak jelentkezni, azonban az erőműépítések hosszú időtartama miatt célszerű időben felkészülni.

A fenti érvelést elfogadva belátható, hogy a megújuló energiatermelési módok (szél- és naperőművek) gyors elterjedése mellett is szükség lesz az alaperőműként üzemelő atomerőmű által megtermelt áramra, ennek jelentősége a Mátrai Erőmű blokkjainak leállításakor – várhatóan – már látható lesz, a Paksi Atomerőmű jelenlegi blokkjainak 2032 és 2037 közötti fokozatos kivonásakor pedig kritikus mértékűvé válik. Magyarország – környezettudatos ország lévén, természeti adottságaink figyelembe vétele mellett – növelni szeretné a megújuló energiaforrásokból előállítandó villamos energia mennyiségét és arányát is.

Paks jelenleg üzemelő blokkjainak kiváltása tehát észszerű döntés, ami – számításaink szerint – a rendelkezésre álló finanszírozási feltételek mellett ráadásul megtérülő beruházás. A Paks-2 projekt teljes egészében összhangban van a Parlament által 2011-ben elfogadott energiapolitikával, az abban megfogalmazott célok elérése érdekében történik. Arról, hogy milyen atomerőművel készül Magyarország fenntartani a hazai nukleáris termelést, cikkünk következő részében számolunk be.

Irodalom

1. *Nemzeti Energiastratégia 2030*. Nemzeti Fejlesztési Minisztérium 2012, <http://www.kormany.hu>
2. DOE National Renewable Energy Laboratory (NREL), http://www.nrel.gov/analysis/sustain_lca_results.html
3. International Energy Agency: *World Energy Outlook 2014*.
4. Fraunhofer Institute adatok, <http://www.ise.fraunhofer.de/en/renewable-energy-data>

KÉT MUZEÁLIS MŰTÁRGY ÉS EGY RÉGI TÖRVÉNY ÜRÜGYÉN – 1. RÉSZ

Molnár János
Siófok

Egy meglepetésről

A Magyar Nemzeti Múzeum gyűrű-napóráiról korábban *Gát Eszter*, majd *Radnóti Klára* írt ismertetőket [1–3]. E tanulmányok a tárgyak, illetve a gyűjteményrészek általános leírásain és egyes jellegzetességeik tagolásain túl szakszerű, alkalmi összefoglalásokat is tartalmaznak a múzeumban előforduló napórafajták főbb tulajdonságairól, használatukról. Sőt latin eredetiben és magyar fordításban még egy, az 1700–1750 között készült szerkesztési leírással, meg más, szépirodalmi idézetekkel is szolgálnak. A múzeum gyűjteményében több változatban, többféle gyűrűs napóra található. Ezek közt van az a két hasonló, érdekes darab, amikről a következőket írták a muzeológusok:

„Ltsz.: 1873.141.23. Készítés ideje: 1717, készítés helye: Augsburg(?). Átmérője 52 mm, szélessége 17 mm, vastagsága 3,5 mm.

Azimuth gyűrű-zsebnapóra, univerzális. Sárgarézből, fokskála mentén 5 fokonként állítható függesztő karikával, elfordítható lyuk-gnomon gyűrűvel. Jelzése: 1717 S P F(ecit). A gyűrű külső palástján a hónapok betűjelzéses rövidítése, a belsőn az egyes hónapoknak megfelelő dátumvonalak mentén órajelzések. A gyűrű középső sávjából az elfordítható lyuk-gnomon karika hiányzik. A gyűrű külső palástján észak-olasz és dél-német városok neve a hozzájuk tartozó, egész számra kerekített szélességi fokjelzésekkel. ...”

„Ltsz.: 1988.3. Készítés ideje: 1925–1930 között, szabadalmi leírása szerint gyártója Drágffy Sándor, érsekivadkerti földbirtokos. Sárgaréz, rögzített füllel, elfordítható lyuk-gnomon gyűrűvel, átmérője 45 mm, szélessége 15,5 mm, vastagsága 2 mm. Vétel.

Az azimuth napgyűrű a legegyszerűbb függeszthető napóra, amelyet Magyarországon (ásatási leletek szerint) már a 16. századtól kezdve használtak. Igen elterjedt típus, német területeken gyakran „Bauernring”-nek, azaz parasztgyűrűnek is nevezték. Ezért meglepő, hogy 1925. május hó 4-én egy magyar földbirtokos, Drágffy Sándor szabadalmat kért és 1930. május 1-jén meg is kapta azt 92224 sorszámmal. ... Az azimuthgyűrű a Nap horizont feletti magassági szögét méri a függőleges síkban, így lehet vele az időt meghatározni. Csak azon a földrajzi szélességi fokon mutatja a pontos időt, amelyre készítették. ... A gyűrűpalást külső részén dátumjelzés, azaz a hónapok vésett kezdőbetűi és a 969-es sorszám van. ... A gyűrű belső felületén ezen túl a SOL bevésés (jelen-

tése Nap) és a SZAB.BEJ. (szabadalmi bejegyzés) rövidítés olvasható...” (1. ábra)

Elsőként még ne az indokoltnak tűnő meglepetés okozóját, a *szabadalmazott napórá*t nézzük, hanem magát a napórát, mint műfajt, mint általános kultúrtörténeti tárgyat, mint a régi korok korabeli csúcstechnológiáját és tudományát megtestesítő mérőeszközt.

Ma a napórákat látványos, de nem sok hasznot hajtó fali épületdíszként ismerjük. Van egy többé-kevésbé ferdén lógó pálca a falban, körülötte néhány sugaras vonal, esetleg cirkalmasan írt számok, jelek, latin szavak. Néha festmény vagy egyéb képzőművészeti alkotás is vonzza a tekintetet. Ha összehasonlítjuk az árnyék és a karórák jelezte időt, azok ritkán egyeznek. Igen, ilyen a hagyományos napóra, ezek a szinte kötelező részei és tulajdonságai. Mert a napórák az elmúlt harmadfél évezred remek természettudományos alkotásai, a legelső mérőműszerek, a világ megismerési folyamatának kőbe faragott, fémbe öntött kövületei, a játékos elme találékonyságának látványos tanúságtévői, sok szép műalkotás ihletett hordozói, az idővel kapcsolatos filozófiák és tömören fogalmazott népi bölcsességek hirdetői, fizikai ismereteink változásainak „megkövesült” tanúi. És – lám – a Nemzeti Múzeum Történeti tárának jóvoltából egy napóra még egy szabadalmi – jogi – történeti vizsgálat tárgyává is lehet.

A napórák működésével, skálaszerkesztéseivel az elmúlt 30–35 évszázadban igen sokan, igen alaposan foglalkoztak, a vonatkozó irodalmi források sora szinte végtelen. A korabeli lehetőségek miatt ezek az ismertető a körzövel-vonalzóval végzendő hagyományos geometriai szerkesztések leírását tartalmazzák.

1. ábra. Két kép a Drágffy-gyűrűről a Magyar Nemzeti Múzeum Óra- és Műszergyűjteményében, *Dabasi András* felvételei [3].



Jelen írás először az Albireo Amatőrcsillagász Klub azonos nevű folyóirata részére készült, de a 2014/1 számban megjelent bevezetés után újabb szám már nem jelent meg. Köszönet a *Fizikai Szemlének*, hogy nem hagyta elveszni a mondanivalót.

Ezek a régi szerkesztések elvben ma is jól, de a gyakorlatban különféle rajztechnikai, kényelmi okok miatt már csak nehézkesen használhatók.

A babilóniai (i. e. ~1800), majd később az ógörög (i. e. 600–150) papok, csillagászok mai tudásunk szerint is meglepő pontossággal ismerték a Nap és a többi égitest Földről látszó napi-évi mozgásait. Az ilyen irányú, korai ismeretek tették lehetővé, hogy az idő mérésére napórákat és naptárakat készítsenek, illetve a napórák segítségével szerezzenek adatokat a világ megismeréséhez, leírásához. Például az i. e. 1360. július 15-i napfogyatkozás révén lehetett azonosítani a Bibliában leírt, a zsidók és az emóriak közötti, Józsué vezetésével zajló zsidó honfoglalási csata időpontját. I. e. 870 körül működik Illés próféta, ekkoriban írják a Biblia Királyok Könyveit. Ennek Kir. II. 16:10–14 és 20:9–11 verseiben említik a napórákat (nyilván utalásként is a korabeli tudományos technikai fejlettség csúcсаira). Az i. e. 700 körül írt ótestamentumi részekben szintén több helyen szerepelnek az idő mérésére szolgáló napórák, meg az időmérésre utaló részek (Zsoltárok 119:62 és 119:164, Józsué 10:12–13, Ézsaiás 38:8), akárcsak az Újtestamentumban is (Máté 20:1–16).

I. e. 269-ben(?) *Beroszosz* babilóniai tudós pap megírja görög nyelven Babilónia történetét. Napórák számításaival is foglalkozik. A rómaiak az első pun háború idején (i. e. 264–241) az elfoglalt dél-itáliai Calabriából hadizsákmányként i. e. 263-ban Rómába visznek egy napórát. Az egyik legnevezetesebb ókori európai napóra Augustus császárhoz kapcsolható. Ő i. sz. 10-ben a római Mars mezőn felállította az Egyiptom feletti győzelmét hirdető hadizsákmányát, a talpatáival együtt körülbelül 30 méter magas vörös gránit obeliszket. A tér körülötte lévő, mintegy 250×400 méteres területén az obeliszke csúcsához, mint árnyékvetítő ponthoz illeszkedő óra- és hónapvonalak mutatták az időt.

I. e. 75(?) – i. sz. 15(?) közt élt a római *Marcus Pollio Vitruvius*, világot járt zsoldos hadmérnök, építész és szakíró. Tízkötetes építészeti tankönyvét (*De architectura libri decem*) 3-4 tucatnyi latin és görög elődöt (sok helyen szó szerint) idézve, és saját gondolatai, tapasztalatai alapján 33 és 14 közt írta. Ebben egy könyvet szánt a napórákkal kapcsolatos csillagászati és matematikai tudnivalók ismertetésére, megemlítve az akkor használatos, vagy korábbi napórafajtákat. A napórákhoz szükséges szerkesztési leírás meglehetősen rövid, mert a részletesebb leírást Vitruvius „azért mellőzte, nehogy túl sokat írjon és így botránkozást okozzon, s mert nem szeretné, ha mások tudását az övének tartanák”. A könyvhöz eredetileg néhány rajz is tartozott, de ezek a kéziratos másolások alkalmával el-elmaradtak, ma már ismeretlenek. A művet az ókorban és a középkorban olvasták ugyan, de kevesen. „Világsikerét” a konstanzi zsinat alkalmából fellendült „idegenforgalom” egyik eredményeként a svájci St. Gallen bencés kolostorából 1416-ban előszedett példánynak, majd 1486-tól a könyvkiadó nyomdászoknak és a fordítóknak köszönheti. *Leonar-*

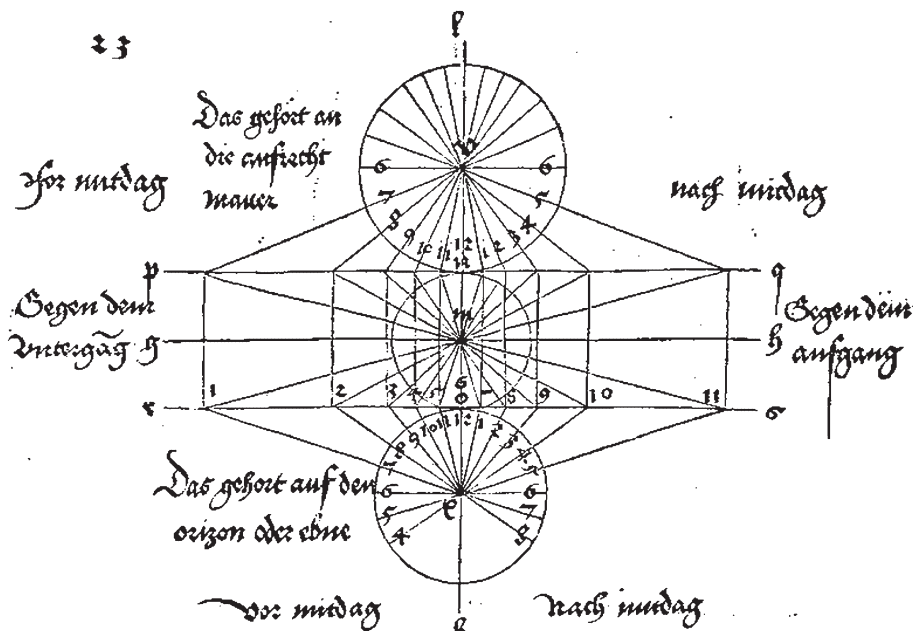
do, Dürer és más humanista művészek nemcsak tanultak Vitruviustól, hanem a hiányzó rajzokat pótlандó a nyomtatott műhöz szép és jó, új rajzokat is készítettek [4]. Főleg az ő tevékenységük nyomán alakultak ki és terjedtek el a máig fennmaradt napórák alaptípusai.

Albrecht Dürer (1471–1528) magyar apa németté lett fia, grafikusként, rézmetszőként és matematikusként egyaránt jelentőseket alkotott. A napóraskálák összefüggéseinek 1525-ből tőle származó rajzai és elegáns leírása, ma használatos középiskolás matematikai alapismeretek birtokában könnyen érthetőek. *Girolamo Cardano* (1501–1570) itáliai orvos, matematikus, filozófus, író, (akinek a vegyes harmadfokú egyenletek megoldására kidolgozott módszere időként mai magyar gimnáziumi tananyag) napórák skálájának linearizálására készített finommechanikai szerkezete izmosabb kialakításban a gépkocsik és más gépek hajtásláncában mifelénk kardáncsukló és kardántengely néven közismert.

Johannes Kepler (1571–1630) megfigyeléseken alapuló törvényei (1609, 1618), majd *Isaac Newton* (1642–1727) és követőik munkássága nyomán lett pontosan ismert, hogy a Föld (és a többi égitest) a Nap körül miért és milyen pályán, hogyan mozog. Másként fogalmazva az, hogy a Nap (és a többi égitest) Földről látható napi és évi mozgását mi okozza, és ezt milyen képletekkel lehet *pontosan* leírni, vagy a kívánt hibakorláton belül közelíteni.

Apáczai Csere János 1653-ban a *Magyar Enciklopédiájában* azt írta, hogy a napóra nagyban segíti az emberek boldogulását (nyilván a célszerű időfelhasználás elősegítése okán). 1686-ban a budai vár visszavételekor egy holland zsoldos katona elvesztette hordozható zsebnapóráját, amit az 1970. évi ásatások során megtaláltak. Newton és mások munkássága nyomán olyan napórákkal is lehet találkozni, amelyekben nem valaminek az árnyéka, hanem egy fényfolt mutatja az időt. Hiszen egy tükör (kis tó!) által visszavert fénypont útjához is lehet – ha nem is egyszerűen – egy adott felfogó felületre illeszkedő óraskálát számítani. Ma már van borús ég alatt, sőt kereskedelmi forgalomban kapható, éjszaka, akár a pincében is működő „napóra”. Ennek tartószerkezetébe ugyanis olyan digitális elektronikus szerkezetet rejtettek, amely sötétben a pontos időt a napos időben működő árnyékvetítő skálájához illeszkedő rejtett LED-ek működtetésével mutatja.

Itt érdemes még néhány technikai, matematikai érdekességet is megemlíteni. Az első, hogy a rendszerint hosszadalmas csillagászati számítások jelentős hányadára azért van szükség, mert a különböző jellegű mérendő mennyiségeket az előfordulási helyüktől, illetve a mérési körülményektől függően más-más koordináta-rendszerben célszerű/lehet meghatározni, mint ahol azok felhasználásra kerülnek. Ahogy a napi időt is különböző módokon (helyi idő, zónaidő, 5 perc múlva, délelőtt, tegnap, jövő szerdán, két év múlva, Kr. e. 123-ban stb.) adjuk meg az alkalom célszerűsége szerint, úgy a hely vagy egyéb jellem-



2. ábra. Dürer skálaszerkesztési rajza [4].

az adott helyen az ottani vízszinteshez viszonyítva ferde helyzetű a skála síkja, de az árnyékvetőhöz viszonyítva merőleges. Ezen óraváltozat előnye, hogy a számlap osztásközei egyenletesek, 24 óra = 360°, és a besugárzási viszonyoktól függően egész évben napkeltétől napnyugtáig működik. Hátránya, hogy a számlap síkjára az árnyék az év nyári felében felülről, míg a téliben alulról vetül. Ezért célszerű a számlap síkját valahogy eltüntetni, vagy legalábbis átlátszóvá tenni. A számlap átlátszatlanságából származó használati kényelmetlenséget többféle módon lehet megkerülni. Legegyszerűbb, ha a skálasík helyett az egyenlítőt mintázó keskeny

zök megadására is többféle módszert alakítottak ki az évszázadok folyamán.

Egy másik érdekesség, hogy ókori elődeink milyen jó gyakorlati érzékkel bírtak. Manapság a síkszögek nagyságát a szarak közé húzható körív hosszának és sugarának hányadosaként értelmezzük, és így a mértékegység nélküli *radiánban* adjuk meg, vagy egységként a kör 360-ad részét tekintve *fokban* (és a törtrészeket a hagyományos 60-as számrendszerben). Használják más szögegységeket is: a geodéták a negyedkör 100-ad részét *gonnak* nevezik és a törtrészeket is a 10-es számrendszer szerint számolják; a csillagászok az ívmásodpercet és a Föld pályájának sugarát kapcsolják össze *parszek* néven távolságegységként. Antik őseink a körív nagyságaként a hozzá tartozó húr jól mérhető tartották a szög jellemzőjének, ennek megfelelően a szöget is a távolság egységével mérték. Hiszen a körív hosszát gyakorlatilag nem lehet mérni, csak értelmezni, illetve számítani! Ezért azután a mai szinuszokkal kapcsolatos tételek és táblázatok helyett húr táblázatokkal és távolságokkal dolgoztak.

Egy kevés matematika a legegyszerűbb napórákhoz

A napórákat árnyékvetőjük, illetve számlapjuk elhelyezkedése szerint célszerű csoportosítani. A legegyszerűbb „szerkezetű” napóra egy földbe szúrt, függőleges bot (a gnómón), amelynek árnyékát a vízszintes talajon lehet nyomon követni. Amilyen egyszerű ez a felépítés, olyan nehézkes a mérésre alkalmas számlap osztáspontjainak megszerkesztése.

Jól használható, egyszerű alapváltozatnak az *egyenlítői óra* tekinthető. Ennek rúd alakú árnyékvetője a Föld forgástengelyével párhuzamos, míg a skála síkja (a számlap) az Egyenlítővel párhuzamos. Ezért

körhengert helyezünk az árnyékvető mint tengely köré. Más lehetőség, ha az árnyékvető a Föld forgástengelyével párhuzamos marad, de a számlap síkja egy vízszintes asztallap, vagy egy függőleges falsík lesz. Ezekben az esetekben a napórák osztásközei már nem egyenletesek. A vízszintes asztali óra is egész évben működőképes napkeltétől napnyugtáig. A függőleges falon lévő óra „működési” ideje legjobb esetben csak napi 12 óra lehet, és ez is változik az év folyamán.

