

fizikai szemle

An aerial, black and white photograph of a massive cyclone or storm system over the ocean. The storm's eye is visible in the lower-left quadrant, surrounded by dense, swirling clouds that spiral outwards. The surrounding ocean surface shows a rough, textured appearance with whitecaps and dark patches, likely due to the storm's influence. The overall scene is dramatic and captures the raw power of nature.

2007/11

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

Főszerkesztő:

Németh Judit

Szerkesztőbizottság:

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

Szerkesztő:

Tóth Kálmán

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mailcíme:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>

A címlapon:

Tírrén-tengeri középpont körül
örvénylő ciklon felhőzete. A ciklon
Dél- és Közép-Európa, a Balkán és
Észak-Afrika területét is érinti.
(Aqua műhold, MODIS-rendszer, 2005.
április 11; ELTE műholdvevő állomás;
Timár G., et al., *Geodézia és
Kartográfia* 58/11 (2006) 11–15.)

TARTALOM

<i>Finta Viktória</i> : Milyen hatásai vannak a környezetünkben lévő nem ionizáló elektromágneses sugárzásoknak?	349
<i>Krasznaborkay Attila</i> : Egzotikus atommagok	357
ATOMOKTÓL A CSILLAGOKIG	
<i>Tasnádi Péter</i> : Mitől függ az időjárás?	362
A FIZIKA TANÍTÁSA	
<i>Károlybázy Frigyes</i> : Az öcskös felesége	367
<i>Sükösd Csaba</i> : A X. Szilárd Leó Nukleáris Tanulmányi Verseny – beszámoló, I. rész	373
Hírneves iskola – 450, kiváló tanár – 75, versenyző diákok – 25 (<i>Kovács László</i>)	378
Ronyecz József, 1928–2007 (<i>Theisz György</i>)	381
Varga István, 1952–2007 (<i>Nagy Márton</i>)	382
PÁLYÁZATOK	383
HÍREK – ESEMÉNYEK	384
<i>V. Finta</i> : Effects due to nonionizing electromagnetic radiations in our environment	
<i>A. Krasznaborkay</i> : Exotic atomic nuclei	
FROM ATOMS TO STARS	
<i>P. Tasnádi</i> : What does our weather depend upon?	
TEACHING PHYSICS	
<i>F. Károlybázy</i> : The prerogatives of the elder brother	
<i>Cs. Sükösd</i> : Report on the X. Leo Szilárd contest in nuclear physics – Part I. A distinguished school: the Lyceum at Sopron (<i>L. Kovács</i>)	
József Ronyecz, 1928–2007 (<i>G. Theisz</i>)	
István Varga, 1952–2007 (<i>M. Nagy</i>)	
TENDERS, EVENTS	
<i>V. Finta</i> : Wirkungen nicht-ionisierender elektromagnetischer Strahlungen in unserer Umwelt	
<i>A. Krasznaborkay</i> : Exotische Atomkerne	
VON DEN ATOMEN BIS ZU DEN STERNEN	
<i>P. Tasnádi</i> : Was bestimmt unser Wetter?	
PHYSIKUNTERRICHT	
<i>F. Károlybázy</i> : Die Vorrechte des älteren Bruders	
<i>Cs. Sükösd</i> : Bericht über den X. Leo-Szilárd-Wettbewerb in Kernphysik. Teil I. Altehrwürdig, aber modern: das Lyceum in Sopron (<i>L. Kovács</i>)	
József Ronyecz, 1928–2007 (<i>G. Theisz</i>)	
István Varga, 1952–2007. (<i>M. Nagy</i>)	
AUSSCHREIBUNGEN, EREIGNISSE	
<i>B. Финта</i> : Действия не-ионизирующих электромагнитных излучений в нашей окружности	
<i>A. Краснагоркай</i> : Экзотические атомные ядра	
ОТ АТОМОВ ДО ЗВЕЗД	
<i>И. Ташнади</i> : Что именно определяет нашу погоду?	
ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ	
<i>Ф. Каройбазы</i> : Препимущества старшего брата	
<i>Ч. Шюккэнд</i> : Отчет о X. студентском конкурсе им. Л. Силарда по ядерной физике. Часть первая	
Знаменитая школа: Лицеум г. Шопрона (<i>Л. Ковач</i>)	
Љежеф Ронец, 1928–2007 (<i>Л. Тејс</i>)	
Иштван Варга, 1952–2007 (<i>М. Нађ</i>)	
ОБЪЯВЛЕНИЯ-КОНКУРСЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ	

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

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

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős: Németh Judit főszerkesztő.

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

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

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

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 750.- Ft + postaköltség.

HU ISSN 0015–3257

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LVII. évfolyam

11. szám

2007. november

MILYEN HATÁSAI VANNAK A KÖRNYEZETÜNKBEN LÉVŐ NEM IONIZÁLÓ ELEKTROMÁGNESES SUGÁRZÁSOKNAK?

Finta Viktória

ELTE, Atomfizikai Tanszék

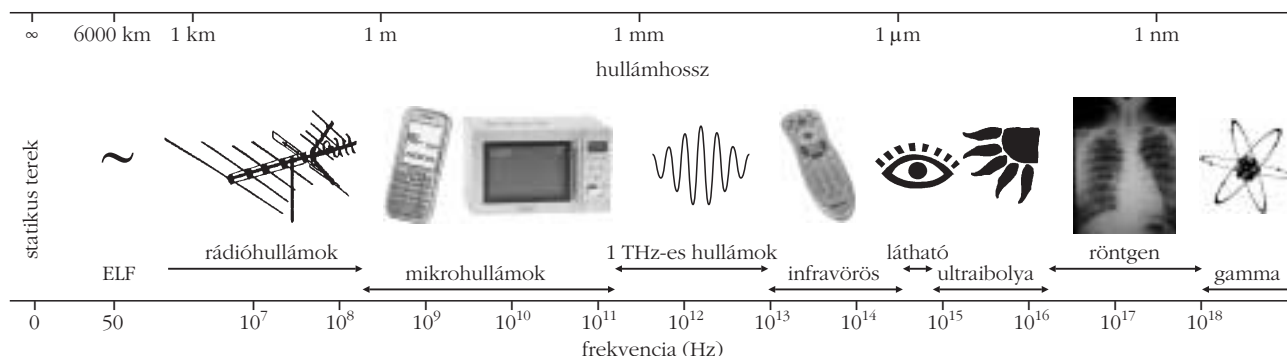
Környezetünkben lépten-nyomon kapcsolatba kerülünk elektromágneses terekkel, sugárzásokkal és hullámokkal. Bizonyára mindenki átélt már áramszünetet. Ilyenkor gyakorlatilag megbénulunk, hiszen az egész életünket behálózza az elektromosság, és ez a civilizált társadalmakban már természetesnek számít. Azonban ezen kívül is rengeteg olyan eset van, ahol a nem ionizáló elektromágneses sugárzás valamelyik formája része az életünknek.

Például a legalacsonyabb frekvenciákhoz tartozik a háztartási munkákhoz használt gépek működtetése, mivel ezek az 50 Hz-es hálózatról kapják a 230 V-os váltakozó feszültséget. A mobiltelefonálást mikrohullámok segítségével tudjuk végrehajtani (GSM 900, 1800 MHz, és újabban a 2,1 GHz), de a vacsora melegítésekor is ezekkel a hullámokkal kerülünk kapcsolatba (2,45 GHz). Rádióhallgatáshoz a rádióhullámokat használjuk, és ha kereskedelmi rádiót hallgatunk, akkor nagy valószínűséggel a 100 MHz-es nagyságrendű URH-tartományt, ahogyan televíziózásuk is. Egy napozás alatt pedig az optikai sugárzások tulaj-

donságait tapasztalhatjuk meg: az infravörös melegét, a látható napfény szikrázását és az ultraibolya barnító hatását.

Az 1. ábrán és az 1. táblázatban az elektromágneses spektrumot mutatjuk be. Ezen nyomon követhető az összes említett frekvenciatartomány. A határok természetesen nem élesek, minden esetben körülbelüli értékekre gondolunk. Az ábrán a vastag vonal a nem ionizáló/ionizáló határt jelzi. A körülbelül 3 PHz alatti frekvenciájú sugárzásoknak ugyanis túl kicsi az energiájuk ahhoz, hogy ionizálni tudják az anyagot, ezért ezeket nem ionizáló elektromágneses sugárzásoknak, illetve tereknek hívjuk. Általában az „elektromágneses sugárzás” kifejezés alatt a nem ionizáló elektromágneses sugárzásokat értjük, és jelen vizsgálódásunk is csak ezekre terjed ki. A nem ionizáló sugárzások vizsgálatának igénye csak az elmúlt évtizedekben fogalmazódott meg, amikor a környezetünkben tömegesen jelentek meg az ezeket alkalmazó készülékek és technológiák; továbbá amikor az ózonréteg elvékonyodásának következtében

1. ábra. Az elektromágneses spektrum



1. táblázat		
Az elektromágneses spektrum		
sugárzás típusa	frekvencia- tartomány	hullámhossz-
IONIZÁLÓ SUGÁRZÁSOK	> 3 PHz	< 100 nm
NEM IONIZÁLÓ SUGÁRZÁSOK		
<i>optikai sugárzások</i>		
ultraibolya UV-C UV-B UV-A	1,07–3 PHz 0,952–1,07 PHz 0,75–0,952 PHz	100–280 nm 280–315 nm 315–400 nm
látható fény	750–375 THz	400–800 nm
infravörös IR-A IR-B IR-C	214–375 THz 100–214 THz 0,3–100 THz	800–1400 nm 1,4–3 μm 3 μm–1 mm
<i>rádiófrekvenciás és mikrohullámú sugárzások</i>		
extrém magas frekvencia (EHF)	300–30 GHz	1–10 mm
szuper-magas frekvencia (SHF)	30–3 GHz	1–10 cm
ultra-magas frekvencia (UHF)	3–0,3 GHz	10–100 cm
nagyon magas frekvencia (VHF)	300–30 MHz	1–10 m
magas frekvencia (HF)	30–3 MHz	10–100 m
közép frekvencia (MF)	3–0,3 MHz	100–1000 m
<i>alacsony frekvenciás és sztatikus terek</i>		
alacsony frekvencia (LF)	300–30 kHz	1–10 km
nagyon alacsony frekvencia (VLF)	30–0,3 kHz	10–1000 km
extrém alacsony frekvencia (ELF)	100–300 Hz	> 1000 km
sztatikus terek	0 Hz	végtelen

megváltozott UV-sugárzás miatt elkezdett növekedni a bőrrákos megbetegedések száma.

Nyilvánvalóan felmerül az a gondolat, hogy ha ezek a sugárzások valóban ennyire átszövik mindennapjainkat, és valamilyen formában mindig jelen vannak környezetünkben, akkor milyen hatással vannak szervezetünkre, egészségünkre. Természetesnek tűnik az az elvárás, hogy ezeknél a sugárzásoknál is kutassuk az emberre, az élő szervezetre gyakorolt hatást, ahogyan az ionizáló sugárzásokkal tették korábban. Különösen, ha arra gondolunk, hogy, az ionizáló sugárzással ellentétben, például a rádiófrekvenciás (RF) természetes háttérsugárzás elenyésző, vagyis az RF-sugárterhelésünk csaknem egésze mesterséges forrásokból származik. Az ionizáló sugárzásokból kiindulva az egyes embert érő behatások vizsgálatakor lényegében a természetes háttér a referencia, ehhez viszonyítva mondhatunk egy értéket soknak vagy kevésnek, hiszen egészségünkre nézve a természetes értékektől való eltérések jelenthetnek veszélyt. Látni fogjuk, hogy ezeknél a sugárzásoknál kicsit más a helyzet: az emberi test is elektromos jelekkel dolgozik, amelyek nagysága jócskán meghaladhatja a külső terekét.

Az ionizáló sugárzások területét régebben kezdték kutatni. Emberre gyakorolt hatásai, a fizikai és biológiai dóziszfogalmak, a köztük fennálló kapcsolat és a mérésük, a sugárvédelmi alapelvek és a dóziskorlátok kidolgozottabbak, a szabályozások nemzetközi viszonylatban jobban összehangoltak.

Nem ionizáló sugárzások

A (nem ionizáló) elektromágneses sugárzásokat több csoportba kell sorolnunk és az egyes tartományokat külön kell vizsgálnunk. Fontos közös fizikai jellemzőik a λ hullámhossz, a ν frekvencia ($\lambda \cdot \nu = c$), és az, hogy minden elektromágneses hullám terjedési sebessége $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, a vákuumbeli fénysebesség. Ezen kívül tudjuk, hogy a hullám energiája arányos a frekvenciájával, $E = h \cdot \nu$, ahol h a Planck-állandó. A hullámhossz növekedésével, a frekvencia – és így az energia is – csökken. A nem ionizáló határhoz a körülbelül 100 nm-es hullámhossz tartozik, azaz a körülbelül 3 PHz-es frekvencia, vagyis körülbelül $12,4 \text{ eV} = 2 \cdot 10^{-18} \text{ J}$ energia, amely alatt a sugárzás nem képes ionizálni az anyagot.

Minden sugárzástípus esetén az a feladat, hogy meghatározzuk a mérhető fizikai mennyiségeket és a hozzájuk tartozó biológiai hatás szempontjából fontos mennyiségeket. Az egyes tartományoknál használt jelölések, mennyiségek összefoglalását a 2. táblázat tartalmazza. Minden

esetben végezhetünk helyszíni méréseket, amelyek megadják az adott helyen mérhető intenzitást (frekvenciaszelektíven, vagy szélesebb frekvenciasávot átfedve), illetve személyhez kötött mérést, amely azt írja le, hogy az adott személyt az adott elektromágneses környezetben mekkora expozíció éri. A kísérletek tanúsága szerint ez utóbbi módszer kínál lehetőséget az epidemiológiai vizsgálatokból származó egészségügyi következtetések levonására.

A köztudatba újabban beivódott az „elektroszmog” kifejezés, amely negatív irányba befolyásolja a közvéleményt, és több okból sem helytálló. Az elektromágneses expozícióval kapcsolatosan feltétlenül szem előtt kell tartanunk, hogy bár sok esetben a természetes háttérintenzitásnál nagyságrendekkel nagyobb a mesterséges forrásokból származó sugárzás, de ez nem egy „környezetszennyező melléktermék”, hanem az adott technológia működtetéséhez elengedhetetlen „szükséges rossz”, amely együtt jár a civilizált életmóddal. Nem csökkenthető a végletekig, tehát ilyen szempontból nem hasonlítható az ipari szmoghoz. Másfelől az elektromágneses hatások fizikai módon nem raktározódnak a szervezetben, ezért a szmog kifejezés ilyen értelemben is félrevezető lehet.

2. táblázat		
Fizikai mérhető és biológiailag hatásos mennyiségek		
sugárzás típusa	fizikai mennyiség	biológiai hatás szempontjából fontos mennyiség
UV	energia (joule)	Standard Erythema Dose: 1 SED = 100 J/m ²
RF, MH	elektromos térerősség (E , V/m), mágneses indukció (B , T), teljesítménysűrűség (S , W/m ²)	Specific Absorption Rate (fajlagosan elnyelt teljesítmény): SAR (W/kg)
ELF	E (V/m), B (T)	indukált áramsűrűség, J (A/m ²)

Optikai sugárzások

Az első vizsgált intervallum az optikai sugárzások tartománya, melynek 3 fő része van: az ultraibolya, a látható fény és az infravörös (1. táblázat). A legfőbb forrása a Nap, melynek sugárzása a sárga fény hullámhosszán a legerősebb. Hullámhosszakat tekintve ez érdemben a 100 nm-es ionizáló határtól a mm-ig terjed, frekvenciájára nézve pedig 3 PHz-tól 300 GHz-ig. A 100–400 nm-es intervallumban a fotonok még elég nagy energiájuk ahhoz, hogy kémiai változásokat hozzanak létre a szerves molekulákban, nagyobb hullámhosszakon pedig inkább a sugárzás hőhatása lehet jelentős. Az optikai sugárzásoknak életlenül sok pozitív hatása is van, ugyanakkor mindhárom típusa két fontos területet veszélyeztethet: a szemet és a bőrt.

A biológiai hatást tekintve az úgynevezett aktinikus hatásspektrum mutatja meg, hogy miként hat az optikai sugárzás az adott molekulatípusra. A hatások fotokémiai vagy termikus jellegűek lehetnek. Fotokémiai reakció esetén a sugárzás fotonjainak energiája elég nagy ahhoz, hogy hatására a molekulákban kémiai változás jöjjön létre, ez főként az UV-sugárzásokra igaz. Ekkor a kialakult hatást nem a sugárzás pillanatnyi erőssége határozza meg, hanem az elnyelt dózis, vagyis a besugárzási idő alatt elnyelt összes energia.

3. táblázat		
A cikkben használt rövidítések		
mozaikszó	kifejtése	jelentése
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection	Nemzetközi Nem-Ionizáló Sugárvédelmi Bizottság
WHO	World Health Organization	Egészségügyi Világszervezet
LASER	light amplification by stimulated emission of radiation	fényerősítés gerjesztett emisszióval
CIE	Commission Internationale de l'Éclairage	Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság
ALARA	as low as reasonably achievable	az ésszerűen elérhető legalacsonyabb szint
ELF	extremely low frequencies	igen alacsony frekvencia
IARC	International Agency for Research on Cancer	WHO Nemzetközi Rákkutató Ügynökség

Bizonyos erősség alatt pedig jelentős szerepet játszik a szervezet önhelyreállító képessége. A fotokémiai reakciókhoz fűződő egészségkárosító hatások közül a két legfontosabb a bőr, valamint a szem fotokémiai (vagy fényérzékenyített) károsodása.

A másik élettani hatás, a hőhatás esetében a fotonok energiája nem lényeges, csak a besugárzási idővel és a szövetben elnyelt teljesítménnyel kell számolnunk, valamint a szervezet hőelvezető képességével. A termikus hatáshoz kapcsolódó legfontosabb egészségkárosodás a bőr és a

szaruhártya égési sebezhetősége, valamint a retina és a szemlencse termikus veszélyeztetettsége. Ezek a látható és az infravörös-tartományok különböző sávjaihoz, valamint a lézerekhez köthetők.

Ultraibolya (UV) sugárzás

Közvetlenül az ionizáló határ alatt 100–400 nm között található az UV-tartomány, amit szintén 3 csoportra osztunk (1. táblázat). A dozimetriai egységek a 2. táblázatban találhatók.

Az embert érő UV-sugárzásnak természetes és mesterséges forrása egyaránt lehet. A természetes forrás nyilvánvalóan a Nap. Az ezredforduló tájékán elszaporodtak a szoláriumok, divattá vált a télen-nyáron barna bőr, sokan az egészség jelképének tekintik, egyfajta státuszszimbólum is. A Földre érkező ibolyántúli sugárzás nagy részét a légköri ózon elnyeli, csak a legkevésbé káros komponensek jutnak el a földfelszínre, mégis közismert a túlzott napozás és a bőroregedés, valamint a bőrrák közti összefüggés.

Mindannyian sok fontos dolgot tudunk az UV-sugárzással és a „leégéssel” kapcsolatosan, ami elsősorban az ICNIRP és a WHO érdeme. (A mozaikszavak kifejtését és jelentését a 3. táblázat tartalmazza.) De mi is az a „leégés”? Orvosi nevén *erythema*, magyarul bőrpír. Biztosan mindenki ismeri valamelyik fokozatát, ez lehet enyhe pirosság, amely hamar „egészségesen barna” bőrszínre válik, vagy lehet komolyabb, napokig tartó vörösség és fájdalom (netán hólyagos), mely valójában (enyhe) égési sérülés, és általában a bőr lehámlásával végződik. Azt feltétlenül tudnunk kell, hogy ez korántsem egészséges, a hatások ráadásul összeadódnak (szokták mondani, hogy a bőr nem felejt...), és ez a bőr korai öregedéséhez, szélsőséges esetben bőrrákhoz vezethet. Egyébként a szolárium használatának is vannak keretei, bizonyos esetekben orvosi javasolt, egyes bőrbetegségeken segíthet is. Mindazonáltal legyünk tisztában vele, hogy jelentős UV-expozícióval jár és vannak ellenjavallatai is: például 18 év alatt, leégésre hajlamos bőrtípussal, nagy számú anyajeggyel, korábbi bőrrákos megbetegedéssel és fényérzékenységgel nem

javasolt. Ezenkívül az egészséges használathoz elengedhetetlen a rendszeres műszaki ellenőrzés és a szem védelme.

Az ultraibolya-sugárzás hatásainak vizsgálata során megállapítást nyert az a tény, hogy az erythema hatásfüggvénynek 300 nm körül éles maximuma van, majd rövidebb hullámhosszak felé haladva előbb egy minimum, majd egy újabb maximum következik, azonban a 200 nm-nél rövidebb hullámhosszú sugárzásokat a levegő erőteljesen elnyeli. A bőrrák hatáspéktruma nagyon hasonló, de lényeges különbség, hogy 300 nm fölött sem csökken a veszély. Tehát, bár elsősorban az UV-B károsíthatja a bőrt, az UV-A tartományban sem elhanyagolható a hatásfüggvények nagysága. Ezért a legjobb napvédő krémnek mind az UV-A, mind az UV-B tartományban védelmet kell nyújtania.

Az UV-sugárzás, ahogyan a radioaktivitás is, nem napjaink újdonsága. Ősidőktől fogva életünk természetes része, ilyen körülmények között fejlődött ki a Földön az élet. Miért okoz mostanában mégis problémákat? A bőrrák tömeges kialakulásához több tényező is hozzájárul. A legtöbbet hirdetett ok az ózonpajzs károsodása. Az ózon a Föld felső légkörében természetes védelmet nyújtó három oxigénatomból álló molekula, melynek a 300 nm körüli hullámhosszakra maximális az abszorpciója. Egyes emberi tevékenységek következtében viszont olyan gázok (freonok) kerültek nagy mennyiségben a légkörbe, amelyek felbontják az ózon kötéseit, így csökkentve az ózon mennyiségét, az ózonréteg vastagságát és a természetadta védelmet a káros UV-sugárzással szemben. Ez ellen már sikeres nemzetközi összefogással felléptek a montreali jegyzőkönyv aláírásával, amelyhez Magyarország is csatlakozott 1989-ben. További kockázatonövelő tényező a lakosság nagyfokú mobilitása, vagyis az, hogy egyes emberek, embercsoportok nem a bőrtípusuknak megfelelő területeken élnek.

A szemet felépítő különböző alkotóelemek eltérő mértékben engedik át az optikai sugárzás különböző intervallumait. Az UV-sugárzás legnagyobb hányada már a szem legkülső rétegén, a szaruhártyán és a környező részeken elnyelődik, de ezen és a kötőhártyán okozhat gyulladást, a hosszantartó és ismétlődő rövidhullámú besugárzás pedig szürkehályogot.

A látható tartomány

A látható fény, az ibolyától a vöröség a szivárvány színeiben, a körülbelül 400–800 nm-es hullámhossztartományban észlelhető. Azt hinnénk, hogy természetesen ez a látásunkhoz szorosan kapcsolódó tartomány nem károsíthatja az egészségünket, pedig hőhatásával mindenképpen számolnunk kell. A látható fény általában valóban nem tud károsodást okozni, mert erősebb fény hatására a pupilla összeszűkül, így minimálisra csökken a bejutó fény intenzitása, ezenfelül pedig reflexszerűen hunyorítunk vagy becsukjuk a szemünket. Mégis van két speciális eset, melyek különös figyelmet érdemelnek.

Az egyik az úgynevezett „blue-light hazard”, vagyis a retina kék fény okozta károsodása. A közeli ultraibolya és az egészen rövid hullámhosszú kék színű fény (400–550 nm) már egészen kis sugárdózis esetén is retinasérülést okozhat. Ez létrejöhet akár egyszeri, rövid idejű, nagyobb besugárzás, akár többszöri, hosszantartó, kis expozíciók összeadódásának hatására. (Kialakulhat például halogénlámpa izzószálat nézve, ritkábban napfogyatkozáskor, vagy említsük meg a munkaegészségügyi szempontból lényeges hegesztők esetét, illetve a szemészorvosok kék fényű vizsgáló lámpáját.)

A másik lényeges veszély a lézer, amely nagy intenzitással és kis divergenciával rendelkező, majdnem monokromatikus fénysugarat bocsát ki. A látható tartományban sugárzó lézerek leggyakrabban egyszínű vörös vagy zöld fényűek. Kis széttartásuk miatt elterjedten használják mutatópálcaként, mivel nagy távolságban is pontszerű képet adnak az ernyőn. Épp ez teszi őket veszélyessé is az emberi bőrre és szemre nézve. Szemre irányítva, vagy tükröző felületről a szembe világítva a szaruhártya sérülését, lencsehomályt vagy akár retinakárosodást, a nagyobb teljesítményű lézerek pedig a bőrön égési sérülést is okozhatnak. A biztonsági szabályok betartásával kiküszöbölhetjük ezeket a veszélyeket, és élvezhetjük a lézerek számos előnyös tulajdonságát, a modern orvosi és műszaki megoldásokat.

Az infravörös (IR) sugárzás

Az infravörös tartomány is 3 részre osztható (1. táblázat, az 1. ábrán infravörös és THz-es hullámok). A Napból érkező infravörös sugárzást is erősen megszüri a légkör, főleg a szén-dioxid és vízmolekulák nyelik el.

Az infravörös sugárzáshoz főképpen a hőhatások kapcsolhatók, a bőr és a szaruhártya égési sebezhetősége (IR-B és C), valamint a retina (látható és IR-A) és a szemlencse termikus károsodásának veszélye (IR-A és B) kapcsolódik ehhez a 800 nm – 1 mm-es hullámhosszakat magában foglaló tartományhoz.

Az IR-sugárzás egyik fontos alkalmazása a mozgásérzékelő és az infrakamera. Ezek működése az élőlényeknek ebben a tartományban kibocsátott hősugárzásán alapul. Szintén erre alapozva alakult ki a gyógyászatban egyes betegségek korai felismerésében rendkívül hasznos emberi hőterkép (a melegebb területeken előfordulhat gyulladás, a hidegebb részek pedig keringési problémára utalhatnak). Az épületek infratérképének felvétele is az infravörös tartományhoz köthető, aminek alapján megállapítható, hogy a ház melyik területén rossz a hőszigetelés. Említsük meg ezek mellett a TV (HiFi, video, DVD stb.) távirányítóját, valamint az egyes mobiltelefonok és számítógépek infraportját, ami szintén ezen a frekvencián továbbít adatokat.

Az optikai sugárzásoknak sok kedvező hatása van, gondoljunk az egészségügyi alkalmazásokra (eszközök sterilizálása UV-fénnyel, lézerebészet, infraszauzna), vagy a napi életritmusunk (alvás) és az éves ritmusunk agyi szabályozásában betöltött szerepükre.

Ezzel együtt az optikai sugárzások természetes forrásoként a Nap és az ember által előállított mesterséges fényforrások káros hatással is lehetnek az emberi szervezetre. A napsugárzás káros hatásaira való tekintettel hozták létre az UV-index ajánlást és az egyéb biztonsági előírásokat. A fényforrások sugárzásával kapcsolatos nemzeti fotobiológiai szabványokat csak az elmúlt évtizedben dolgozták ki. Ezeket a CIE által készített áttekintés és szabványtervezet foglalja össze. Várhatóan a fényforrások csomagolásán a gyártónak kötelessége lesz feltüntetni, hogy az adott termék melyik CIE veszélyességi osztályba tartozik.

Mikrohullámú (MH) és rádiófrekvenciás (RF) sugárzás

Az elektromágneses spektrum 1 mm-től 1 km-ig terjedő hullámhosszait foglalja magában a rádiófrekvenciás és a mikrohullámú tartomány, amely a 300 kHz – 300 GHz frekvenciasávban fekszik.

Egy adótól (pl. Hertz-dipól) nagy r távolságra (az úgynevezett sugárzási zónában, ahol a távolság a hullámhossz sokszorososa) az elektromos és mágneses tér egyaránt $1/r$ szerint csökken, a teljesítménysűrűség pedig $\sim P/r^2$, ahol P az adó effektív kisugárzott teljesítménye, amely függ az antenna sugárzási teljesítményétől és karakterisztikájától. A mobiltelefon-bázisállomások irányított sugárnyalábbal dolgoznak. Ebben a frekvenciatartományban a hullám már egyenes vonalban terjed, és jól irányítható. A lakosság egy ilyen antennától származó expozícióját befolyásolja a beépítettség is, például városi környezetben a beépítettség miatt a teljesítménysűrűség a távolság körülbelül 3,5-ik hatványával csökken. Így valójában a mobiltelefonok esetében általában nagyobb egészségi kockázatot jelenthet a kézikészülék sugárzása, mint a bázisállomásoké. (Különösen, ha arra gondolunk, hogy a 900/1800/2100 MHz-hez tartozó 33,3/16,7/14,3 cm-es hullámhosszak nagysága az emberi fej méretével közel azonos.)

A világrúbról érkező természetes RF- és MH-háttér-sugárzás szolgál alapjául a rádiócsillagászatnak, ám a civilizált társadalmak által kibocsátott jelek nagyban zavarják ezt a tevékenységet. A csillagászok elérték, hogy a Nemzetközi Távközlési Unió egyes frekvenciákat védetté nyilvánítson, ezeket más célra nem adják ki, de ezek száma folyamatosan csökken a távközlés és műsorszórás egyre növekvő igénye miatt. A 600 méternél nagyobb hullámhosszú hullámokat a tengeri navigációnak tartják fenn. A rádió- és televízió-adók, a mobiltelefon-készülékek és bázisállomásaik, a mikrohullámú sütők és a radarok, valamint egyéb újonnan megjelent technológiák is, mint például a WiFi, Bluetooth és egyéb vezeték nélküli megoldások használják ezeket a frekvenciákat, de az orvosi alkalmazásuk is széleskörű.

A rádiófrekvenciás és mikrohullámú sugárzások hatásainak tanulmányozásához mára egységesen kialakult dozimetriai fogalmakat használunk. A fizikai

és a biológiai hatás szempontjából fontos mennyiségek összefoglalását a 2. táblázatban mutatjuk be.

A sugárzás elnyelődésének mértéke az emberi szövetekben a test elektromos permittivitásától (ϵ), illetve mágneses permeabilitásától (μ) függ. Mivel az energiafelvétel dielektromos polarizáció útján történik, ha a külső elektromos tér periódusideje és az elnyelő anyagban található kis dipólusok (pl. vízmolekulák) mozgásának (vibráció, rotáció stb.) periódusideje megegyezik, maximális elnyelődést, abszorpciót tapasztalhatunk. Így nyelődik el a mikrohullámú sütő (2,45 GHz) sugárzási energiája a vízben.

A biológiai fontos anyagok elektromos permittivitása emiatt frekvenciafüggő, és a levegő dielektromos állandójától meglehetősen eltér. Így a biológiai anyagban elnyelt sugárzás mennyisége (és valószínűleg biológiai hatása is) erősen frekvenciafüggő. Néhány 100 kHz alatt a sejtmembrán leárnyékolja a külső elektromos teret, a sejt belsejébe csak a nagyobb frekvenciájú hullámok hatolnak be. A sejtmembrán, makromolekulák, fehérjék, aminosavak, peptidek, vízmolekulák más-más frekvenciatartományban képesek elnyelni (a felsorolás sorrendjében ez a frekvencia nő). Ennek a különbségnek orvosi diagnosztikai jelentősége is lehet.

A sugárzás makroszkopikus behatolási mélysége az a távolság a testfelszíntől befelé, ahol az elektromágneses térerősség az e -ed részére (36,8%-ára) csökken. Például 915 MHz frekvencián (mobiltelefon) a magas víztartalmú szövetekben (izom, bőr, agyszövet, belső szervek) a behatolási mélység 3 cm, míg az alacsony víztartalmúakban (zsír és csont) 18 cm körül van. A behatolási mélység a frekvencia csökkenésével nő, 10 MHz-en vízben gazdag szövet esetén már 10 cm körüli.

A kölcsönhatásokban reverzibilis folyamatok és küszöbintenzitások feltételezhetőek, de a dózis fogalma nem definiálható pusztán az intenzitás és a besugárzási idő alapján. A mikrohullámú és rádiófrekvenciás tartományban főleg a frekvencia és a test tulajdonságai (víztartalma, mérete, alakja) határozzák meg az elnyelődés mértékét, de a SAR-eloszlás egy egészen egyszerű zsír-izom összetétel esetén is rendkívül bonyolult lehet.

Az emberben elnyelt átlagos SAR becslése általában számítási modellek segítségével történik, az eredményeket a beeső teljesítménysűrűség és frekvencia függvényében adják meg. Például 1 GHz frekvenciánál $0,1 \mu\text{W}/\text{m}^2$ beeső teljesítménysűrűség esetén $0,01 \text{ W}/\text{kg}$ SAR-ról beszélhetünk.

A természetes háttérintenzitást és a lakosságot érő tipikus mesterséges forrású sugárzásintenzitás-értékeket a 4. táblázat foglalja össze. A mikrohullámú sütők esetén a hazai és nemzetközi szabványok szerint a felülettől 5 cm-re legfeljebb $5 \cdot 10^7 \mu\text{W}/\text{m}^2$ engedélyezett, ennek új állapotban meg is felelnek a készülékek. (De azért vessük össze ezt az értéket a természetes háttérintenzitással: 16 nagyságrend a különbség!) A mobiltelefonok esetén az embert érő sugárterhelés sokkal nagyobb, egyes becslések szerint a készüléktől néhány cm-re a teljesítménysűrűség $10^7 \mu\text{W}/\text{m}^2$ is lehet.

4. táblázat

Rádiófrekvenciás és mikrohullámú megengedett intenzitásértékek

típus (RF és MH)	frekvencia	S ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	E ; B
természetes háttér	300 kHz – 300 GHz	0,0014	
városi környezet (FM VHF, UHF adótornyok, bázisállomások)	30 MHz – 3 GHz	50–1000	
100 W-os antennától 30–40 méterre		10000	
mobiltelefon (néhány cm-re)	900/1800 MHz	10^7	
mikrohullámú sütő (kb. 5 cm-re)	2,45 GHz	$5 \cdot 10^7$	
számítógép-monitor (kb. 80 cm-re)	15–60 kHz		10 V/m; 0,2 μT

Ráadásul a fej mérete, nagy dielektromos állandója, és az antenna közelsége miatt ennek a teljesítménysűrűségnek a 40–70%-a a fejben nyelődik el. Tehát a fejben elnyelt SAR sokkal nagyobb a mobiltelefon, mint más sugárzók esetén.

A biológiai és egészségi hatások (a kettő között az a különbség, hogy az előbbi a térrel való kölcsönhatásra érkező sejtszintű válasz, amit sokszor nem is érzünk, az utóbbi pedig ezek következtében esetleg fellépő makroszkopikus hatás) kutatásához modellek, sejt- és szövettenyészetek (in vitro) vizsgálata, állatkísérletek (in vivo), a szaporodásra gyakorolt hatások kutatása, továbbá epidemiológiai és humán vizsgálatok szükségesek.

A biológiai hatások biofizikai modellek segítségével történő mikroszkopikus vizsgálatok megállapítást nyert, hogy a környezetünkben jelenlévő nem ionizáló elektromágneses sugárzások kvantumenergiája a leggyengébb kémiai kötésekénél is kisebb. Az élő szervezetben a termikus zaj szintjét sem éri el, és a szervezetben saját működése során létrejövő belső térerősségek nagyságrendekkel nagyobbak lehetnek, mint a külső tér hatására bennünk keletkező terek. Ilyen módon egyes esetekben nem is helyes az ionizáló sugárzáshoz hasonlóan a külső természetes háttérhez viszonyítani az expozíciós értékeket.

Makroszkopikusan három tartományt különböztetünk meg (5. táblázat). A tartományok határai nem élesek, mivel a hatások nagyban függhetnek attól, hogy melyik szervről van szó. (Nyilvánvalóan más a jó vérellátású agy és más a vérerekben szegény szemlencse termoregulációja.) Általános tapasztalat, hogy a megfigyelt egészségi hatások jórészt a hőhatással kapcsolatosak, és ez sokszor el is felel az előző két típust, ezért is olyan nehéz felvenni az egyértelmű dózis-hatás függvényt.

A központi idegrendszerre gyakorolt hatásban az úgynevezett vér-agy gát működésének megváltozása lehet kulcsfontosságú. Ez felel azért, hogy a neuronok számára megfelelő ionösszetételű környezet legyen az agyban, és állatkísérletek tanúsága szerint a hőhatással járó mikrohullámú besugárzás eredményeképpen ennek permeabilitása megváltozhat. Így olyan vegyületek is bejuttathatóak voltak az agyba, amelye-

ket a besugárzás nélkül kizárt volna a vér-agy gát. Vizsgálatok folytak még a MH- és RF-sugárzások viselkedésre gyakorolt, illetve rákkeltő hatásainak megállapítására. A daganatkeltő és daganatnövelő hatásokra irányuló vizsgálatok eredményei ellentmondásosak, az eddigiek alapján nem valószínű, hogy számolni kell ezzel, azonban végső választ az epidemiológiai vizsgálatok sora, vagyis a hosszú idő alatt, nagy népességen összegyűjtött megbetegedési és halálzási adatok elemzése adhat.

A sugárvédelmi határértékek megállapításához a viselkedési változásokra vonatkozó állatkísérletek adtak alapot. A legalacsonyabb SAR-érték, amelynél megjelentek

változások 3–4 W/kg volt. Ennek tizedrészét javasolták foglalkozási korlátnak és 50-edrészét lakossági korlátnak, így alakult ki mára a lakosságra vonatkozó egész testben elnyelt átlagos SAR-dóziskorlátra a 0,08 W/kg érték. A sugárvédelem terén alapvető, hogy meghatározzuk a frekvenciafüggéshez alkalmazkodó dóziskorlátokat, de a sok nyitott kérdés miatt felmerült az úgynevezett elővigyázatos megközelítés alkalmazása. Ez az elv rímél az ionizáló sugárzások esetén bevált ALARA-elvre (azaz a dózis legyen olyan alacsony, amilyen ésszerűen lehetséges). Vagyis szigorúbb előírásokat adna, a technológiailag megvalósítható legalacsonyabb értékekből indulna ki és minden biológiai hatást károsnak feltételezne. Néhány országban el is kezdték a bevezetését, azonban hatalmas vitákat váltott ki, mert szakmai körökben nem tartják indokoltnak, inkább társadalmi üzenetet látnak benne. A WHO csak akkor alkalmazná az elővigyázatosság elvét általánosan, ha olyan tudományosan megalapozott dózis-hatás összefüggéssel indokolják, amely alapján bármely kis dózistól feltételezhető egészségkárosodás. Erre azonban egyelőre nincs bizonyíték.

A mobiltelefonok kérdése kiemelt helyen van a WHO vizsgálataiban, mivel a telefonhasználók nagy száma miatt kis egészségi kockázat is jelentős lehet. Az első vizsgálatok társadalmi igényre az agydaganatok kialakulásával voltak kapcsolatosak. Több országban, többféle projektet indítottak erre nézve az ezredforduló tájékán, de nem találtak bizonyítékot arra, hogy az agydaganatok kialakulásában vagy növekedésében szerepe lenne a mobiltelefon használatának. A további vizs-

5. táblázat

A mikrohullámú sugárzások hatásai

SAR	hatás	jellemző
$\leq 0,5$ W/kg	nem termikus	nincs hőmérséklet-emelkedés, termoreguláció nem aktiválódik
0,5–2 W/kg	atermikus	nincs hőmérséklet-emelkedés, a termoreguláció miatt
2–8 W/kg	termikus	hőhatás, 1 °C-nál nagyobb hőmérséklet-emelkedéssel járhat

gálatok az agy hullámainak, funkcionális működésének, a figyelem, memória, reakcióidő és a hallórendszer változásaira irányulnak. Vannak olyan vizsgálatok, amelyek nem találtak az EEG-n eltéréseket, és voltak olyanok, amelyek különböző mértékű reakcióidő-rövidülést állapítottak meg a készülékhasználóknál. Volt vizsgálat, amely olyan eredménnyel zárult, hogy a figyelemre és összpontosításra irányuló feladatok esetében a mobiltelefon-használók jobb teljesítményt nyújtottak (persze nem a telefonálás közben). Mindenképpen látható, hogy további vizsgálatok szükségesek ezen a területen.

Három témáról kell még feltétlenül szólni. Az első, hogy autózvezetés közben a bal esetek elkerülése érdekében nem javasolt a mobiltelefonálás. Ezt már tartalmazza a KRESZ is, de a jelenleg engedélyezett headsettel nem oldódik meg a probléma, mert bár a vezető keze nincs lefoglalva, a figyelme beszűkülésével is számolni kellene. Másodsorban a gyermekek körében egyre terjedő mobiltelefon-használat is aggodalmakra adhat okot, fejlődő szervezeteik, eltérő fejméretük és várhatóan hosszabb ideig tartó besugárzásuk miatt. Végül arra kell még figyelmet fordítani, hogy az elektromágneses sugárzások környezetünkre gyakorolt hatása nem feltétlenül merül ki az emberre gyakorolt hatásokban.

Amit biztosan kijelenthetünk az az, hogy a határértékek alatti sugárzások nem okoznak egészségkárosodást, azonban ez nem jelenti azt, hogy nincsen biológiai hatásuk. További kutatások szükségesek, de kellő ismeretek hiányában egyelőre az elővigyázatosság elve alkalmazható.

Alacsony frekvenciás és sztatikus terek

Alacsony frekvenciájú sugárzásokról 300 kHz-es frekvencia alatt és 1 km-es hullámhossz felett beszélünk. A környezetünk és egészségünk szempontjából két fontos tartomány van, a hálózati 50/60 Hz, amely extrém alacsony frekvencia (ELF), és a sztatikus elektromos és mágneses terek (0 Hz és végtelen hullámhossz). Ebben a frekvenciatartományban is az elektrodinamikában szokásos jelöléseket és mértékegységeket használják a térerőségekre, indukcióra.

A környezetfizika szempontjából a villamos hálózatoknak és elektromos rendszereknek azért nagy a jelentőségük, mert az elektromos és mágneses terek a berendezések környezetében alakulnak ki. Ugyanakkor a mágneses komponens be tud hatolni az emberi testbe is, ahol energiát adhat le. Melegítheti a sejteket, és megzavarhatja a szervezet elektromos impulzusait, az idegrendszer működését és a hormontermelést, mivel az agyi hullámok és a szív működés is elektromágneses aktivitáshoz kapcsolódik. Az alacsony frekven-

6. táblázat		
Sztatikus terek értékei		
típus (sztatikus)	E (V/m)	B (μ T)
természetes háttér	léggör 90–150 (villámok közelében $3 \cdot 10^6$)	Föld 25–72 (Magyarországon 46–48)
képernyők (TV, monitor)	20000	20
500 kV-os DC-kábel	30000	22
munkahely		50000
MRI páciensre / kezelőre		2–2,5·10 ⁶ / 5000

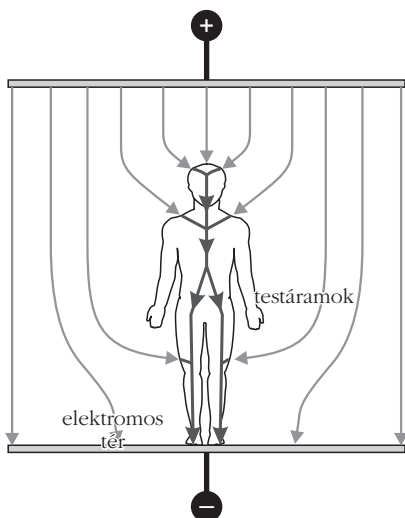
7. táblázat		
Az igen alacsony frekvenciájú terek értékei		
típus (ELF)	E (V/m)	B (μ T)
természetes háttér	10 ⁻⁴	5·10 ⁻⁴
távvezetékek (756 kV, közvetlen alatta állva)	12000	30
transzformátor		10–15
háztartási hálózat / berendezések	10–70 / 500	0,05–0,3 / 50–150
munkahely (hegesztők)		130000

ciájú változó tereket alkalmazó eszközök közvetlen környezetében sugárzás kevésbé, inkább (változó) elektromos és mágneses tér tapasztalható, akár az árnyékolások ellenére is. Az 50 Hz frekvenciájú távvezetékek környékén például jelentős az elektromágneses tér, de sugárzási teljesítménye nagyon kicsi. Számos háztartási eszközben jelen van a hálózati 50 Hz frekvenciájú változó tér, míg sokszor a magasabb frekvenciájú tereket maga az eszköz állítja elő. Ilyenek a hajszárító, a televízió, a mikrohullámú sütő stb., de például szoláriumokban az UV-expozíció mellett jelentős az 50 Hz-ből adódó mágneses tér is. A bennük kialakuló erős áram mágneses hatása, vagy a bennük levő elektromágneses tér a készüléken túlra is kiterjed. Ezen elektromágneses terek emberre gyakorolt hatása sem teljesen tisztázott, ma is aktív kutatás tárgyát képezi.

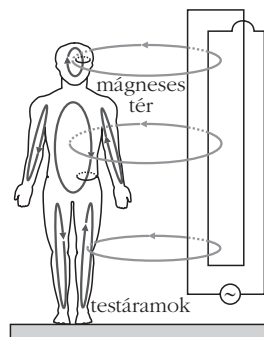
A természetes háttérértékek és néhány mesterséges forrású tér nagysága a sztatikus, illetve ELF-terekre a 6., illetve 7. táblázatban tanulmányozható. Megemlítenéd, hogy a természetes mágneses indukcióhoz képest már egy kisméretű rúd mágnes 1–10 mT-s tere is két nagyságrenddel nagyobb (mégsem félünk tőle).

A mesterséges forrásokat tekintve a sztatikus terek közül az egyenáramú (DC) vezetékek és az MRI-vizsgálat a legfontosabbak, az alacsony frekvencián pedig a nagyfeszültségű távvezetékek, a transzformátorok és a háztartási berendezések.

Az alacsony frekvenciájú sugárzások nem jutnak át a sejtmembránra, a kölcsönhatások helye így feltehetően a membránfelszín. A kisfrekvenciás terek közül a mágneses tér biológiai szempontból fontosabbnak tűnik az elektromosnál, és itt ki kell térnünk a transziens terekre is. Ezek időben gyorsan lecsengő és



2. ábra. Az elektromos tér által indukált áram az emberi testben



3. ábra. A mágneses tér által indukált áramok az emberi testben

térben erősen változó átmeneti terek, melyek elsősorban kapcsolási jelenségekből erednek, frekvenciasávjuk igen széles és összetett, a belőlük eredő mágneses indukció pedig 4 nagyságrenden belül változhat (0,001–10 μT között). A transziens terek némelyike, frekvenciája és erőssége folytán, a termikus zajnál nagyobb áramot is képes lehet indukálni a szervezetben, így egészségi kockázatot jelenthet.

Az ELF esetén (és 10 kHz alatt is) a testben történő elnyelődést a testben keletkezett áramsűrűséggel írják le, A/m^2 egységekben. (2. és 3. ábra) Például 1 μT vízszintes irányú mágneses tér 50 Hz frekvenciánál közel 0,05 A/m^2 áramsűrűséget indukál az emberi testben, és 0,02 A/m^2 áramsűrűség már meghaladja a sejtmembrán belső fizikai és biológiai zaját. Az indukált áram képes közvetlenül is ingerelni az ideg- és izomszövetet, ezt a gyógyításban hasznosítják is. A központi idegrendszert azonban közvetve is zavarhatják a testben indukált áramok az elektromos kapcsolatok befolyásolásával. Kisebb biológiai hatások már 0,001 A/m^2 esetén is fellépnek, előlött a látással és az idegrendszerrel kapcsolatos hatások tapasztalhatók. A 0,1 A/m^2 feletti áramsűrűség már ingerelhet egyes erre érzékeny szöveteket (izom és ideg), 1 A/m^2 felett pedig életveszélyes állapotok jelentkezhetnek.

Számos, különböző egészségi hatás vizsgálata zajlott már le, illetve zajlik folyamatosan. Ezek közül a legfontosabbak az ELF-terek hatása az egyes ráktípusok kialakulására. Megállapították, hogy a gyermekkori leukémia összefüggésben lehet az ELF-terekkel (8. táblázat), felnőttek körében pedig a villamosipari dolgozóknál volt szignifikánsan nagyobb a leukémia és az agydaganatok gyakorisága. Összefüggést véltek felfedezni az ELF-terek és a vetélés között is. Az Alzheimer-kór kialakulásának megnövekedett valószínűségével kapcsolatosan ellentmondásosak a vizsgálati eredmények. Egyes kutatások kimutattak összefüggést a melatonin termelődése, valamint ennek révén a depresszió és öngyilkosság terén, azonban vannak ellentétes kutatási eredmények is. Az elektromos túlérzékenységre egyáltalán nem sikerült meggyőző bizonyítékot kapni, több területen pedig szükségesek a további vizsgálatok.

Az ICNIRP ajánlásai tartalmazzák a nem ionizáló elektromágneses sugárzásokra vonatkozó egészségügyi határértékeket. Megkülönböztetnek lakossági, illetve foglalkozási határértékeket. A 10 MHz – 10 GHz tartományban a lakossági SAR-határérték egész testre 0,08 W/kg, fejre és törzsre 2 W/kg, végtagokra 4 W/kg. A munkahelyi határértékek ennek ötszörösei. 50 Hz-es frekvenciájú mágneses tér és állandó tartózkodás esetén a lakossági határérték 100 μT , az elektromos térerősség pedig 5000 V/m.

A magyarországi lakosságra vonatkozó szabályozást a 63/2004 számú ESzCsM-rendeletben találjuk, amely az EU-szabályozással egybehangzó.