A sík skálafelületű napórák működését (skálafüggvényüket) a következő alapvető jellemzők, és a belőlük származtatható egyéb mennyiségek határozzák meg:

φ – a felállítási hely földrajzi szélessége,¹

L – az árnyékvető hossza,

α – az árnyékot felfogó sík normálisának vízszintes irányszöge (elfordulása),

γ – függőleges irányszöge (dőlése).

A napórák számításai szempontjából legfontosabb alapösszefüggések a Nap járását meghatározó – pontos vagy közelítő – képletek (levezetések nélkül) a következők:

$$\delta \approx -23,44^\circ \cdot \cos \left[\frac{360^\circ \cdot (11,75 + n)}{365} \right],$$

$$\tau = 15^\circ \cdot (t - 12),$$

$$\sin m = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \tau,$$

$$\sin A = \frac{\cos \delta \sin \tau}{\cos m}.$$

Itt δ a Nap deklinációja ($-23,5^\circ < \delta < 23,5^\circ$), n az évi napszám (január 1.: $n = 1$), t az idő órában kifejezett számértéke ($0 < t < 24$), τ a Nap óraszöge a délkörtől

¹ Minden szöget fokban mérünk.

mérve ($-180^\circ < \tau < 180^\circ$), m a Nap magassági szöge ($0^\circ < m < 90^\circ - \varphi$), A a Nap irányszöge a délkörtől mérve ($-180^\circ < A < 180^\circ$).

Ezekből az adatokból kiszámítható valamennyi napóra árnyékvetéssel kapcsolatos összes skálajellemzője. A legtöbb napóra skálája közvetlenül a napi időt, az órákat mutatja. Ezekhez igen gyakran napokat, hónapokat mutató görbesereg is csatlakozik. Ritkán, de lehet olyan „napórákkal” találkozni, amelyek skálájáról a Nap éppen időszerű magassági szögét, illetve irányszögét és más jellemzőket (például a napkeltétől eltelt vagy napnyugtáig hátralévő időt) lehet leolvasni. Ha az árnyékfelfogó nem sík, hanem térbeli felület, akkor még más geometriai adatokra is szükség van.

Dürer skálászerkesztési módszerének rajza a 2. ábrán látható [5]. Ennek alapján, levezetések és magyarázatok nélkül a legegyszerűbb síklapú óraváltózatokon az óravonalak egyenletei mai írásmód szerint a következők.

Asztali napórára:

$$\operatorname{tg} Z = \sin \varphi \operatorname{tg} \tau.$$

A délkörtől α szöggel elfordult függőleges falon lévő napórára:

$$\operatorname{tg}(Z - f) = \sin g \operatorname{tg}(\tau - b).$$

E képletekben

$$\operatorname{tg} f = \frac{\sin \alpha}{\operatorname{tg} \varphi},$$

$$\sin g = \cos \alpha \cos \varphi,$$

$$\operatorname{tg} b = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sin \varphi}.$$

Ahol Z a skálavonal szöge a délvonaltól, τ a Nap óraszöge a délkörtől mérve, α a fal elfordulása a K–Ny iránytól, f az árnyékvető talpszöge, g az árnyékvető sablonszöge, b az árnyékvetőhöz tartozó óraszög.

Ha a fal nemcsak elfordult, hanem dőlt is, azaz mintegy általános helyzetű támfalat, háztetőt képez, a skálavonalak egyenlete hasonló az előzőekhez, de a paraméterek számítási képletei kissé bonyolultabbak [5]:

$$\operatorname{tg}(Z_\gamma - f_\gamma) = \sin g_\gamma \operatorname{tg}(\tau - b_\gamma)$$

E képletben

$$\cos f_\gamma = \frac{\sin \varphi - \sin g_\gamma \sin \gamma}{\cos g_\gamma \cos \gamma},$$

$$\sin g_\gamma = \sin \gamma \sin \varphi - \cos \alpha \cos \gamma \cos \varphi,$$

$$\sin b_\gamma = \frac{\sin \alpha \cos \gamma}{\cos g_\gamma},$$

ahol az előző jelöléseken túl Z_γ a skálavonal szöge a támfal esésvonalától, f_γ a támfalra értelmezett talpszög, g_γ a támfalra értelmezett sablonszög, b_γ a támfalra értelmezett óraszög, γ a fal dőlésszöge a függőleges síktól.

A hordozható napórák alkalmazásánál, ha a Nap irányszögének mérésén alapulnak, sarkalatos kérdés: hol van a helyi délkör síkja, azaz merre van észak? A pontos tájolás egyszerűsítése érdekében rendszerint olyan napórákat készítettek, amelyek több, különféle rendszerű alap-napórákat egy szerkezetként tartalmaztak. Gyakori kiviteli alakjuk miatt a doboznapóráknak nevezett szerkezetek belső, vízszintes skálalapjához rögzítették az árnyékvető fonal egyik végét, míg a függőlegesbe állított dobozfedél ugyancsak belső skálalapja feszítette a szál felső végét. A kinyitott dobozt vízszintes síkba állítva addig és úgy kell függőleges tengely körül forgatni, hogy mindkét alap-napóra azonos időt mutasson. Szokásos volt az is, hogy napórákat iránytűvel építettek egybe. Vannak olyan napórák, amelyek a Nap magassági szögének mérésén alapulnak, ezek működési elvéből fakad, hogy az adott helyen mindig a Nap irányába kell fordítani, tehát érdektelen a pontos északi irány helye. Ilyenek többek között a gyűrűs napórák. Erről cikkünk második részében lesz szó.

Végezetül még egy történelmi idézet

– vígaszul azoknak, akiket fásaszt a formulák követése

A szakirodalmi könyvek tudományosságukat rendszerint azzal akarják bizonyítani, hogy több bennük az idegen, főként a latin és a görög (újabban az angol) szakszó, mint a magyar. Egy-két hagyományos csillagászati, matematikai vagy egyéb szakmai alapfogalom szokásos megnevezését nyilván nem lehet (és nem is érdemes) megkerülni. Ám a legtöbb szakmai kifejezés magyar nyelven is ismert. Ha valaki ezeket nem érti, annak az anyanyelvét kell tanulmányoznia. Mert mindenki számára ma is hasznos lehet, amit *Arany János* keserű humorral vetett papírra másfél évszázada Vojtina ars poétikája és az akadémikus urak stílusában [6]. Ekként szól a bölcs ajánlás a tudományhoz, mit jónak tartanak,

*Beszédhez, amit versnek mondanak,
Mindenesetre kellenek szavak.
Te mindig olyan szót válassz, csinálj,
Amit ne értsen János, vagy Mihály;
Legjobb, ha tenmagad sem érted azt:
Így legalább soha meg nem akadsz,
Mert aminek értelmét nem tudod,
A szó, mindenhová illeni fog.*

Irodalom

1. Gát Eszter: „Karika Réz kompassus.” A Magyar Nemzeti Múzeum gyűrű-zsebnapórái. *Folia Historica* 18 (1993) 237–254.
2. Az óra- és műszergyűjtemény. in: *A 200 éves Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményei*. (Pintér J. szerk.) Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest, 2002. 446–451.
3. *A Magyar Nemzeti Múzeum új szerzeményei*. (Pintér J. szerk.) Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest, 2004.
4. Vitruvius, Pollio: *Tíz könyv az építészetéről*. Képzőművészeti Kiadó, Budapest, 1988.
5. Molnár János: *A napórákról*. Kairosz kiadó, Budapest, 2012.
6. *Arany János válogatott versei*. Ciceró Kiadó, Budapest, 2000. 83.

ELMÉLKEDÉS A RELATIVISZTIKUS SEBESSÉGÖSSZEADÁS KÉPLETÉRŐL

Valahol egyszer azt olvastam, hogy amikor *Einstein*-ben először merült fel a gondolat, hogy a fénysebesség talán minden inerciarendszerhez képest c -vel egyenlő, mindenekelőtt bizonyára azt próbálta meg tisztázni, hogyan fér ez össze a sebességösszeadás törvényével. A könyv (vagy cikk) szerzője ezért elképzelhetőnek tartotta, hogy a relativitáselmélet elsőként megszületett képlete a sebességösszeadás relativisztikus törvénye volt, amelyet Einstein először próbálgatás útján talált meg. Lehet, hogy valóban így történt, mert – mint mindjárt látni fogjuk – ez a nevezetes képlet tényleg nagyon egyszerűen megkapható egy olyan heurisztikus gondolatmenet segítségével, amely kizárólag a fénysebesség állandóságán alapul.



1. ábra. A jelölések magyarázata.

Az 1. ábrán látható szituációban a 2. test 1. testhez viszonyított relatív sebessége a newtoni fizika szerint a $V = V_2 - V_1$ különbséggel egyenlő.¹ Ez nyilván nem fér össze a fénysebesség állandóságával, mert ha a 2. „test” az 1. testről kibocsátott fényjel – vagyis $V = c$ –, akkor $V_2 = V_1 + c \neq c$. A fénysebesség állandóságának elve ezzel szemben azt követeli, hogy amikor $V = c$, akkor tetszőleges V_1 mellett V_2 is legyen c , tetszőleges V_2 mellett pedig V_1 legyen $-c$ (mert V_2 -höz fénysebességet *hozzáadva* újra fénysebességet kapunk). A keresett általánosított képletben nyilván általában igaznak kell lennie, hogy amikor az egyik sebesség c , valamelyik másik pedig egy tetszőleges érték, akkor a harmadiknak $+c$ -vel vagy $-c$ -vel kell egyenlőnek lennie.

Ilyen képletet nem is olyan nehéz találni. Einsteinnek biztosan nem volt az (ha tényleg ezt az utat követte).

¹ A sebességösszeadás elnevezés a képlet $V_2 = V_1 + V$ alakjához kötődik.

Vezessük be a

$$V_1/c = x, \quad V_2/c = -y, \quad V/c = z$$

jelöléseket, amelyekkel a newtoni sebességösszeadás képlete az

$$x + y + z = 0$$

szimmetrikus alakban írható fel. Logikus arra gondolni, hogy a bal oldalt az x, y, z valamilyen lineárisnál magasabb rendű szimmetrikus kombinációjával kell kiegészíteni. A kvadratikus $xy + xz + yz$ kiegészítés nem jöhet szóba, mert az x -szel, y -nal és z -vel ellentétben ez nem vált előjelet, amikor a mozgásirányt a 0 pontra tükrözzük. A köbös xyz taggal ilyen probléma nincs, és ez el is vezet a kívánt tulajdonságokkal rendelkező általánosításhoz.

Legyen tehát

$$x + y + z + xyz = 0.$$

Ha ebben a képletben mondjuk $x = 1$, akkor

$$1 + y + z + yz = (1 + y)(1 + z) = 0,$$

ezért a kívánságunknak megfelelően a másik két változó közül legalább az egyik -1 -gyel egyenlő. Mivel a képlet a változókra nézve szimmetrikus, hasonló konklúzióra jutunk akkor is, ha $y = 1$ -gyel vagy $z = 1$ -gyel indulunk.

Ezen kívül még az is igaz, hogy nemrelativisztikus határesetben, amikor $|x|, |y|, |z| \ll 1$, a harmadrendű tag elhanyagolhatóan kicsi a lineáris tagokhoz képest, ezért ekkor nagy pontossággal visszkapjuk a newtoni képletet.

A köbös taggal kiegészített képlet valóban nem más, mint a relativisztikus sebességösszeadás törvénye. A z -re megoldott alakja például

$$z = \frac{-x - y}{1 + xy}, \quad \text{vagyis} \quad V = \frac{V_2 - V_1}{1 - \frac{V_1 V_2}{c^2}}.$$

HRASKÓ PÉTER

Szerkesztőség: 1092 Budapest, Ráday utca 18. földszint III., Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682

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

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

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

Nyomdai előkészítés: Kármán 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)

KERÉKPÁR MOZGÁSI JELLEMZŐINEK MEGHATÁROZÁSA ISKOLAI PROJEKTFELADATBAN

Beke Tamás
Nagyasszonyunk Katolikus Ált. Isk. és Gimn., Kalocsa

A tanév végén azt a feladatot adtam a 9. évfolyamon, hogy a tanulók projektmunkában mérjék meg egy kerékpáros sebességét és gyorsulását. Kicsit részletesebben: egy kerékpáros álló helyzetből indulva felgyorsít, majd amikor elérte „utazósebességét”, akkor nagyjából egyenletesen halad egy darabig, végül lefékez és megáll. Mérés segítségével határozzuk meg a kerékpáros sebességét, illetve gyorsulását az idő függvényében!

Ehhez hasonló számításokat végeztünk a tanév folyamán, de akkor csak számoltunk. Most viszont mérnünk is kellett. A mérések többségét az iskola sportudvarán végeztük.

A mérés

A tanulók első ötlete az volt, hogy kérjünk egy úgynevezett „szuper traffipaxot”, ami állítólag nagyon pontosan mér. Mivel ilyen készüléket nem tudtunk beszerezni, ezért ezzel a módszerrel nem foglalkozom. Ezután már pontosabban határoztam meg a feladatot: saját magunknak kell elvégezni a méréseket, és csak olyan eszközöket használhatunk, amelyek az iskolában vagy otthon rendelkezésünkre állnak.

Kiválasztottunk néhány jelentkező tanulót, akik kerékpárral közlekedtek, és a kerékpározó tanulók mozgásának jellemzőit kívántuk különböző módszerekkel meghatározni. A tanulók feladata az volt, hogy az aszfaltpálya alapvonaláról (startvonalról) elindulva a kerékpárjukkal próbáljanak meg nagyjából egyenletesen felgyorsítani egy „közepesen nagy” sebességre, ezzel haladjanak egyenletesen, ameddig csak tudnak, majd az aszfaltpálya túlsó oldalán fékezzenek le biztonságosan, (ha lehet) nagyjából egyenletesen. Több mérést végeztünk, különböző módszereket próbáltunk ki. A mérések közül kiválasztottam egy esetet, amelyben a kerékpározó tanulónak a feladatot sikerült elég jól végrehajtani; azaz az elején elég egyenletesen gyorsított, utána majdnem egyenletes sebességgel haladt, a végén pedig majdnem egyenletesen lassított.

Stopperórás módszer

Az első módszer lényege, hogy az aszfaltozott sportpálya szélén az oldalvonalnál 1 méterenként felsorakoztak a tanulók, mindegyiknél volt egy-egy stopper, vagy mobiltelefonnal mérték az eltelt időt. Az aszfaltozott pálya hossza 40 méter volt, két végén 2,5 méter

üres résszel; ez az induláshoz és a biztonságos megálláshoz kellett. A lényeges, hogy a kerékpárosnak a pályán pontosan 40 métert kellett megtennie. A pálya szélén méterenként felsorakozott tanulók a vizuális startjelre indították a stopperjukat (hogy a hang terjedéséből adódó késéseket kiküszöböljük), és akkor állították le amikor a kerékpár első kereke pontosan egy vonalba került velük. Ezután az adatokat feljegyeztük. Az *1. ábrán* az oldalvonal mentén felsorakozott tanulók láthatók a mérés közben.

Táblázatkezelő programba írtuk a tanulók által mért adatokat. Az összetartozó időpontokat és a megtett utakat könnyedén ábrázoltuk. A *2.a ábrán* a kerékpáros által megtett távolságok láthatók az eltelt idő függvényében. A grafikon menete körülbelül olyan, mint amire előzetesen is számítottunk: az elején egy emelkedő paraboláivához hasonló görbe, majd egy nagyjából egyenes szakasz, végezetül egy csökkenő meredekségű parabolászerű ívszakasz.

Ezután az egyes szakaszokhoz tartozó átlagsebességeket („szakaszsebességeket”) számítottuk ki: a megtett szakaszok hosszát (minden esetben 1 m volt) elosztottuk a szakasz megtételéhez szükséges idővel. A *2.b ábrán* az egyes szakaszokhoz tartozó átlagsebességeket ábrázoltuk az eltelt idő függvényében.

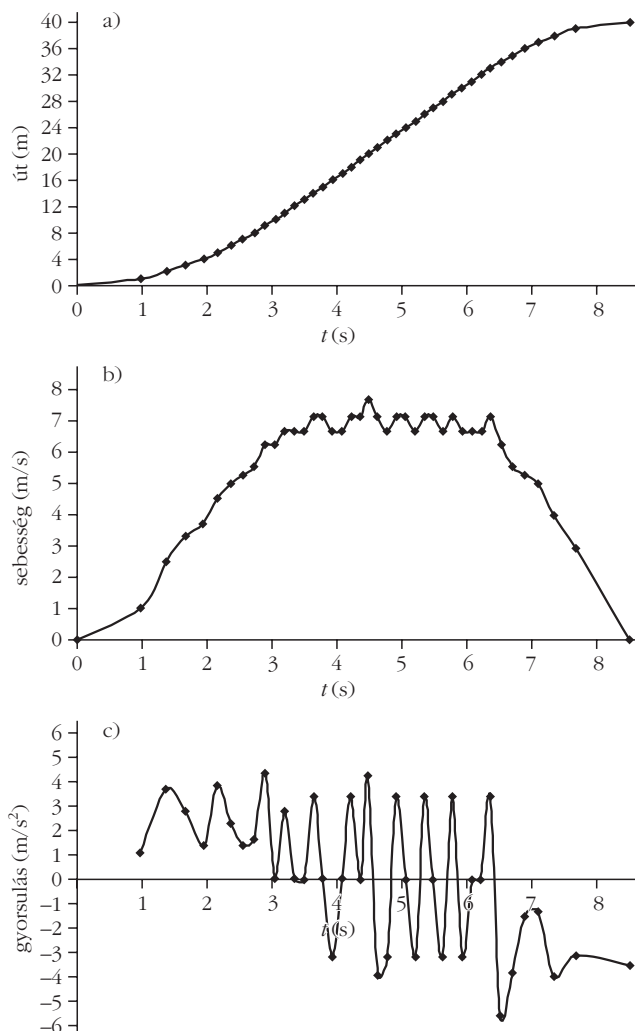
Végül kiszámítottuk az egyes szakaszokhoz tartozó gyorsulások értékeit. Ezt láthatjuk a *2.c ábrán*. A kapott ábra első ránézésre elég „furcsa”, nem ilyenre számítottunk. Azt vártuk, hogy az elején lesz egy pozitív értékű gyorsulás, majd a középső résznél a gyorsulás szinte zérus lesz, végül a harmadik résznél negatív gyorsulást kapunk.

Alaposabban szemügyre véve a grafikont észrevehetjük, hogy a mozgás első részében pozitív értékű gyorsulásokat kaptunk az egyes szakaszoknál. Erre a részre kiszámoltuk az átlagos gyorsulást, ez $2,28 \text{ m/s}^2$

1. ábra. A tanulók stopperrel mérnek.



Az írás az ELTE *Fizika tanítása* PhD-program keretében készült. Köszönöm a kutatási program vezetője, *Tél Tamás* és témavezetőm, *Bene Gyula* tanácsait, továbbá *Fekete Antal* kollégám okostelefonos mérésekben nyújtott segítségét és a tanulók közreműködését.