8. táblázat

Az IARC által besorolt jól ismert ágensek példái

besorolás	példák az ágensre
emberi rákkeltő (1) (általában az emberben történő rákkeltés erős bizonyítékán alapul)	azbeszt, mustárgáz, dohány, <i>gamma-sugárzás</i>
valószínű emberi rákkeltő (2A) (általában az állatban történő rákkeltés erős bizonyítékán alapul)	dízelmotor kipufogó gáza, <i>UV-sugárzás</i> , formaldehid
lehetséges emberi rákkeltő (2B) (általában az emberben történő rákkeltés bizonyítékán alapul, amelyet hihetőnek tekintenek, de amelyre más magyarázat sem zárható ki)	kávé, sztrén, benzinmotor kipufogó gáza, hegesztési füstök, <i>ELF mágneses tér</i>

Összefoglalás

Láthatjuk tehát, hogy az elektromágneses sugárzás mindennapi civilizált életünk szerves része, még a legelvonultabban élő remete sem kerülheti el. Tudatában kell lennünk, hogy kényelmes életünk velejárója az egyre növekvő elektromágneses expozíció, ezért nem árt, ha tisztában vagyunk a tulajdonságaival.

Azt is láthatjuk, hogy az elektromágneses sugárzások között nem csak ionizáló és nem ionizáló jellegekben van különbség, hiszen a nem ionizáló sugárzásokon belül az egyes tartományok is eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek a környezetre és emberre nézve. Különbségek vannak a természetes/mestersé-

ges intenzitások arányában, a fizikai mérhető és a biológiailag hatásos mennyiségekben és ezek dozimetriájában, az emberi szervezettel való kölcsönhatások mechanizmusában, illetve az emberi szervezetre való jótékony és káros hatásaikban is. Miközben érdekek kereszttüzében hol túlreagálást, hol bagatellizálást tapasztalunk ezekben a témákban, figyeljünk a tudományra, éljünk és neveljünk széles látókörrel, a tények alapján!

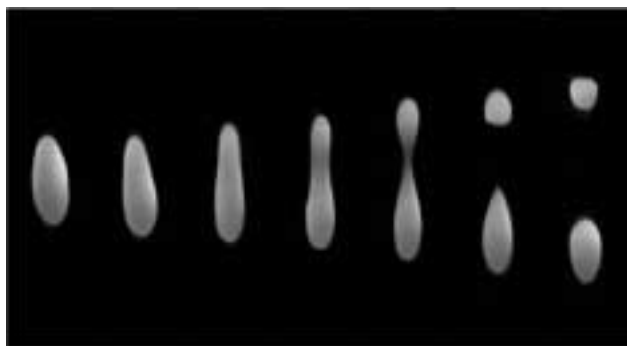
EGZOTIKUS ATOMMAGOK

Az atommagok felfedezése után hamarosan kiderült, hogy azok tulajdonságainak (méret, kötési energia, forgási és rezgési gerjesztett állapotok) leírásakor az atommagot egy apró, elektromosan töltött folyadékcseppnek tekinthetjük. Az atommag alkotórészeit, a protonokat és a neutronokat összetartó kölcsönhatás távolságfüggése valóban nagyon hasonlít a vízmolekulákat összetartó erők távolságfüggéséhez. Mindkettő rövid hatótávolságú az általa összetartott objektum méretéhez képest. Az alkotórészek hatását csak azok közvetlen szomszédai érzékelik. Ezzel szemben az elektromos töltések között ható Coulomb-kölcsönhatás hosszú hatótávolságú, hatása kiterjed az egész folyadékcseppre vagy atommagra. Az atommagnak ez a folyadékcseppmodellje nagyon hasznosnak bizonyult a maghasadás legfőbb jellemzőinek értelmezésében. A maghasadás jelenségét 1938-ban fedezte fel *Hahn* és *Strassmann*, a fenti cseppmodelllel történő értelmezést pedig már a következő évben publikálta *Bohr* és *Wheeler*.

Ha azonban a maghasadás jellemzőit pontosabban értelmezni akarjuk, még ma is zavarba kerülünk. A hasadási termékek tömegeloszlását, a hasadás dinamikáját a jelenleg rendelkezésünkre álló magmodellek egyike sem tudja pontosan értelmezni.

„A maghasadás egy alapvetően sokrészecskés jelenség, amelynek leírása jelenleg is az egyik legnagyobb kihívást jelenti a magelmélet számára, de már látszik a fény az alagút végén: a modern mikroszkopikus sokrészecskés elmélet összekapcsolása a nagy teljesítményű számítástechnikával” – állapította meg

1. ábra. Az atommaghasadás szimulációja az idő függvényében.



A szerző megköszöni *Thuróczy György* tanácsait, amelyekkel segítette e cikk megírását.

Irodalom

Köteles György: *Sugáregészségtan*. Medicina Könyvkiadó Rt., 2002.
Thuróczy György: *Az elektromágneses terek és környezetünk*. BME-OMIKK, 2002.

A Magyar Tudomány 2002. augusztusi számának cikkei: www.matud.iif.hu/02aug.html

Krasznahorkay Attila
ATOMKI, Debrecen

W. Nazarewicz, korunk egyik vezető elméleti fizikusa egy nemrég tartott konferencián.

A maghasadás folyamán különböző erősen megnyúlt magállapotok, egzotikus magalakok metastabil állapotokként hosszabb ideig is fennmaradhatnak. Ezek kísérleti vizsgálatában Debrecenben jelentős eredményeket értünk el. Írásomban elsősorban ezekről szeretnék beszámolni. Ezek az eredmények hozzásegíthetnek bennünket a maghasadás folyamatának pontosabb megértéséhez, de hasznos információkkal szolgálnak a 4. generációs atomerőművek tervezéséhez is.

1997 óta Debrecenben már három alkalommal rendeztünk nemzetközi konferenciát az egzotikus magállapotok vizsgálatáról. Konferenciáinkon magmolekulákról, piramis alakú atommagokról, neutrongazdag atommagokról talált neutronglóriás, neutronbőrös atommagokról és más különös jelenségekről is beszámoltak a résztvevők. Az utóbbi évtizedben használatba vett radioaktív nyalábok kétségkívül nagyban hozzájárultak a magfizikai kutatások fejlődéséhez, de ebben az írásban arra szeretnék rámutatni, hogy a maghasadás vizsgálata továbbra is olyan témakör, amelyben még a Magyarországon található kisenergiás gyorsítókkal is lehetett, és, szerintem, a jövőben is lehet érdekes új eredményeket elérni. Természetesen tudásunk van a maghasadás vizsgálatára alkalmas legújabb eszközökről, radioaktív nyalábokról és nagyteljesítményű, nagyon gyors (fs) lézerekről, és tervezünk is vizsgálatokat a felhasználásukkal. Írásomban erre ki fogok térni.

Az atommaghasadás

Az atommaghasadás felfedezése óriási lendületet adott a magfizikai kutatásoknak. Az atommag cseppmodelljével a maghasadás jellemzőinek értelmezése igen jól sikerült. *Lise Meitner*, a maghasadás egyik felfedezője, a folyamatot az élő sejtek osztódásához, az élet keletkezéséhez hasonlította. Az 1. ábra a maghasadás folyamatának szimulációját mutatja.

A folyadékcseppmodell értelmében az atommagok hasadását egy elektromosan töltött folyadékcsepp széthasadásaként képzelhetjük el. Elektromos töltés nélkül egy folyadékcsepp a felületi feszültségből szár-

mazó energia minimalizálására törekszik. Ezért a lehető legkisebb felületű, azaz gömb alakú egy súlytalan folyadékcsapp. Az atommagokat azonban, a protonok töltése miatt, töltött folyadékcsappoknak kell elképzelni. Az egyforma töltések taszítása miatt energetikailag kedvezőbbé válik a csepp számára, ha deformálódik, és így a töltések egymástól távolabb kerülhetnek. Így érthető, hogy a nagy rendszámú atommagok alakja általában eltér a gömbtől.

Ha az atommagnak, például egy neutron hozzáadásával további energiát adunk, akkor az egyre deformáltabbá válik, és végül széthasad, amint az az 1. ábrán is látható. A két hasadvány közötti erős taszítóerő nagy sebességre gyorsítja fel a hasadványokat. A hasadványok lefékeződésekor keletkező hő hasznosítják az atomreaktorokban.

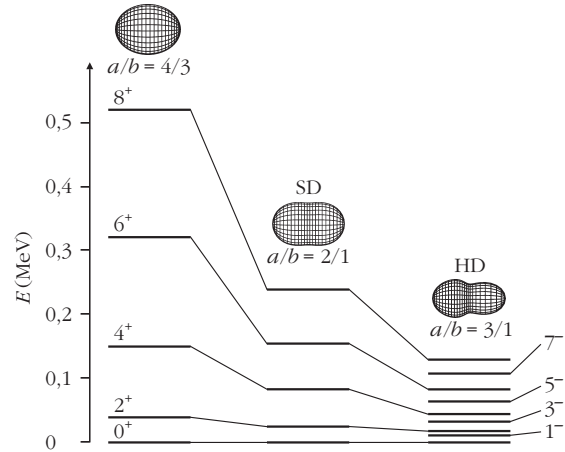
Az atommagok széthasadásakor előforduló egzotikus magalakokról sajnos nem tudunk az 1. ábrán látható szimulációhoz hasonló szép „fényképfelvételeket” készíteni, mivel az atommag túlságosan kicsi, és a maghasadás túlságosan gyorsan történik.

Lehetséges azonban, hogy a teljes széthasadás előtt az atommag még valamiféle erősen deformált, átmenetileg stabil, úgynevezett metastabil állapotba kerül, és csak utána hasad szét. Nehéz atommagok hasadásakor valóban megfigyelték, hogy bizonyos esetekben a maghasadás nem történt meg közvetlenül a magreakció lezajlása után, hanem csak néhány ns-mal vagy néhány ms-mal később [1]. Ezeket az állapotokat hasadási izomer állapotoknak nevezték el. Elméleti értelmezésüket röviddel a felfedezésük után *Strutinsky* adta meg [2]. Ezeknek az állapotoknak már sikerült kísérletileg is meghatározni az alakját.

Az atommagok alakjának kísérleti meghatározása

Egy deformált atommag, a molekulákhoz hasonlóan, foroghat is. Ezeknek a forgó kvantummechanikai rendszereknek, a perdületüktől függően, csak jól meghatározott gerjesztett állapotai lehetségesek: $E = \hbar^2/(2\theta) J(J+1)$, ahol E a gerjesztett állapot energiáját, \hbar a Planck-állandót, θ az adott molekula vagy atommag tehetetlenségi nyomatékát, J pedig a perdületét jelöli. A fenti gerjesztett állapotok (forgási sávok) mérésével meghatározhatjuk az atommagok tehetlenségi nyomatékát. Merev ellipszoidnak feltételezve az atommagot annak tehetlenségi nyomatéka a kis (b) és nagytengely (a) segítségével, a mechanikában ismert módon, kifejezhető. Adott tehetlenségi nyomatékhoz így adott magalak rendelhető.

A 2. ábrán egy tipikus transzurán atommag alapállapotához tartozó forgási állapotok (az alapállapot forgási sáv), illetve a szuperdeformált (SD) és a hiperdeformált (HD) állapotok forgási sávjai láthatók. HD-állapotok esetén az elméleti előrejelzések értelmében az atommag már nem tükrösszimmetrikus: páratlan perdületű állapotokkal is ki kell egészíteni a forgási sávot. Az atommagok alakjának meghatározásához tehát meg kell mérnünk a fenti gerjesztett állapotok energiáit.



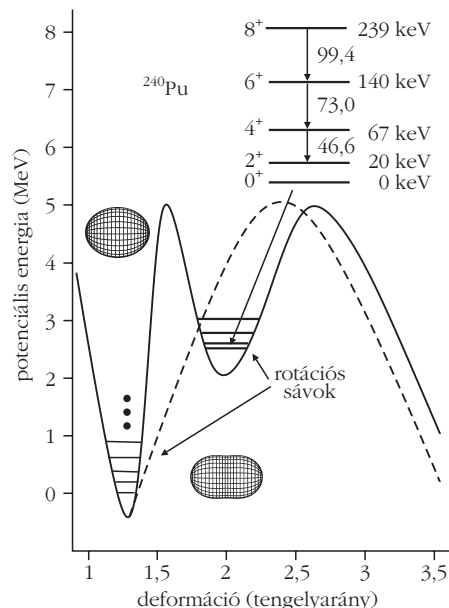
2. ábra. Különböző alakú atommagok tipikus forgási gerjesztett állapotai.

A ^{240}Pu esetén nagyon gondos magspektroszkópiai vizsgálatokkal sikerült az izomer állapotra épülő forgási sávot is meghatározni [3]. A sáv tehetlenségi nyomatékából az következett, hogy valóban erősen deformált, 2:1 tengelyarányú, szuperdeformált állapotról van szó.

A 3. ábrán a szaggatott vonal a ^{240}Pu hasadó atommag cseppmodell alapján várható potenciális energiáját (hasadási potenciált) tünteti fel a magtengelyek arányának függvényében. Ebből lehet megállapítani, hogy egy atommag milyen alaknál éri el a minimális energiájú (stabil, vagy metastabil) állapotát. Ezzel a potenciállal nem lehet értelmezni a hasadási izomer állapotot. Ennek értelmezéséhez a nukleonok között ható magerők pontosabb figyelembevétele is szükségessé vált.

A pontosabb számítások eredményét az 3. ábrán folytonos vonal tünteti fel. Az itt mutatkozó második minimum (völgy) folytán ez már alkalmas a hasadási izomer állapot értelmezésére. A folyadékcsappmodellel végzett legutóbbi sokparaméteres számítások ered-

3. ábra. A ^{240}Pu atommag hasadási potenciálja a deformáció függvényében.





4. ábra. Az EUROBALL γ -spektrométer Ge- és BGO-detektorainak fényképe. A céltárgy a kép középpontjában helyezkedik el. A külső részen elhelyezkedő folyékony nitrogént tartalmazó Dewar-edények a detektorok hűtésére szolgálnak. (A spektrométer ára hozzávetőleg 5 milliárd Ft.)

ményeit, a megfelelő magalakokkal illusztrálva a *Nature* folyóirat is közzétette [4].

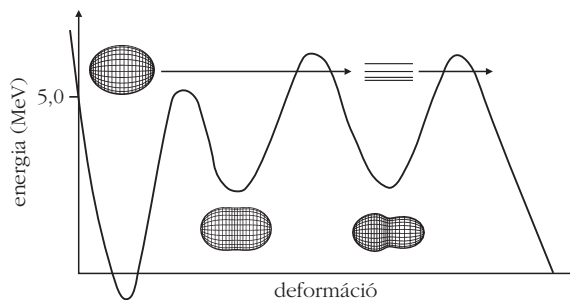
Kísérletileg a hasadási potenciál magasságát és szélességét a hasadási valószínűségeknek a gerjesztési energia függvényében történő mérésével határozhatjuk meg. A potenciálgát maximumánál kisebb gerjesztési energia esetén a maghasadás csak alagúteffektussal történhet meg, ezért annak a valószínűsége az energia csökkenésével exponenciálisan csökken.

A hasadási valószínűséget jó energiafelbontással mérve, abban rezonanciaállapotokat is megfigyeltek. A rezonanciákat a II. völgybeli gerjesztett állapotokon keresztül történő úgynevezett rezonáns alagúteffektus segítségével sikerült értelmezni. A hasadási valószínűségben megfigyelt forgási sávok is arra utaltak, hogy a ^{240}Pu atommag hasadása II. völgybeli szuperdeformált állapotokon keresztül történt.

Hiperdeformált állapotok kimutatása Debrecenben

Napjainkban a magfizikusok lázasan keresik a hiperdeformált állapotokat. A keresés kibocsátott γ -fotonok észleléséből áll. Különböző anyagokból készült, néhány mikrométer vastag céltárgyakat nagyenergiájú nehéz ionnal bombáznak, és az ennek hatására kibocsátott milliányi γ -fotonból igyekeznek azokat szétválogatni, amelyek ugyanazon magtól származnak. A lövedék hatására felpörgő mag meg is nyúlhat, és erről az egymás után kibocsátott több tucatnyi γ -kvantum energiasorozata árulkodik.

Ezen állapotok vizsgálatára nagy hatásfokú és jó energiafelbontású, ugyanakkor nagyon költséges spektrométereket építettek mind Európában (EUROBALL, 4. ábra), mind az Amerikai Egyesült Államok-



5. ábra. A ^{236}U atommag hasadási potenciálja a mag deformációjának függvényében. A nyílak a 3. völgybeli hiperdeformált forgási sávokon keresztül történő rezonáns alagúteffektust szimbolizálják.

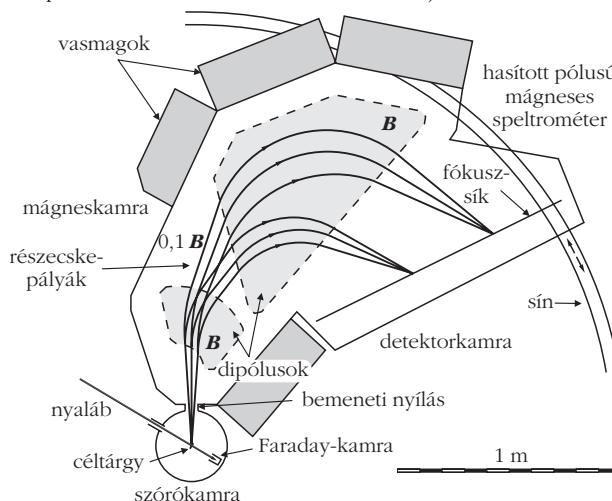
ban (GAMMASPHERE). Sebesen pörgő magok hiperdeformált állapotainak megfigyeléséről először 1993-ban számoltak be, azonban az eredményeket 1995-ben visszavonták.

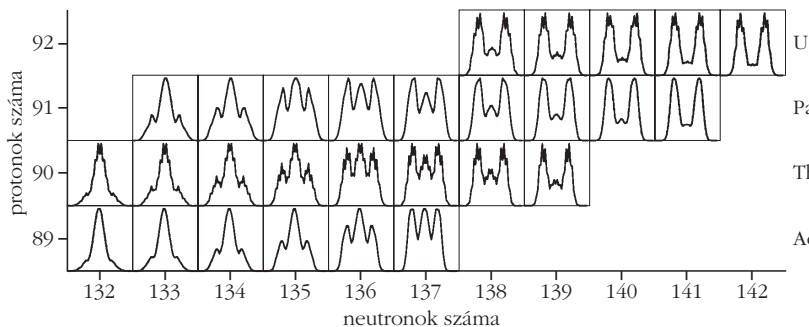
Elméleti számítások arra is utaltak, hogy nehéz hasadó magokban gyors pörgetés nélkül is kialakulhatnak „körte alakú” hiperdeformált állapotok [5], amelyek 100 és 132-es tömegszám környéki darabokra szeretnek hasadni. Az 5. ábra az ^{236}U atommagra számított hasadási potenciált ábrázolja. A számítások értelmében a hasadási potenciálnak ez esetben nemcsak 2. völgye, hanem 3. völgye is várható volt.

A Magyar Tudományos Akadémia debreceni Atommagkutató Intézetének ciklotron laboratóriumába 10 éve egy Hollandiából kapott mágneses spektrométert telepítettünk. Ez repülő ionokat tud energia szerint pontosan szétválogatni. Holland (NWO) és magyar (OTKA, GVOP) pénztámogatásokat felhasználva a spektrométerhez modern elektronikus detektort és adatgyűjtő rendszert építettünk (6. ábra).

A hasadó magok hiperdeformált állapotait kis energiájú, könnyű ionokkal bombázva lehet gerjeszteni, amelyek azután a másodperc tört része alatt széthasadnak. A reakció csak a hiperdeformált forgási állapotot gerjesztő energián megy végbe, és észleléséhez gyors egymásutánban kell a reakció során kirepülő részecskét és a hasadási terméket megfigyelni. Az előbbit a mágneses spektrométerrel, az utóbbit az ATOMKI-ban

6. ábra. A debreceni ATOMKI-ba telepített hasított pólusú mágneses spektrométer sematikus keresztmetszeti rajza.





7. ábra. Különböző aktinoida atommagok hasadásakor keletkező termékek tömegeloszlása.

kifejlesztett gázoltású detektorokkal végezzük. Ezen viszonylag egyszerű berendezések segítségével mértük az ^{236}U atommag hasadási valószínűségét a gerjesztési energia függvényében, és így először sikerült hiperdeformált forgási sávokat megfigyelni. Első eredményeinket 1997-ben, egy Debrecenben rendezett nemzetközi szimpóziumon mutattuk be [6], 1998-ban pedig a legmagasabb fizikai folyóiratokban közzöltük [7, 8]. A témakör iránti nagy érdeklődés miatt hasonló konferenciákat 2000-ben és 2005-ben is rendeztünk [9].

Legutóbbi kísérleteink alapján, amelyeket már a müncheni Ludwig Maximilians Egyetem kutatóival közösen végeztünk, a két fragmentumot hiperdeformált alakban tartó kölcsönhatás jellemzőit is sikerült meghatározni. A közeljövőben német kutatókkal együtt vizsgálni fogjuk a hasadási termékek tömegeloszlását is. Ez a kísérlet döntő bizonyítékot szolgáltathat a hiperdeformált állapotok körteszerű alakjára, valamint az állapot atommag-molekulaként történő értelmezéséhez is.

A mag szerkezet-kutatások legújabb eszközei

A magfizika hőskorában a természetben előforduló stabil atommagok tanulmányozására koncentráltak a kutatók. Az izotópok neutronszám-rendszám grafikonjának átlójához közel van az úgynevezett stabilitási sáv, amelyhez a 263 ismert stabil mag tartozik. Az elmúlt fél évszázadban sikerült előállítani számos radioaktív atommagot, amelyek zöme többnyire igen rövid élettartamú. Ezeknek a stabilitási sávon kívül eső atommagoknak a száma hétezer körül van. Az ilyen magokat tartalmazó anyagokkal azonban nehéz kísérletet végezni, mert rövid élettartamuk miatt céltárgynak többnyire lehetetlen elegendő mennyiségben előállítani őket. Így kísérleti információ sokáig csak a stabilitási sáv viszonylag kevés atommagjáról állt rendelkezésre, és az atommagok többségének szerkezetéről alig volt tudásunk.

Az atommagok szerkezetének tanulmányozásában forradalmi változást ígér a radioaktív nyalábok használata, azaz olyan kísérletek megvalósítása, amelyeknél a gyorsítóberendezésben nem stabil, hanem radioaktív atommagokat gyorsítanak. Nyalábként sok nagyságrenddel kevesebb atommag is elegendő, mint amennyire céltárgyként szükség van, így előállítás

lényegesen egyszerűbb. További előnye, hogy így a környezet sugárterhelése is nagyságrendekkel kisebb. Céltárgyként jól ismert stabil izotópokat használnak.

Az elmúlt évtized technológiai fejlesztéseinek köszönhetően a radioaktív nyalábok segítségével a magterkép hatalmas új területei válnak vizsgálhatóvá. A magfizikai kutatás a természet törvényei felfedezésének új szintjéhez érkezett. Ezekkel az új radioaktív nyalábokkal sok ezer egzotikus atommagot tanulmányozhatunk, olyanokat, amelyek többsége korábban nem is létezett, vagy csak nagyon rövid időre keletkezett a csillagok legbelső, legforróbb részeiben. Megvizsgálhatjuk azokat a magreakciókat, amelyek a csillagok és szupernóvák belsejében létrehozták az általunk ismert kémiai elemeket.

A jelenlegi legnagyobb radioaktívnyaláb-gyorsítók Németországban (Darmstadt, GSI), Franciaországban (Caen, GANIL) az USA-ban (Michigan, NSCL) és Japánban (Tokió, RIKEN) vannak. Az ATOMKI munkatársai az elmúlt években ezekkel a laboratóriumokkal gyümölcsöző kapcsolatokat alakítottak ki, és új módszereket dolgoztak ki az atommagok szerkezetének tanulmányozására.

Európában a közeljövő legnagyobb nemzetközi magfizikai beruházása a darmstadti GSI kutatóintézetben lesz [10]. Az új berendezés öt különböző területen tesz majd lehetővé magfizikai kutatásokat, és ezzel az európai magfizikai vizsgálatok központjává válik. Távolatilag e berendezésen tervezzük az egzotikus atommagok vizsgálatát, és már elkezdtük az erre szolgáló speciális detektorok építését.

A radioaktív nyalábok használata az atommaghasadás vizsgálatára is új lehetőségeket teremt. A korábbi szisztematikus vizsgálatokat jelentősen korlátozta, hogy csak néhány Th- és U-céltárgyat használhattunk. Radioaktív nyalábokkal viszont az aktinoidtartomány széles tartományán végezhetünk majd vizsgálatokat. Ennek illusztrálására a 7. ábra az egyes izotópok hasításakor kapott termékek tömegeloszlását tünteti fel. A szimmetrikus (1 csúcs közepén) és az aszimmetrikus hasadás markánsan különböző megjelenése az egymáshoz közeli izotópok esetén komoly kihívást jelent az elméleti értelmezés számára.