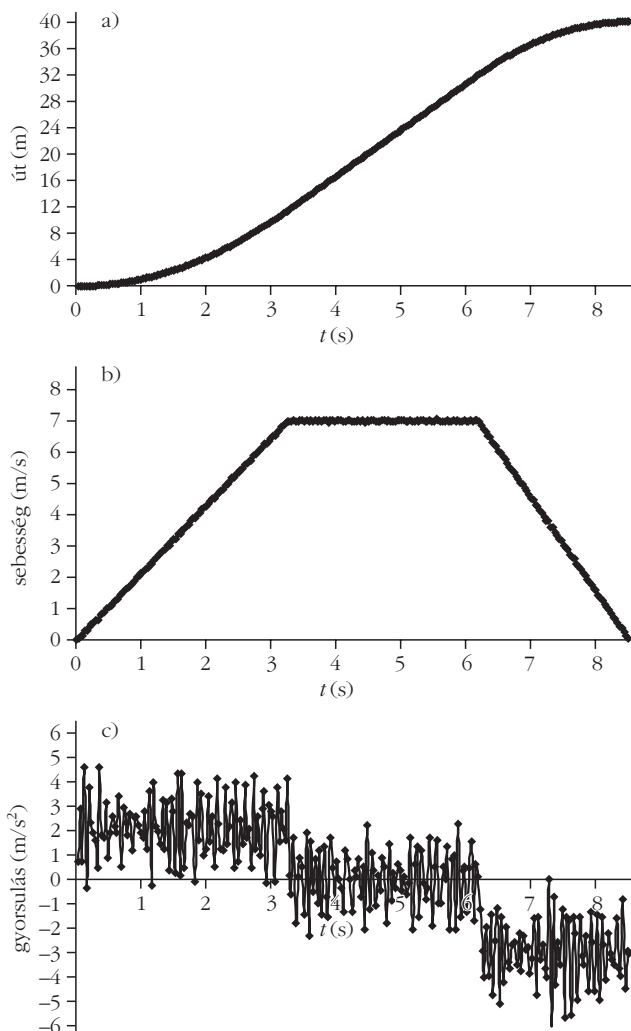
2. ábra. A mozgás jellemzői a **stopperórás mérés** alapján: a) megtett út az idő függvényében; b) sebesség az idő függvényében; c) gyorsulás az idő függvényében.

volt. A mozgás középső részében a gyorsulások átlaga $0,22 \text{ m/s}^2$. A mozgás utolsó részében a gyorsulások átlaga $-3,28 \text{ m/s}^2$.

Az út-idő valamint a sebesség-idő grafikonok tehát nagyjából megfeleltek „előzetes várakozásainknak”, de a gyorsulás-idő grafikonon nem. A tanulókkal elgondolkoztunk, hogy milyen okból nem úgy jöttek ki a gyorsulások, mint ahogyan vártuk. Egyfelől a valós mérések mindig hibával terhelték. 41 diák esetén értelemszerűen különbözőek a reakcióidők, vagy például a kerékpár első kerekét hogyan nézték stb. A sebességet az elmozdulás idő szerinti differenciáhányadosaként, a gyorsulást a sebesség idő szerinti differenciáhányadosaként kaptuk, azaz a mérési hibák fokozottan számítanak a gyorsulás kiszámításánál.

Videofelvételes módszer

A következő ötletünk az volt, hogy vegyük fel videóra a kerékpáros mozgását, majd a videót utólag elemezzük, és így határozzuk meg a sebességeket és a gyorsulásokat.



3. ábra. A mozgás jellemzői a **videofelvétel** alapján: a) megtett út az idő függvényében; b) sebesség az idő függvényében; c) gyorsulás az idő függvényében.

Léteznek olyan számítógépes programok, amelyek segítségével egy videofelvételen látható mozgást elemezhetünk (például VideoPoint, Webcam Laboratory). Ha viszonyítási pontokat jelölünk ki a képen és megadjuk ezek távolságát, akkor a program kiszámolja a mozgó test által megtett távolságokat, sebességeket, gyorsulásokat; ezeket grafikusán ábrázolhatjuk. Sajnos ezen programokért általában fizetni kell. Mi a projekt indulásakor elhatároztuk, hogy mindent magunk oldunk meg, ingyenesen rendelkezésre álló eszközökkel.

A videofelvételek elemzése úgy is történhet, hogy valamilyen (ingyenes) képszerkesztő programmal (például Windows Live Movie Maker vagy Secure Cam) képkockákra bontjuk a videót [1]. A videofelvétel tulajdonképpen állóképek sorozatából áll, csak nagyon rövid időközönként (néhány század másodpercenként) követik egymást a képkockák.

A program mindegyik képkockához hozzárendel egy-egy időkódot, ez alapján a mozgás jellemzőit – ha ismerjük az egyes időpontok közötti elmozdulásokat – már kiszámíthatjuk. A legegyszerűbb esetben a videofelvételen jelölünk ki ismert viszonyítási pontokat,

és ezekhez képest határozhatjuk meg az egyes elmozdulások értékeit. Ezzel a módszerrel – képkockáról képkockára haladva – kiszámíthatjuk a „pillanatnyi” szakaszsebességeket; ha a sebességek változnak, akkor a „pillanatnyi” gyorsulásokat.

A videofelvételes módszernél először a kamerát a sportpálya szemközti oldalán helyeztük el és onnan készítettük a videofelvételt. Már így is „jobb” eredményeket kaptunk, mint a stopperórás módszer esetében, de a távolságok „becslésével” nem voltunk teljesen megelégedve. Ezért a videós módszert „továbbfejlesztettük”. A kerékpár kormányára szereltünk egy mobiltelefont, amelynek kameráját lefelé irányítottunk. A távolságok pontosabb meghatározásához az aszfaltra 5 centiméterenként krétával jeleket rajzoltunk. A mobiltelefon kamerája másodpercenként 30 képkockát rögzített. A videofelvétel alapján 1/30 másodpercenként a krétajelek segítségével meghatároztuk (megbecsültük) kerékpár elmozdulásait.

Az adatokat a táblázatkezelő programba írtuk, kiszámoltuk az egyes időszakaszokhoz tartozó átlagos sebességeket és gyorsulásokat. A 3. ábrán az út-idő, a sebesség-idő és a gyorsulás-idő grafikonok láthatók.

A gyorsulás-idő grafikonon a mozgás első szakaszában végig pozitív gyorsulásokat kaptunk, amelyek átlaga $2,15 \text{ m/s}^2$; a középső szakaszon vegyesen láthatunk pozitív és negatív gyorsulásokat is, ezek átlaga $0,01 \text{ m/s}^2$; a fékezési szakaszon a gyorsulások végig negatív értékűek, az átlaguk $-2,98 \text{ m/s}^2$. Természetesen most is vannak ingadozások az egyes szakaszok gyorsulásainak értékeiben, de kisebbek, mint a stopperórás mérések esetében.

Idealizált mozgás vizsgálata

A videó elemzése alapján azt láttuk, hogy a kerékpáros mozgása 3 szakaszra bontható: álló helyzetből indulva 3,25 másodpercig majdnem egyenletesen gyorsít, ezután 3,25 s és 6,20 s között közelítőleg egyenletesen halad, majd 6,20 s és 8,52 s között nagyjából egyenletesen lassít, végül megáll.

A valódi mozgás során – természetesen – nem állandó az első szakaszon a kerékpáros gyorsulása, a középső szakaszon nem állandó a sebessége és a fékezésnél sem állandó a lassulása, de most ezt elhanyagoljuk, és idealizáljuk (leegyszerűsítjük) a test mozgását.

Nézzük először az idealizált számítást! A mozgás első szakasza $\Delta t_1 = 3,25 \text{ s}$ -ig tartott; a megtett út, $s_1 = 0,5 v_k \Delta t_1$, ahol v_k a kerékpáros sebessége a középső szakaszon. A mozgás második szakasza $\Delta t_2 = 2,95 \text{ s}$ -ig tartott; a megtett út, $s_2 = v_k \Delta t_2$. A fékezési szakasz $\Delta t_3 = 2,32 \text{ s}$ -ig tartott; a megtett út, $s_3 = 0,5 v_k \Delta t_3$. A teljes út, $s_{\text{össz}} = s_1 + s_2 + s_3 = 40 \text{ m}$; ez alapján azt kaptuk, hogy a középső szakaszon $v_k = 6,975 \text{ m/s}$ sebességgel haladt a kerékpár. Az első szakaszon a kerékpáros gyorsulása, $a_1 = \Delta v_1 / \Delta t_1 = 2,15 \text{ m/s}^2$; a fékezési szakaszon a gyorsulás, $a_3 = \Delta v_3 / \Delta t_3 = -3,01 \text{ m/s}^2$.

Láthatjuk, hogy az idealizált számítás és a videofelvétel elemzéséből a középső szakaszon nagyon hasonló sebességek jöttek ki. Érdemes a normál tanórán az idealizált mozgással foglalkozni, mert a valódi mozgások elég bonyolultak. A projektfeladat méréseivel viszont az volt a célunk, hogy *valódi* mozgásokkal kapcsolatban végezzünk *tényleges* méréseket.

Kerékpárcomputeres mérés

A következő ötlet szerint egy sebességmérő computert szereltünk a kerékpárra. Ez egy olyan sebességmérő eszköz, amely a kerék elfordulását méri, így határozza meg az adott kerületű kerék elmozdulását, beépített órája méri a mozgás idejét, és az eszköz automatikusan kiszámítja a kerékpár sebességét. (Fel-tételeztük, hogy a kerekek nem csúsznak meg a száraz aszfalton, azaz a kerékpár kerekei végig tisztán gördülnek.)

Az kerékpárcomputeren elsőként a kerék átmérőjét kellett beállítanunk. Az eszköz úgy működik, hogy egy kis mágneset kell az egyik küllőre szerelni, a kerék forgásakor a mágnes elhalad egy érzékelő előtt, ami-ben feszültséget indukál, majd ez a jel egy központi adatfeldolgozó egységbe kerül, ami tulajdonképpen egy „célszámítógép”; ez számítja ki a megtett távolságot. Az eszköz méri az eltelt időt, majd meghatározza az átlagsebességet, az aktuális („pillanatnyi”) sebességet, és a memóriájában elraktározza a maximális sebességet is. Ilyen kerékpárcomputerek léteznek vezetékes és vezeték nélküli kivitelben is, a legegyszerűb-bek ára néhány ezer forintról indul.

Kipróbáltunk több ilyen eszközt. Az átlagsebességet nagyjából helyesen mutatták, ha a teljes 40 méteres utat nézzük. Néhány méteres útszakaszokon viszont nem lehetett velük érdemi méréseket végezni. Ezen nem kell csodálkoznunk, hiszen például a 0,64 m átmérőjű kerék kerülete 2,01 méter, azaz ekkora távolságok megtétele után van egy-egy mágneses jeladás. Ez nagyjából annak felelt volna meg, ha a tanulók 2 méterenként sorakoztak volna fel az aszfalt-pálya oldalvonalánál és stopperal mérték volna az időt. (A kerékpárcomputer időmérése valószínűleg pontosabb, mint a tanulóké.) A legnagyobb gondot az jelentette, hogy a kerékpárcomputer adatait nem tudtuk a táblázatkezelő programba importálni, így az adatokkal nem tudtuk utólag számításokat végezni, például a gyorsulásokat nem tudtuk meghatározni.

Okostelefonos mérés

A tanulók következő ötlete az volt, hogy okostelefonnal határozzuk meg a sebességeket és gyorsulásokat. Az okostelefonokba beépített gyorsulásmérő szenzorokat használhatjuk a mozgó test (a telefon) gyorsulásának meghatározására [2]. A kerékpározó tanuló háttizsájába betettünk több különböző okostelefont, tehát ezek a mobiltelefonok együtt mozogtak a kerék-

párral. Arra gondoltunk, hogy a mozgás végén csak kivesszük a hátizsákból őket, majd megnézzük, hogy mit mutatnak.

Az okostelefonokban egy úgynevezett többtengelyű gyorsulásmérő szenzor (accelerometer) van beépítve. Azért szerelnek ilyen szenzorokat a készülékekbe, hogy azok érzékelné tudják a különböző mozgásokat. Például a telefon elforgatásakor automatikusan változik a képernyő tájolósi módja a fekvő és az álló képmegjelenítés között. Egy másik alkalmazási terület, amikor bizonyos okostelefonos játékoknál (például autóverseny, motorverseny) a készülék jobbra vagy balra döntésével lehet kormányozni a járművet a „versenypályán”.

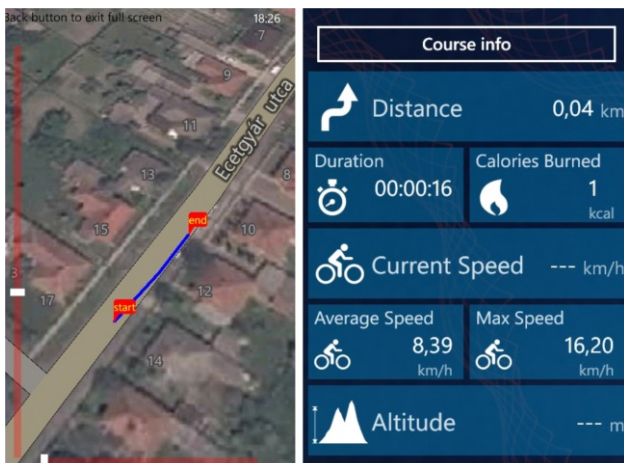
Az okosmobilhoz letölthetünk olyan ingyenes alkalmazást, amellyel a készülék gyorsulásmérő szenzorainak adatait elemezhetjük: például Sensor Kinetics alkalmazás az Android operációs rendszert használó telefonokhoz [3]. A Sensor Kinetics alkalmazás segítségével a telefon pillanatnyi gyorsulásait megjeleníthetjük a kijelzőn. Azonban a gyorsulásadatokat nem sikerült a számítógépre vinni, így ezzel a módszerrel kiértékelhető eredményt nem kaptunk.

Általánosságban elmondhatjuk, hogy az okosmobilokkal végzett mérések sok lehetőséget kínálnak a fizikaórákon. A telefonba épített különböző szenzorokat sokrétűen kihasználhatjuk: megbeszélhetjük a működési elvüket, konkrét méréseket végezhetünk velük, illetve összehasonlíthatjuk egymással a különböző készülékekben lévő szenzorok mérései adatait. Az okostelefon tehát jó kiegészítő eszköz lehet a fizika tanításában, tanulásában.

GPS-módszer

Egy újabb módszer volt a GPS (Global Positioning System = Globális Helymeghatározó Rendszer) felhasználásával történő mérés. Ez a rendszer a Föld körül keringő navigációs műholdaktól való távolsá-

4. ábra. Az okostelefonban lévő GPS segítségével meghatározhatjuk a kerékpáros által megtett távolságokat és sebességeket: a) GPS által rajzolt térkép; b) a mozgás jellemző paramétereit. (A felvétel RunMaster Cycle alkalmazással az utcán készítettük.)



gok alapján határozza meg a vevőkészülék helyzetét. A kerékpárra GPS navigációs eszközöket szerelünk. (A hagyományos GPS készülékek mellett az okostelefonok többségében is van beépített navigációs rendszer.)

Az iskola melletti kerékpárúton is végeztünk néhány mérést. A legtöbb tanuló androidos okostelefonnal rendelkezett, de néhány telefonján Windows Phone operációs rendszer futott. Természetesen ezeket is kipróbáltuk. A 4. ábrán egy utcai mérés adatai láthatók, amelyet Nokia Lumia 820 okosmobillal és RunMaster Cycle [5] alkalmazással készítettünk. Ezzel az alkalmazással távolságokat és sebességeket mérhetünk, a gyorsulásokat nem jelzi ki. Az alkalmazás az okostelefonba épített GPS vevőkészülék adatai alapján számol.

A sebességek meghatározásában a hagyományos GPS-es navigációs eszközök egy része még a kerékpárcomputernél is pontatlanabban mért. Ennek oka valószínűleg az lehet, hogy a kisebb távolság miatt ezek a készülékek a megtett utat nem tudták pontosan meghatározni. (Esetleg az is előfordulhatott, hogy az udvaron végzett méréseknél az iskola épületei néha leárnyékolták valamelyik műhold jelét a kerékpár mozgásakor.)

Közúti közlekedés esetén a GPS segítségével kényelmesen és viszonylag pontosan meghatározhatjuk egy nem túl lassan és nem is túlzottan nagy sebességgel haladó test (jármű) mozgását. A közutakon tehát általában jól használhatjuk a GPS-t, de az iskolaudvaron végzett „finomabb” mérésekhez nem minden esetben felelt meg ez a módszer.

Az eredmények összehasonlítása

Összehasonlítottuk az egyes mérési módszerek és eszközök pontosságát. Ezt úgy végeztük, hogy a kerékpáros előre lemért útvonalon haladt, több GPS-es sportórát is viselt, a kerékpárra több GPS navigációs eszközt és kerékpárcomputert is rögzítettünk (5. ábra). A többi

5. ábra. A kerékpárra különböző mérőeszközöket szereltünk (kerékpárcomputer, okostelefon, GPS), hogy a megtett távolságokat és a sebességeket összehasonlíthassuk.



tanuló stopperórákkal mérte a szakaszok megtételéhez szükséges időket, és még videót is készítettünk a kerékpár mozgásáról, amit utólag elemeztünk.

A gyorsulások értékeit a stopperórás mérésből, illetve a videofelvétel elemzéséből tudtuk utólag meghatározni.

A sebességek meghatározásában a videofelvételek utólagos elemzéséből lehetett a legpontosabb értékeket megkapni. A kamera együtt mozgott a kerékpárral, az elmozdulásokat körülbelül centiméteres pontossággal tudtuk becsülni. A stopperórás módszer is megfelelő lehet, ha elég sűrűn helyezkednek el és elég pontosan tudnak mérni a megfigyelők. A kerékpárcomputerrel csak az átlagsebességet tudtuk nagyjából pontosan meghatározni. A GPS-es sportórák kicsit pontatlanabbak voltak az átlagsebesség meghatározásában.

A kipróbált okosmobil-alkalmazások sem bizonyultak mindig elég pontosnak. Természetesen ez nem egy reprezentatív vizsgálat volt, hiszen csak néhány különböző okosmobilt próbáltunk ki. Biztosan vannak pontosabban mérő okostelefon-alkalmazások is. (Ezt egy későbbi tesztben szeretnénk részletesebben is megvizsgálni.)

Összegzés

Az iskolánk tanulóival egy egyszerű, hétköznapi fizikai problémát vizsgáltunk meg projektfeladatban. A tanulók feladata egy kerékpáros sebességének és gyorsulásának meghatározása volt, mérés segítségével. A tanulók a feladat során mérési módszereket „találtak ki”, gyakorolták a mérési eredmények megadását, a statisztikai eredmények kiszámítását.

A projektfeladat remek lehetőséget kínált arra, hogy – a hagyományos tanóráktól eltérő módon – együtt gyakoroljuk a mérést, az adatelemzést és a számításokat.