Az elméleti értelmezés számára.

Különböző alakú gerjesztett állapotok ugyanabban az atommagban

Megfigyeltek olyan atommagokat is, amelyek különböző gerjesztett állapotokban különböző alakúak. Ilyen tulajdonságokat mutat például a jelenleg előállítható legkönnyebb ólomizotóp, a ^{186}Pb . Egy nemrég publikált mérésben a ^{186}Pb atommag három, egymáshoz közel fekvő 0 perdületű állapotának alakja alapvetően különbözőnek mutatkozott. Az egyik állapotban az atommag alakja megnyúlt, a másikban lapult, a



8. ábra. A Nature tematikus számának címlapja.

harmadikban pedig gömbszerű volt. A magalakok ilyen sokféleségének kialakulása a protonok és a neutronok alapvető kölcsönhatásaira szolgáltató kísérleti adatokat, ezért a közeljövőben tervezzük a könnyű Pb-atommagok deformációinak vizsgálatát a CERN-ben, Európa legnagyobb atommag- és részecskefizikai központjában, egy új, óriásrezonanciákat felhasználó módszerrel.

Az atommagok széthasításától a téridőszerkezet széttöréséig

A bennünket alkotó és a körülöttünk lévő anyag keletkezésének és tulajdonságainak megértésére mind nagyobb és nagyobb teljesítményű „mikroszkópokat”, részecskegyorsítókat építenek világszerte. A legújabb ilyen gyorsítócsoda a Genfben épülő LHC, a nagy hadronütköztető.

Az LHC befejezésével körülbelül párhuzamosan és hasonló költségvetéssel folyik a NIF, az USA legnagyobb, lézerekkel indukált fúziós berendezésének beindítása is. Az elmúlt évtizedben a lézerek teljesítménye hihetetlen mértékben növekedett. Kétségtelen, hogy ebben a korábbi csillagháborús törekvések is közrejátszottak. A lézerek teljesítménye elérte a petawattot (10^{15} W), intenzitása pedig a 10^{20} W/cm²-t. A lézerekkel keltett óriási elektromos terekkel (100 kV/nm) elektronokat sikerült nagy energiára (GeV nagyságrendű) gyorsítani. Az elektronok és az azok

fékezésekor keletkező γ -sugárzások segítségével különböző magreakciókat sikerült létrehozni. Ezeket a reakciókat fel lehet használni például a maghasadás során keletkezett radioaktív hulladékok rövidebb felezési idejűekké történő átalakítására, transzmutációjára is. Egy szép példát közölt nemrég erről a *New Scientist* folyóirat [11]. Lézerekkel keltett fékezési sugárzással, (γ, n) magreakcióval, sikerült átalakítani a ^{129}I 16 millió év felezési idejű izotópját a ^{128}I 25 perc felezési idejű izotópjává.

A *Nature* folyóirat 2004-ben, *Álomnyalábok* címmel (8. ábra), egy teljes számot szentelt a lézeres részecskegyorsításnak [12]. Ekkor sikerült először jól meghatározott energiájú elektronnyalábot előállítani lézerek segítségével. A legutóbbi álomnyaláb-konferenciát Münchenben rendezték 2007 májusában, amelyen személyesen is megtapasztalhattam a résztvevők és az előadók optimizmusát és kitörő lelkesedését. Németország felismerte e terület jelentőségét, és létrehozta a MAP-ot a müncheni lézeres központot két Nobel-díjas résztvevő támogatásával (www.munich-photonics.de). Egy még nagyobb európai lézeres központ, az ELI is kialakulóban van (www.eli-laser.eu). Jelenleg 16 európai ország, köztük hazánk is támogatja a kezdeményezést.

Mivel a témába bekapcsolódó német fizikus kollégákkal már több mint 10 éve gyümölcsöző kapcsolatot alakítottunk ki a maghasadás vizsgálatára, számunkra is természetes dolog volt, hogy kutatásainkat ez irányba is kiterjesszük. Jelenleg a MAP alapvető kölcsönhatások és magátmenetek vizsgálatával foglalkozó csoportjának munkájába kapcsolódtunk be. Első terveink között szerepel monoenergiás γ -nyalábok előállítása, és azzal a maghasadás folyamatának pontosabb megismerése.

A lézerek teljesítményének további növelésével tervezzük a Schwinger-, majd pedig az Unruh-effektus vizsgálatát is. A Schwinger-effektus során a lézerek óriási elektromos tere elektron-pozitron párokat szakít ki a vákuumból, mintegy felforralja a vákuumot. A lézerek által keltett elektromos térben az elektronok gyorsulása már akkora lehet, mint egy fekete lyuk esetén a gravitációs gyorsulás. Ilyen módon a téridőszerkezet széttörésekor keletkező Unruh-sugárzás is detektálhatóvá válik. Ezen ambiciózus tervek megvalósítása sokak szerint mára már elérhető közelségbe került.

Irodalom

1. S.M. Polikanov et al., *Soviet Journal of Physics* (JETP) 15 (1962) 1016.
2. V.M. Strutinsky, *Nuclear Physics A* 95 (1967) 420.
3. H.J. Specht et al., *Physics Letters B* 41 (1972) 43.
4. P. Möller et al., *Nature* 409 (2001) 785.
5. S. Cwiok et al., *Physics Letters B* 322 (1994) 304.
6. A. Krasznahorkay et al., *Acta Physica Hungarica* 7 (1998) 35; <http://www.atomki.hu/ens97>
7. A. Krasznahorkay et al., *Physical Review Letters* 80 (1998) 2073.
8. A. Krasznahorkay et al., *Physics Letters B* 461 (1999) 15.
9. <http://www.atomki.hu/ens2000>; <http://www.atomki.hu/ens05>
10. <http://www.gsi.de/fair/>
11. Giant laser transmutes nuclear waste. (Breaking News) *New Scientist* 14 August 2003.
12. *Nature* 431 (2004) (teljes szám).

MITŐL FÜGG AZ IDŐJÁRÁS?

Tasnádi Péter
ELTE, Meteorológiai Tanszék

Az időjárás mindnyájunkat szinte állandóan foglalkoztatja. Néha rettenetesnek érezzük kiszámíthatatlanságát, sokszor örömet szereznek a váratlanul derűs napok, vagy megnyugvással töltenek el a csapadékos növénynevelő időszakok.

A meteorológusokat régóta foglalkoztatja a változékonyság, ugyanakkor az évszakos változatlanság oka. A következőkben megkíséreljük számbavenni azokat a tényezőket, amelyek az átlagos időjárást alakítják, s azokat is, amelyek a bizonytalanságért felelősek.

Kövessük végig a földi időjárásunkat alakító fontosabb tényezőket.

A Föld távolról nézve

Földünk a Nap körül keringő bolygó, amelynek átlagos hőmérséklete 288 K körüli. Az, hogy a Föld hőmérséklete a Naptól jövő 6000 K hőmérsékletű sugárzás ellenére állandó, azt jelenti, hogy a Föld a Naptól érkező energiát nem tárolja, hanem visszajuttatja az űrbe. Érdekes megvizsgálni, hogy mi lesz a sorsa a Naptól a légkör határára érkező $1,39 \text{ kW/m}^2$ sugárzási energiának. Az összegező megállapításon túl, hogy a Föld a beérkező energiát kisugározza, s ez a dinamikus egyensúly alakítja ki a Föld átlagos hőmérsékletét, érdemes kissé részletesebben megvizsgálni, hogy a sugárzási egyensúly létrejöttében milyen szerepe van a légkörnek, a légköri víznek és a földfelszínnek.

A Nap és a Föld hőmérsékleti sugárzását különböző hullámhosszúságú sugárzások elegye alkotja, az egyes összetevők súlyát a hőmérséklet függvényében a Planck-görbe adja meg. Az 1. ábra a Nap 6000 K-es, a 2. ábra a Föld 288 K-es sugárzáseloszlási görbéjét mutatja. Az ábrákból látszik, hogy a Nap sugárzását döntően rövid-, a Földét hosszúhullámú összetevők alkotják. A két sugárzási tartomány gyakorlatilag nem fedí át egymást, hiszen a napsugárzás $2 \mu\text{m}$ körüli hullámhosszakon már gyakorlatilag semmilyen össze-

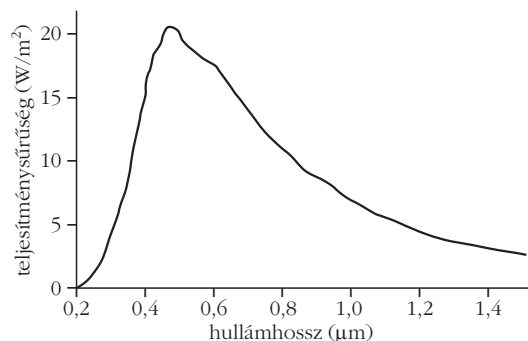
tevért sem tartalmaz, a Föld kisugárzása pedig innen indul a nagyobb hullámhosszúságú összetevők felé. Ez lehetővé teszi, hogy a mérésekben elkülönítsük a Nap rövidhullámú és a Föld hosszúhullámú sugárzását. (A 2. ábra néhány olyan folyamatra is utal, amelyekkel most nem kívánunk foglalkozni. Mutatja, hogy a légköri gázok a Föld hőmérsékleti sugárzásából egyes hullámhossz-tartományokban erősen elnyelnek. Ez az üvegházhatás, ami a Föld átlagos hőmérsékletét mintegy 20 K-nel növeli.)

A folyamatokat távolról szemlélve, és a Nap sugárözönében fürdő Földet a globális energiamérleg szempontjából figyelve az mondhatjuk tehát, hogy a Föld a sugárzás egy részét elnyeli, más részét visszaveri a világrűrbe. A elnyelt sugárzás energiája sem tárolódik, hanem a Föld hosszúhullámú sugárzása formájában visszajut az űrbe, azaz a rövidhullámú napsugárzás egy részét a Föld hosszúhullámúvá alakítja.

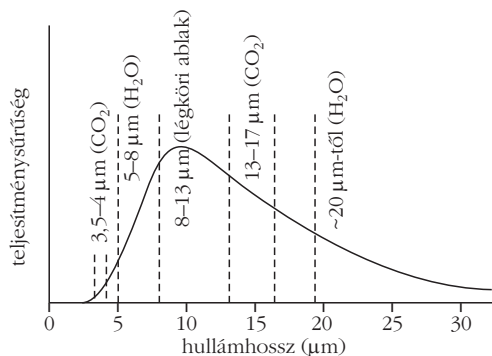
A kétféle sugárzás bonyolult visszaverődési és elnyelődési folyamatok során alakítja ki a Föld egyensúlyi hőmérsékletét. A folyamatok összegzését a Nap rövidhullámú, valamint a Föld hosszúhullámú sugárzására a 3. ábra szemlélteti. Az a) és b) ábrák a Naptól jövő energia százalékában mutatják a légkör derült és felhős részében, illetve a talajon elnyelt és visszavert (visszasugárzott) energiát. A százalékos értékek becslések eredményei. Az energiaegyensúly értelmezéséhez kissé közelebből kell szemügyre vennünk a Földet és légkört. Az ábrákon leválasztottuk a Földről az időjárási jelenségek színhelyét, a troposzférat, mely mintegy 10 km vastagságú légréteg (a Föld sugara 6390 km), és a levegő nagy részét tartalmazza.

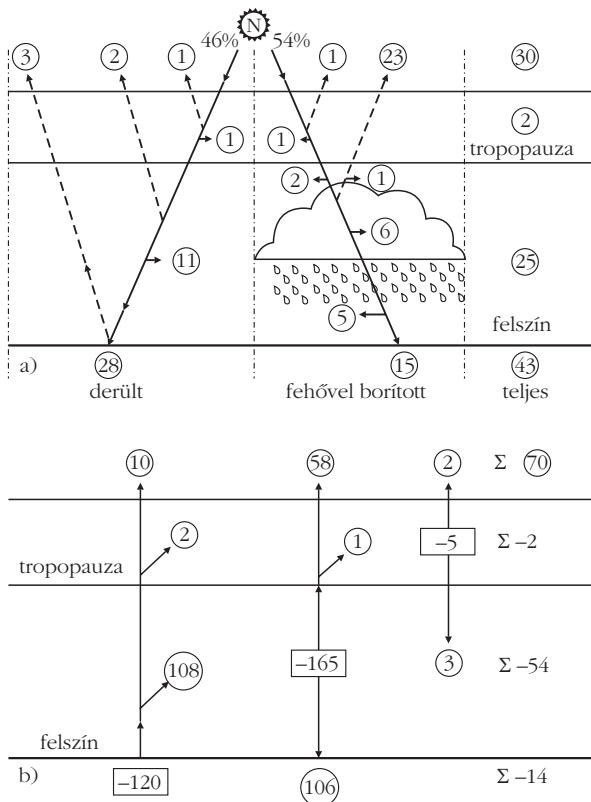
Kérdés, hogy van-e jelentősége ennek az átalakításnak azon a döntő megállapításon túl, hogy a Föld energetikailag dinamikus egyensúlyban van. A választ a termodinamika második főtételéből kaphatjuk meg. A tétel szerint az olyan rendszerekben, amelyekben spontán folyamatok mennek végbe, a rendezetlenség-

1. ábra. A Nap 6000 K-es sugárzásának eloszlási görbéje.



2. ábra. A Föld 288 K-es sugárzásának eloszlási görbéje.

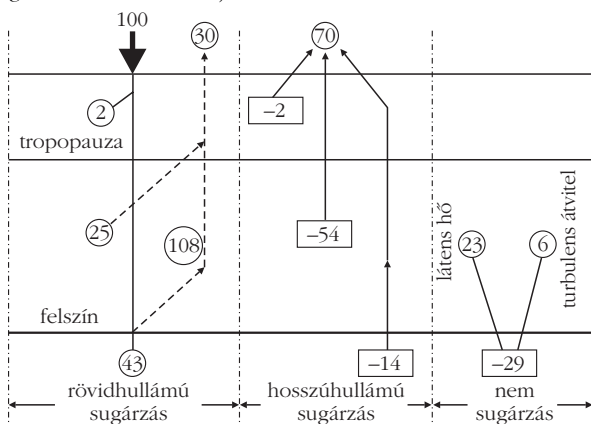




3. ábra. Az a) ábra jobb oldali oszlopa mutatja azt az (összegzett) eredményt, hogy a Naptól a Földre érkező energia 30%-a a légkör különböző elemeiről és a talajról közvetlenül visszaverődik és visszakerül az űrbe. A bejövő energia 70%-át a Föld és a légkör elnyeli és hosszuhullámú hőmérsékleti sugárzássá alakítva sugározza vissza. A b) ábrán a hosszuhullámú kisugárzás egyenlegét a jobb oldali oszlop összegzi. Megállapítható, hogy a kisugárzás döntő részéért (54%) a troposzféra felelős.

nek s az azt mérő entrópiának növekednie kell. A földi élet keletkezése azonban ennek ellentmondani látszik, hiszen például az élő szervezetek keletkezése rendeződési folyamatot, entrópiacsökkenést jelent. Az ellentmondás éppen a sugárzó energiának a rövid hullámhosszágú tartományból a hosszuhullámú felé való átalakításának figyelembe vételével oldható fel. A rövidhullámú sugárzást nagy frekvenciájú, s így

4. ábra. Az ábra a sugárzási egyensúly arányait szemlélteti. A visszavert és elnyelt sugárzás mennyiségét most is a Naptól érkező sugárzás százalékában fejeztük ki.



nagy energiájú fotonok alkotják, a visszasugárzott energiában a fotonok energiája sokkal kisebb, így a Föld sokkal több fotonot bocsát ki, mint amennyit elnyel. A Naptól érkező kevesebb foton rendezettebb állapotot képvisel, mint a Földről távozó sok foton, azaz a Naptól kis entrópiájú sugárzás érkezik, s a Földről nagy entrópiájú sugárzás távozik. A sugárzás entrópiájának növekedése lehetővé teszi, hogy a Földön rendeződési folyamatok történjenek.

Messze kalandoztunk az időjárásról! Térjünk vissza az alapkérdésünkhöz, és vegyük jobban szemügyre a troposzféra keskeny levegőrétege természetesen önmagában is termikus egyensúlyban van.

A 4. ábra mutatja, hogy a bejövő energia nagyobbik részét a Föld felszíne nyeli el. Ugyanakkor a hosszuhullámú kisugárzásért főként a troposzféra felelős. Hogyan tud a légkör több energiát kisugározni, mint amennyit elnyel? Ehhez a Föld felszínéről energiát kell átvinni a légkörbe! Az energiamérleg kialakításában, a felszín és a légkör közötti hőcsere biztosítására újabb szereplők, a légköri víz és a turbulens hőátvitel jelenik meg. Csofaldatos, hogy légkör összömegeinek átlagosan csak 0,25%-át képviselő víz az energiaháztartásban hogyan tud 23%-os szerepet játszani.

A magyarázatot egyrészt a víz gyors körforgása, másrészt nagy párolgáshője adja. A légkör teljes víztartalma körülbelül 10 naponként cserélődik, s 1 kg víz elpárologtatásához több mint 2000 kJ energia szükséges. Így már érthető, hogy a rövidhullámú sugárzástól felmelegített Földről elpárolgó, majd a magasban újra lecsapódó víz valóban hatalmas mennyiségű energiát szállít a légkörbe.

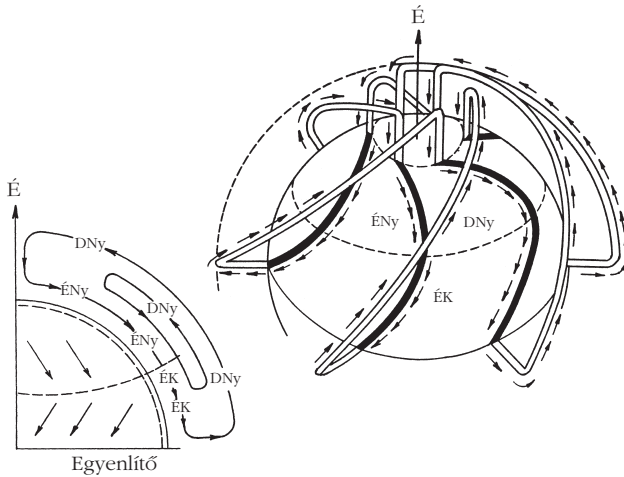
A párolgás – lecsapódás (felhőképződés) – csapadék hullás körforgás hozza létre a gyönyörű és sokszor félelmetes zivatarfelhőket, s a víz körforgalma felelős a légkör elektromosságáért és a villámokért is.

A Föld tengelye dől

Térjünk vissza ismét az időjárás alakító okok tisztázásához. A Földet a Nap sugárzása egyenetlenül melegíti. Ez akkor is így lenne, ha a Föld tengelye merőlegesen állna az ekliptika (Földpálya) síkjára, azaz a napsugarak éppen az Egyenlítőn érkeznének merőlegesen a Földre. Észak és dél felé haladva a sugarak egyre laposabb szögben érnék a Föld felszínét, azaz egyre kisebb energia esne egységnyi területre. Ekkor az Egyenlítő környékén mindig nyár, a sarkok közelében mindig tél lenne.

A Föld tengelye azonban 23,5%-os szögben hajlik az ekliptika síkjához. Emiatt az északi félteke nyarán a Ráktérítő környezetében, a délién pedig a Baktérítő környékén érkeznek a napsugarak merőlegesen a Földre. A Föld keringése miatt ily módon keletkezik az évszakok váltakozása.

Az egyenetlenül melegedő Földön a sarkok közelében sűrűbb hideg, az Egyenlítő környékén kisebb sűrűségű meleg levegő halmozódik fel.



5. ábra. A légköri mozgások Hadley által elképzelt modellje.

Áramlások a légkörben

A Nap sugárzása, a földtengely ferdesége és a Föld forgása bonyolult viszonyokat teremt, és a légkörben az egyenetlen felmelegedés és a forgás hatására áramlások indulnak. Ezek az áramlások nagy átlagban mindig ugyanúgy mennek végbe, azonban mind időben, mind helyileg nagy ingadozások is felléphetnek bennük.

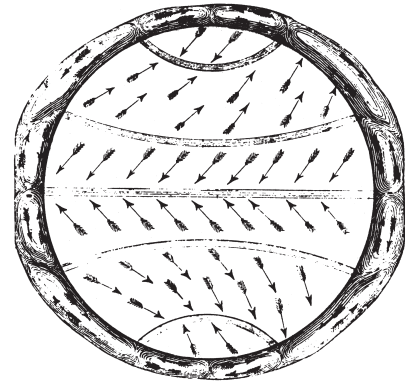
Az áramlások nagy vonalakban történő áttekintéséhez ideális, csak egy-egy fontos hatást figyelembe vevő áramlási képeket képzelhetünk el, majd ezeket egymásra szuperponálva megérthetjük a földi légkörzés átlagos viselkedését.

Amennyiben az álló Földet a Nap az Egyenlítő síkjában naponta körbejárná (ahogyan ezt az ókorban képelték), akkor a sugárzás a levegőt az Egyenlítőtől a sarkokig egyenetlenül melegítené fel. Az Egyenlítőn felmelegedő levegő felszállna, helyére a talajon hideg levegő áramlana, a meleg levegő pedig a magasban a sarkok felé áramlana, ahol kihűlve lefelé mozogna. Mindkét féltekén kialakulna tehát egy-egy légkörzés, ami a hőmérséklet kiegyenlítődsét szolgálná.

Ha a Föld forogna és a Nap nem melegítené a légkört, akkor a levegő hamarosan felvenné az adott helyen a forgásnak megfelelő sebességet, azaz a Földhöz képest nem jönnének létre áramlások.

A valóságban a két hatás együtt működik, megtévezve azzal, hogy a Föld tengelye nem merőleges az ekliptika síkjára. Ez utóbbi hatás okozza – mint már említettük – az évszakok változását. Az általános légkörzés vizsgálatakor azonban eltekinthetünk tőle.

Gondoljuk végig, mi történik a napsugárzás hatására az Egyenlítő felől a magasban észak felé áramló meleg levegővel! Az Egyenlítőn a levegő a Földdel együtt forgott nyugatról keletre. Amikor észak felé áramlik, akkor a magasabb szélességeken nem tudja azonnal felvenni az adott szélességi körön a Föld forgásából adódó sebességet, hanem megőrzi az egyenlítői mozgásnak megfelelő sebességét. Ez azt eredményezi, hogy az Egyenlítő felől érkező levegő a Földhöz képest kelet felé mozog, vagyis ott nyugati szél fúj. Hasonló okból az Egyenlítő környékén a visszaáramló hideg levegő,



6. ábra. Ferrell széliránytérképe.

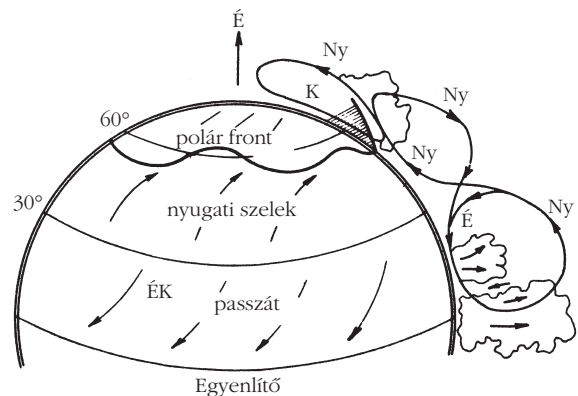
mintegy lemaradva a Föld forgásától, keleties szeleket eredményez. Ezt az elképzelést tükrözi az 5. ábra, amely a légkörzést Hadley elképzelése szerint mutatja az északi féltekére vonatkozóan.

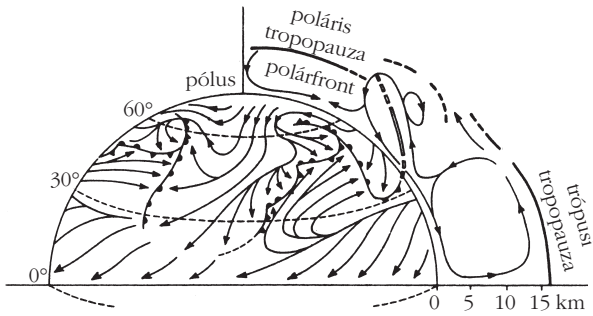
Látható, hogy a sarkkör közelében a talaj mentén mozgó hideg levegő is nyugatról keletre mozog (nyugati szél). Ez azzal magyarázható, hogy a sarkok közelében leszálló levegő még a talaj közelébe jutva is őrzi az Egyenlítőnél a Föld forgása miatt szerzett többletsebességét, s csak a térítőkörök mentén csökken sebessége (a súrlódás hatására) annyira, hogy az Egyenlítő környékére érve keleti szelet hozzon létre. Hadley modellje volt az első, amely már reális elemeket tartalmazott az általános légkörzésről, s az egyenetlen melegedés mellett a Föld forgásának hatását is figyelembe vette.

A tapasztalatok azonban mást mutattak. A hajósok már az újkor kezdetén feltérképezték a tengereken fújó szelek irányát, s a Hadley-modell csak részben tükrözte a tapasztalatokat.

A 6. ábra Ferrell egyszerű, de a felszín mentén az átlagos szélirányokat jól tükröző térképét mutatja. A térkép rámutat arra, hogy a Hadley-modell, amely egyetlen légkörzéssel, úgynevezett cellával kívánja leírni egy-egy félteke általános légkörzését, nem tartható. A térkép szerint mind az északi, mind a déli féltekén nagyjából a Ráktérítőtől, illetve a Baktérítőtől az Egyenlítő felé fújó keleties, onnan a sarkkörig a sarkkör felé keleti szél az uralkodó. Tehát a féltekék átlagos áramlási képe nem írható le egyetlen cellával.

7. ábra. Az északi félteke légköri áramlásainak rendszere Rossby szerint.





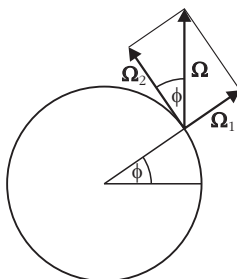
8. ábra. A légköri áramlások jelenleg általánosan elfogadott rendszerének képe az északi féltekén.

A valóságban az Egyenlítő felől a magasban a sarkok felé mozgó levegő gyorsan hűl, és a tapasztalat szerint már a térítőkörök mentén a talajra kényszerül, ott kettéválik, egy része keleties irányú passzát szelek formájában az Egyenlítő felé mozog, más része nyugati szeleket okozva a sarkok felé halad. A szélirányok mindkét esetben a Föld forgása miatt térnek el az észak-déli iránytól. Az áramlási kép leírásához már három cella szükséges. Tovább bonyolítja a képet, hogy a 40-ik és a 60-ik szélességi kör között, mint azt Rossby megállapította, létrejön egy hullámzó, az egész Földet körbeérő, a sarki hideg és az egyenlítői meleg levegőt elválasztó úgynevezett polárfront. A 7. ábra az áramlási rendszer Rossby elképzelése nyomán kialakítható képét mutatja. A képen berajzoltuk a három zárt légkörczési cellát és a hullámzó polárfrontot.

A valóságban azonban a cellák, elsősorban az Egyenlítőtől távolabb eső kettő, nem zártak. A hullámzó polárfront kitüremlései megnövekedhetnek és a frontról lefűződve zárt örvények, ciklonok és anticiklonok formájában, leszakadhatnak. A ciklonok ott keletkeznek, ahol a meleg levegő észak felé nyúlik. A meleg levegőben a nyomás alacsonyabb, így a ciklonok alacsony nyomású képződmények, amelyekben a dél felé nyúló hideg levegő gyorsabban mozog mint a meleg. A frontvonalról véletlenszerűen leszakadó ciklonok azután nyugatról keletre haladnak, forgásirányuk az északi féltekén az óramutató járásával ellentétes, a déli féltekén azonos irányú. (A 8. ábra szematikusan mutatja ezt a ma elfogadott általános áramlási képet.) Az anticiklonokban az északi féltekén a forgás iránya az óramutató járásával megegyező.

A mérsékelt öv, így hazánk napi időjárását, az előre nehezen jósolható változékonyságot lényegében a

9. ábra. A Föld szögsebességének vízszintes és függőleges komponensei ϕ földrajzi szélességen.



törvényszerűen keletkező mérsékelt égövi ciklonok hozzák létre. Az örvények leszakadásának a Föld egyenetlen melege és forgása miatt törvényszerűen be kell következnie, az örvények keletkezésének azonban sem a helye, sem az ideje nem jósolható hosszú időtartamra előre.

A Coriolis-erő, avagy merről fúj a szél

A ciklonok forgásirányának magyarázatához az eddigi nagyon általános érveléssel szemben részletesen kell vizsgálnunk a levegőrészek mozgását létrehozó erőket. A szabad légkörben a nehézségi erő mellett a levegőrészek mozgását csak a nyomásból származó erő alakítja. A mozgást azonban a Földhöz képest kívánjuk leírni, ezért figyelembe kell vennünk, hogy a Föld forgása miatt a hozzá rögzített koordináta-rendszer gyorsuló mozgást végez, azaz nem inerciarendszer. Ahhoz, hogy a Newton-törvényeket forgó rendszerekben is az inerciarendszerben megszokott formában alkalmazhassuk, tehetetlenségi erőket kell bevezetnünk.

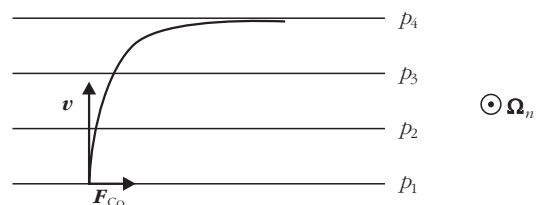
A forgó rendszer tehetetlenségi erői közül a légköri mozgásokat elsősorban a Coriolis-erő befolyásolja. A Coriolis-erő a forgó rendszerhez képest v sebességgel mozgó testekre hat, és az

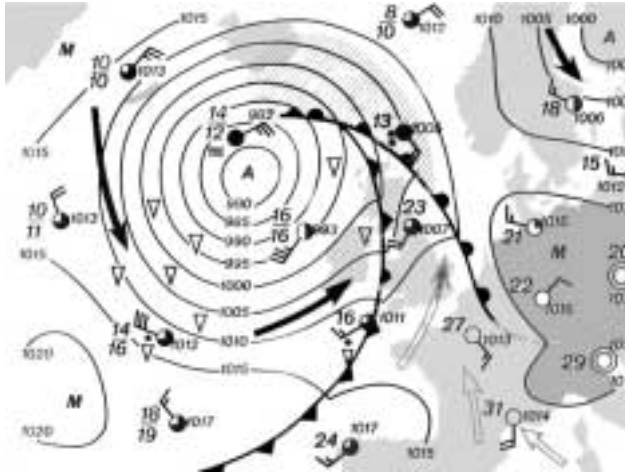
$$\mathbf{F} = 2m(\mathbf{v} \times \boldsymbol{\Omega})$$

összefüggéssel adható meg, ahol $\boldsymbol{\Omega}$ Föld szögsebessége. A Coriolis-erő tehát merőleges mind a mozgó test sebességére, mind a Föld szögsebességére. A troposzférában létrejövő, meteorológiai szempontból fontos mozgások általában csak a horizontális síkban rendelkeznek jelentős sebességgel, ezért a Coriolis-erő kiszámításakor a Föld szögsebességének többnyire csak az adott helyen vett vertikális összetevőjét kell figyelembe venni. A 9. ábra mutatja a szögsebességvektor függőleges és vízszintes komponensekre bontását.

Hétköznapi tapasztalataink arra utalnak, hogy a levegő a nagyobb nyomású hely felől áramlik a kisebb nyomású felé. (A kiszúrt luftballonból a belső nagyobb nyomás hatására áramlik ki a levegő.) A légkörben azonban a Coriolis-erő ezt az egyszerű szabályt elrontja. Ha egy légréteg a fellépő nyomáskülönbség hatására vízszintes irányban mozogni kezd az izobárokra merőlegesen, akkor a Coriolis-erő hatására pályája addig változtatja irányát, míg sebessége párhuzamossá nem válik az izobárokkal. A Föld forgása miatt a szél nem a magasabb nyomású hely felől fúj

10. ábra. A nyomáskülönbség és a Coriolis-erő együttes hatására kialakuló légköri mozgás sebességvektorának iránya az izobár felületekre merőlegestől eltér, végül azokkal párhuzamossá válik.





11. ábra. Részlet egy időjárási térképből.

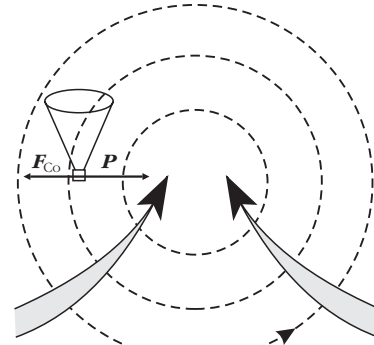
az alacsonyabb nyomású felé, hanem az izobárokkal párhuzamosan, azaz az azonos nyomású görbék mentén. Ekkor ugyanis egyensúlyba kerül a nyomásból származó és a Coriolis-erő. A 10. ábra sematikusan mutatja a nyomásváltozás miatt fellépő és a Coriolis-erő hatását egyenes izobársereg esetén.

Ciklonok, anticiklonok, frontok

A Coriolis-erő ismeretében már megérthetjük a ciklonok örvénylését is. Az időjárási térképek sok egyéb mellett megmutatják a légkör nyomás- és hőmérséklet-eloszlását, és úgynevezett szélzászlók segítségével feltüntetik a szélirányt is. A zászló nyele a szélirányt jelzi, maga a zászló pedig rövid és hosszú vonalokból áll. Egy rövid vonal körülbelül 2,5 m/s, egy hosszú körülbelül 5 m/s sebességnek felel meg. A 11. ábra időjárási térképrészletet mutat. A folytonos vonalak izobárokat (azonos nyomású helyeket) jelölnek. A rájuk írt szám a nyomás értékét jelenti hektopascalban. Az ábra közepén, az Ír-sziget mellett alacsony nyomású középponttal koncentrikus izobárok által álló képződmény, ciklon látható. A külső izobárok két pontban, ahol a háromszögekkel jelölt hideg, illetve félkörökkel jelölt melegfront elmszti őket, kissé megtörnek.

A szélzászlók jól mutatják, hogy a ciklonban a levegő az izobárok mentén mozog, az alacsony nyomású hely körül örvénylik. A légréseket a nyomáscsökkenés miatt befelé mutató és a radiálisan kifelé mutató Coriolis-erő eredője tartja fenn. A ciklon mozgásában elsődleges a horizontális örvénylés, azonban másodlagos mozgásként az alacsony nyomású középpontban felszálló légmozgások is létrejönnek. Az emelkedő levegő lehűl, páratartalma kicsapódik, és felhők keletkeznek benne.

Ha például egy hőlégballon mozgását figyeljük a ciklonban, akkor a ballon először befelé mozogna a ciklon alacsony nyomású középpontja felé. A Coriolis-erő azonban eltértené egészen addig, amíg valamelyik állandó nyomású görbe (izobár) mentén „stabil pályára” nem állna. Ebben az esetben a centripetális erőt a csökkenő nyomás miatt fellépő, befelé mutató, erő (P) és a kifelé mutató Coriolis-erő (F_{Co}) eredője szolgáltatja (12. ábra).



12. ábra. Mozgás egy ciklon „erőterében”.

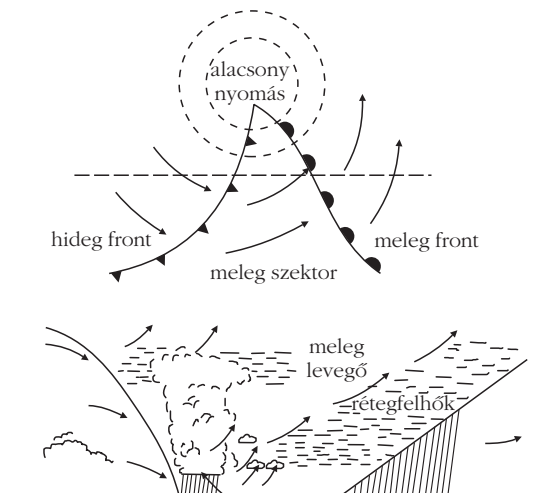
tó, erő (P) és a kifelé mutató Coriolis-erő (F_{Co}) eredője szolgáltatja (12. ábra).

Az anticiklonokban a nyomás középen a legmagasabb és kifelé haladva csökken. Ez azt jelenti, hogy a forgás mellett fellépő másodlagos mozgás ebben az esetben középen leszálló és kifelé tartó áramlás. A leszálló levegő melegszik, ezért a benne lévő felhők vízcseppei elpárolognak. Az anticiklonokban jellegzetes „felhősímlato” hatás működik.

Térjünk vissza a ciklonokhoz! A ciklonok, mint említettük, a hideg és meleg levegő határán képződő hullámszerű zavarokról leszakadó örvények, amelyekben a hideg és meleg levegő határvonalai, a frontok jól észlelhetők. A frontok mozgása közben az elől haladó meleg levegő felsiklik az előtte elhelyezkedő hidegebb fölé, míg a hátul haladó hidegfront megemeli az előtte lévő meleg levegőt. Amikor a gyorsabban haladó hidegfront utoléri a melegfrontot, úgynevezett „okkludált” front jön létre, akkor a meleg levegő kiszorul a talajszintről és a hideg fölé kerül, a ciklon élete lényegében befejeződik (13. ábra).

Időjárási szempontból a frontok a leglátványosabb képződmények, változatos felhőzetük és csapadékuk mindig szolgálhat meglepetéssel. Nagy általánosságban azt mondhatjuk, hogy a ciklon melegfrontja előtt rétegfelhők alakulnak ki, a melegszeletben (a meleg és hidegfront között) kicsit javul az idő, elszórtan,

13. ábra. Egy ciklon megsemmisülését eredményező légköri mozgások vázlatja.



véletlenszerűen gomolyfelhők keletkeznek, a hidegfront pedig általában viharos szellőkéséssel érkezik, és erős zivatarokat hoz. Ugyanakkor nyáron a tartósan meleg, télen a tartósan hideg és mindkét esetben gyakorlatilag felhőmentes időért az erős, nagykiterjedésű anticiklonok felelősek.

A fentiekben vázolt kép természetesen elnagyolt. Az időjárást rengeteg helyi tényező alakítja, a szárazföldek és vizek váltakozása, a hegységek elhelyezkedése mind-mind befolyásoló tényező, a mikroklímán akár egy faszor kivágása is változtathat.

A FIZIKA TANÍTÁSA

AZ ÖCSKÖS FELESÉGE

Az 1960-as évek elején egy néprajzkutató expedíció valamelyik esőerdő rejtett zugában egy kicsiny embercsoportra lelt, amely még hamisítatlan kőkorszaki állapotban éldegélt. Ugyan találtak már modern emberrel, de hagyományaikat, mentalitásukat romlatlanul őrizték. Az expedíció beszámolója szerint ismerték a házasság intézményét, sőt a házasságtörés intézményét is, az idevágó eseteket nem súlyos megtorlással, hanem ajándékokkal intézték el. Ami érdekes, az a következő. Az öcs távollétében a bátyja minden további nélkül „igénybe vehette” az öcs feleségét, ez nem számított bűnnek. Ennek a fordítottja azonban tiltva volt, a bátyja távollétében az öcs nem közeledhetett annak feleségéhez.

Kedves Kollégák, mindazok, akik jelen vannak, és azok is, akik egy felhő szélén ülve néznek most le ránk! Mostanában, a modern fizika megszületésével kapcsolatban, száz esztendő jubileumokhoz vagyunk szokva. Az első hazai középiskolai fizikatanári ankét nagyjából a közepére esik ennek az intervallumnak, s mint látni fogjuk, időpontja egy valóban rendkívüli fordulóponttal esik egybe. Ezért az első ankétig szálunk vissza gondolatban, s onnan pillantunk először hátra, azután előre.

A világ az 1957. évi fizikatanári ankét előtt

A visszatekintést már megkezdjük. Mit sugall a bevezető epizód? Csak egy magyarázat képzelhető el. (Az expedíció beszámolóját tekintsük most pedagógushoz illő jó szívvel hitelesnek.) Munkamegosztás még nincs, iskola, könyv nincs, a tudás letéteményese az életkor. A felidézett kép tehát nem fertő, inkább „idil-

A 2007 tavaszán Szegeden rendezett 50. Fizikatanári Ankétön elhangzott előadás.

Irodalom

1. Czelnai Rudolf: *Bevezetés a Meteorológiába I. Légkörtani alapismeretek*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1979.
2. Czelnai Rudolf, Götz Gusztáv, Iványi Zsuzsanna: *Bevezetés a Meteorológiába II. A mozgó légkör és Óceán*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.
3. Tasnádi Péter, Juhász András, Horváth Gábor: *Fizika körülöttünk*. Műzsák, Budapest, 1994.
4. W.J. Burroughs, B. Crowder, T. Robertson, E. Wallier-Talbot, R. Whitaker: *Meteorológia*. Trio, 2000. (angol eredeti: US Weldon Owen Inc., 1996.)
5. Mészáros Ernő: *A Környezettudomány alapjai*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2001.

Károlyházy Frigyes
ELTE Fizikai Intézet

likus állapot”: a Tudásalapú Társadalom eszményi megvalósulása.

A munkamegosztás kialakulása teret ad az egyéni képességek érvényesülésének. „Az ügy a fontos, nem az egyén” őskori vízióját háttérbe szorítja a dicsőség káprázata. Az önbecsülés alapja elsősorban az egyéni helytállás lesz és marad napjainkig.

Úgy tűnhet, nem így volt, amikor Nyugat-Európában az 1100 körüli évtizedekben viszonylagos hirtelenséggel megszilárdult a kereszténység. „Hajszál híján” megvalósult a társadalomnak a Tudás áhítatos tiszteletére alapuló „nagy egyesítése”. A Tudás itt az *isten i g a z s á g* befogadását jelenti, amelynek a *kinyilatkoztatás* a forrása. „Vannak idők az emberiség történelmében, amikor a föld mintha hirtelen felmelegedne, vagy radioaktívvá válna” – írja *Kenneth Clark* erről a korszakról szólva. „Mondják (a krónikák), hogy a hívek maguk álltak be a kőszállító kocsik hámjába” – teszi hozzá, a székesegyházak építésével kapcsolatban.

1. ábra. Gislebertus: Három király



Mivel nem egy katedrális és szobor alkotójának nem ismerjük a nevét, fel-felbukkan az a nézet, hogy ez a művészek odaadó alázatának a megnyilvánulása. De még ha esetenként lenne is igazság ebben, bizonyos, hogy a lázadás is kezdettől fogva jelen van a túlzott mértékű önfeladás ellen.

Naiv hit, lefegyverző üdeség sugárzik az autuni székesegyház három királyokat ábrázoló oszlopfőjéből (1. ábra). Mégis jól ismerjük az oszlopfő (s vele az egész székesegyház) építőjének a nevét. A főkapu közepén, Krisztus lába alatt, öntudatos felirat (2. ábra) hirdeti: „Gislebertus hoc fecit.”¹

Abélard-tól a 20. század közepéig

Valamilyen hasonló, építve lázadó, mindig a nagy igazságok felé törekvő, de a kutatás szabadságáért, önállóságáért is harcoló szellem éltette és tartotta a legnemesebb szolgálni valók között a tudományt Abélard-tól a 20. századig. Nem is annyira a tudnivaló, mint inkább a megismerésének a módja állt olykor a vita középpontjában. A kinyilatkoztatás elsődlegességéért síkraszálló vitapartnerekkel szemben a fényes hitvitázó Pierre Abélard 1122-ben ezt vallotta: „A kételkedés útja vezet a kérdésekhez, a kérdések útja pedig az igazsághoz.” Az igazság szenvedélyes keresése, forrásainak „önmardosó” elemzése örökül maradt az újkor évszázadaira.

A reneszánsz és a felvilágosodás korszakaiban a tudományos gondolkodás a *transzcendens* felől a (tapasztalattal és ésszel) *megfogható* felé mozgott, gyorsan gazdagodó eredményekkel.

De csakhamar megjelent egy újfajta „felfoghatatlanság”, legjobb példa az abszolút tér és idő fogalma. Különös ellentét: Az égi mechanika diadala az $ma = F$ mozgástörvény, valamint a gravitáció *minden testre kiterjedő* érvényéből fakad, mégis, éppen e miatt az általánosság miatt, nem lehetett semmi kézzelfoghatóra rámutatni azzal, hogy „ehhez képest értendő a testek gyorsulása”. Méltó viszonyítási alapot keresve *Newton* bevezette az abszolút tér és idő fogalmát. Ő maga is birkózott velük, de, hogy például a „minden anyagi folyamattól függetlenül telő abszolút idő” a tapasztalati megközelítés szempontjából *kísértetfogalom*, azt *Kant* (1724–1804) ismerte fel a legvilágosabban.

A sikeres elmélettel való terméketlen szembefordulás helyett *Kant* óriási hatású lépést tett: a szóban forgó fogalmakat *a priori* (tapasztalatot megelőző, velünk született) *szemléleti forma* rangjára emelte. Megalkotta azt a koncepciót, hogy elménk a megismerés során csak bizonyos, *a priori* gondolatstruktúrák mentén haladhat, arról, ami ezeken kívül van, semmi biztosat nem mondhatunk.

Ezzel *Kant* mentőövet dobott, nem is annyira az égi mechanikának, mint inkább a 19. századi, különösen annak második felében a mikroszkopikus kölcsönhatásokkal foglalkozó fizikának. Az anyag belső szerke-



2. ábra. Az autuni székesegyház főbejáratának részlete.

zetével kapcsolatos jelenségek körében sehogy sem sikerült konzisztens, imponáló képet kialakítani. (Egyáltalán nem csoda, hogy *Ostwald*, a neves kémikus, még 1902-ben is kijelentette, hogy „aki a vegyületeket atomokkal kívánja magyarázni, ugyanolyan ostobaságot beszél, mint ha a gőzmozdony működését azzal akarná magyarázni, hogy egy ló van benne elrejtve”). De hogy lehetett így élni? Nos, a belenyugvás abba, hogy az érzékelésünk számára nem közvetlenül hozzáférhető mikrovilágból hiányzik az összkép, a fejlődés záloga volt, s ehhez a „kibúvót”, a biztonságérzetet a grandiózus kanti tanítás adta meg elménk rendező erejéről. (Ez a tan még 1960-ban is élt idős koponyákban!)

Szélesebb körben mindez egyszerűen a „józan ész” és a köznapi szemlélet iránt érzett bizalmat jelentette. Ezzel függ össze, hogy az elektromos és mágneses *mező* fogalma alig szerepelt az iskolában. Másfelől az ipari forradalom után a nagy horderejű alkalmazások is segítettek (kezdetben igencsak lassan!) fenntartani a fizika tekintélyét.

Fizikatanítás 1945 előtt

Az elmondottak alapján elképzelhetjük, milyen lehetett nálunk a fizikatanítás a második világháború előtti és alatti években. Némelyek számára ez az időszak még személyes emlék, számos pedagógiai megoldás máig él.

- Az anyag bőséges. A csillagászathoz (is) kapcsolódó matematikaanyagban a gömbháromszögtannal találkozhatunk.

- A tárgyalás alapos. Ha egyszer a súlypont fontos fogalom, akkor a helyét viszonylag komplikált alakú testek esetében is meg kell tudnunk határozni.

- Az elemzés nem mély („nem kukacoskodik”). Az alapokat kár elvileg firtatni, megérteni az alapok további következményeit kell. (Ez csapott át az ellentétébe a 70-es években a nagy reformtervek során.) Az Atwood-féle ejtőgépet aggály nélkül használták, ami pedig a reformlendület idején elmondhatatlan bűn lett volna (talán mint kollégánk feleségének elcsábítása?), hiszen tisztázatlan marad, hogy pontosan mi gyorsít mit.

¹ Ezt Gislebertus készítette.

• A 20. század elején végbement „forradalom a fizikában” viszont kimarad a tananyagból, mintha csak álom lett volna! Pedig 1940-ben a Planck-törvény már 40 éves, a fotoeffektus értelmezése vagy a relativitáselmélet alig fiatalabb!

Mi ennek a némaságnak a magyarázata?

Válasz: Az új fizika legelső megállapításai – és pedig éppen a leglényegesebbek – egyáltalán nem bonyolultnak, hanem nagyon is világosan áttekinthető *képtelenségnek* tűnnek. Például: Elindítunk egy fényjelet, majd egy idő után, amikor már messze jár, utána eredünk. *A fény hozzánk viszonyított sebessége nem változik meg attól, hogy üldözőbe vettük.* Vagy: A fénykvantum – „köznapi” nevén a foton – a legegyszerűbb esetben egy atomból bújik ki, és már az igen korai megfigyelések szerint is elérheti a másfél méteres hosszúságot, mielőtt „elszakad” az atomtól. De hát akkor hogyan jön ki? Fél foton nincs, az viccelődés lenne a kvantum fogalmával. Egyszerre kipattan? Akkor mit jelent az, hogy rezgés kelti?

A 20. század első évtizedeiben az úttörő kutatók is forrongva és tapogatózva álltak az új fizika misztériumával szemben. Szó sem lehetett arról, hogy az iskolában a modern fizika alapjait a szokásos módon, „lépésenként építsék rá” a korábbi ismeretekre. (Egyszerű tények megjelentek ugyan hőszugárzásról, radioaktivitásról, de csak szelídített oroszlánként.) *Nem-bogy az iskola, a tágabb tudományos világ sem érezte át a sok „fából vaskarika” jelentőségét.*

Fordulatokra korábban is volt példa a tudomány történetében. Mi teszi egyedülállóvá a 19. és 20. század fordulóját?