Irodalom

1. Teiermayer A.: Kísérletek, fényképek és videofelvételek alkalmazása a fizikaoktatásban. *A fizika, matematika és művészet találkozása az oktatásban, kutatásban*. Szerk.: Juhász András és Tél Tamás. ELTE Konferencia-kiadvány, Budapest (2013) 285–290.
2. Medvegy T.: Okostelefonok a fizikaoktatásban. *Fizikai Szemle* 64/3 (2014) 97–102.
3. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.innoventions.sensorkinetics&hl=hu>
4. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.innoventions.sensorkineticspro>
5. <http://www.windowsphone.com/hu-hu/store/app/runmaster-cycle/7117725d-c6d2-4938-9a5e-e7a37ea4100d>

SZÁMÍTÓGÉPPEL SEGÍTETT MÉRÉSEK A FIZIKA TANÍTÁSÁBAN – myDAQ és LabView segítségével

Gyermán György
Szent József Gimnázium, Szakközépiskola
és Kollégium, Debrecen

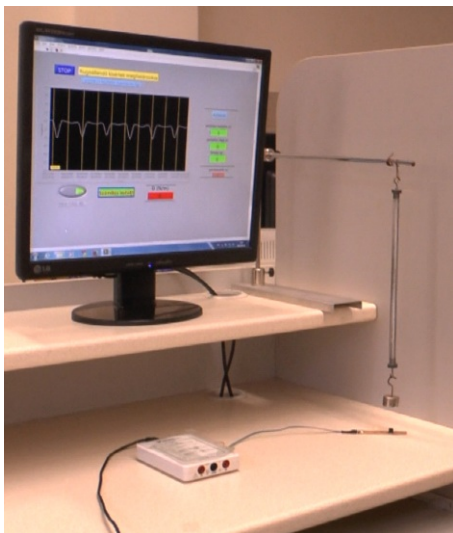
Ismert tény, hogy az általános és középiskolás diákok számítógép nélkül már nem tudják elképzelni életüket, valamint nagy részük kevésbé szereti a természettudományos tantárgyakat, köztük a fizikát. A diákok többsége most is rendelkezik a természettudományos tantárgyak tanulásának alapjával, a kíváncsisággal, azonban annak kielégítésére csupán az elődei által használt idő töredékét szánja. E probléma megoldásához vezethet a számítógépek alkalmazása a fizika tanításában.

Az elmúlt mintegy 10 esztendőben általános lett a számítógép alkalmazása fizikaórákon. Szinte minden tanár használja a számítógépet és a hozzá kapcsolt projektort képek, filmek egész tanteremben jól látható méretű vetítésére. Már kevesebb az az iskola, ahol a fizika tanítását interaktív tábla is segíti, és még kevesebb, ahol az előadói asztalon „kis méretben” végrehajtott kísérletet webkamerával vetíti ki a fizikatanár.

A fizikai megismerés elkerülhetetlen mérések, adatrögzítések, majd azok elemzése nélkül. A hagyományos módon történő mérések (mérjük hússzor, majd számoljunk átlagot) esetében a mai fiataloknál az első mérések lendülete átvált az „ezt már unom” kategóriába. E problémára kínálhat megoldást a számítógép méréseknél történő alkalmazása. A National Instru-

ments által megalkotott grafikus programozási nyelv (LabView) könnyen tanulható és a cég által készített myDAQ eszközzel nagyon sok mérésben segíthet. A programozási nyelv legújabb verziója mindig ingyen letölthető a cég honlapjáról és adott ideig használható, míg a neten magyar nyelven sok segítséget találhatunk az elsajátításához. Számítógéphez szokott tanítványaink önmaguktól is szívesen és gyorsan tanulják ezt a programozási nyelvet. Micsoda élmény tanítványainkkal együtt kifejleszteni olyan felhasználóbarát alkalmazásokat, amelyekkel fizikai méréseket végezhetünk, és amelyekkel a kísérleteket sokan, sokfelé, sokszor végezhetik el! Az ilyen szoftverek készítésére az NI pályázatokat ír ki. Az elmúlt tanévben fizikatanároknak, ebben a tanévben pedig olyan fizikatanároknak, akik tanítványaikkal együtt dolgoznak (<http://sukjaro.eu/ELFT-NI-palyazat/NI-palyazat.htm>).

Amennyiben szert tettünk egy ilyen szoftverre és eszközre, a lehetőségeink szinte határtalanok, és a kiegészítő eszközök csupán néhány 100 Ft-ba kerülnek. A szoftverek készítésénél nem szabad abba a hibába esnünk, hogy „csupán egy gombnyomás, és már meg is van az eredmény”, mert ez nem vezet a fizika könnyebb tanulásához. Minden szoftver mű-



1. ábra. Mérésösszeállítás a rugóállandó meghatározásához.

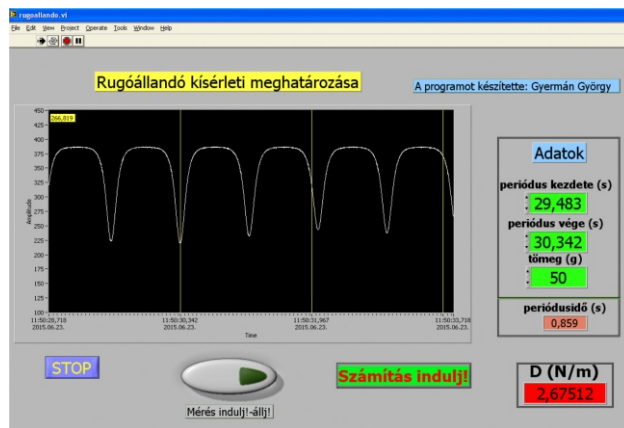
ködtetését a szenzor működésének vizsgálatával, majd a kapott jelek elemzésével érdemes kezdeni. A gép csupán adatgyűjtő, grafikonszító és számolókat elvégző eszköz kell legyen. Gyorsan, sokat (akár 1000 mérés/s) mér, azonban a számoláshoz szükséges adatok megállapításánál a tanuló megfigyelései, gondolatai szükségesek.

A számítógépes mérésekkel kapcsolatosan csak pozitív tapasztalataim vannak. Örömmel tölt el, hogy több tanítványom kezdett elmélyülni a LabView nyelv rejtelmeiben, és a programozás mellett a fizikát is szívesebben és intenzívebben tanulja.

Érzékeltetésül itt a CNY70 reflexiós optikai érzékelő (<http://www.vishay.com/docs/83751/cny70.pdf>) és egy közönséges mikrofon alkalmazására mutatok példákat. Mindkettő rendkívül könnyen csatlakoztatható a myDAQ eszközhöz, és egyszerű beállítások után már mérhetünk is velük. Működési elvüket megérthetjük, bekötésüket és beállításukat magunk is könnyen elvégezhetjük, és működésre bírhatjuk a http://download.ni.com/pub/branches/ee/2014/academic/vizi_tibor_a_vilagot_meg_is_merheted.pdf helyről ingyen letölthető segédlet segítségével.

Rugóállandó meghatározása

Klasszikus tanórai, laborgyakorlati és érettségi feladat rugóra függesztett rezgő test rezgésidőjének méréséből a rugóállandó meghatározása. A mérés legnagyobb hibaforrása az ember, aki a rezgésidőt többnyire stopperórával határozza meg. A LabView-ban írt szoftver nagy mértékben kiküszöböli ezt a „hibaforrást”. A fényképen (1. ábra) látható elrendezésben a rezgő test alá egy CNY70 reflexiós fényerősség-érzékelő van helyezve, amely a rezgő testről visszaverődő fény erősségét érzékeli. Az általa vett jeleket myDAQ segítségével alakítottam át a számítógép által is értelmezhetővé és jelenítettem meg egy grafikus kijelzőn. A kijelzőn látható grafikon (2. ábra) egyértelműen mutatja a mozgás periodikusságát. A tanuló (vizsgáló) a



2. ábra. A LabView kijelzője a rugóállandó meghatározásakor.

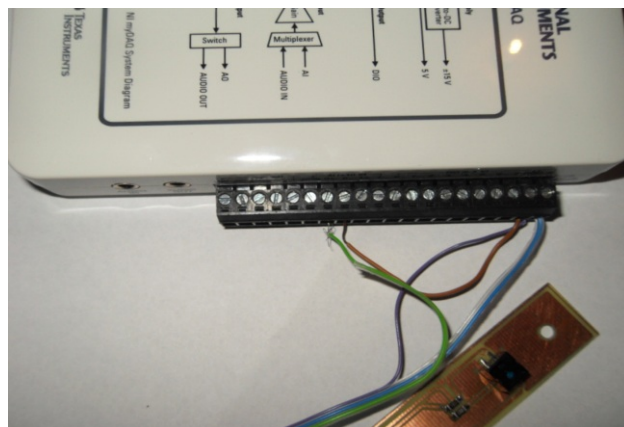
rezgést és a kapott jeleket figyelembe véve felismeri a kettő közti kapcsolatot. A szoftverben az „Adatok” mezőt kitölti, majd a „Számítás indulj!” gombra kattint és a számítógép meghatározza a rugóállandót. (A vizsgán természetesen ismernie kell a rezgésidő, rugóállandó és tömeg kapcsolatát is.) A periódus kezdete és vége adatokat a grafikonon (2. ábra) látható függőleges vonalat alul megfogva a periódus kezdetére, majd végére húzva 3 tizedesjegy pontossággal leolvashatja. A programot a „STOP” gombbal lehet leállítani.

A méréshez szükséges eszközök: Bunsen-állvány, rugó, test, myDAQ, CNY70 érzékelő és a LabView szoftver.

A g nehézségi gyorsulás meghatározása fonálingával

A gravitációs gyorsulás mérése a tanárok és a diákok kedvencei közé tartozik. Leggyakrabban fonálinga segítségével, a lengésidő és a fonal hosszának mérésével, a megfelelő összefüggést alkalmazva határozzák meg. A stopperórával történő időmérés okozza a legnagyobb hibaforrást. A LabView-ban írt szoftvert, a myDAQ eszközt és a CNY70-es reflexiós optikai érzékelőt alkalmazva a mérési hiba csökkenthető, valamint a tanulók közelebb kerülnek a számítógéphez,

3. ábra. A CNY70-es reflexiós optikai érzékelő bekötése a myDAQ-ba.





4. ábra. A LabView kijelzője a nehézségi gyorsulás fonálingás meghatározásakor.

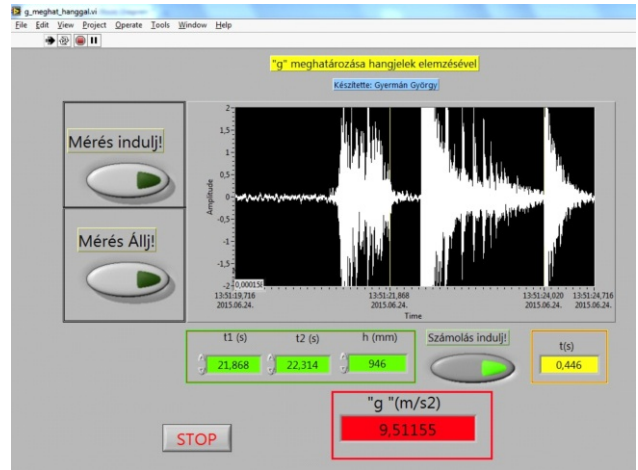
mint mérőeszközhöz. Mérés közben a grafikus kijelzőn kapott jelet elemezve megismerhetik az optikai érzékelő alkalmazhatóságát.

A mérési elrendezés a „szokásos” fonálingás. Az inga alá kell elhelyezni közel a lengő testhez az optikai érzékelőt a myDAQ-ba a képen látható módon bekötve (3. ábra). A szoftver alkalmazása – egyszerűsége és egyértelműsége miatt – a tanulóknak nem jelent gondot (4. ábra). A mérés a „Mérés indulj! – Állj!” gombbal indul, majd néhány periódus után ugyanezzel a gombbal állítható le. A két egymást követő jelcsúcs ideje – a függőleges vonalat alul megfogva és a csúcra húzva – három tizedesjegy pontossággal leolvasható. A tanulóknak tudnia kell, hogy a szomszédos jelcsúcsok között csupán egy fél periódus van. A fonál hosszát, valamint a szomszédos jelcsúcsok idejét az adatmezőkbe beírva, majd a „Számítás indulj!” gombra kattintva a gravitációs gyorsulás értéke a jobb oldali mezőben látható. A tanulóknak természetesen ismerniük kell a fonálinga lengésideje, a fonál hossza és a gravitációs gyorsulás közötti kapcsolatot.

A méréshez szükséges eszközök: cérna, mérőszalag, test, állvány, CNY70 reflexiós optikai érzékelő, myDAQ és LabView szoftver.

A g nehézségi gyorsulás meghatározása vízszintes hajításból

A gravitációs gyorsulás meghatározása egy asztalon guruló, majd onnan lerepülő golyó repülési idejének mérésével az emelt szintű érettségi vizsga kísérletbankjában található. Ez az idő stopperrel csak rendkívül nagy hibával lenne mérhető. Az idő meghatározása az érettségi vizsgán egy ingyenes hangrögzítő és elemző szoftver segítségével történik. Az általam írt szoftver segítségével a mérésnél a repülési időt szintén hangelemzésből állapíthatjuk meg. A hangot az asztalon guruló, majd a földön koppanó golyó adja, amelyet a myDAQ eszköz audio inputjára csatlakoztatott mikrofon vesz, a myDAQ átalakít és ez a LabView-ban írt szoftverrel egy grafikus kijelzőn megjeleníthető. A kapott ábra jól mutatja, hogy a golyó mikor



5. ábra. A LabView kijelzője a nehézségi gyorsulás ejtőkísérletes meghatározásakor.

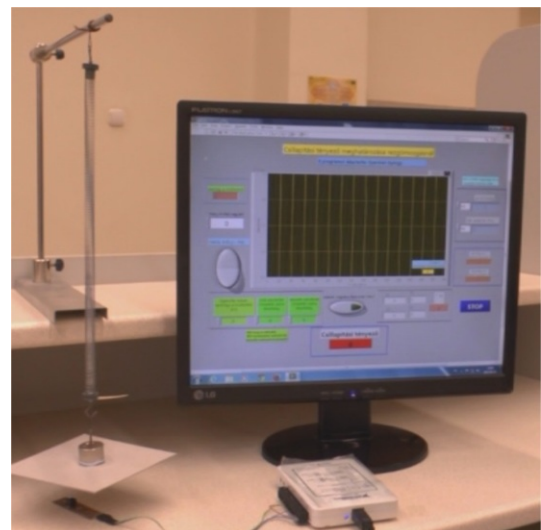
gurult az asztalon, volt a levegőben és koppant a földön. A repülési idő itt a „hangszünet” időtartama, amelynek kezdetét és végét (a függőleges vonalat alul megfogva és az aktuális helyre húzva az idő három tizedesjegy pontossággal leolvasható) az egyszerűen kezelhető szoftver (5. ábra) „t1 (s)” és „t2 (s)” mezőjébe kell beírni az asztal magasságával együtt. A „Számolás indulj!” gombra kattintva a jobb oldali mezőben a repülési (esési) idő, az alsó-középső mezőben a gravitációs gyorsulás mért értéke látható. A vizsgán az esési idő, a magasság és a „g” közti kapcsolatot a tanulóknak ismertetnie kell.

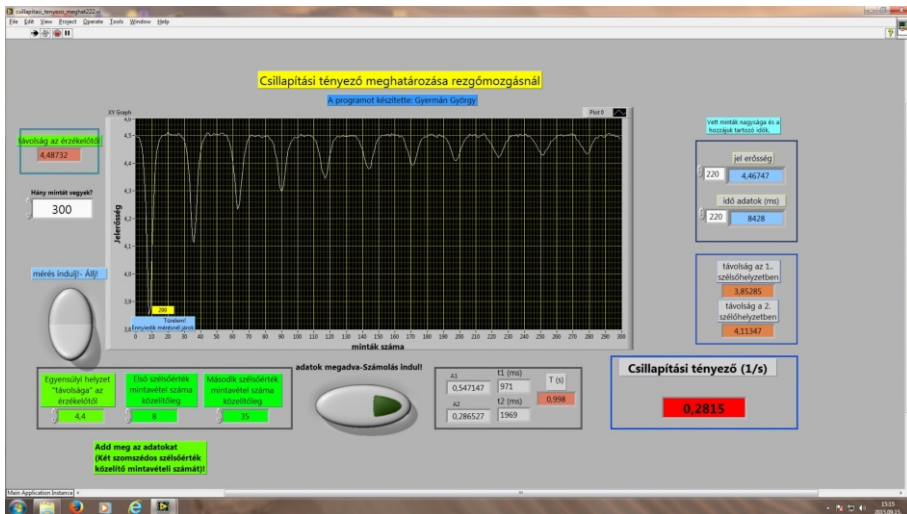
A méréshez szükséges eszközök: mérőszalag, golyó (például billiárdgolyó), mikrofon, myDAQ és LabView szoftver.

Csillapítási tényező meghatározása

A csillapodó rezgőmozgás kvantitatív leírásával csupán az emelt szintű érettségire vagy versenyekre készülő tanulók foglalkoznak. A csillapítás „erősségét”

6. ábra. Mérésösszeállítás a csillapítási tényező meghatározásához.





7. ábra. A LabView kijelzője a csillapítási tényező meghatározásakor.

jellemző csillapítási tényező mérésel történő meghatározása ezért csupán csak a legjobbak feladata lehet. Az amplitúdó időbeli változását klasszikus eszközökkel nem egyszerű úgy vizsgálni, hogy a mért adatokból a csillapítási tényezőt meghatározhassuk. A csillapítási tényező meghatározását segíti az általam LabView programozási nyelven készített szoftver. A rezgőmozgást végző test alá egy papírlapot ragasztva a felület erősen megnövelhető, látványosabbá téve a csillapítást.

A test alá egy myDAQ eszközhöz csatlakoztatott CNY70-es optikai reflexió-szenzort helyezve (6. ábra) a kitéréssel arányos jelek a szoftverben (7. ábra) egy grafikus kijelzőn láthatók. (A tanulók – kreativitásukat kihasználva és a mérést továbbfejlesztve – az optikai érzékelőt egy drágább távolság-érzékelő szenzorra cserélve a tankönyvükben látható jelet kaphatják.)

A mérés a LabView-ban szokásos futtatás gombbal indul, majd az egyensúlyi helyzetben lévő testről kapott jelet – az egyensúlyi helyzet „távolságát” – érzékeli a szenzor. Az egyensúlyi helyzet bemérése kapcsolóra kattintva ezt az adatot a program megjegyzi. Ezután beállítható, hogy hány mintát vegyen a gép. A mintavétel a „mérés indulj!” feliratú gombbal indul. Amíg a gép a mintákat veszi, a grafikus kijelző aljában, a világos mezőben nyomon követhetjük a mintavétel számát. A mintavételek után megjelenik a jelerősség-mintaszám grafikon, amely

már elemezhető. A két szomszédos amplitúdó megközelítő mintavétel számát a grafikonról leolvashatjuk, és a bal oldali adatmezőbe beírhatjuk. Ezután a számolást az „adatok megadva – Számolás indul!” gombra kattintva a számítógép elvégzi és a csillapítási tényezőt a képernyő jobb alján látható mezőbe kiírja. Az amplitúdó megközelítő mintaszámának 10 mintaszámú környezetében a szoftver megkeresi a tényleges amplitúdókat (minimumok) és a hozzájuk tartozó időket, majd azokból periódusidőt és csillapítási tényezőt számol. A szoftver segítségével meghatározható a tetszőleges mintaszámhoz tartozó amplitúdó és idő is, amellyel digitálisan is „követhető” az amplitúdó időbeli változása. A testre különböző területű lapokat ragasztva vizsgálható a csillapítási tényező felületfüggése.

A méréshez szükséges eszközök: Bunsen-állvány, rugó, test, papírlap, ragacs, myDAQ, CNY70 érzékelő és a LabView szoftver.