Röviden: *A tudományos gondolkodás végérvényesen kinötte az idegrendszer ösztönös tudását.*

Már a kutyának is van valamilyen „képe” (szakszerűbben: *az evolúció során az idegrendszerében kiépült modellje*) a világról. Félreugrik a feléje hajított kő elől, jelezve, hogy „tisztában van Newton első axiómájával”. Az ember esetében ösztönös tudáson, lazán szólva, éppen azt a *velünk született* (ma hozzátesszük: „illetve a születés utáni gyors kialakításra előkészített”) szemléleti alapot érthetjük, amelyre Kant felhívta a figyelmet. Korábban ez az alap elég szélesnek mutatkozott ahhoz, hogy a tudományos spekulációkat hordozza, ezért is tűnt véglegesnek. Kant még nem, de 1900 táján – évtizedekkel *Darwin* után – a fizikusok már „gondolhattak volna rá”, hogy *ez a szemlélet is evolúciós termék*, igenis (évmilliós) tanulás eredménye, így meghaladható – éppen ez következett be a fizika forradalmában. Amíg ez a tanusz nem esett le, az új fizika felfoghatatlannak tűnt. De ahhoz, hogy leessen, először annak az *átérzésére* lett volna szükség, hogy *a biológiának egyáltalán valami köze lehet a fizikához, aminek épp az ellenkezője élt a köztudatban.* Ezért az egységesebb nézőpontra – a kutatók egy szűk körét leszámítva – még fél évszázadot kellett várni.

Ma már tudjuk: a rafinált műszeres megfigyelés közvetítésével megragadott új világ *nem abszurdum, csupán „képtelenség”.* Az új tapasztalat rendezéséhez

a bennünk élő szemléleti képeknél *átfogóbb érvényű,* tehát *elvontabb,* matematikai ízű alapfogalmak szükségesegek, amilyen például a *téridő,* tér és idő helyett, vagy a *valószínűségi amplitúdó,* valószínűség helyett. Ami lehetetlen, az nem a megértés, hanem csupán az új ismeretek beillesztése a velünk született („millió év alatt megszokott”) szemlélet keretei közé. (A fizikatanítás egén maradt egy kis felhő: az, hogy minden gyerekek *velünk született szemlélettel* születik.)

1957: „Összeomlott a klasszikus fizika”

1945. atombomba;

1948. a tranzistor születése;

1952. a szupravezetés magyarázata;

1953. hidrogénbomba;

1953. a DNS kettős hélix szerkezete, aminosavak keltése „ősatmoszférában”;

1957. a szputnyik fellövése;

A lista önmagáért beszél. A háború utáni 12 év átörölte a falat a korábbi közgondolkodás és a „tojásfejűek (elmélettel bíbelődő tudósok) zártkörű társasága” között. A modern fizika egyrészt becsületet szerzett az addig bizalmatlan rokon tudományok berkeiben, másrészt ellenállhatatlanul benyomult a mindennapok világába. Végül 1957-ben „túlhevített folyadékként” robbant (elsősorban az USA-ban, de Nyugat-Európában is) a felismerés: *Kell az $E = mc^2$, és kell a kvantummechanika!* A „társadalom egészének felrázása” elsősorban az első és az utolsó tételhez kapcsolható, a tudományos világ számára inkább *Watson és Crick* hőstette volt a döntő motívum. (A szupravezetés az elméleti fizikusok kedvéért szerepel a listán: a kvantummechanika nélkülözhetetlenségét bizonyította „nagyon bonyolult” rendszerekre is.) Mindenki számára *érzékeltetővé* vált, hogy a relativitáselmélet vagy a kvantummechanika újszerű igazságait, ha nem is értjük világosan, komolyan kell venni.

A világ az 1957. évi fizikatanári ankét után

Az 1957-től 1965-ig tartó periódus méltó folytatást jelentett.

1960. lézer;

1963. kvazárok;

1964. kvarkok;

1965. kozmikus háttérsugárzás;

Mindezek a felfedezések, egymást erősítve, valóságos „eufóriás lökeshullámot” indítottak el az 1960-as évek derekán a tudósok világában (s velük együtt az érdeklődő, művelt nagyközönség soraiban). A tudás ugyanolyan szent egységét ígérték az úrkorszak emberének, mint amilyenért a 11. és 12. század fordulóján lelkesedtek az emberek.

Amikor Francis Crick a kollégák közé betoppanva hírül adta, hogy „megfejtettük az élet titkát”, bizonyára át is élte, amit mondott. A ködös találgatásokhoz képest arról, hogy hogyan bújik meg a leendő almafa az almagomban, a DNS szerkezete szédületes ugrást jelentett.

Hasonlóképpen, a 19. században tulajdonképpen azt sem tudtuk megmagyarázni, hogy miért van éjszaka sötét (Olbers-paradoxon), semmilyen racionális elképzelésünk nem volt a Világegyetem múltjáról. A *görbült tér* „nem semmi” koncepciója és az *ősrobbanás kísérleti bizonyítéka* (a háttérsugárzás) joggal kelthetett olyan érzést, hogy *megfejtettük a kozmosz titkát*.

A kvarkok bűbajos vonásai pedig azt sugallták: végre igazán belelátunk a mikrovilágba.

Új típusú nevelés

Az eufóriával párhuzamosan a hidegháború, a nukleáris fenyegetettség világszerte ráterelte a figyelmet a tudósok felelősségére, „az emberiség felnőtté válásának” a szükségességére.

Ennek a felbuzdulásnak két pedagógiai hajtása támadt:

1. A *korai* természettudományos szemléletre, gondolkodásra való nevelés ideája, hogy a kisgyerekkori fogékonyság ne maradjon kihasználatlanul, s a felnővekvő generáció nyitott, gyorsan alkalmazkodni képes tudás birtokában kerüljön szembe a különféle kihívásokkal.

2. Az *átfogó összefüggések, elvek* felmutatásának, sőt középpontba állításának a jelszava – mivel a gyerekek számára a *gondolkodtatás* az igazi kihívás, ami a betokosodás ellen óv –, más szóval a *mély megértés* programja.

A mozgalom 1958-ban Franciaországban indult, néhány év alatt átterjedt az USA-ra, onnan Kanadára. 1970-ben eljutott a Szovjetunióba s innen hazánkba.

A túlaradó kezdeti lelkesedés ellenére, sőt talán éppen ezért, ez a kombináció hibás, a hiba a koncepcióba *automatikusan beépülő erőltetés*, ami inkább bénít, mint ösztönöz.

Néhány példa.

Az általános iskola 3. osztályos tanulói számára a 70-es évek végén írt Környezetismereti Munkafüzetben bekeretezve áll a következő intelem:

„Jegyezd meg!

A fény és az átlátszatlan tárgyak kölcsönhatásának következménye az árnyék.”

És egy másik helyen:

„Jegyezd meg!

A változás időrendje megfordíthatatlan!”

A mai szülő talán legyint: „Ilyen apróságok becsúszhatnak, meg sem érintik a gyereket.” Akkor hát még egy példa, a halról szóló fejezetből:

„Egy nagy befőttes üveget töltsetek meg vízzel! Egyszerre ejtsetek le egy-egy darab 1 Ft-ost úgy, hogy az egyik a vízben, a másik a levegőben essen az üveg aljával azonos pontig. Melyik 1 Ft-os ér le hamarabb? Miért? Hogyan alkalmazkodott a hal alakja a vízben való élethez, mozgáshoz?”

Tessék átgondolni, az elvonatkoztatások és általánosítások milyen láncolatát kívánja ez a feladat a 8 éves gyerektől!

Nem pellengérré állítás a célom. A munkafüzet szerzőire nem felháborodással, hanem mélységes

együttérzéssel gondolok. Dehogyan akartak ők tudálékoskodni – amivel pedig megvádolták őket az elkésredett gyerekektől kiborult szülők és tanító nénik –, éppen ellenkezőleg, a lehetőleg egyszerű felé igyekeztek „önfeláldozó erőfeszítéssel”. Igenis a kedves, a gyermeki felé igyekeztek –, de, hogy honnan? Hát a szigorúan tudományostól (annak véltől), mert a hirtelen támasztott „jött éve csodáknak...” mámor üdvöztető célként jelölte meg a kinyíló gyereklélekben a természettudományos világnézet megalapozását, s őket ez a mámor magával ragadta. (Tartozunk az igazságnak azzal a megjegyzéssel, hogy a túlzásoknak e konkrét formái a – szintén túlfeszített – gimnáziumi tantervből sugároztak át a környezetismeret lankáira.)

A tudomány nagyszerűségében hinni nem bűn. Hadd iktassam ide annak a fülszövegnek egy részletét, amely *Italo Calvino Kozmikumédia* című humorosan népszerűsítő könyvének nálunk 1972-ben megjelent magyar fordításához készült, s amely ma is vállalható:

„Az emberiség a lehetőségeknek az önmagunk elpusztításától az úrkorszak felépítéséig terjedő határai között saját kezében tartja a sorsát. A nagyobb szabadság közvetlenül nem felszabadulás-élménnyel jár, sokkal inkább *a megnövekedett felelősség nyomasztó terhét* érezzük.

Biológusok egy állatkísérletben két majmot rendszertelenül jelentkező áramütéseknek tettek ki. (Ha jött egy áramütés, az mindkét majmot érte.) Az *egyik* majom keze ügyébe gombot helyeztek, amelynek nyomogatására az áramütések kimaradtak (mindkét majomra vonatkozólag). Ha a nyomogatás abbamaradt, az áramütések egy idő után újra jelentkeztek. Mindig *az a majom pusztult el előbb*, amelyik a gombhoz hozzáférhetett.

Az emberiség számára a védekezés módja világos. Fel kell nőnünk szellemileg sokkal magasabbra, hogy a csillagsátor is olyan meghitté váljék, mint kétszemélyes druszája a nyári táborozáskor. A »nevelés« egyik legfontosabb lépése a természettudományos világnézet közkinccsé tétele. Akinek kijut a megismerés és a megértés gyönyöréből, annak nincs szorongása.”

A hit, tudjuk, hegyeket mozgat meg. De olykor ártatlan gyerekeket is, mint például az 1212. évi kereszties hadjáratban. A tapasztalat megmutatta, hogy a megértés gyönyörének az erőltetéséből keserűség és könny fakad.

Permanens forradalom

Akkor hát vissza a közvetlenül szemlélhető, egyszerűen átadható tudáshoz? *Nem lehet!*

A tudás beteljesülésének 1965 után fellobbanó euforikus hangulatán átrohant az idő.

A *kettős spirál = élet titka* szentencia úgy naiv, ahogy *Descartes* örömteli meglátása annak idején: „Az állatok gépek.” Csak egyetlen példa: Hamarosan kitűnt, hogy a fontos életműködések a különböző gének be- és kikapcsolódásának megszerveződésén múlnak, egy olyan rendkívüli – és jelenleg ködbeve-

sző – összjátékon, amely a DNS-lánc alapstruktúráján messze túlmenő vizsgálni valók légióját kelti folyamatosan életre.

Ugyanezt látjuk a tudomány minden területén. Kozmológia, részecskefizika (és az egymáshoz való viszonyuk), atomfizikai szintű belemélyedés komplex rendszerekbe stb.: *új titkok és eredmények* „naponta”, s immár mind *a velünk született szemléleten túli oldalról!*

Ráadásul két, előre ki nem található körülmény:

a) A tudósok *nem félnek többé* a szemléletellenestől, inkább *tozódznak benne* (bébiuniverzumok, féreglyukak, kognitív tudományok).

b) Az internet (stb.) révén *mindenki mindenről* hall, „minden poén le van löve”.

(A régi világban inkább „szerényen visszahúzódnó” tudósok esetén „metamorfózis” nem véletlen. Kezdetben – 1960 táján – katonai és gazdasági jelentősége miatt a kormányok „fenntartás nélkül” támogatták a modern fizikára támaszkodó tudományt, de az „túl-nötte önmagát”, egyre több pénz kell, ehhez viszont az, hogy az eredmények a nagyközönségnek s azon keresztül a politikusoknak is imponáljanak. Ezért az információáramnak olykor még szenzációhajhász jellege is van. A hürelmélet egy-egy újabb verziójáról, tárgyak vagy akár személyek kvantummechanikai teleportációjáról a tér valamilyen távoli helyére, teóriákról arra nézve, hogy mi volt abban az időben, amikor még idő sem létezett, a fénysugár megállításáról és újraindításáról stb. stb., gyakran közvetlenebbül értesülünk magazinokból, hírlapokból, mint „szolid” forrásokból.)

Ilyen körülmények között ugyan miért kötné le az iskolában a diákokat egy-egy jelentéktelennek tűnő, „uncsi” részlet? Mi értelme kibogarászni, hogy ha kétszer akkora idő alatt esik le, hanem bonyolultabban? „Mi szükségem lesz az életben arra, hogy ezt pontosan tudjam?” – kérdezheti bármelyikük. (Még csak azt se mondhatjuk, hogy a jégszekrény, vagy a higanyos lázmérő miatt fontosak a fizika elemei.) Kéthárom generációval ezelőtt a fizikatanítás – bár divat volt rettegni tőle – igenis tudott imponálni, és logikus lépésekkel, nyugodt tempóban haladva képes volt rávilágítani a szabatos gondolkodás erejére. Izgalmas dolog lehetett megérteni, hogy az elengedett lufi azért esik felfelé, mert a Föld minden testet vonz. De ma, a modern fizika árnyékában? Minden esély megvan rá, hogy a fizikaóra mesedélutánná züllik időutazásról, fekete lyukakról. És még ez sem kecsegtet „fegyverszünettel”! A káoszban a tanár nem tudhat – mert nem is lehet – *minden* kérdésre kapásból kielégítő választ adni, és az osztály vadócainak könnyen támadhat olyan „meglátása”, hogy *egyikre se tud*. Hová hígul s enyész így *Rátz László* (*Wigner Jenő* szeretett tanára) tekintélye?

De mit tehet a tanár? Hogyan vívjon ki rokonszenvet és megbecsülést? Hagyja el a „piti” részleteket, ragadja meg szarvánál a bikát és tanítson *szigorú modern fizikát? Ilyen formában* ez kilátástalan. „Az al-

kalmazások ... birodalmának kapujában ... hétfejtű sárkányként őröködik ... az elektron felfoghatatlan ... térbeli viselkedése. Elosonni mellette hiábavaló, az igazi megértés útja csak rajta keresztül vezet” – írta valaki egy *Igaz Varázslat* című könyvben, a 70-es években.

A helyzet mégsem reménytelen. Az igazi megértés útja ma is a sárkányon keresztül vezet, csak hogy ma már – *nem hiábavaló* elosonni a sárkány mellett, sőt, ez a helyes tennivaló!

Hogy lehet ez? Úgy, hogy ma már *nagyon sok* modern fizikai jelenséget ismerünk (korábban ez nem így volt!) és ezek *egymást kölcsönösen* egész jól megvilágítják, *ha éppen a legmélyebb alapokat* (hullám-részecske kettősség, a spin mibenléte stb.) *nem firtatjuk*, hanem beérjük valamilyen megnyugtató, de *bát-térben maradó* hasonlattal.

Csak hogy vigyázat! *Beérjük*: ez a tanárra és a diákra *egyaránt* kell, hogy vonatkozzék! A diák azonban *csak akkor fogja elfogadni* a mély alapokra vonatkozó homályos utalásokat (akkor éri be velük), *ha már volt* valóban átélt *megértés-élménye*, amit viszont csak az egyszerű jelenségek világában szerezhet meg.

A tanár előtt tehát két „lehetetlen” feladat áll egyszerre:

– érdekessé kell tudja tenni az egyszerűt;

– elég jártasnak kell lennie a modern fizikában ahhoz, hogy egyrészt tudja, melyek azok a destruktív bonyodalmak, amelyeket – mint a réten a tehénplecsnit – el kell kerülni, másrészt, ha egy-egy gyerek mégis rákérdez, ne kelljen „tintahalként elmenekülnie”.

A két feladat *együtt* nem lehetetlen. Az elsőhöz *nem szabad*, a másodikhoz *nem szükséges* túl sokat markolni.

Így – és csakis így – a mai fizikatanár, akárcsak annak idején Rátz László, tartást és meggyőződést sugárzó és ébresztő papja lehet a tudománynak.

(Ide kapcsolódik egy gondolat a különféle „extra” programokkal, versenyekkel és általában a tehetség-gondozás eszméjével összefüggésben. Természetesen minden ilyesmi pártolendő, de ne hallgassuk el: bár a 70-es, 80-as évek „mély megértés”-programja festett egékbe nézett, a tudományos világkép nagyszerűségét *valóban közkinccsé* akarta tenni. Kényelmes álláspont, hogy „fizikát az tanuljon, akinek ez jól fekszik, vagy a karrierjéhez szükséges, a többi forduljon UFO-hívókhöz vagy halottlátókhöz, ha izgulni akar valami.” Sok tanár érzi úgy, hogy a „tudományos bizsergés” élménye *valamilyen szinten* mindenkinek kijár, s el kell jutnunk oda, hogy fizikát ugyanazért *is* tanuljunk, amiért irodalmat, vagy történelmet. Az ilyen tanár számára más dolog jelentéseket írni és más szemben állni az osztállyal.)

Szedjük pontokba a mondottakat!

A fizikatanár kutyaszorítóban

1. Az új eredmények (találgatás, önreklám is), ránk zúdulnak, akár tetszik, akár nem.

2. A teljes értékű megértés, tájékozódás igen nagyfokú absztrakciót, szigorú gondolkodást igényel.

3. Kéznevelő gondolat: legalább a hagyományos, a szemlélet számára hozzáférhető jelenségek világában szerezzünk tréninget a precíz gondolkodásból.

4. A gyereket ez mélységesen nem érdekli, legfeljebb meséket hajlandó hallgatni lézerekardokról és fekete lyukakról.

5. A későbbiekben aztán az ifjú a felszínes, bensőséges élményt nem adó „halandzsából” is kiábrándul, lelkét megkaparintja a tudományellenesség valamelyik ördöge. (Együttérzés a csodadoktorokkal, ellenszenv a begyepesedett tekintélyelvűekkel szemben stb.)

6. Ha politikus lesz belőle ... és a fizika tanításáról kell döntenie ...

A megoldás: fordulat, de nem a nivótlanság irányába.

1. *Nem mély, hanem igazi megértést* kell adni, kihasználva az erre alkalmas anyagrészeket, hogy a *gyerekekben élménnyé váljék*: a fizika (s általában a tudomány) a jelenségeket érthetőbbé, nem pedig érthetlenebbé teszi. (Egy atomerőművel kapcsolatos kérdésben nem az a volt diák fog értelmesen szavazni, akit az iskolában értelmetlenül gyötörtek, hanem az, aki a volt fizikatanárától kérdezi meg, hogy kihez kell fordulni tanácsért, mivelhogy bízik a tanárában, mert egy házi versenyen jól megértette, hogy miért világít a 100 W-os izzó halványabban, mint a 15 W-os, ha sorba kapcsoljuk őket.)

2. Ehhez tiszta, de *könnyen felfogható* gondolatvagy eseménysor kell.

Könnyen felfogható: A gondolatsor alapját vagy háttérét alkotó fogalmak mibenlétét nem kell „köteke-désbiztossá” tenni. Többet ér a helyes irányba mutató intuíció, a „termékeny pongyolaság”.

3. Ha már – akármilyen egyszerű szinten – megismertettük a gyereket az *igazi* „Aha!”-érzéssel, akkor „hallgat ránk” és üdvösen besegíthetünk a kusza információáramba vákuumenergiáról stb. Persze tudni kell disztingválni (mikor, mennyit, hogyan).

4. Ehhez a *fizikában magas szinten képzett* tanár kell, megfelelő pedagógiai hozzáállással. Fordítva nem megy, magasan képzett pedagógus, megfelelő modern fizikai hozzáállással, ilyen nincs.

5. Így remélhetünk „felelős döntésekre képes” társadalmat.

Termékeny pongyolaság

Amit így hívhatunk, az semmi esetre sem azonos a *zavaró* következetlenséggel. Inkább az idegrendszer ösztönös, spontán *segítségéről* van szó a tanulás során.

Súlyos tévhit: ami nem megtámadhatatlan, az feltétlenül és azonnal kifogásolandó. (Mert amit egyszer rosszul tanul meg a gyerek...)

Egy szívhez szóló példa. Ismert kísérlet („az anyag részecskékből áll” tétel bevezetése): hosszú kémcsőbe vizet öntünk, utána óvatosan alkoholt rétegezzük rá. Megjelöljük a folyadék felszínét, majd a két komponenst összerázzuk. A felszín lejjebb száll. Tanár: „Na mit figyeltünk meg?” Az egyik gyerek, boldogan: „Kevesebb lett.” Ha a tanár lecsap rá: „Nahát ezt ne mond-



3. ábra. Vízión a tudás tiszteltéről a múltban.

juk, tudod jól, hogy az anyag megmarad” – a gyerek elveszti a hitét, hogy a jelenségekre érdemes figyelni („úgyis mindig rossz, amit mondom”), a *fizika nem az ő ügye lesz többé*. Személyesen jelen voltam egy boldogító alkalommal, amikor a tanár másképp reagált: „Ugye, milyen érdekes?” És következett a bab meg a mák összekeverése, és az „Aha!”-élmény a gyerekekben. Ez a gyerek biztosan figyelt a következő órán is!

Az efféle helyzet mindennapos! A hőtágulás tanításakor egymás mellé fogunk egy réz- és egy vaspálcát. Melegítéskor a rézpálcát tágul nagyobb mértékben. Nem baj, ha a kísérlet első felidézésekor a gyerek elfelejti megemlíteni, hogy a két pálcát egyenlő hosszú volt! Ez az információ nem vész el a számára, hiszen látta! (Ha csakugyan volt kísérlet.) A tudatosításra egy kicsit később is sor kerülhet. Vagy: Lejtő, rajta kiskocsi, a rá ható gravitációs erő felbontva lejtő menti és arra merőleges komponensre. Könnyű (és vonzó is) eljátszani a lejtő szögével és demonstrálni az $ma = F$ mozgástörvényt. A merőleges komponensről az indulásnál elég annyit mondani, hogy „abban az irányban a lejtő nem engedi elmozdulni a kiskocsit, ezért most nem kell vele foglalkozni”. Nem baj (feltéve, hogy nem „direkt ezt tanítjuk”), ha a diák fejében átmenetileg, akaratlanul és homályosan olyasmi csapódik le, hogy „az a komponens csak a lejtőt nyomja”. Ha nem markolunk egyszerre túl sokat, a gyerekekben marad kedv és energia a dolog tisztázására, amikor eljön az ideje.

Természetesen a tanár ízlése is – joggal – belejátsszik abba, hogy „hol a határ”. De a „termékeny pongyolaság” merev elutasítása többnyire *csupán a jelenséggel való találkozás élményét* veszi el. A legegyszerűbb iskolai téma is érdekessé tehető, ez az elhagyás művészete.

A gyerek készen áll az érdekes fogadására! Egy pedagógiai tanulmány (a 70-es években) arra hívja fel a figyelmet, hogy a kisiskolás gyerekek nem mindig tudják megkülönböztetni a lényegest a lényegtelenről. Példaként említi a következő esetet. Az udvarról tálkában behozott hó óra közben elolvadt. – „Milyen érdekes dolgot figyeltél meg?” – kérdezte a tanár. „Milyen piszkos!” – kiáltott fel csodálkozva a gyerek. – Csak mellékesen: a bezárt koromszemcséknek kezdetben csupán kicsiny, a hógolyó felszínéhez közeli hányada jut szerephez, alig csökkentve a hó ragyogását – az átlátszó vízben viszont valamennyi



4. ábra. Vízió a tudás tiszteletéről a jövőben.

hozzájárul az abszorpcióhoz. Ez bizony feltűnőbb annál, hogy a hó elolvad a melegben!

Fizikatanítás a jövőben

A fizikatanítás kritikus helyzetben van. A kérdés ez: Melyik nézet válik elfogadottá az alábbi kettő közül:

a) A FIZIKATANÁR, A MAGA GYÁMOLTALAN KIS IGAZSÁGAIVAL, AZ AZ EMBER, AKINÉL MINDENKI TÖBBET TUD.

b) A FIZIKATANÁR EGY DOLOGBAN LEHET VERHETETLEN: AZ IGAZI MEGÉRTÉS ÉLETRE SZÓLÓ ÉLMÉNYÉT ADHATJA A DIÁKNAK.

Megemlékezésünket egy vízióval kezdtük a tudás tiszteletéről a múltban: az öcskös felesége szelíd megadással várja, hogy a férje, vagy a bátyó tart rá igényt (3. ábra).

Fejezzük is be egy *optimista* vízióval a (liberálisabb és politikailag korrektebb) jövőről: a hölgy *maga választ* a jelentkezők közül, de *csak annak van esélye*, akinek a „névjegyéből” kiderül: az illető már letett valamit a tudás oltárára (4. ábra).

A X. SZILÁRD LEÓ NUKLEÁRIS TANULMÁNYI VERSENY

Beszámoló, I. rész

Sükösd Csaba
BME Nukleáris Technika Tanszék

2007 tavaszán tizedik alkalommal rendezte meg a Szilárd Leó Tehetség gondozó Alapítvány és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat a Szilárd Leó Nukleáris Tanulmányi Versenyt. Már a 2004-es verseny meghirdetésekor kibővítettük a hagyományos tematikát: a nukleáris témák mellé egyéb „modern fizikai” területeket is bevontunk a verseny témakörébe, 2006-ban pedig határon túli magyar anyanyelvű iskolák tanulói részére is megnyitottuk a részvétel lehetőségét. Az idén ezzel a Báthory István Elméleti Líceum (Kolozsvár) élt, ahonnan *Angyalosi Csaba* és *Czilli Péter* tanár urak, illetve *Káptalan Erna* tanárnő öt első kategóriás (11–12. osztályos), és huszonhárom második (junior) kategóriás tanulót nevezett be a versenybe. Sajnos, a Felvidékről, Vajdaságból és Kárpátaljáról 2007-ben sem kaptunk nevezéseket. Összesen 231 első kategóriás és 132 junior kategóriás nevezés érkezett.

A 2007. február 26-án megtartott első forduló (válogató verseny) tíz feladatát az iskolákban lehetett megoldani, három óra alatt. Kijavítás után a tanárok azokat a megoldásokat küldték be a BME Nukleáris Technika Tanszékére, ahol a 9–10. osztályos (junior) versenyzők legalább 40%-os, a 11–12. osztályos (I. kategóriás) versenyzők legalább 60%-os eredményt értek el. Ezeket ellenőrizve egy egyetemi oktatókból álló bírálóbizottság a legjobb 10 junior versenyzőt és a legjobb 20 első kategóriás versenyzőt hívta be a paksi Energetikai Szakközépiskolában 2007. április 28-án megrendezett döntőre. A döntőn minden behívott versenyző megjelent. Az idén négy lány is bejutott a verseny döntőjébe, mindannyian a Junior kategóriá-

ban. A verseny fordulóján (mobiltelefon és internet kivételével) bármilyen segédeszköz használható volt.

Az alábbiakban ismertetjük a válogató verseny, valamint a döntő feladatait és a megoldásokat.

A válogató verseny (I. forduló) feladatai

1. feladat

A sugárterápia bevezetése *Szilárd Leó* nevéhez fűződik. Milyen életrajzi vonatkozása van ennek? (5 pont)

Megoldás: Szilárd Leonál hólyagrákot diagnosztizáltak. Felesége és *Klein György* tanácsait követve, valamint a szakirodalmat tanulmányozva megtervezte saját sugárkezelését. A műtét után körülbelül 60 Gy γ -dózsist adatott magának a műtéti területen. A rák nyom nélkül elmúlt, Szilárd Leó ezt követően 4 év múlva szívrohamban halt meg. A boncolás kimutatta, hogy a rákból teljesen felgyógyult.

2. feladat

Egy α -sugárzás behatolási mélysége 10^5 Pa nyomású levegőben 4 cm. Mekkora lenne a behatolási mélység 10^3 Pa nyomású légritkított térben? (5 pont)

Megoldás: Az alfa-részecskék energiavesztését a gázban lévő atomokkal, molekulákkal való kölcsönhatás okozza (ionizáció, gerjesztés stb.). Az egyedi molekulákkal való kölcsönhatást nem befolyásolja, hogy az illető molekula mekkora nyomású gázban van, ezért mindkét esetben átlagosan ugyanannyi molekulával

való kölcsönhatás után „áll meg” az alfa-részecske. Század akkora nyomású gázban viszont százszor ritkábban vannak a molekulák, azaz átlagosan százszor hosszabb utat kell megtenni az alfa-részecskének, hogy ugyanannyi molekulával találkozzon. Tehát a 10^3 Pa nyomású levegőben a behatolási mélység 400 cm.

3. feladat

Mi történik az alábbi felépítésű atomreaktorokkal, ha csőtörés miatt megszökik a hűtőközeg?

- Ha a moderátor grafit, a hűtőközeg víz?
- Ha a moderátor grafit, a hűtőközeg hélium?
- Ha a hűtővíz egyben a moderátor is? (5 pont)

Megoldás:

a) A grafit végzi a neutronok moderálását, a láncreakció szempontjából a H_2O -nak a neutronelnyelő szerepe dominál. A víz megszökése esetén tehát neutronelnyelő távozik, növekszik a neutronszám, megszalad a láncreakció. Az ilyen reaktor a hűtőközegvesztéses üzemzavarral szemben instabil, megszalad.

b) A 4He zárt héjszerkezetű atommag, nem nyel el neutronokat, 3He nem létezik. A hélium megszökése esetén emiatt nem távozik neutronelnyelő anyag, a neutronok száma nem nő, sőt a moderálásuk kicsit gyengül. A reaktor ezzel az üzemzavarral szemben stabil.

c) Ez esetben a víznek moderátor szerepe is van. Ha a víz elfolyik, nincs moderátor sem. A gyors neutronok a ^{238}U -ban elnyelődnek, a láncreakció minden beavatkozás nélkül leáll.

A fentiek viszont csak a láncreakció megszaladására vonatkozó megfontolások. A hűtőközeg megszökése után még a láncreakció leállása ellenére is bekövetkezhet zónaolvadás, ha nem gondoskodunk üzemzavari hűtésről, mert az üzemanyagot az erős radioaktivitás a láncreakció leállása után is tovább fűti! Ez minden fenti esetre igaz.

4. feladat

A véráramlás sebességét radocirkulográfiának nevezett módszerrel mérik. A korábbi vizsgálati eljárást szerint a vérbe ^{24}Na izotópot juttatnak, amelynek felezési ideje 15 óra, és 2,75 MeV energiájú γ -fotont bocsát ki. A modernebb eljárás szerint ^{99m}Tc izotópot használnak, amelynek felezési ideje 6 óra, és 0,14 MeV energiájú γ -fotont bocsát ki. Mekkora a szervezet által elnyelt dózisos aránya a két vizsgálatban, ha mindkét esetben ugyanakkora aktivitású radioaktív készítményt juttatnak a szervezetbe?

A biológiai kiürülést ne vegyük figyelembe, és tegyük fel, hogy a kibocsátott gamma-fotonoknak ugyanakkora hányada nyelődik el a szervezetben mindkét esetben (a fotonok energiájától függetlenül)! (5 pont)

Megoldás: A kétféle készítmény összes radioaktív atomjainak számát az

$$N(0) = \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln 2}$$

képlet szerint számíthatjuk ki. Az eredmény: $N(0)_{Na} = A \cdot 7,79 \cdot 10^5$ db, illetve $N(0)_{Tc} = A \cdot 3,12 \cdot 10^5$ db. A fel-

adat feltevése szerint a sugárzásnak energiától függetlenül ugyanannyiad része nyelődik el a szervezetben, ezért a két dózis aránya:

$$\frac{D_{Na}}{D_{Tc}} = \frac{N(0)_{Na} \cdot E_{Na}}{N(0)_{Tc} \cdot E_{Tc}} = 49.$$

Tehát az első esetben közel negyvenkilencszer akkora dózist kap a páciens.

5. feladat

Tegyük fel, hogy az igen veszélyes alfa-sugárzó ^{210}Po polónium-izotópból 1 μg kerül egy ember szervezetébe, és az 1 nap alatt az emésztőcsatornán végighalad. (Az izotóp felezési ideje 138 nap, az alfa-részek energiája 5,3 MeV.)

a) Mekkora a szervezetbe került izotóp aktivitása?

b) Mekkora dózist kap a körülbelül 2 kg össztömegű emésztőcsatorna ez idő alatt?

c) Mindannyiunk testében van valamennyi – természetes eredetű – ^{210}Po -izotóp, szerencsére igen kis mennyiségben. Legfeljebb mekkora tömegű izotóp lehet (állandóan) egy 60 kg-os ember szervezetében, hogy az egy év alatt kapott dózis a természetes háttérsugárzásból eredő 2,8 mSv/év dózisérték alatt maradjon? (Tegyük fel, hogy az izotópnak van egy egyensúlyi koncentrációja, azaz annyi utánpótlása is van, amennyi éppen elbomlik.) (5 pont)

Megoldás:

a) $A = (\ln 2 / T_{1/2}) \cdot N = 166$ MBq.

b) Az 1 nap alatt leadott energia: $E \approx A \cdot t \cdot E_{\alpha} = 12,16$ J. A 2 kg tömegű emésztőcsatorna által kapott dózis: $D = (12,16 \text{ J} / 2 \text{ kg}) = 6,08$ Gy. Ez jóval több, mint ami az emésztőrendszer tönkretételéhez szükséges.

Megjegyzések:

i) Azért számolhattunk állandó aktivitással, mert a 138 napos felezési idő miatt az 1 nap alatt bekövetkező kis csökkenés elhanyagolható.

ii) Ilyen nagy dózisosknál már elnyelt dózissal (Gy) kell számolni, hiszen a biológiailag okozható kár (sejthalál) egy bizonyos elnyelt dózis fölött már nem nő tovább (egy elpusztult sejtet hiába teszünk ki még nagyobb dózissal, attól nem fog „jobban elpusztulni”). Ez a gondolat azonban a Szilárd Leó versenyhez megadott irodalomban nincs kifejtve, ezért a javítás során helyesnek fogadtuk el azt is, ha egy versenyző egyenértékű dózist (azaz $6 \text{ Gy} \cdot 20 = 120 \text{ Sv-et}$) számolt ki.

c) Mivel kis intenzitásról van szó, itt már egyenértékű dózissal kell számolni. 2,8 mSv-nek 60 kg-os ember esetében $60 \cdot 0,0028 = 0,168$ J felelne meg. Figyelembe kell azonban venni, hogy az α -sugárzás sugárzási tényezője 20, ezért ennél hússzor kevesebb energia nyelődhet csak el α -sugárzásból, azaz csak 0,0084 J.

Ennyi energiát $\Delta N = E/E_{\alpha} = 0,99 \cdot 10^{10}$ bomlás hoz létre. Mivel állandó aktivitást teszünk fel, ezért az átlagos aktivitás: $A = 0,99 \cdot 10^{10}/\text{év} = 314,1$ Bq. Az aktivitásból a bomló atommagok száma: $A = N \cdot (\ln 2) / T$ alapján $N = 5,40 \cdot 10^9$. Ebből $m = (N/N_A) \cdot 210 \text{ g} = 1,89 \cdot 10^{-12} = 1,89$ pg.

6. feladat

Vízszintes helyzetű kondenzátorlemezek között félúton egy egyszeresen ionizált olajcsepp lebeg vákuumban. A lemezek távolsága 5 cm, a közöttük lévő feszültség 5000 V. A felső lemez pozitív töltésű. Az olajcsepp egyszer csak elveszíti a töltését.

- Mekkora az olajcsepp tömege?
- Merrefelé, és miért kezd el mozogni, miután elvesztette a töltését?
- Mekkora gyorsulással mozog a csepp?
- Mennyi idő alatt éri el a lemezt? (5 pont)

Megoldás:

a) Kezdetben a csepp lebeg, ezért a cseppre ható erők eredője 0. Azaz $e \cdot E = m \cdot g$. Ebből

$$m = \frac{e \cdot E}{g} = \frac{e \cdot U}{g \cdot d} = 1,63 \cdot 10^{-15} \text{ kg.}$$

b) Miután elveszíti a töltését, csak a nehézségi erő hat rá, ezért lefelé kezd el mozogni

- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ gyorsulással.
- A csepp 2,5 cm utat tesz meg, nulla kezdősebességgel indulva g gyorsulással, azaz $s = (g/2) \cdot t^2$, innen

$$t = \sqrt{\frac{2s}{g}} = 7,14 \cdot 10^{-2} \text{ s.}$$

7. feladat

Egy ^{137}Cs γ -forrás aktivitása 9250 Bq. A Geiger-Müller-számláló másodpercenként átlagosan 197 beütést regisztrál akkor, amikor a forrás és a számláló között 2 mm vastag ólomlemez van. A lemez eltávolításakor az átlagos beütésszám másodpercenként 280-ra nő.

- A mérés során a keletkező γ -fotonok hány százalékát tudjuk csak mérni?
- Mekkora az ólom abszorpciós együtthatója a γ -sugárzásra nézve?
- Milyen vastag ólomlemez kellene alkalmazni, ha azt szeretnénk, hogy 50%-kal csökkentse a γ -sugárzás intenzitását? (5 pont)

Megoldás:

a) A számláló a 9250 darab fotonból csak 280-at érzékel, ami a fotonok körülbelül 3%-a.

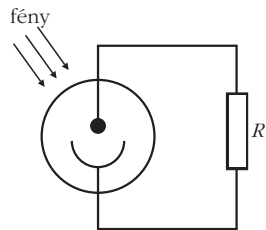
b) Az intenzitás exponenciálisan csökken az abszorbens felületétől x távolságra: $I(x) = I_0 \cdot e^{-\mu x}$, ahol I_0 a belépő intenzitás, μ pedig az abszorpciós együttható. Esetünkben a $197 = 280 \cdot e^{-2\mu}$ egyenletet kell megoldani. Mindkét oldal logaritmusát véve kapjuk végül: $\mu = 0,176/\text{mm}$.

c) Azt szeretnénk, ha az abszorbens felületétől x távolságra feleakkora lenne a sugárzás, amit a következőképpen írhatunk föl: $0,5 = e^{-0,176 \cdot x}$. Ismét mindkét oldal logaritmusát véve: $\ln 0,5 = -0,176 \cdot x$, ahonnan $x = 3,94 \text{ mm}$.

(Ugyanezt az eredményt a felezési rétegvastagság és az abszorpciós együttható közötti összefüggés alapján közvetlenül is meg lehet kapni: $x = (\ln 2)/\mu$.)

8. feladat

Egy fotocellát 400 nm hullámhosszúságú ibolyaszínű fénnyel világítunk meg. A katódra jutó fényteltjesítmény 5 mW. A katód anyagának kilépési munkája 2 eV, a katód kvantumhatásfoka pedig 1/5, vagyis minden ötödik foton becsapódására jut egy elektronkilépés. A fotocella elektrodáira ellenállást kapcsolunk a mellékelt rajz szerint.



a) Mekkora egyensúlyi feszültség alakul ki az ellenálláson, ha $R = 100 \Omega$?

b) Mekkora lesz az egyensúlyi feszültség, ha $R = 1 \text{ M}\Omega$? (5 pont)

Megoldás: A fotocella által leadható legnagyobb áramerősséget (amikor valamennyi katódból kilépő elektron átfolyik az ellenálláson) a fény teljesítményéből és a kvantumhatásfokból számíthatjuk ki:

$$I_t = \frac{P \cdot \frac{\lambda}{h \cdot c} \cdot e}{5} = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ A} = 320 \mu\text{A.}$$

a) Ez a 100 ohmos ellenálláson $U = I \cdot R = 3,2 \cdot 10^{-4} \cdot 10^2 = 0,032 \text{ V}$ feszültséget alakítana ki. Még ellenőrizni kell, hogy ez a feszültség ténylegesen létrejöhet-e az ellenálláson. A katódból kilépő elektronok energiáját a fényelektromos egyenletből tudjuk meghatározni: $E = (h \cdot c)/\lambda - W_{ki} = 1,1 \text{ eV}$.

A kilépő elektronok tehát az ellenálláson kialakult 0,032 V „ellentert” biztosan le tudják győzni, mivel az a fotocella zárófeszültségének körülbelül 3%-a. Az ellenálláson tehát folyamatosan folyik az áram, a kialakuló feszültséget a lehetséges maximális áramerősség határozza meg.

b) Ha az 1 M Ω -os ellenállást kapcsoljuk a fotocellára, a fenti összefüggés alapján az ellenálláson 320 V feszültségnek kellene kialakulni. Az elektronok azonban – a fényelektromos egyenlet alapján – legfeljebb 1,1 V-os „ellentert” tudnak legyőzni, ennél nagyobb feszültség az ellenálláson nem alakulhat ki. Ez azt jelenti, hogy itt nem folyhat a lehetséges maximális áramerősség, a kialakuló feszültséget a fotocella „lezárása” fogja megszabni. Ezért 1,1 V körüli feszültség (1,1 V-nál valamivel kisebb feszültség) fog kialakulni. Ha az ellenálláson körülbelül 1,1 V feszültség alakul ki, akkor a rajta átfolyó áram erőssége: $1,1 \cdot 10^{-6} = 1,1 \mu\text{A}$. Ez a maximális áramerősségnek körülbelül 290-ed része. Ennek létrejöttéhez elegendő, ha a katódból kilépő elektronoknak csak körülbelül 3–4 ezreléke (a legnagyobb energiájúak) éri el az anódot. A többi (kisebb energiájú) elektront a kialakult elektromos erőtér már visszafordítja a katód felé.

9. feladat

Egy betegnek terápiás célból 1 GBq aktivitású radioaktív készítményt adnak be. Hányszor többet kell a betegnek várnia ahhoz, hogy a testében lévő többletaktivitás 1 kBq-re csökkenjen ahhoz képest, mint

ha csak diagnosztikai célú, 1 MBq aktivitású izotópkészítményt kapott volna? (5 pont)

Megoldás: Tegyük fel, hogy diagnosztikai esetben T idő alatt csökken a készítmény aktivitása ($1 \text{ kBq} / 1 \text{ MBq}$) = 0,001 részére. Terápiás esetben a készítmény aktivitásának ($1 \text{ kBq} / 1 \text{ GBq}$) = 0,000001 = $(0,001)^2$ -re kell csökkenni. Mivel a radioaktív bomlások exponenciálisak, azaz az aktivitás azonos idők alatt ugyanannyiszorososan csökken (mértni sor), ezért $(0,001)^2$ -es csökkenéshez éppen kétszer annyi idő kell, mint 0,001-szeres csökkenéshez. Azaz $2T$ időre van szükség.

10. feladat

A CERN-ben a 27 km kerületű, gyűrű alakú alagútban elhelyezett LEP (Large Electron–Positron Collider – Nagy Elektron–Pozitron Ütköztető) gyorsító gyűrűben elektronokat és pozitronokat gyorsítottak 101 GeV energiára. Most ugyanebben az alagútban egy másik gyorsító, az LHC (Large Hadron Collider – Nagy Hadron Ütköztető) épült. Ebben egymással szemben rohanó két protonnyalábot gyorsítanak majd fel egyenként 7 TeV energiára, és ezeket ütköztetik össze. Hányszor erősebb mágneses teret kell létrehozni a részecskék ugyanakkora sugarú körpályán tartásához, mint a LEP esetében kellett? (5 pont)

Megoldás: A körpályára merőleges mágneses tér, valamint a részecske töltése és sebessége által meghatározott Lorentz-erő adja a körpályán tartáshoz szükséges centripetális erőt. Azaz az erők abszolút értékére $(m \cdot v^2)/r = e \cdot v \cdot B$. Innen: $p = m \cdot v = B \cdot r \cdot e$. Mivel a részecskék mindkét esetben erősen relativisztikusak (azaz energiájuk sokkal nagyobb, mint a nyugalmi tömegükhöz tartozó $m_0 \cdot c^2$ energia), ezért nyugodtan vehetjük úgy, hogy $p = E/c$. Ezt beírva a fenti képletbe kapjuk, hogy $E = B \cdot (r \cdot e \cdot c)$, illetve $E/B = \text{konstans}$, mivel a zárójelben szereplő mennyiségek mindkét esetben ugyanazok. Ebből

$$\frac{E_p}{E_e} = \frac{B_p}{B_e} = 69,3,$$

tehát körülbelül hetvenszer akkora mágneses indukcióra van szükség.



Az elődöntő feladatait 54 fő I. kategóriás, és 20 fő junior versenyző teljesítette olyan szinten, hogy dolgozataikat a javító tanárok tovább tudták küldeni a BME Nukleáris Technika Tanszékére további rangsorolás végett. A beküldött dolgozatokból választotta ki a zsűri a legjobb 20 I. kategóriás, és a legjobb 10 junior versenyzőt, akit behívtak a döntőbe.

A döntő versenyfeladatai

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

1. feladat (kitűzte Radnóti Katalin)

Egy nemrég kivágott fadarabból ^{14}C izotóp mérésére alkalmas mintát készítettek. A mintából a számláló 15 beütést számlált óránként. Egy azonos tömegű és ugyanúgy előkészített régi fadarab esetében ez az érték csak 8,5 volt óránként. Ez utóbbi fadarab Szenofern fáraó koporsójából származott. A történészek úgy gondolják, hogy a fáraó Krisztus előtt 2700 és 2550 közt halhatott meg. Alá tudja-e támasztani ez a mérés a történészek vélekedését? (^{14}C felezési ideje 5760 év.) (5 pont)

Megoldás:

$$\frac{A(t)}{A(0)} = e^{-\lambda \cdot t}, \text{ ahol } \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

a bomlási állandó. Így

$$\ln\left(\frac{A(t)}{A(0)}\right) = -\lambda \cdot t = -\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t.$$

Behelyettesítve $t = 4673$ év adódik, így a fadarab Kr. e. 2600 körüli évekből származik. A kormeghatározás pontosságát sok körülmény befolyásolja. A feladat nem kérdezi a pontosságot, és a megadott adatokból az nem is becsülhető meg.

2. feladat (kitűzte Sükösd Csaba)

Mi a magfizikai oka annak, hogy az ^{235}U atommagot már igen kis (termikus) energiájú neutron is szét tudja hasítani, míg a ^{238}U atommag széthasítását csak jóval nagyobb energiájú neutronok tudják megtenni? (5 pont)

Megoldás: Az ok a párenergia. Mindkét uránizotópban a protonok száma páros, azonban a ^{235}U páratlan számú neutronot tartalmaz, míg a ^{238}U -ban neutronból is páros számú van. A páros számú nukleont tartalmazó magok stabilabbak. A ^{235}U neutronbefogásakor páratlan neutronsámú (gyengébben kötött) magból páros neutronsámú (erősebben kötött) atommag keletkezik, míg a ^{238}U esetén éppen fordított a helyzet. Ezért a ^{235}U neutronbefogása után nagyobb kötési energia áll az atommag rendelkezésére ahhoz, hogy a hasadási gáton áthaladjon.

3. feladat (kitűzte Sükösd Csaba)

A $\text{C}_{20}\text{H}_{22}$ láncmolekulában két szénatom közötti kötéstávolság 134 pm. Minden szénatom egyik elektronja delokalizálódik az egész molekula mentén. Legalább mekkora energiájú fotonnal gerjeszthető a molekula? (5 pont)

Megoldás: Használjuk a húrmodellt! A molekulában a 20 C-atom között 19 kötés van, azaz a molekula hossza $a = 19 \cdot 134 = 2546$ nm hosszú. A molekulában 20 delokalizált elektron van, és így, mivel egy állapotban 2 elektron lehet, az első 10 delokalizált állapot teljesen betöltött. A gerjesztéshez tehát a 10. és a 11. állapot közti energiakülönbséget kell leadnia a fotonnak. A k -ik állapot energiája az alapállapottól számítva

$$E = \frac{h^2}{8 \cdot m \cdot a^2} \cdot k^2.$$

Így a 10. és a 11. állapotok különbségére kapjuk:

$$\Delta E = \frac{b^2}{8 \cdot m \cdot a^2} \cdot (122 - 100) = 1,97 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

A megoldók között volt, aki a „húr” hosszát 20 kötéstartávolságúnak vette arra hivatkozva, hogy a kialakuló állóhullámok körülbelül fél-fél kötэшosszal „túlnyúlnak” a két szélső szénatomon. A zsúri ezt is teljes értékű megoldásnak fogadta el.

4. feladat (kitűzte Sükösd Csaba)

Fűzz megjegyzéseket a következő, 2002-ből származó újsághírhez, és hívd fel a figyelmet az újságíró tévedéseire és hibás szóhasználatára!