NEM CSAK A ZSELICBEN POMPÁZIK CSILLAGFÉNYBEN AZ ÉJSZAKAI ÉGBOLT

– szekszárdi diákcsoport fényszennyezésmérései

Döményné Ságodi Ibolya
Garay János Gimnázium, Szekszárd

„A csillagos ég az egész emberiség öröksége, amit ezért érintetlenül meg kell őrizni. ... A csillagos ég kapjon legalább annyi védelmet, mint amennyit a világörökség részét képező helyek kaptak a Földön.” A Nemzetközi Csillagászati Unió XIII. közgyűlésének (1997) egyik állásfoglalása.

Motiváció

A Zselici Tájvédelmi Körzet 2009. november 16-án Európában elsőként elnyerte a *Nemzetközi Csillagoségbolt-park* (International Dark Sky Park) minősítést. A címet a Nemzetközi Csillagoségbolt Szövet-

ség alapította annak felismerése nyomán, hogy a Földön egyre kevesebb helyről élvezhetjük teljes pompájában a csillagos égbolt szépségét. Száz éve még minden gyermek természetes tapasztalatként érzékelte a Tejutat, a hullócsillagokat és a csillagképeket, ezekre a tapasztalatokra azonban ma már

csak a „fényszennyezésmentes” tájakra szervezett túrákon tehetünk szert.

Néhány lelkes diákkal azt kívántuk megvizsgálni és mérésekkel objektíven alátámasztani, hogy vajon gimnáziumunk, a szekszárdi Garay János Gimnázium környékén, Tolna megye területén vannak-e a zselic-hez hasonló szépségű égboltot mutató tájak. A munkát segítette, hogy gimnáziumunkban több éve sikeresen pályázunk az *Útravaló Ösztöndíjprogram Út a tudományhoz* alprogramjának keretében megvalósítható mikrokatatásokra és az ezekhez szükséges anyagi támogatásra. Legutóbbi kutatási programunk keretében (*Fényképezés asztrofotós mechanikával*), egy jó minőségű asztrofotós állványhoz (EQ-6) jutottunk, amelynek segítségével különféle égi objektumokról magasabb esztétikai igényű és tudományos értékű fotókat készíthettünk. A részletűs képek előállításához sötét égboltú helyeket kellett keresnünk, ugyanis minél jobb minőségű az ég, annál hosszabb expozíciós idejű felvételeket lehet készíteni és annál több részlet jön elő a képen. Égi háttérfényesség-méréseinket ilyen helyek felderítése céljából kezdtük el. A következőkben ezen mérések fizikai háttéréről, a mérések mikéntjéről és fizikatanításbeli motivációs hatásáról számolunk be.

Bevezetés

A környezetszennyezés fogalomkörébe ma már beletartozik a fényszennyezés is, azonban jelentéstartalma különbözik a többi szennyező hatásokétól. Először a szokásosan használt fogalmakat érdemes felidézni.

Szennyezésről a környezetvédelemben akkor beszélünk, ha valamilyen káros anyag mennyisége meghaladja az előre rögzített határértéket. A fény esetében ez a meghatározás két okból is nehezen alkalmazható, egyrészt, mert a fény nem káros anyag, másrészt, mert nem létezik előre rögzített küszöbérték, amelynek meghaladását figyelembe kellene venni. Így ebben az esetben csupán fényterhelésről beszélhetünk.

A fényszennyezés összetevőiként a következők szerepelnek: napnyugta utáni fény, mesterséges fényforrásból származó fény, valamint a zavaró fény, ami a fényforrás fényének azon része, amely nem a rendeltetésének megfelelő célt szolgál, a megvilágítandó felületen kívül esik (például a szórt fény is ilyen). A nemzetközi gyakorlatban a fényszennyezés többféle meghatározása létezik és a figyelembe vett hatások is szerteágazók.

Az Európai Unióban a fényszennyezés a zavaró fény és a mesterséges fény környezetre gyakorolt káros hatásainak összege. Kanadában a káprázás, a világítási túlkapás és az égbolt fénylésének összességét tekintik fényszennyezésnek. Káprázásnak nevezük a fényűrűség szokatlan eloszlásának vagy szokatlan értékének, illetve a térben vagy időben fellépő igen erős kontraszt következtében fellépő látási kényelmetlenséget és/vagy a tárgyak felismerhetőségének csökkenését. A világítástechnikában a rosszul

irányított fényt világítási túlkapásnak mondják. Fénynyel birtokháborítás is elkövethető, ha más épületére, ingatlanára esik a nemkívánatos fény, és ott káprázást vagy egyéb kellemetlenséget okoz (például zavarja a pihenést). Csehországban a következő meghatározást használják: fényszennyezés az olyan mesterséges fényforrásokból származó fény, amely kívül kerül azon a területen, amelyre szánták, különös tekintettel az olyan fényre, amely a horizont felé vagy feljebb irányul. Hazánkban a csehországihoz hasonló törvényt használunk a következő kiegészítéssel: fényszennyezésnek tekinthető az a megvilágítás is, amely az adott feladathoz szükséges világítási értékeket többszörösen meghaladja [1].

A káros hatások következményeit alapul véve megkülönböztethetünk ökológiai és asztronómiai fényszennyezést. Nem kis probléma, ha a csillagászok kutatómunkáját zavarja a túl sok fény, de úgy gondoljuk, hogy ezt minden bizonnyal meghaladja az alábbiakban néhány példán bemutatott, a fényszennyezés által a biológiai környezetre gyakorolt veszélyeztető hatás. A mesterséges fény által az élővilágra kifejtett káros hatások összességét ökológiai fényszennyezésnek nevezzük, míg az asztronómiai fényszennyezés az égbolt felé irányuló fényugarak égítetek láthatóságát csökkentő hatását értjük.

A fényszennyezés ökológiai hatása

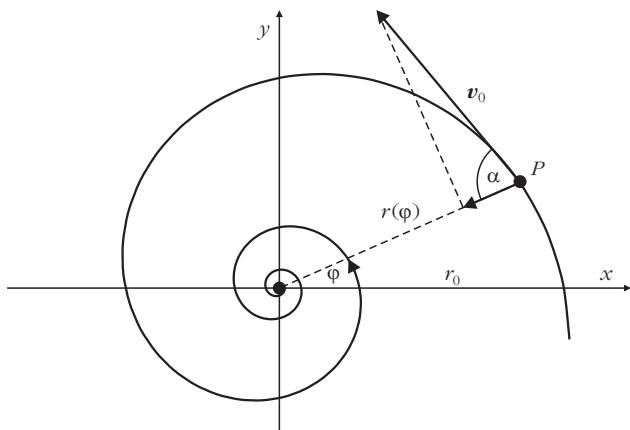
A természetes fény helyzetét vagy változásának ritmusát megzavaró mesterséges fények sok bajt okozhatnak a fény szerint időben és térben tájékozódó állatok életében. A következőkben ezekből gyűjtöttünk össze néhányat.

A vándormadarak éjszaka a csillagok alapján tájékozódnak, a nagy háttérfényesség miatt azonban a csillagok gyakran nem jól látszanak, illetve a madarak a horizont közelében lévő erős mesterséges fényeket is csillagoknak nézhetik, így eltévedhetnek. Gyakran bekövetkezik az is, hogy erősen megvilágított terület fölé érve, úgy érzékelik, mintha nappal lenne és leszállnak, viszont táplálékot nem találnak a területen, így a kimerültségtől nem tudnak továbbrepülni [2].

A sötét környezethez képest a mesterséges éjszakai fények meglepően nagy intenzitásúak, ezért vonzzák vagy taszítják az állatokat. Ezt a jelenséget nevezzük *pozitív* vagy *negatív fototaxisnak*. Nagy veszélyt jelentenek a madarak számára a kivilágított toronyházak, vagy tengerparti országok esetén a világítótoronyok. A környezetvédelmi szakirodalomban gyakran olvasható, hogy sok madár pusztul el, mert nekiröppül ezen objektumoknak.

A vonzás, azaz a csapdahatás különösen a rovarokra veszélyes, mert sok rovarfaj mozgását a Hold helyzetéhez viszonyítva irányítja. Tapasztalati tény, hogy az éjjel repülő rovarok vonzódnak a mesterséges fényhez. Mi az oka, hogy ezek a rovarok a fényre repülnek? A *Bud-denbrook* fényiránytű-elmélet (1937) szerint a rovarok éjszakai tájékozódásukhoz fényforrásokat használnak.





1. ábra. A logaritmus spirálpálya.

A rovarok azért kerülnek csapdahelyzetbe, mert a mesterséges fényt összetévesztik a holdfényvel.

Az éjszakai rovarok a Holdhoz állandó szögben repülve tartják az egyenes irányt. Az égitest a rovarok számára „végtelen” távoli, így a róla érkező párhuzamos fénysugarakkal állandó szöget bezáró repülési pálya egyenes vonal. Ha a rovar a Holdat valamilyen földi mesterséges fényforrással helyettesíti, akkor a fényforráshoz húzott sugárhoz képest tartja állandó szögben repülését és így letér az egyenes pályáról, spirális mozgást végez és egyre szűkülő keringéssel a lámpatestre zuhan és elpusztul. Belátható, hogy ilyenkor a rovarok pályája logaritmus spirál. A pálya alakjának pontos leírása középiskolai matematikával nem lehetséges, számítógéppel azonban kirajzolható. Néhány egyszerű kérdés azonban pusztán kinematikai ismeretekre támaszkodva is megválaszolható, és jobb tanulócsoportokban motiváló erejű lehet a sebesség vektorjellegének tartalmi megismerésére. Középiskolában érdemes a következő feladatot tehetség-gondozó oktatási formában (például fizika fakultáción vagy szakkörön) megoldani.

Egy rovar v sebességgel és a Hold irányához képest α szögben repül, majd az utcai lámpától r távolságban a Holdat a lámpával helyettesíti. Mennyi idő alatt repül a lámpába, és mekkora utat tesz meg ezalatt?

Készítsünk ábrát a feladat szemléltetésére: modelünkben a lámpa az origóban van, a rovar helyét a P pont szimbolizálja (1. ábra).

Az állandó nagyságú v sebességgel haladó repülő rovar lámpa irányába eső sebességkomponense állandó: $v_l = v \cos \alpha$. Így a rovar a lámpához

$$t = \frac{r}{v \cos \alpha}$$

idő alatt jut el. Ezalatt

$$s = vt = v \frac{r}{v \cos \alpha} = \frac{r}{\cos \alpha}$$

utat tesz meg. A feladat megoldása látszólag egyszerű, azonban fogalmilag nagyon nehéz. A tanulók számára gondot okoz, hogy a görbevonalú pályán mozgó test adott pont felé történő állandó sebességű mozgását megértsék.

Taszító hatás (*negatív fototaxis*) is érvényesülhet bizonyos állatfajoknál, például madaraknál. Ezek a madarak – ha tehetik – a fénytől távolabbi helyet választanak fészkelő helyül, ezáltal életterük csökken és esetleg távolabb kerülnek a táplálékszerző területtől, így fiókáikat több fáradtsággal tudják felnevelni.

A mesterséges fények megzavarhatják bizonyos fajok egyedeinek egymás közötti kommunikációját. Ez közismert tény a szentjánosbogarak esetében. Még veszélyesebb, ha a zavaró hatás ivar szerint is szeparál. A mesterséges fény az egyedeket eltéríti szaporodó partnerüktől, természetes élő- és táplálkozási helyüktől. Amikor fénycsapdába kerülve nagy tömegben keringenek a fényforrás körül, megjelennek a velük táplálkozó madarak és egyéb állatok. Belgiumban a kivilágított autópálya – tapasztalat szerint – nemcsak a rovarokat, hanem a rájuk vadászó ragadozókat is veszélyezteti.

A tengeri teknősök szaporodását is megzavarja a túlzott tengerparti kivilágítás, ugyanis a kikelő egyedek nem a megszokott módon, a tenger által visszavert holdfényhez tájolóják mozgásukat, nem a tenger irányába, hanem a fényben úszó tengerparti szórakozóhelyek felé indulnak el, és így elpusztulnak.

Az állatvilág egyedei két dologhoz igazítják életritmusukat: a napszakok váltakozásához, ezt nevezzük cirkadiális ritmusnak, valamint az évszakok váltakozásához, ez pedig a cirkannuális ritmus. Az állatok a túlzott kivilágítás miatt a nappalokat hosszabbnak, az éjszakákat rövidebbnek érzékelik. Ennek következtében a nappal aktív fajok még a késő esti órákban is táplálékot keresnek, pihenőidejük lerövidül, ami legyengülésükhöz vezethet. Például a vörösbegy – amely normál körülmények között csak alkonyatkor dalol – a nagyvárosokban egész éjjel énekel [1].

Az állatok az esztendő körforgását elsősorban a nappalok és éjszakák hosszának változásából érzékelik, ezt a fajok által érzékelt időtartamot változtatja meg a túlzott mesterséges világítás, és így másként érzékelik az évszakokat. A városi fényben élő, nem költöző madarak például a megszokott időnél korábban, hűvösebb időben költenek, ezért fiókáik nagyobb arányban pusztulnak el, mint a sötétebb területeken előké.

A fényszennyezés asztronómiai hatása

Szóltunk már a zavartalan csillagos ég szépségéről. Fényszennyezésmentes helyről, szabad szemmel az átlagos ember akár 3000 csillagot is megfigyelhet, ezzel szemben a nagyvárosok felett már csak a legfényesebb égitestek láthatók. A csillagok „eltűnnek” a városi égről, nem is beszélve a láthatatlan Tejútról. Nagyon sok városi gyermek úgy nő fel, hogy sohasem látja a Tejutat.

A fényszennyezés megkeseríti a hivatásos és amatőr csillagászok életét is. Magyarországon nagyon nehéz kellően sötét egű észlelőhelyet találni. A nagyvárosok kivilágításának következményeként

fénykupola jelenik meg a horizonton, amely akár száz kilométerről is látható. Ezért egyre távolabb kell utaznia annak, aki meg akarja tapasztalni a csillagos ég szépségét. Egyaránt zavaró tényező a fény és a légszennyezés, mert a légkör aeroszoltartalma (0,1-1 μm méretű részecskék) csak kis mértékben nyeli el a fényt, inkább a fény szórása jellemző rá. A Pizskéstetői Observatórium a Mátrában található, amely hazánk legmagasabb hegysége, a fény- és légszennyezés azonban itt is érezteti hatását, csökkenti a megfigyelések pontosságát. Az aeroszolrészecskék lebegése következtében nemcsak a kozmikus fényforrások váltak halványabbakká, hanem jelentősen megnőtt az égbolt háttérfényessége is, amely a halványabb objektumok fényképezését nagymértékben zavarja [3].

A fényszennyezés hatása a hétköznapi életre

A túlzott világítás közvetlen hatásai közül két tényezőt kell megemlítenünk: a káprázást és az emberek pihenésének megzavarását. Mindenki ismeri a jelenséget: erős fényforrásba nézve negatív utóképet látunk, ez a káprázás, amely például gépjárművezetés-kor igen veszélyes. Káprázást okozhat egy szembe jövő autó reflektora, a még vagy már eléggé fényes lenyugvó, illetve kelő Nap... stb. A túl sok éjszakai fény felborítja bioritmusunkat, hosszú távon akár rosszindulatú daganatok kialakulásának kockázatát is növelheti. Az éjszakai zavaró fény ugyanis gátolja a tobozmirigy melatonin hormonjának – éjszakai pihenés-kori – termelődését. Ez a hormon antioxidáns hatása miatt gátolja a rákos sejtek képződését. A mellrák gyakorisága harmada-ötöde az éjszaka megvilágítatlan országokban, mint az iparilag fejlett, azaz éjszaka is erősen kivilágított vidékeken. (Statisztikákból az is kiderül, hogy vak embereknél kisebb a mellrák aránya, mint a látóknál.) Ismeretes, hogy a három műszak sem kedvez az egészségnek: a folyamatos műszakban dolgozók jóval nagyobb arányban szenvednek mell-, illetve bélrákban, mint a csak nappal foglalkoztatottak. Ezért a WHO 2007-ben lehetséges rákkeltővé minősítette a váltóműszakot is [4].

Az egyre jobb anyagi helyzet és az egyre olcsóbban előállítható fény az egyes embereket is arra készteti, hogy nem törődve a természettel és esetlegesen a szomszédban lakókkal sem, saját ingatlanuk határán túlnyúló fényáradattal világítsák ki környezetüket. Ez a világítási túlkapás különösen télen, a karácsonyi ünnepek előtt és után figyelhető meg.

A fizikai hatások mellett súlyosak a mentálisak is, *Konrad Lorentz* a következőkre mutatott rá: „A természettől való általános, egyre fokozódó elidegenedés nagymértékben okolható a civilizált emberiség esztétikai és etikai eldurvulásáért. A felnövekvő generáció hogyan is tanulna meg a természet tiszteletét, ha maga körül csak emberkéz alkotta környezetet talál...? A nagyvárosokban még a csillagos eget is elrejtik előle a toronyházak és a lég(fény)szennyezés...” [5].

A tájkép sérülése és energiapazarlás

A táj az ember által érzékelt terület. A csillagos égbolt hozzátartozik az esti panorámához, a táj képéhez, kötelességünk olyan állapotban megőrizni, ahogyan elődeink is látták. „A nagyvárosokban, azok környékén, vagy az iparvidékeken élő milliók számára ismeretlen az éjszakai sötét ég látványa.”¹ Magyarország lakosságának körülbelül 40%-a még tiszta időben sem láthatja a Tejutat, feléne pedig olyan az éjszakai égboltja, hogy nagyobb a háttérfényessége, mint egy teleholdas éjszakáé [6].

A felesleges megvilágításhoz szükséges energia előállítása pazarlást jelent, hiszen ezen energia előállítása felesleges pénzkidobás. Ebből a megközelítésből nézve az energiaszolgáltatók és a környezetvédők érdekei azonosak a fényszennyezés csökkentését tekintve. „Odafentről (a világűrből) nézve világosan látható, hogy ez (a túlzott kivilágítás) a fosszilis és atomenergia céltalan pazarlása, ami ráadásul elnyomja a kozmoszból a Földre érkező gyenge sugárzást is. A fényszennyezés elleni fellépésben a gazdaság érdeke teljesen egybeesik a tudományéval. Egyszerű szabály, hogy a fényt a megvilágítandó tárgy felé kell irányítani, amivel nemcsak energiát lehet megtakarítani, hanem az égbolt eredeti látványa is megőrizhető. Csupán e fizikai szabály közigazgatási szabályként való alkalmazását kell elérni. Az IAU méltányolja és támogatja e gond tudatosítására és megoldására irányuló valamennyi nemzeti és helyi kezdeményezést.”²

A fényszennyezés keletkezésének fizikája

A földfelszínről a légkörbe jutó fénysugarak az égbolt „kifényesedését” okozzák. Ennek fizikai oka a fény szóródás jelensége. Az éjszakai ég fénylését a levegő molekuláin, illetve a levegőben található aeroszolrészecskékről szóródó fény okozza. Légköri aeroszolnak nevezük a levegőben diszpergált szilárd vagy cseppfolyós részecskéket összességét. Az aeroszolrészecskék mérete a levegőmolekulák átlagos méreténél legalább egy nagyságrenddel nagyobb. Ködről akkor beszélünk, ha a légköri vízgőz kicsapódásának következtében igen apró, 0,5 mm-nél kisebb átmérőjű folyadékcspepek vannak jelen. A ködszemcsék fényszórása következtében a látótávolság 1 km alá csökken.

A fényszóródás többféleképpen is létrejöhet. Ha a fényhullámhossznál több nagyságrenddel kisebb méretű atomokon, molekulákon szóródik a fény, akkor molekuláris vagy *Rayleigh*-szórásról van szó, ha pedig a fényhullámhossz nagyságrendjének megfelelő méretű szemcséken történik a szórás (aeroszolknál), akkor *Mie*-szórásról beszélünk.

¹ A Nemzetközi Csillagászati Unió kibővített állásfoglalása. IAU Information Bulletin 83. szám

² A Nemzetközi Csillagászati Unió kibővített állásfoglalása. IAU Information Bulletin 83. szám





2. ábra. A fényszennyezésmérő készülék [8].

A Rayleigh-szórás esetén a fényszóródás nagymértékben függ hullámhossztól (a hullámhossz negyedik hatványával fordítottan arányos). Ez az oka például az égbolt kék színének is. A Napból érkező sugarak közül ugyanis a kék komponens, rövidebb hullámhossza miatt sokkal erősebben szóródik, mint a vörös. A lenyugvó, illetve felkelő Nap esetében tapasztalható vöröses árnyalat úgy jön létre, hogy a kék fénynek az eredeti iránytól való nagyobb mértékű kiszóródása miatt a vörös komponensek maradnak meg.

Ha a részecskék mérete összemérhető a fény hullámhosszával, akkor a fény szóródásának hullámhosszfüggése megszűnik és létrejön a Mie-szórás, amelynek döntő részét a levegő sűrűségfluktuációi miatt fellépő szóródás okozza.

A levegőben lévő vízcseppek mérete igen széles határok között változhat 0,01 mikrométertől 100 mikrométerig. A körülbelül 0,5 mikrométernél kisebb sugarú cseppek erősebben szórják a rövidebb hullámokat, tehát hozzájárulnak a szórt fény kékes színéhez. Ha nagyobb cseppek is vannak a levegőben (pára, köd, felhő), akkor ez a szelektivitás eltűnik, a szórt fény fehérré válik. Ekkor az ég kék színe fehéressé válik (a párától), vagy szürkés-fehéres színű felhő, illetve köd jelenik meg. Extra nagyméretű részecskéken például erdőtűzből származó gyantacseppek által alkotott aeroszolon történő szóródás az ég színét zöldekékké teheti [7].

A mérőeszköz

Méréseinket Unihedron gyártmányú SQM (Sky Quality Meter) mérőműszerrel végeztük, amelynek fizikai elve a fényűrűségmérés. Az egyszerű felépítésű, kis helyet elfoglaló eszközt Magyarországon 2007 óta használják az éjszakai égbolt háttérfényességének mérésére. A mérőműszer két típusát használják a gyakorlatban, az SQM és az SQM-L jelzésű készüléket. A

kétfajta eszközt az különbözteti meg egymástól, hogy mekkora térszögből gyűjtik össze a fénysugarakat. Az SQM készülék nagyobb térszögből (1,5 szteradián, ami körülbelül egy 42 fokos félnyílásszögű kúpnak felel meg) méri és átlagolja a beérkező fény mennyiség fényűrűségértékét, míg az L jellel ellátott műszer (L = lencsés) kisebb térszögben dolgozik (20 fokos félnyílásszögű kúp). Ezt a második megoldású (SQM-L) készüléket (2. ábra) választottuk a méréshez, hogy Szekszárd város közelsége miatt a horizonton megjelenő közeli zavaró fények hatását minél inkább kiküszöböljük.

A készülék által mért fényűrűségek mértékegysége magnitúdó per szögmásodpercnégyzet ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$), amely könnyen átszámítható cd/m^2 -re, (SI mértékegység) [8].

A méréssorozat

A gyártó kalibrálja a készüléket a hőmérséklet-ingadozáshoz, a méréshez szükséges kedvező körülmények azonban összetettek. A mérés akkor kezdődhet, ha holdmentes, derült éjszaka van, és a Nap már 18 fokkal a horizont alá kerül, és addig tarthat, míg a Nap az éjszakai útja folyamán újra 18 fokra meg nem közelíti a horizontot. A mesterséges fényforrások közelségét, amennyire lehetséges, kerülni kell. Városon belüli méréseknél – természetesen – ezt nem mindig sikerül tökéletesen betartani. Kerülendők még az olyan helyek is, ahol tereptárgyak (például fák) zavarhatják a műszer detektorát.

A mérések során a műszert a zenit felé irányítva elvégzünk öt mérést (3. ábra), amelyekből a feldolgozáskor az első kettőt figyelmen kívül hagyjuk (a műszer bemelegedése miatt ezek pontatlanabb értékek), a maradék hármat pedig átlagoljuk. A mérések helyszínének koordinátáit GPS-készülékkel határozzuk meg.

Méréseinket Szekszárd város egymástól viszonylag távol eső pontjain végeztük, mértük az éjszakai ég háttérfényességét, majd a szőlődombok közötti gyalogos éjszakai túrák alkalmával Szekszárd közvetlen környezetét is feltérképeztük.

3. ábra. A szakkör tagjai mérés közben.

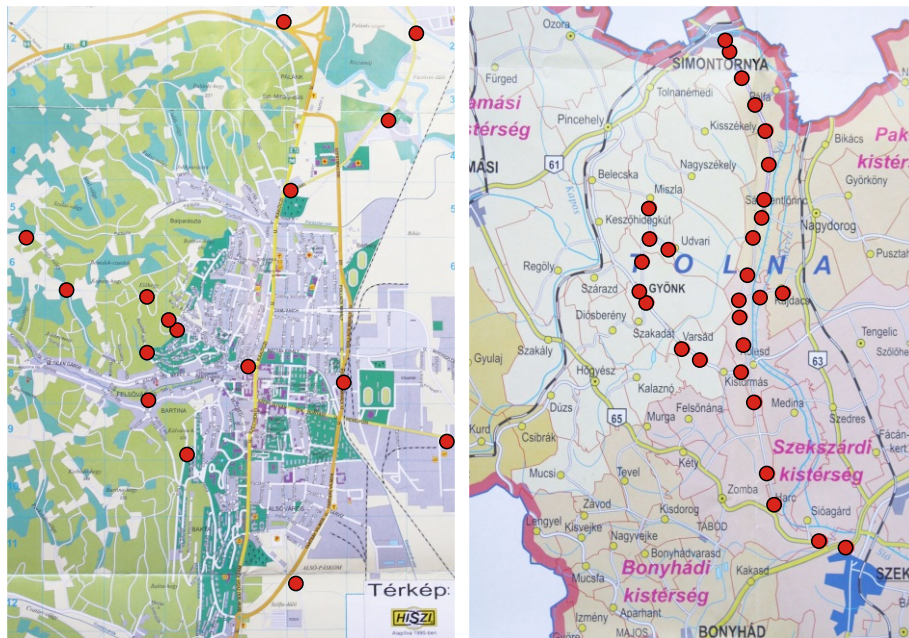


A Magyarország fényszennyezési viszonyait bemutató térképről leolvastuk, hogy a két magyarországi csillagoségboltpark (Zselic és Hortobágy) égboltjához közelítő minőségű égboltja lehet a Tolna megyei Hegyhátnak is, erről akartunk mérésekkel is meggyőződni. Hipotézisünk igazolására méréseket végeztünk (4. ábra). Több alkalommal, különféle útvonalakon, gépkocsival bejártuk a hegyháti területeket és több ponton megállva mértünk.

A nyári szünetben elvégzett méréseinket több tényező is nehezítette. Elsőként emlitem a természeti tényezőket: az időjárás kiszámíthatatlanságát, a Nap késői nyugvását és korai kelését, utóbbiak miatt a mérést gyakorlatilag csak az éjszaka közepén végezhetjük. Mindezek mellett a diákok egyéb nyári elfoglaltságai, a családi nyaralások is hátráltatták a munkát, továbbá az, hogy a megye távolabb fekvő területeire csak személygépkocsival lehetett eljutni.

Eredmények

Méréseinkkel kimutattuk, hogy a Zselici, illetve Hortobágyi Csillagoségbolt-parkokhoz hasonló minőségű éjszakai égbolt található Tolna megyében is, a Hegyháton (1. táblázat). A fizikai mérési eredménynél azonban fontosabbnak érzem a pedagógiai eredményt! Tanulóinkban felébredt az igény a mérések folytatására. A szakirodalomból ismeretes, hogy halsszemoptikával készült éjszakaiégbolt-felvételek segít-



4. ábra. Méréseink helyszínei – sötét pöttyökkel jelölve – Szekszárdon és a Hegyháton.

ségével kiegészíthetők és tovább pontosíthatók az SQM mérési adatok [9]. Ennek érdekében, pályázati forrásból beszerzett halsszemoptikáinkkal felvételeket fogunk készíteni a hegyháti területekről.

Méréseink befejezését követően 2014 nyarán lezajlott a közvilágítási fényforrások cseréje Szekszárdon.³ Izgalmas téma lesz újra végigmérni a városi és városkörnyéki helyszínekről az éjszakai égbolt háttérfényességét.

A fényszennyezés témaköre kiváló projektfeladatnak bizonyult. Alkalmas volt a biológiával és matematikával való tantárgyi koncentráció megvalósítására, a tanulók környezettudatos magatartásának erősítésére és nem utolsósorban komoly pedagógiai eredményként könyvelhető el a mérést végző kis csapat összekovácsolódása, lelkesedése és a „játszva” tanulás örömeinek megismerése.

1. táblázat	
Fényszennyezésméréseink eredményei	
mért területek	fénysűrűség (mag/arcsec ²)
Szekszárdi (központi részek nélküli) méréseink átlaga	20,4
Szekszárd szőlődombok felőli szélén mért érték	20,6
Szekszárd és a szőlődombok között mért értékeink átlag	21,0
Hegyhát területén mért háttérfényesség-értékek átlaga	21,1
Illancs területén végzett egész éjszakai észlelésünk eredménye (kalibrációs mérés)	21,0–21,5
A Hortobágyi Csillagoségbolt-park területének értékei (irodalmi adat)	21,0–21,5

Irodalom

1. Czákó Cs.: *Csillagos ég rezervátum a Hortobágyi Nemzeti Parkban és a fényszennyezés ökológiai hatásai.* (szakdolgozat) Debreceni Egyetem, Debrecen, 2011.
2. Szomráki P.: *Fényszennyezés-zajszennyezés.* (diplomamunka) Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Budapest, 2007.
3. Mizser A., Oláh K., Szabados L.: Korunk problémája, a fényszennyezés. in: *Csillagászati Évkönyv 1996.* Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest, 1995.
4. Varró M. J.: *A fényszennyezés emberi egészségre gyakorolt hatásai.* Országos Közegészségügyi Intézet, 2007.
5. K. Lorentz: *A civilizált emberiség nyolc balálos bűne.* Ikva Könyvkiadó Kft., Budapest, 1994.
6. Kolláth Z.: Mi is az a fényszennyezés? *Világítástechnikai Évkönyv 2002–2003.*
7. Rajkovic Zs., Illy J.: Az élő természet színei. *Fizikai Szemle 51/3* (2001) 76–80. és a borító.
8. www.uni-hedron.com/projects/darksky
9. Kolláth Z., Dömény A.: A kozmikus fény végzete. *Fizikai Szemle 65/4* (2015) 110–114.

³ A *Fizikai Szemle* 2015. áprilisi számának címlapján szerepel Szekszárd fényképének a világítási rekonstrukció előtt és után.

JÁTÉKOK A FIZIKAI MENNYISÉGEK JELÉNEK, MÉRTÉKEGYSÉGÉNEK GYAKORLÁSÁRA

Barta Zsuzsanna

Kecskeméti Főiskola, Petőfi Sándor Gyakorló Általános Iskola

Fizika tantárgygondozó szaktanácsadóként – az általános iskolák igazgatóinak igénye alapján – az elmúlt tanévben több fizikaszakos kollégánál jártam. Örömteliek voltak ezek a látogatások, mert minden esetben igazi, ízig-vérig pedagógusszemélyiségekkel találkoztam. Közös volt bennük a tantárgy szeretete, a felelősségteljes, élményalapú, tevékenykedtető oktatás iránti elkötelezettség. Remek szakmai beszélgetések alakultak ki közöttünk, az eszmecsere során magam is feltöltődtem.

Tapasztaltam, hogy a számításos feladatok megoldásánál sarkalatos pontként jelentkező jelek, mértékegységek elsajátíttatása gondot jelent. A kollégák panaszából kiderült, hogy küzdenek ezzel a problémával, és örömmel vették, amikor megosztottam velük saját gyakorlatomat. Ezek a tapasztalatok vezettek arra, hogy közzé tegyem azokat a néhány percet igénylő játékokat, amelyeket a tanórákba beépítve örömtelivé tehetjük tanulóinknak a fizikai mennyiségek jelének, mértékegységének ismétlését. Ezek a játékok pozitívan befolyásolják a gyerekek fizika iránt éppen alakulóban lévő attitűdjét. A megfelelő tudásszint záloga az eredményességnek is, ami a sikerélmény révén biztosít újabb motivációt.

A következő leírások egy része már ismert játékok – a cél eléréséhez igazított – változatai. Más részét a „helyzet adta”, illetve a tanulókkal közösen alakítottuk ki. Esetleg van közöttük olyan, amelyhez hasonló az olvasó is alkalmaz saját gyakorlatában. Talán beindítja a kollégák fantáziáját, továbbgondolják, módosítják, újakkal gazdagítják. Érdemes próbálkozni, a tanulók hozzáállását látva számunkra sem marad el a sikerélmény.

Tyúklépés

Az önként jelentkező gyerekek (helytől függően 2–5 fő) sarkukat a falhoz nyomva egymás mellett sorakoznak fel. A többiek felszólítás után kérdeznek rá egy-egy mennyiség jelére vagy mértékegységére. A felsorakozott tanulók közül leggyorsabban jó választ adó egy tyúklépésnyit (egyik lábát a másik cipőjének orrához illesztve, azaz egy talpnyit) előrelép. Aki hamarabb eléri az előzőleg kijelölt határvonalat, győz.

Kösd össze!

A táblára előzetesen két csoportban felírt (vagy interaktív táblára előre elkészített feladatként kivetített) mennyiségek nevét kell összepárosítani a jelével vagy

a mértékegységével. Nehezített változata, ha a jeleket kell összekötni a mértékegységükkel (az alaplómértékegységen kívül annak többszörösei és törtrészei is szerepelhetnek). További változat, ha ezeket nem csoportosítva, hanem össze-vissza írjuk fel a táblára, vagy vetítjük ki az interaktív táblán. Utóbbit variálhatjuk versennyel, az időt mérve, vagy feladatlapra kiadva páros, illetve csoportmunkában is.

Mozgasd magad vagy az agyad!

Ez a játék álmosító időben különösen hatékony, garantáltan felrázza a tanulókat. Kezdetekor az egész osztály feláll a helyén. A mennyiségek jelére vagy mértékegységére rákérdezve (egyszerre egyet), az marad állva, aki úgy érzi, biztosan tudja a választ és leül, aki nem tudja. Az állók közül egyet kiválasztva, elmondja a jó választ, de ha rossz választ ad, kap egy strigulát, amit az osztályban szokásos módon, vagy a szabályok tisztázásánál megbeszéltek szerint váltunk be a játék végeztével. Erre azért van szükség, hogy a bizonytalan tudás kiderüljön, nemcsak számunkra, hanem a tanulónak is. Azokat a mennyiségeket, amelyeknél sok leülő van, többször, akár egymás után többször, változtatva kérdezzük! Így jó kis torna alakul ki belőle. A ritmust váltva, gyorsítva, nevetős helyzetekké fokozható a mozgás. Emellett – az ismételtetés miatt – észrevétlenül bevésődik a jó válasz.

Jelkirály

A számkirály mintájára játsszuk – jeleket, mértékegységeket kérdezve az álló pároktól. Aki rosszul válaszol vagy elkésik a válasszal, leül, gyorsabb társa állva marad. Az állva maradókból újabb párokat alakítva, folytatjuk a kérdezést. A végén csak egy maradhat, aki így elnyeri a Jelkirály címet, és a megbeszéljt jutalmat (például taps, piros pont, kis ötös, vagy ő lesz a következő óra játékfelelőse stb.).

Töltögetős

Két kijelölt csapatkapitány (például előző órák játékainak győztesei) az osztálytársak közül felváltva választ tagokat a csapatába. A két csapat libasorban feláll a tábla két szélénél, az elsők egy-egy krétával a kezükben. Az előre felrajzolt táblázat üres celláiba, hol az egyik, hol a másik csapat soron következő

tagja ír be egy értéket. A táblázat lehet két- vagy háromszlopú, fejléce az első esetben jel és mértékegység, a másodikonál a mennyiség nevével kiegészítve. Mindenki egy cellát tölthet ki egyszerre, de figyelnie kell, hogy abba a sorba kerüljön, amibe tartozik, vagyis csak akkor írhatja teljesen üres sorba, ha még egyik jellemzője sem szerepel a táblán. A tévesztő azzal javíthat, hogy kettő helyet tölt ki, ha tud. Aki nem tud már beírni, leül a helyére. Az a csapat győz, akinek több tagja marad benn a táblázat teljes kitöltése után. Megállapodás (és a rászánható időtartam) kérdése, hogy egy mennyiséghez csak az alapmértékegységet, vagy bármelyiket, esetleg többet is elfogadjunk-e.

Győzd le magad!

Önellenzéshez jól használható, egyszerű, kis időigényű verseny. Diktálás után, az osztály tudásának megfelelő tempóban kérdezzük a mennyiségek jelét vagy mértékegységét, a csoport szintjének megfelelően, akár ezt változtatva, összevissza (így a legnehezebb). A fizikai mennyiség nevét nem írhatják le, csak a választ, sorban, egymás mellé. Ha nem jut eszébe, a helyét kihúzza, hogy az ellenőrzésnél ne okozzon zavart. A ritmust a tudásszinthez igazítjuk, de érdemes pörgősen kérdezni, mert sok időt hagyva a tanulók elcsábulnak, hogy a szomszédról ellenőrizzenek. Legalább 10 kérdés hangzik el, újra végig menve a kérdéseken, a táblára is felkerül a jó válasz. Önellenzéssel minden tanuló megállapítja, hogy sikerült-e jobb eredményt elérnie, mint legutóbb, illetve mennyire elégedett teljesítményével. A csoport szintjének megfelelően, kezdetkor megállapodunk abban, hogy válaszként csak az alapmértékegységet fogadjuk el vagy bármelyiket.

EÖTVÖS-VERSENY 2015

2015. október 16-án, pénteken délután 3 órától este 8 óráig rendezik meg az Eötvös Loránd Fizikai Társulat az idei Eötvös-versenyt.

Azok a diákok vehetnek részt, akik vagy középiskolai tanulók, vagy a verseny évében fejezték be középiskolai tanulmányaikat. Nemcsak magyar állampolgárságú versenyzők indulhatnak, hanem Magyarországon tanuló külföldi diákok, valamint külföldön tanuló, de magyarul értő diákok is.

A megoldásokat magyar nyelven kell elkészíteni, a rendelkezésre álló idő 300 perc. Minden írott vagy nyomtatott segédeszköz használható, de zsebszámológépen kívül minden elektronikus eszköz használata tilos.

Előzetesen jelentkezni nem kell, elegendő egy személyazonosság igazolására szolgáló okmánnyal (sze-

Keresd a párját!

Létszámnak megfelelő papírlapot és előkészítést igénylő, csoportalakításhoz is felhasználható, mozgásos játék. Időtakarékosság céljából, önálló feladatmegoldás közben a tanulók asztalára 1-1 lefordított kártyát teszünk (véletlenszerű csoport kialakításához a tanulók húznak a kártyákból). A kártyán a fizikai mennyiség neve, vagy jele, vagy mértékegysége szerepel. A játék indításakor a diákok feladata megkeresni a sajátjukhoz tartozó kártyák tulajdonosait. Attól függően, hogy hány fős csapatokat akarunk kialakítani, két vagy több kártyát osztunk ki a mennyiségekhez. Például 4 főshöz: a fizikai mennyiség neve, jele, két mértékegységgel. Az először felállókból lesz az egyes, a másodikokból a kettes számú csapat stb.

Memóriajáték

Az óra előtti szünetben felírjuk a gyakorlásra szánt mennyiségek név-jel, vagy magasabb szinten álló csoportnál jel-mértékegység párokat, összevissza. Gyurmaragasztóval a feliratokat különböző számokkal megkülönböztetett írólapokkal eltakarjuk. A játék során a kijelölt tanuló a szokott módon keresi meg az összetartozókat, jelentkező társai segítséget adhatnak a számok bediktálásával. Levesz egy lapot, így feltárul a fizikai tartalom. Ha sikerül a párt a következő felfedéssel megtalálni, nem takarja vissza, leteszi a két lapot. Ha nem a párt fedte fel másodikként, mindkét lapot visszaragasztja. A játék addig folytatódik, amíg az összes írólap le nem kerül. Időméréssel verseny is kialakítható, nekem a két csapatban történő versenyztetés vált be úgy, hogy a csapattagok a helyükről diktálhatják a megfordítandó táblácska számát, felváltva.

mélyi igazolvány, diákigazolvány vagy útlevelel) megjelenni a verseny valamelyik helyszínén.

Kérjük fizikatanár kollégáinkat, bátorítsák legjobb diákjaikat a versenyen való részvételre! Számos példa van arra, hogy az Eötvös-versenyen történő helytállás, az itteni sikeres szereplés indított el egy diákot későbbi sikeres életpályáján.

A versenyzőknek eredményes munkát kívánunk.

Az Eötvös-verseny helyszínei

Békéscsaba: Belvárosi Általános Iskola és Gimnázium, 5600 Békéscsaba, Haán Lajos u. 2-4., kapcsolattartó: *Zátonyi Sándor*, zatonyi@freemail.hu

Budapest: Eötvös Loránd Tudományegyetem TTK északi tömb, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A, 1.85 Harmónia terem, kapcsolattartó: *Vankó Péter*, vanko@eik.bme.hu

Debrecen: Fazekas Mihály Gimnázium, 4025 Debrecen, Hatvan u. 44., II. emelet 211-es terem, kapcsolattartó: *Türk Zsuzsanna*, turkzs@gmail.com

Eger: Eszterházy Károly Főiskola Gyakorló Gimnázium, 3300 Eger, Barkóczy út 5., kapcsolattartó: *Hóbor Sándor*, hobors@gmail.com

Győr: Széchenyi István Egyetem, 9026 Győr, Egyetem tér 1., (a terem később lesz kijelölve), kapcsolattartó: *Barla Ferenc*, barla@sze.hu

Kecskemét: Katona József Gimnázium, 6000 Kecskemét, Dózsa György út 3., I. emelet fizika II. számú előadó, kapcsolattartó: *Sáró Péter*, sarop@kkg.hu

Miskolc: Miskolci Egyetem Fizikai Intézet, 3515 Miskolc, Egyetemváros, A/2 épület III. emelet, kapcsolattartó: *Paripás Béla*, fizpari@uni-miskolc.hu

Nagykanizsa: Batthyány Lajos Gimnázium, 8800 Nagykanizsa, Rozgonyi u. 23., kapcsolattartó: *Piríti János*, piriti@t-online.hu

Nyíregyháza: Krúdy Gyula Gimnázium, 4400 Nyíregyháza, Epreskert u. 64., kapcsolattartó: *Chriszt Gyula*, krudynyh@krudy-nyh.sulinet.hu

Pécs: Pécsi Tudományegyetem Fizikai Intézet, 7624 Pécs, Ifjúság útja 6., A408-as (Jeges Károly) terem, kapcsolattartó: *Kotek László*, kotek.laszlo@chello.hu

Szeged: Szegedi Egyetem TTIK Elméleti Fizikai Tanszék, 6720 Szeged, Tisza Lajos krt. 84–86., II. emelet Lánzos Kornél terem, kapcsolattartó: *Hilbert Margit*, hilbert@physx.u-szeged.hu

Székszárd: Garay János Gimnázium, 7100 Székszárd, Szent István tér 7–9., kapcsolattartó: *Elblinger Ferenc*, elblinger.ferenc@gmail.com

Székesfehérvár: Lánzos Kornél Gimnázium, 8000 Székesfehérvár, Budai út 43., kapcsolattartó: *Ujvári Sándor*, ujvasa@hdsnet.hu

Szombathely: Hefele Menyhért Szakközépiskola, 9700 Szombathely, Szent Márton u. 77., kapcsolattartó: *Ruszkai Zoltán*, ruszi@freemail.hu

Veszprém: Pannon Egyetem, 8200 Veszprém, Egyetem u. 10., B épület, II. emelet B204-es terem, kapcsolattartó: *Gurin Péter*, gurin@almos.uni-pannon.hu

TALÁLD FEL MAGAD!

25. Ifjúsági tudományos és innovációs tehetségkutató verseny – 2015–2016-os tanév

Jelentkezni a kidolgozandó vagy megoldandó feladat maximum két oldalas word dokumentum vázlatával **2015. november 26. 14 óráig** e-mailen lehet. A pontos feltételeket és nyereményeket a részletes kiírás tartalmazza.



A részletes felhívást keresd a <http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1510/innovacio.pdf> helyen!

HÍREK – ESEMÉNYEK

KITÜNTETÉSEK

Állami kitüntetések augusztus 20. alkalmából

A Magyar Érdemrend középkeresztje polgári tagozat kitüntetésben részesült *Beke Dezső*, a fizikai tudomány doktora, az MTA Szilárdtest-fizikai Tudományos Bizottságának tagja, a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar Fizikai Intézet Szilárdtest Fizikai Tanszékének egyetemi tanára.

A Magyar Érdemrend Tisztikereszt polgári tagozat kitüntetését kapta *Holics László*, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar volt megbízott előadója, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Apáczai Csere János Gyakorló Gimnázium és Kollégium nyugalmazott vezetőtanára.

A Magyar Érdemrend lovagkeresztje polgári tagozat kitüntetését kapta *Hopp Béla*, az MTA doktora, a Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Fizikus Tanszékcsoport Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára.

A Magyar Arany Érdemkereszt polgári tagozat kitüntetésben részesült *Bényei Attila Csaba*, a Deb-

receni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar Fizikai Kémiai Tanszékének egyetemi docense, a Debreceni Egyetem Kémia Intézet Röntgen-diffrakciós Szerkezetvizsgáló Laboratóriumának vezetője, továbbá

Varga Zsuzsanna, a Szegedi Tudományegyetem Elméleti Fizikai Tanszékének egyetemi docense.

Szalay Sándornak ítélték a Sidney Fernbach-díjat

Szalay Sándor, az MTA levelező tagja, az ELTE díszdoktora nyerte el az IEEE Computer Society 2015. évi Sidney Fernbach-díját. A méltatás kiemeli az adat-intenzív számítógépes rendszerek fejlesztésében és e

rendszerek alkalmazásával számos tudományterületen, így az asztrofizikában, a turbulencia elméletében és a genomikában elért eredményeit.

(<http://www.computer.org/web/pressroom>)

AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

Elindult a Nemzeti Nukleáris Kutatási Program

A *Nemzeti Nukleáris Kutatási Program* című négy éves időtartamú projekt új lendületet adhat a hazai nukleáris kompetencia fenntartását és bővítését célzó törekvéseknek. A projektet megvalósító konzorciumot az MTA Energiatudományi Kutatóközpont vezeti és tagja az MTA Atommagkutató Intézet is.

Az atomenergia hosszú távú biztonságos alkalmazásának és társadalmi elfogadottságának előfeltétele a megfelelő szaktudás és a nukleáris biztonsági kultúra jelenléte. Ezt felismerve a nukleáris energetikai szektor nemzeti szinten jelentős szereplői jövőbe mutató, stratégiai jelentőségű, szakmailag jól körülhatárolt, összefüggő kutatás-fejlesztési feladatokat és elérendő célokat dolgoztak ki.

A támogatott projekt feladatait elsősorban a meglévő paksi blokkok biztonságos üzemeltetése és műszaki-tudományos háttérének biztosítása, illetve az új blokkok létesítésére való felkészülés határozza meg. A reaktorbiztonsági kutatások folytatása és a kísérlet-alapú ismeretek bővítése egyaránt a nukleáris kompetencia hazai megőrzését, újratermelését és növelését segíti. A kutatás-fejlesztési projekt céljai között szerepel a működő atomerőművi blokkokkal kapcsolatos biztonsági kérdések szaktudásalapú megválaszolása, az új atomerőművi blokkok engedélyezését, építését és üzembe helyezését megalapozó kutatás-fejlesztési feladatok elvégzése, valamint az atomenergetika táv-

lati céljainak megvalósítását célzó, elsősorban a fűtőelemciklus zárására és az újfajta, 4. generációs reaktorok kutatására vonatkozó nemzetközi erőfeszítésekben való hazai részvétel biztosítása.

A projektnek köszönhetően átfogó hazai nukleáris tudásbázis alakítható ki a meglévő és az újonnan létesülő blokkokkal kapcsolatos kérdések megválaszolására, a különböző generációkhoz tartozó reaktorfolyamatok számítógépes szimulációjára, valamint a fűtőelemciklus zárására vonatkozó hazai stratégia háttérének megteremtésére. A projekt keretében kidolgozzák a nemzeti nukleáris kutatási infrastruktúra középtávú fejlesztési terveit, továbbá segítségével fejlődik a nukleáris szakemberképzés is.

A *K+F Versenyképességi és Kiválósági Szerződés*ek 2014 című program keretében támogatást nyert, 1,9 milliárd forint összköltségű kutatás-fejlesztési konzorciális projekt finanszírozását a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap (NKFI Alap) biztosítja. A konzorciumot az MTA Energiatudományi Kutatóközpont vezeti. A projekt további résztvevői a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézete, az MTA Atommagkutató Intézet, az Országos Közegészségügyi Központ Országos Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Igazgatósága és a NUBIKI Nukleáris Biztonsági Kutatóintézet Kft.

Kutatási csúcsberendezésből „szobor” – ajándék a CERN-ből

Rolf-Dieter Heuer, a CERN főigazgatója avatta fel a Magyar Tudományos Akadémia Wigner Fizikai Kutatóközpontban azt a rádiófrekvenciás rezonátort, amely 1989 és 2000 között a CERN Nagy Elektron-

Pozitron Ütköztetőjében (LEP) működött és a jövőben immár szoborként díszíti az akadémiai intézmény udvarát. A berendezés a világ legnagyobb részecskefizikai laboratóriumának ajándéka.



Fotó: Kármán Tamás

A rádiófrekvenciás rezonátor Genfben.

„Az elmúlt évtizedekben szoros együttműködés és kiváló kapcsolat épült ki a tavaly megalakulásának hatvanadik évfordulóját ünneplő CERN és a magyar

kutatók között” – méltatta a nagyenergiás fizikai kérdések kísérleti és elméleti vizsgálata területén elért együttműködés eredményeit a CERN főigazgatója.

A Magyar Tudományos Akadémia akkori intézetéből, a KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézetéből már a múlt század hetvenes éveiben érkeztek fizikusok Genf-be. Magyarország hivatalosan 1992-ben csatlakozott a CERN-hez. Azóta a magyar kutatók aktívan közreműködtek egyebek mellett az elemi részecskék tömegéért felelős Higgs-bozon keresésében és megtalálásában előbb az L3- és az OPAL-, majd a CMS- és ATLAS-kísérletben, az Univerzum őszanyagát kutató NA49-, NA61- és ALICE-kísérletekben, az antiprotonok tulajdonságait vizsgáló ASACUSA-, valamint a proton-proton ütközések természetét feltáró TOTEM-kísérletben is.

A berendezés rézből készült elemében állóhullámokat keltettek, amelyekkel egyik irányban elektronokat, a másikban pozitronokat gyorsítottak. A CERN 27 km-es föld alatti alagútjában épült nagy LEP ütköztetőben 128 összehangolt rezonátor 45 GeV energiára gyorsította az egymással szemben keringő elektronokat és pozitronokat, amelyek azután a négy óriási észlelőrendszer közepén ütköztek. Az így keletkező Z-bozonok tanulmányozása véglegesítette a standard modellt, a részecskefizika elméletét.

(http://mta.hu/mta_hirei/)

Világhírű matematikai fizikus látogatása Magyarországon

Májusban látogatást tett Szegeden, az SZTE Elméleti Fizikai Intézetében és Csillebércen az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Részecske és Magfizikai Kutatóintézetében *Ludvig Dmitrievics Fagyjev* akadémikus, orosz matematikus és elméleti fizikus, ahol nagy érdeklődéssel várt előadást tartott. Fagyjev professzor nemzetközi hírnevét a kvantummechanikai háromtestprobléma megoldását adó Fagyjev-egyenletek levezetése alapozta meg. A későbbiekben fontos eredményeket ért el a nem-ábeli mérték erőterek elmélete terén, különös tekintettel a Fagyjev–Popov szellemter bevezeté-

sére. Tanítványai és munkatársai munkásságát folytatva kidolgozták az N-test probléma és a Coulomb-szórás szigorú matematikai elméletét. Fagyjev professzor számos híres kitüntetés és díj nyertese (például Dirac-díj, Max Planck-medál, Henri Poincaré-díj, a matematikai Shaw-díj, valamint legutoljára a Lomonoszov-aranyérem), továbbá 1986–1990 között a Nemzetközi Matematikai Unió elnöke volt. A látogatása során interjú készült vele, amely a *Természet Világa* folyóirat októberi számában jelent meg.

(www.termeszetvilaga.hu)

Tudományos ülés Pócza Jenő születésének 100. évfordulóján

Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Fizikai Intézete, az MTA Energiatudományi Kutatóközpont Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézete, a Magyar Mikroszkópos Társaság és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2015. október 29-én, csütörtökön 13:30 kezdettel az ELTE TTK Északi Tömb, Ortvyay-termében (1117 Budapest Pázmány Péter sétány 1/A) tudományos üléssel emlékezik meg *Pócza Jenő* születésének 100. évfordulójáról. A program:

13:30 – *Keszthelyi Lajos*, MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont: Megnyitó

13:45 – *Barna B. Péter*, *Barna Árpád*, *Radnóczy György*, MTA EK: Pócza Jenő az oktató és kutató

14:15 – *Š. Luby*, *E. Majková*, *M. Benkovičova*, Institute of Physics, SAV, Bratislava: From thin films to nanoparticle layers

14:30 – *Groma István*, ELTE TTK Fizikai Intézet: Nanorétegek és nanoméretű objektumok deformációs tulajdonságai

14:45 – Köszöntések

15:00 – *Tompa Kálmán*, MTA Wigner FK SZFI: Rádióhullámok és vékonyrétegek (100 éve született Pócza tanár úr)

15:15 – Szünet

15:45 – *Bata Lajos*, MTA Wigner FK SZFI: Eredményeink a folyadékkristályok kutatásában

16:00 – *Gyulai József*, MTA EK MFA: Emlékeim a Budó-Pócza duettéről
16:15 – *Kovács András*, Ernst Ruska-Centre for Microscopy and Spectroscopy, Forschungszentrum Jülich és *Pécz Béla*, MTA EK MFA: Aberrációkorrigált mikroszkópia vékonyrétegeken

16:30 – *Kroó Norbert*, MTA Wigner FK SZFI: Nano-optika
16:45 – *Bársony István*, MTA EK MFA: Zárszó



A szervezők Pócza tanár úr életművének tisztelőit, továbbá minden érdeklődőt szeretettel várnak.

HÍREK A NAGYVILÁGBÓL

Chile és a Kanári-szigetek lesz a gamma-obszervatórium helyszíne

A világ legnagyobb méretű és legnagyobb teljesítményű gamma-teleszkópjának a bázisa Chilében és a Kanári-szigeteken lesz a Cherenkov Telescope Array (CTA) igazgatótanácsának döntése alapján. Az Atacama-sivatagban és a La Palma szigeten lévő helyszíneket – ahol már vannak nagy csillagászati berendezések – választották ki a Namíbiában és Mexikóban lévő helyszínekkel szemben a CTA északi és déli részének telepítésére. A projekt 297 millió euró értékű létesítmény, amely lehetővé teszi, hogy a csillagászok az Univerzum legtávolabbi és legnagyobb energiájú objektumait is tanulmányozhassák.

A döntés a CTA Gazdasági Tanács kétnapos, július 15–16-i ülésén született meg. A testület a projekt 31 tagállama közül 14 állam képviselőiből áll, amely nem hozott végleges döntést a helyszínről – ez a CTA Igazgatótanács feladata – de megszavazta, hogy kezdődjenek meg a tárgyalások az European Southern Observatory-val (ESO), amely a Paranal obszervatóriumot működteti Chilében és Spanyolországban.

A chilei helyszín alig 10 km-re van az ESO Paranal Obszervatóriumától, amely jelentős infrastruktúrával

rendelkezik, mint a Very Large Telescope négy 8,2 méter átmérőjű optikai távcsöve, amelyek már a helyükön vannak. A 2200 méter magasságban elhelyezkedő északi rész, amelyet a Kanári Szigetek Asztrofizikai Intézete működtet, már két MAGIC gamma-teleszkóppal rendelkezik.

A CTA, amelynek az évtized végére kell elkészülnie, lehetővé teszi, hogy a kutatók egy sor kutatási projektet végezzenek el az asztrofizika és fundamentális fizika terén, kezdve a kozmikus sugárzás eredetétől a fekete lyukak körüli részecske-gyorsításig. Az elrendezés továbbá keresi majd a hipotetikus sötét anyag részecskéinek nyomait is. Az elrendezés 120 teleszkópból fog állni, háromféle átmérővel (20, 10–12 és 4–6 méter), amelyekből 100 majd a déli féltekén helyezkedik el. A már létező földi telepítésű gamma-teleszkópokhoz hasonlóan ezek a távcsövek nem közvetlenül a gamma-sugárzást detektálják, hanem a fényvillanásokat, amelyek akkor keletkeznek, amikor a gamma-sugárzás kölcsönhatásba lép a felső atmoszféra atomjaival.

(<http://news.sciencemag.org/physics/>)

A fúziós reaktorok gazdaságilag megvalósíthatók lehetnek

A Durham Egyetem és a Culham Centre for Fusion Energy, Oxfordshire kutatói újra megvizsgálták a fúzió gazdasági vonatkozásait, elsőként véve figyelembe a szupravezető-technológia legújabb eredményeit. A fúziós erőművek építési, működtetési és leszerelési költségeinek vizsgálata azt mutatja, hogy a hagyományos maghasadáson alapuló atomerőművekkel összehasonlítva a fúziós energiatermelés pénzügyi szempontból is megvalósítható.

Damian Hampshire professzor, a Durham Egyetem Centre for Material Physics kutatója, a tanulmány vezető szerzője szerint: „Nyilvánvalóan feltételezésekkel kellett élnünk, de eredményeink azt sugallják, hogy a fúzió nem lesz drámaian költségesebb, mint a hasadás.”

Ilyen eredmények támogatják azt a lehetőséget, hogy egy-két generáción belül a fúziós reaktorok majdnem korlátlan mennyiségű energiát fognak szolgáltatni anélkül, hogy hozzájárulnának a globális fel-

melegedéshez, vagy jelentős mennyiségű veszélyes hulladékot termelnének.

A fúziós reaktorok úgy termelnek energiát, hogy 100 millió fokos hőmérsékletre melegítik fel a plazmát, ekkor a hidrogénatomok összeolvadnak, és energiát szabadítanak fel. A hasadási reaktorok alacsonyabb hőmérsékleten az atomok hasadásával működnek.

A fúziós reaktorok egyik nagy előnye, hogy gyakorlatilag nem termelnek radioaktív hulladékot. A fúziós reaktorok biztonságosabbak, mivel nincs jelen veszélyes radioaktív anyag, ami kiszabadulhat a környezetbe, vagyis Csernobil és Fukusima méretű balesetek lehetetlenek, mivel a környezetbe esetleg kikerülő plazma egyszerűen szétpezseg.

A fúziós reaktor politikailag is biztonságosabb, mivel a reaktor nem produkál fegyverhez alkalmas anyagot, ami az atomfegyverek elterjedéséhez vezetett. Az üzemanyag deutérium vagy nehézvíz, amelyet

a tengervízből vannak ki, és trícium, ami a reaktorban keletkezik, így nincs gond sem a biztonsággal, sem pedig az üzemanyag-ellátással.

Egy kísérleti reaktor, az International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER), amely a dél franciaországi Cadarache-ban épült, körülbelül 10 évre van attól, hogy üzemszerűen működjön. A kísérlet célja a fúziós energiatermelés tudományos és műszaki megvalósíthatóságának bizonyítása.

A kutatási jelentés, amelyet az Egyesült Királyság Energiaprogramjának Kutatási Tanácsa finanszírozott, a magas hőmérsékletű szupravezetők területén elért legújabb eredményekre összpontosít. Ezekből az anyagokból nagyon erős mágnesek készíthetők, ame-

lyek együtt tartják a forró plazmát a tokamaknak nevezett tárolóban, ami a fúziós reaktorok szívében van.

Ez a fejlett technológia azt jelenti, hogy a szupravezető mágnesek több részből épülnek fel, ezért a karbantartás, amely radioaktív környezetben igen költséges, sokkal olcsóbb lesz, hiszen a mágnes egyes részeit külön ki lehet emelni javítás vagy csere céljából.

Míg az elemzés az építés, működtetés és leszerelés költségeit vizsgálta, nem vette figyelembe a radioaktív hulladék kezelésének költségeit, amelyek egy hasadási reaktornál fellépnek. Egy fúziós reaktornál az egyetlen radioaktív hulladék maga a tokamak, amely élettartama alatt a leszereléséig csak enyhén lesz radioaktív.

(<http://phys.org/news/>)

Az iráni nukleáris megállapodás megnyitja az utat a tudományos együttműködés előtt

Kétévi tárgyalás után Irán végül beleegyezett, hogy leállítja vitatott atomprogramját, cserébe a gazdasági szankciók feloldásáért. Az egyezmény, amelyet Bécsben írtak alá, megnyitja az utat az Iránnal való tudományos együttműködés gyors kiterjesztésére olyan területeken, mint a fúzió, asztrofizika és radioaktív izotópokat használó rákterápia.

Az egyezmény, amelyet Joint Comprehensive Plan of Actionnak neveznek, megnöveli Irán „kitörési idejét” – azt az időt, ami elegendő egy bombához szükséges fegyver minőségű (weapons-grade) hasadóanyag előállításához – a becsült 2–3 hónapról legalább egy évre.

Azonban ezt a létesítmény bezárása nélkül kell elérni, mivel Irán abba nem egyezik bele. A terv megköveteli, hogy Irán zárja be a Natanz és Fordow telepeken működő ultracentrifugák ezreit, helyette legálább tíz évig más módszert alkalmazzon az urán dúsítására, mint például a lézeres dúsítást. Irán a nemzetközi közösséggel való együttműködés érdekében beleegyezett az Arak nehésvizes reaktor átalakításá-

ba, hogy az alacsonyan dúsított uránnal működjön, ami csökkenti a plutónium termelését, valamint abba is, hogy az összes kiégett reaktor-üzemanyagot szállítsa ki az országból.

A terv egyik kulcsfontosságú eleme, hogy Irán átalakítja a Fordow urániumdúsító létesítményt egy nemzetközi „nukleáris fizikai és technológiai központtá”, amely mint kutatólaboratórium, nyitott létesítmény lesz. Oroszország fogja segíteni Iránt abban, hogy átalakítsa a fordowi centrifugákat ipari hasznosítású stabil izotópok előállítására. Az új laboratóriumban lesz majd két kis lineáris gyorsító a magfizikai és asztrofizikai kutatások számára.

Az egyezmény továbbá együttműködést javasol más kutatási területeken is, mint például a neutrínócsillagászat és fúziós kutatások, ami „megkönnyíti” hogy Irán részt vegyen a Franciaországban épülő International Thermonuclear Experimental Reactor, az ITER, projektben.

(<http://news.sciencemag.org/physics/>)

A neutrínódetektorok diszkréten figyelni tudják az atomreaktorokat

A francia kutatóknak sikerült bepillantani az atomreaktor belsejébe, hogy a plutónium mennyiségét nyomon kövessék – anélkül, hogy a vezérlőhelyiség adatait felhasználnák. Bár az új technológia még csak kezdeti állapotban van, új lehetőséget kínál arra, hogy megfigyeljék, vajon a reaktorokat nem használják-e atomfegyverekhez szükséges anyag előállítására.

Ez év elején Irán megegyezett a nagyhatalmakkal, hogy korlátozni fogja atomprogramját. Irán továbbá ígéretet tett arra, hogy a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (International Atomic Energy Agency, IAEA) képviselői megfigyelhessék atomerőműveit és meggyőződhetnek arról, hogy azokat szigorúan csak békés célokra használják.

Az egyezmény ingatag talajon jött létre – Irán csak annyit akar felfedni nukleáris terveiből, amennyit feltétlenül szükséges. Egy bűvös doboz, amely távolról figyel a reaktorokat, anélkül hogy külföldi megfigyelők látogatására volna szükség, megkönnyítené az ilyen egyezmények végrehajtását.

Szerencsére mód van ilyen berendezés építésére. Speciális detektorok észlelni képesek a magreakciókban keletkezett antineutrínókat. Ezek a részecskék a közönséges anyaggal csak nagyon gyengén hatnak kölcsön, ezért megfelelő műszerrel a reaktoroktól nagy távolságokban is észlelhetők.

Az elmúlt évben francia kutatók használtak egy ilyen, Nucifer becenévre keresztelt detektort, hogy a

közeli atomreaktort figyeljék. A Nucifer rengeteg folyékony szcintillátort tartalmaz, amelyek felvillannak azon ritka alkalomból, amikor egy neutrínó kölcsönhat velük. Ezen esemény gyakorisága a reaktor belsejében lévő aktivitással arányos.

A 145 napig tartó kísérletek alatt detektálni tudták, hogy a reaktor mikor volt ki-be kapcsolva, de ami fontosabb, nyomon tudták követni a reaktor belsejében lévő plutónium-239 mennyiségét. Ez az izotóp különlegesen fontos atomfegyverek létrehozásához, ezért mennyiségének hirtelen változása jelentheti, hogy a működtetés tényleges célja atomfegyver létrehozása.

A kutatók korábban már hasonló elven alapuló detektorokat működtettek Oroszországban és az Egyesült Államokban, de azok egyedi példányok voltak és karbantartást igényeltek, amely valóságos megfigyelés esetében nem lehetséges.

A Nucifer a Saclay-ban működő kis Osiris reaktort monitorozta. Nagyobb teljesítményű reaktor több anti-neutrínót produkálna, ezért nagyobb távolságból és pontossággal tudna monitorozni, mivel a távolság növelése csökkentené a nemkívánatos háttérsugárzást.

A kutatócsoport további kísérletekhez keres reaktorokat. „Egy kereskedelmi reaktornál a detektorok elhelyezése után be lehet csukni az ajtót és úgy hagyni akár egy évre is, olyan feltételek mellett, amelyet az IAEA felügyelői szeretnének elérni” – mondta *David L’buillier*, a kutatócsoport vezetője – „...de legalább 15 évre van szükség, mielőtt a technológia használatra kész olyan helyen, mint Irán.”

„A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség tud e technológia fejlesztéséről, mint egyikről azok közül ... amelyek ugyanazt a célt kívánják megvalósítani” – nyilatkozta az Ügynökség szóvivője a *New Scientist*-nek. – „Az Ügynökség rendelkezik egy sor technológiával és jelenleg nincs szándékában ezt az ötletet alkalmazni.” Az előállítás költségeinek tovább kell csökkennie, mielőtt az IAEA anyagilag megengedheti, de az eredmények elnyerhetik az emberek támogatását. „Ha megmagyarázzuk az embereknek, hogy van olyan technológia, amellyel be lehet tekinteni a működő atomreaktorok belsejébe, az mindenkinek felkelti majd a figyelmét.”

(<https://www.newscientist.com/>)

Pakisztán a CERN tagállama lett

A Pakisztáni Iszlám Köztársaság ez év július 31-én a CERN tagállama lett azt követően, hogy Pakisztán ratifikálta a tavaly decemberben aláírt belépési egyezményt. Pakisztán tagsági státusza az együttműködés egy új korszakát nyitja meg, ami megerősíti Pakisztán és a CERN tudományos közösségei közti hosszútávú együttműködést. A tagsági státusz lehetővé teszi, hogy Pakisztán részt vegyen a CERN vezetésében azzal, hogy részt

vehet a CERN Tanács ülésein. Azt is lehetővé teszi, hogy pakisztáni tudósok a CERN munkatársai lehessenek, és részt vegyenek a CERN különböző továbbképző programjaiban, végül lehetőséget ad a pakisztáni iparnak, hogy pályázhasson a CERN által meghirdetett szerződésekre, megnyitva ezáltal az utat a csúcstechnológia területein az ipari együttműködésre.

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

EURÓPAI ÉRDEKESSÉGEK A *EUROPHYSICS NEWS* VÁLOGATÁSÁBAN (2015. május–június)

Periodikus optikai közegekben megvalósított szuperszimmetria

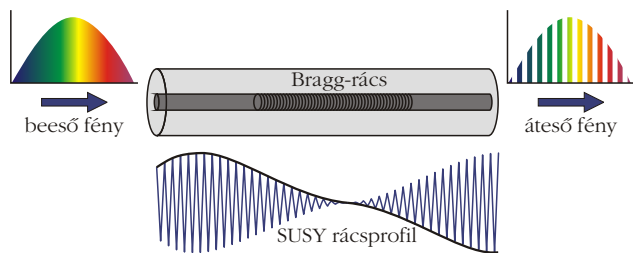
S. Longhi: Supersymmetric Bragg gratings. *J. Opt.* 17 (2015) 045803

A szuperszimmetriát (SUSY) kvantumtérelméletekben dolgozták ki a bozonok és fermionok egységbe foglalására. Bár a SUSY segítséget nyújthat például a kozmológiai állandó paradoxonának megoldásában, a részecskefizikában egyelőre nincs ráutaló információ. Azonban a kvantummechanikában bizonyos potenciálok esetében jelentkező szuperszimmetria, a Schrödinger-egyenlet és egyes klasszikus dinamikai egyenletek (például a hullámterjedés Helmholtz-egyenletének) formai megfeleltethetősége miatt, hasznosítható az optikában.

A szuperszimmetrikus optika egy új ígéretes kutatási irányzat. Segítségével előre tervezett dielektromos tulajdonságú közegek kevésbé szigorú megkötésekkel szintetizálhatók, mint a metaanyagok transzformációs optikai módszerű előállításakor. A SUSY-alapú struktúrákkal hatékony móduskonverzió, térbeli többszörözés (multiplexálás), felületi átlátszóság és optikai éltalálkozás valósítható meg.

A szerző ebben a munkában a periodikus struktúrák szuperszimmetrikus tulajdonságait tárgyalja. Az optikai rácsok területén a SUSY hatékony Bragg-szűrők és elosztott visszacsatolású optikai üregek megtervezésére használható. Példaként a frekvenciafüggő áteresztő szűrő tervezését mutatja be (*ábra*).

Az optikai SUSY használata kiterjeszthető erősítés- és veszteséffektusainak tárgyalására is, péld-



A frekvenciafésű áteresztő szűrőt megvalósító szuperszimmetrikus rácsprofil.

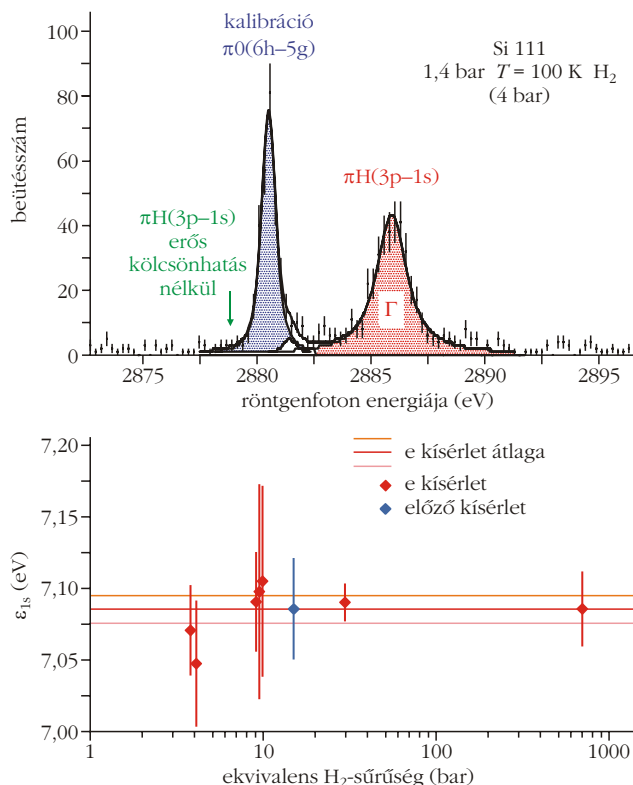
dául elosztott visszacsatolású lézerek és kombinált tér- és időtükrözést mutató (PT-szimmetrikus) optikai közegekre.

A pionos hidrogén és a kvantum-szindinamika

M. Hennebach és 14 társzerzője: Hadronic shift in pionic hydrogen. *Eur. Phys. J. A* 50 (2014) 190.

A „pionos hidrogén”, amelyben az elektron helyén egy negatív töltésű piont találunk, ugyanolyan laboratóriuma a kvantum-szindinamikának (QCD), mint a hidrogénatom a kvantum-elektrodinamikának. A pionos hidrogén adatai kis Bohr-sugara miatt nagyon érzékenyek a pion és a proton közötti erős kölcsönhatásra. Ennek eredményeként a kötési energia értéke eltolódik ahhoz képest, amikor pusztán elektromágneses kölcsönhatást vesznek figyelembe. Ezen eltolódás QCD alapelveiből induló nagypontosságú értel-

A $\pi H(3p \rightarrow 1s)$ és a $\pi^{16}O(6h \rightarrow 5g)$ átmenet szimultán mérésének eredménye (felül), az alapállapotú energia mért értéke különböző nyomáson (alul) – ábrák az eredeti cikk nyomán.



mezése az elmélet helyességének egyik fontos tesztje. Ez indokolta azon speciális kísérlet végrehajtását, amelyet a Paul Scherrer Intézet (Svájc) ciklotron-csapdájában végeztek el az ott unikálisan rendelkezésre álló kis energiájú, nagy intenzitású pion-nyalábbal. A kötési energia mérésére használt legjobb felbontású Bragg-spektrométerrel az előző mérésekhez képest a mérési pontosságot négyszeresére sikerült javítani, amint az *ábrán* látszik.

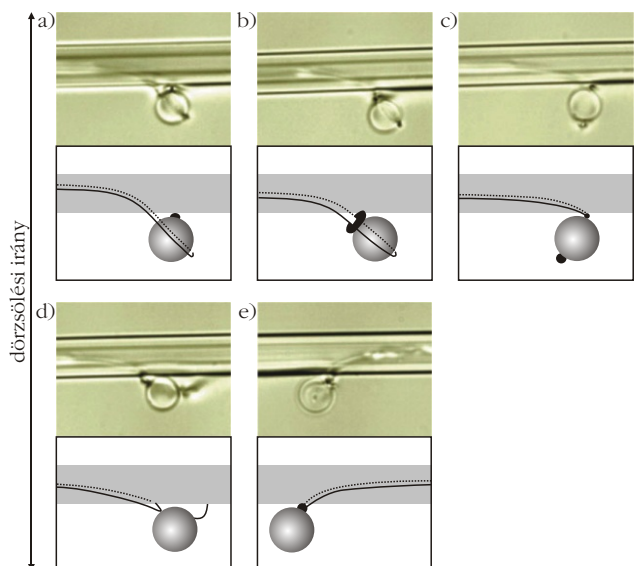
Rodeo folyadékkristályban

M. Nikkhou, M. Škarabot, I. Muševič: Topological binding and elastic interactions of microspheres and fibres in a nematic liquid crystal. *Eur. Phys. J. E* 38 (2015) 23.

A szerzők kényelmes karosszékben ülve felnagyított képeken egy joystickkel játszottak rodeót a mikroszkóp alá helyezett folyadékkristály-mintán. Módszerükkel – korábbi példa nélkül állóan – ellenőrzésük alatt tartották a kristályhibák létrejöttét folyadékkristályokban. Az eredmény mérnöki alkalmazásra ad reményt a folyékony anyagokat használó fotonikában.

Erős lézercsippessel lokálisan megolvastották a kristály anyagának egy részét és ott rendezetlen molekuláris orientációjú fázist hoztak létre. Ezt az átalakulást a kristály egy szálgeometriájú tartományát körbevéve idézik elő. A lézer kikapcsolásával az anyag megolvastott tartományai visszaalakulnak párhuzamos orientációjú molekulákból álló fázisba, ezzel kör alakú hibahelypárokat hozva létre. Mindez hasonlatos a rendező kristálytér szokványos megszakadásának hatásaihoz, de tervezetten következik be. A hibagyűrű, mint egy anyagidegen köté, képes erősen összekapcsolni egy mikrogömböt és egy hosszú, mikrométer keresztmetszetű szálat. A szerzők szerint eljárásuk alkalmas a fényáram szabályozására a gigahertzes frekvenciatartományban a folyadékkristályos fotonikai mikroeszközökben.

Dipoláris mikrogömb hozzákötése egy folyadékkristályszálon létrehozott monopólushoz (ábra az eredeti cikk nyomán).





Az európai (felül) és a közép-európai (jobbra) határkeresztező éves villamosenergia-áramlások az országok villamosenergia-rendszerei között. Jól látható, hogy Magyarország főleg Ukrajnából, illetve Szlovákián keresztül Cseh- és Lengyelországból kap villamos energiát. Az értékek GWh-ban értendők, forrás MAVIR: A magyar villamosenergia-rendszer 2013. évi statisztikai adatai. (Lásd Aszódi Attila írását!)