„Néhány héttel ezelőtt az észak-koreaiak közölték James Kellyvel az USA State Department egyik vezetőjével: van atomprogramjuk, foglalkoznak urániumdúsítással, azaz plutónium más módon való elnyerésével. Erre válaszként az USA leállította az Észak-Korea-irányuló olajszállításait. A válaszra adott válaszként pedig Észak-Korea megkezdte az új fűtőtestek beszállítását a Phenjantól 90 km-re található, 5 megawattos, grafitfékezésű erőműbe. Az észak-koreaiak a közelmúltban eltávolították a reaktorról azt a pecsétet, amelyet az ENSZ Biztonsági Tanácsának ellenőrei helyeztek el korábban. Eltávolították az ENSZ pecsétjeit további három nukleáris létesítményről is: egy használt fűtőtesteket tartalmazó raktárról, egy moderátort újrafeldolgozó laboratóriumról és egy urániumgyártó üzemről. Felmondták továbbá csatlakozásukat a Nukleáris Sorompó Egyezményhez.” (5 pont)

Megoldás:

- Az urándúsítás során nem plutóniumot nyernek ki, (különösen nem elnyernek);
- a reaktorban nem fűtőtestek, hanem üzemanyagkazetták, esetleg fűtőelemek vannak;
- a grafitfékezésű helyesen grafit moderátoros;
- a pecsétet nem az ENSZ Biztonsági Tanácsa, hanem a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség helyezte el;
- nem a moderátort, hanem a használt fűtőelemet (nem fűtőtestet) szokás reprocesszálni;
- az üzemben szintén fűtőelemet és nem uránt gyártanak, az uránt a kibányászott uránércből állítják elő;
- az egyezmény neve helyesen Atomsorompó Egyezmény.
- Végül egy nyelvhelyességi megjegyzés: szóösszetételekben nem urániumot, hanem uránt használunk (azaz urándúsítás, és nem urániumdúsítás). Nem kapott érte pontlevonást az, aki ezt nem vette észre.

5. feladat (kitűzte Tallián Miklós)

Egy nukleáris alapismeretekkel rendelkező kereskedő (ilyen is lehet) azt találja ki, hogy néhány üveg régi, jó minőségű, leviaszolt dugóval légmentesen lezárt bort felbont, majd azonos korú és származási helyű, de sokkal gyengébb minőségű, olcsó borral felhígítja. Ezek után a keveréket az eredeti (illetve azokkal teljesen azonos) üvegekbe visszacsomagolva árusítja. Azt gondolja, hogy mivel azonos korú bort

használt a keveréshez, a kapott folyadék tríciumtartalma ugyanaz lesz, mint az eredeti, jó minőségű boré, így nem bukhat le.

a) Igaza van-e a tríciumtartalmat illetően? (Indokold meg a választ.)

b) Hogyan lehetne lebuktatni? (5 pont)

Megoldás:

a) Igaza van, hiszen a trícium főleg a bor víz- (és alkohol-) tartalmában van jelen. Azonos helyen és időben termelt borok tríciumtartalma azonos. Ennek alapján a tríciumkoncentráció mérésével valóban nem lehet „lebuktatni” a kereskedőt.

b) A trícium bomlásakor azonban ${}^3\text{He}$ gáz keletkezik, a bor korából és eredeti tríciumtartalmából meghatározható mennyiségben. Ez egy hermetikusan lezárt üvegből nem tud kiszökni, összegyűlik a folyadék felett, az üvegben. A keveréshez azonban a palackokat meg kell bontani, és ekkor a ${}^3\text{He}$ gáz elszökik. Tehát az üveg gáztartalmából a fogyasztás előtt mintát kell vennünk, és meg kell vizsgálnunk a ${}^3\text{He}$ tartalmát. Ha a vártnál kisebb eredményt kapunk, akkor az üveget felnyitották palackozás után. Ez ugyan önmagában még nem bizonyítja a csalást, de azt igen, hogy a bor már nem az eredeti palackozásban van, és ezért manipulálhatták.

6. feladat (kitűzte Tallián Miklós)

Egy gránittömbben az ${}^{238}\text{U}$ koncentrációja 10^{-5} . A ${}^{238}\text{U}$ bomlási sorának végén a ${}^{206}\text{Pb}$ ólomizotóp áll. Becsüld meg egy 1 tonna tömegű gránittömb teljes aktivitását. A kapott eredmény a valódi értéket alá- vagy fölébecsli? Mit kellene tudni a pontos eredményhez?

Adatok: a gránitot tekintjük SiO_2 -nek, ennek mól-tömege 60 g/mól. 10^{-5} -es uránkoncentráció azt jelenti, hogy a tömb minden százezredik részecskéje urán, nem pedig SiO_2 . Az ${}^{238}\text{U}$ felezési ideje 4,5 milliárd év. (5 pont)

Megoldás: Először ki kell számolni, hány tagja van a bomlási sornak. Mivel a tömegszámot csak az α -bomlás csökkenti, adódik, hogy $(238 - 206)/4 = 8$ db α -bomlás történik. Ez a rendszámot 16-tal csökkenti. Ám az ólom rendszáma 82, így szükség van 6 db β -bomlásra is. Ez összesen 14 bomlást jelent az urántól az ólomig.

Mivel a ${}^{238}\text{U}$ felezési ideje jelentősen nagyobb a sor összes tagjánál, szekuláris egyensúly alakul ki, azaz a bomlási sor minden tagjának aktivitása a ${}^{238}\text{U}$ aktivitásával fog megegyezni. Az uránsor teljes aktivitása tehát az urán aktivitásának a 14-szerese lesz.

A ${}^{238}\text{U}$ aktivitásának meghatározása: 1 tonna gránit 16 667 mól SiO_2 -t tartalmaz, azaz 0,16667 mól ${}^{238}\text{U}$ -t. Az aktivitásról tudjuk, hogy

$$A = N \cdot \lambda = N \cdot \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

Az adatok behelyettesítésével az uránra 488,1 kBq aktivitás adódik, a teljes sor aktivitása tehát körülbelül 6,83 MBq.

A kapott eredmény a valódi aktivitást felülbecsli, mert a sornak az egyik tagja nemesgáz, a ${}^{222}\text{Rn}$, ez ki

tud diffundálni a kőzetekből. A sor utána következő tagjainak aktivitását ez befolyásolja (csökkenti). A természetes uránban jelen lévő ^{235}U és bomlási sorának aktivitását a megoldás során elhanyagoltuk.

7. feladat (kitűzte Kopcsa József)

Egy 20 cm^3 térfogatú edény 400 mg rádiumot tartalmaz. Mekkora a vele radioaktív egyensúlyban lévő radongáz nyomása $30\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékleten?

Adatok: a ^{226}Ra felezési ideje 1620 év , a ^{222}Rn felezési ideje $3,825\text{ nap}$. (5 pont)

Megoldás: Egyensúlyban a két radioaktív izotóp aktivitása megegyezik. $\lambda_1 \cdot N_1 = \lambda_2 \cdot N_2$, ebből

$$N_2 = N_1 \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = N_1 \cdot \frac{T_2}{T_1},$$

ahol T_1 , illetve T_2 az egyes izotópok felezési ideje. 400 mg rádiumban $N_1 = (0,4/226) \cdot N_A$ részecske van, a felezési idők segítségével megkapjuk N_2 értékét is: $N_1 = 1,06 \cdot 10^{21}$, illetve $N_2 = 6,86 \cdot 10^{15}$.

Az ideális gázok állapotegyenlete:

$$p \cdot V = \frac{N_2}{N_A} \cdot R \cdot T, \text{ ebből } p = \frac{N_2}{V \cdot N_A} \cdot R \cdot T.$$

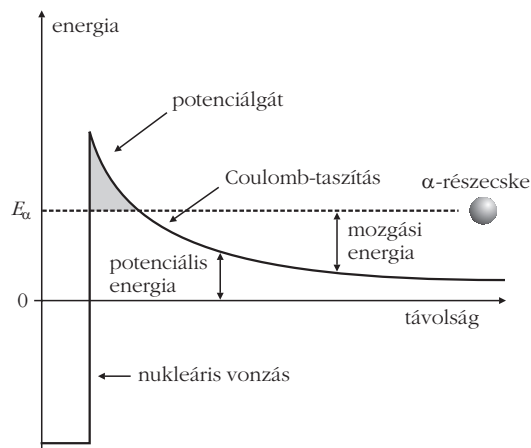
Behelyettesítve: $p = 1,441\text{ N/m}^2$. Tehát a radongáz nyomása egyensúlyban $1,441\text{ pascal}$.

8. feladat (kitűzte Kopcsa József)

A természetes radioaktív izotópok felezési idejét és az általuk kibocsátott α -részecskék hatótávolságát vizsgálva Geiger és Nuttal megállapították: a nagyobb hatótávolságú α -részecskéket kibocsátó izotópok felezési ideje jelentősen kisebb. Milyen fizikai modellel értelmezhető ez a tapasztalat? (5 pont)

Megoldás:

– Az α -részecskék hatótávolsága monoton növekvő kapcsolatban van a részecskék mozgási energiájával. Ezért a Geiger–Nuttal-törvényt úgy is át lehet fogalmazni, hogy a nagyobb energiájú α -részecskéket kibocsátó izotópok felezési ideje kisebb.



– Az α -bomlás kvantummechanikai modellje szerint az α -részecske alagúteffektussal tud kijutni az atommag potenciálgölygéből. A potenciálgáton való átjutás valószínűsége erősen függ a potenciálgát szélességétől és magasságától: minél szélesebb és magasabb a potenciálgát, annál kisebb valószínűséggel tud rajta átjutni a részecske. Azok az α -részecskék, amelyek nagy energiával lépnek ki, „magasabban” vannak az atommag potenciálgölygében, ezért nekik keskenyebb és kevésbé magas potenciálgáton kell átjutniuk. Ez nagyobb valószínűséggel következhet be, tehát azonos számú atommagból időegység alatt több bomlik el, vagyis az izotóp felezési ideje kisebb (hamarabb elbomlik a fele).

HÍRNEVES ISKOLA – 450, KIVÁLÓ TANÁR – 75, VERSENYZŐ DIÁKOK – 25

Friss turisztikai élménnyel indítom ezt az írást. Írország Meath nevű körzetében, Dublintól északra, a Boyne folyó völgyében hatalmas, gömbsüveg alakú kősrhalom látható: Newgrange, a világörökség része. Az egyiptomi piramisoknál is idősebb kőkorszaki emlék bejáratánál, és egy helyen belül a sírkamra kőfalán is látható három egymásba fonódó spirális díszítés. Nincs elfogadott értelmezés az 5000 éves műalkotás jelentésére. Jelképezheti a Napot, Holdat, Földet, vagy az Anyát, Apát, Gyermeket. Számomra az Iskolát, a Tanárt és a Diákot ábrázolja.

Az iskola nemcsak maga az épület, hanem – esetenként – a több száz éves hagyomány, az összes eddigi diák és tanár eszmei együttese. A most éppen ta-

nító tanár szoros kapcsolatban áll az iskolával: ezt fejezi ki a háromszorosan egymásba kapcsolódó két spirál, s éppen elválik tőle a közös alkotás: a diák.

A soproni Berzsényi Dániel Evangélikus Gimnázium (Líceum), Dunántúl egyik legrégebbi középiskolája 450 éves. Sok neves diákja közül a névadó Berzsényi mellett megemlítjük Döbrönteit Gábort, az MTA első főtítkárárt, a költő Vajda Pétert, az orvosprofesszor Balassa Jánost, a nyelvész Gombócz Zoltánt és természetesen kedvenc, kiváló tanár-fizikusainkat: Mikola Sándort, Rátz Lászlót, Renner Jánost és Vermes Miklóst. Értékesebbé, országos hírűvé tették az iskolát mozgalmai: 1790-től működött az iskolában a soproni Magyar Társaság, 1827-től a diákkormányzatok elődje a Deák-



Az Evangélikus Líceum épülete a 19–20. század fordulóján...



és ma, mint Berzsenyi Dániel Evangélikus Gimnázium.

küti Vármegye, 1869-től a Zenetársaság, az 1930-as évektől pedig a Soproni Márciusi Fiatalok Mozgalma. 25 éve, az 1981/82-es tanévtől kezdve a – mai nevén – *Mikola Sándor Országos Tehetségkutató Fizikaverseny* egyik színhelye lett ez az iskola. A Zenetársaságnak *Liszt Ferenc* volt a *tiszteletbeli* protektora, a tehetségkutató és tehetségápoló országos és nemzetközi fizikaversenyeknek pedig a most 75 éves *Nagy Márton* tanár úr a *tényleges* irányítója.

A kőkorszaki szigetlakók nem sejtették, de érdekes módon Sopronban is éppen három, egymáshoz kapcsolódó jelentős fizikaverseny van, illetve volt. A jubiláló Mikola-verseny mellett a soproni Líceum a mai napig is házigazdája a *Vermes Miklós Nemzetközi Fizikaverseny*nek. Ez a vetélkedő 1969-ben indult, mint Sopron–Pozsony városok közötti verseny. Ma már ausztriai, szlovákiai, romániai, szerbiai és kárpátaljai magyar tanítási nyelvű iskolák versenyző diákjainak a nagy találkozója, amelyen 1996-tól nyelvrokonaink, a finnek is résztvesznek.

A *Fényes Imre Olimpiai Válogató Versenyt* is a Líceumban rendezték 1971-től 2003-ig. A Nemzetközi Fizikai Diákolimpiára felkészítő verseny is hazaként indult, nemzetközivé vált, majd megszűnt.

A 25 éve indult és idén már 26. alkalommal megrendezett Mikola-verseny első neve így hangzott: *Országos fizikaverseny a középiskolák I. és II. évfolyama számára*. Az első évfolyamosok Gyöngyösön a Berze Nagy János Gimnáziumban, a másodévesek a soproni Berzsenyi Dániel Gimnáziumban versenyeztek. (A kilencvenes évek közepén a soproni színhelyet áttették a Vas- és Villamosipari Szakképző Iskola és Gimnázium termeibe, a híres-neves „Vas-Villá”-ba.)

Az 1984/85-ös tanévben OKTTV lett az elnevezés, azaz *Országos Középiskolai Tehetségkutató Tanulmányi Verseny*. Újabb keresztelőre került sor az 1986/87-es tanévben: felvették Mikola Sándor nevét és a szervezésbe bekapcsolódott az Eötvös Loránd Fizikai Társulat is.

Az 1970-ben Nagykanizsán indult és azóta is élő *Zemplén Győző Fizikaverseny*ekhez hasonlóan a soproni vetélkedők is többnapos rendezvények: a fizika

munkával töltött ünnepei. Nem olyan mutatványok, mint a 2005-ös, *Einsteint* ünneplő világszerte fénystaféta, vagy a legújabb keletű *Kutatók éjszakája*. Ezek a látványos rendezvények inkább csak a fizika térszerte felett érzett lelkiismeret-furdalásunk enyhítését szolgálják. A soproni versenyek ténylegesen nevelnek és tanítanak. Van két-három komoly mérési feladat, vannak megoldandó elméleti problémák és látnak a versenyzők érdekes kísérleteket, hallanak értékes előadásokat; együtt vannak, beszélgetnek, vitatkoznak, szórakoznak. Ott vannak a tanárok is, ők azonnal látják diákjaik eredményeit, s megbeszélnek kollégáikkal a tehetséggondozás nehéz kérdéseit. A soproniak vastag kötetekben, több ezer példányban megjelentetik az eddigi versenyek feladatait, azok megoldásait, az elért helyezéseket és a felkészítő tanárok neveit. Van miből felkészülni az elkövetkező versenyekre! Az a megtiszteltetés ért, hogy én írhattam a harmadik kötet, a *Mikola-verseny, 2002–2006*. című 422 oldalas mű előszavát. Ezt idézem:

„A *tanítás palotái* összefoglaló címmel három pompás iskola-épületet láthatunk a *Rácz László tanár úr* című könyv (*Némethné Pap Kornélia*, Studia Physica Savariensis, Szombathely, 2006) belső borítóján. A harmadik épületben, a budapesti Evangélikus (Fasori) Gimnáziumban tanított és igazgató is volt mind Rácz László, mind pedig Mikola Sándor. Erről a festményeken, márványtáblákon túl a *Magyar Örökség* díszoklevele is tanúskodik. Mindketten a második képen látható soproni Berzsenyi Dániel Evangélikus Gimnáziumban, a Lyceumban ismerkedtek meg az irodalom, a művészetek és a természettudományok alapjaival. Többen vitatják, azonban attól még igaz, tény, hogy a későbbi életpálya szempontjából meghatározó szerepe van az alapozó iskoláknak. Ennek szellemében a Lyceumban nemcsak domborműves márványtáblák, bronzplakettek, könyvek hirdetik Mikola Sándor, *Fényes Imre*, *Vermes Miklós* emlékét, hanem a tehetségkutató, tehetséggondozás élő gyakorlata is. Térjünk vissza még magára az iskolaépületre! Az említett könyvben régi soproni képeslapon látható az *„Ev. Lyceum*». Mellette kétoldalt egyszerű, földszin-

tes, az iskola derekáig sem érő házak. Ha nem lennének szorosan összeépítve, akkor akár falusi portáknak vélhetnénk azokat. A szellem műhelye, az Iskola azonban feladatához méltó külsőt kapott. A kisdíák, ha belép a boltíves kapuzsínbe, kimegy a zárt udvarra, érezheti, hogy őt megtisztelték ezzel az épülettel, neki itt teljesítenie kell, neki bizonyítania kell, hogy méltó a megelőlegezett bizalomra. A mai modern oktatási épületek – például a hangzatos elnevezésű új könyvtár a Szegedi Egyetemen vagy a szombathelyi Berzsenyi Főiskolán – »összenyomják« a belépőt: az égis nyúló oszlopok és üvegfalak mellett törpének érezheti magát az ember. A régi iskolaépületek palota jellegük ellenére emberléptékűek, barátságosak: magukhoz emelnek.

Ez a barátságos, maga mellé emelő bánásmód, a gondoskodás jellemzi a soproni tehetséggondozást, a soproni tanulmányi versenyeket. Ennek forrása az irányító főszervező, Nagy Márton tanár úr szeretetre méltó személyisége, fáradhatatlan munkája. Ő is egyházi iskolában, a Debreceni Református Kollégium Gimnáziumában szívta magába az emberséget, a tudományok és a munka szeretetét. Vezetésével lelkes gárda egyengeti a tehetségek útját: a felkészítő tanárok, a feladatkitűzők, a kísérleti eszközöket készítő, a dolgozatokat értékelők, a kísérleti bemutatókat, tudományos és módszertani előadásokat tartók maroknyi serege.

Örömmel vállaltam, hogy írok néhány gondolatot a jubileumi feladatgyűjtemény élére. Vittem ugyanis saját autón saját versenyzőt az első Mikola versenyre Gyöngyösre, és több alkalommal láthattam Sopronban előadásaim alatt a versenyzők értő, értelmes figyelmét. Ezen kívül írtam számos tanulmányt, egy könyvet és lexikon szócikket is Mikola Sándorról.

Zárásként a kitűzött feladatokról szólok, azokról, amelyeket ez a könyv tartalmaz. A feladatkészítés egyszerre művészet és tudomány. Kell hozzá szakmai tudás, pedagógiai és pszichológiai ismeret. A feladat nem lehet elriasztóan nehéz, de nem lehet könnyű préda sem. Minőségi versenyfeladatokat sorozatban készíteni éppolyan nagy szellemi teljesítmény, mint megalkotni az optikai koherencia kvantumelméletét, vagy üresközön működtetett műszer adatai alapján észrevenni a világűri háttér feketetest-sugárzás jellegét. Ez utóbbiakért 2005-ben és 2006-ban Nobel-díjat adtak. A Nobel-díjasok, más tudósok és kutatók »kitegyezését«, az igen eredményes tanári munkát azonban nem ismerik el még egyszerű, hazai tudományos tevékenységként sem.”

Arra is gondolt Nagy Márton tanár úr, hogy megírassa a soproni versenyek pontos történetét. A szombathelyi Berzsenyi Dániel Főiskolán végzett könyvtár-fizikaszakos diákom, *Takács Gábor* vállalta ezt a feladatot. Szakdolgozatának szerkesztett változata nemrég jelent meg *Sopron, a fizikus tehetségkutatás fellegvára* címmel. A könyv kiadója az 1992-ben Nagy Márton szervezésében létrehozott Vermes Miklós Fizikus Tehetségápoló Alapítvány. Ehhez a műhöz is én írtam az előszót, és az ott leírt, több ezer példányban



Nagy Márton tanár úr.

megjelent gondolataimat most szeretném a *Fizikai Szemle* olvasóival is megosztani. (Néhány megállapítás ismétlődik, ezért elnézést kérek, de mondhatom azt is, hogy ez az ismétlés a pedagógiában manapság elhanyagolt *bevésést* szolgálhatja.)

„Magyarországon a hivatalos országos és a megyei versenyek mellett az 1970-es években új típusú fizikavetélkedők jelentek meg. Ezek szervezését egy-egy iskola néhány lelkes tanára kezdeményezte. A versenyt az iskolához, a városhoz kötődő jeles fizikusról, tanárról nevezték el, és előadásokkal, kiadványokkal segítették a névadó életművének megismertetését. Ezek a vetélkedők általában regionális jellegűek voltak, vagy a tanulók speciális rétegét mozgósították – közülük sok időközben megszűnt.

A soproniak, Nagy Márton tanár úr vezetésével az 1963–64-es tanévben a Líceumban iskolai versenyt, majd 1966-tól megyei versenyeket szerveztek. Az 1980-as években kapcsolódtak be az országos versenymozgalomba, és egyedülálló, kimagasló eredményeket felmutatva a mai napig dolgoznak. Nem a versenyztetés, hanem a tehetséggondozás áll munkájuk középpontjában. A Mikola-versenyen 14–15 éves korban a tehetség felismerésével kezdik, majd gondozzák a tehetségeseket egészen a Vermes-versenyig, a nemzetközi fizikai diákolimpiai részvételig. A kitűzött feladatokkal, az elhangzó előadásokkal, kísérlet-bemutatókkal fizikai gondolkodásmódról, kísérletezésre nevelnek, ugyanakkor mélyítik a hazafias érzelmeket,

a magyarok összetartozásának gondolatát, hisz a Fényes Imre-versenyt a határon túli magyarok számára írják ki.

Külön figyelnek a *felkészítő tanárookra*: díjjal, érmeikkel ismerik el magas szintű szakmai munkájukat, és lehetőséget biztosítanak a tapasztalatcserére és továbbfejlődésükre is.

Kialakult egy stabil maggal rendelkező nemzetközi gárda: szállítják a feladatokat, kísérleti ötleteket, eszközöket, tartják az előadásokat, javítják, értékelik, a tanulókkal közösen megbeszélik a megoldásokat.

Nemcsak a háborúhoz, a versenyekhez is pénz kell: a Vermes Miklós Tehetséggondozó Alapítvány gondoskodik az anyagi háttérrel. A legjelentősebb támogatók az egykori Soproni Matáv, az Oktatási Minisztérium, az Eötvös Társulat, a soproni Berzsenyi

Dániel Gimnázium (Líceum) és a Vas- és Fémipari Szakközépiskola, valamint a gyöngyösi Berze Nagy János Gimnázium, a budapesti Puskás Ferenc Távközlési és Informatikai Szakközépiskola.

Az egri vár megvédésében fontos szerepet játszottak a hős katonák, a harcoló nők, de Dobó kapitány nélkül nem győztek volna. A soproni tehetséggondozó munkát középiskolai tanárok és egyetemi oktatók maroknyi csapata végzi, de a zászlót a Mikola-, Vermes- és Rátz Tanár Úr Életműdíjas Nagy Márton Tanár Úr emeli a magasba. Érdemes elgondolkodni azon, hogy a felsorolt *országos* díjak névadói mind a Soproni Líceum diákjai voltak.”

Isten éltesse még sokáig erőben, egészségben a most 75 éves Nagy Márton Tanár Urat!

Kovács László, Szombathely

RONYECZ JÓZSEF

1928–2007

A Csanád megyei (ma Békés megyéhez tartozó) Végegyházán született. Iskoláit – a szintén Békés megyei – Elekben, majd Szegeden végezte, itt érettségizett 1949-ben. 1953-ban államvizsgázott és szerzett fizika-matematika szakon középiskolai tanári oklevelet a Szegedi Tudományegyetem Természettudományi Karán.

Az egyetem után a debreceni Kossuth Lajos Tudományegyetemen kezdte pályáját. Következő munkahelye a hódmezővásárhelyi Tanítóképző (később: Kossuth Zsuzsanna Általános Gimnázium) volt. Itt 20 évig volt középiskolai tanár, közben – 1967-től – Csongrád megyében és részben Szeged megyei jogú városban középiskolai szakfelügyelőként is dolgozott. Itteni tanári és szakfelügyelői munkaviszonya 1977-ben szűnt meg a főiskolai tanári kinevezése miatt.

1976-ban, a hódmezővásárhelyi évek alatt szerezte meg doktori címét. Doktori értekezésének címe: *Mechanikai kísérletek légpárnás készülékekkel (1975)*.

1976/77-ben került Székesfehérvárra, a Kandó Kálmán Műszaki Főiskolán lett főiskolai tanár. Innen ment nyugdíjba 1993-ban. 1993-tól – immár nyugdíjasként – az újonnan induló ének-zenei gimnáziumban dolgozott, ahol megalapozta a (kísérletező) fizika tanítását.

2003. szeptember 21-én vehette át aranydiplomáját a Szegedi Egyetem dísztermében a Természettudományi Kar dékánjától.



Szakmai eredményei, aktivitása

Szakmai pályafutása Debrecenben, a Kossuth Lajos Tudományegyetemen indult, ahol két évig volt tanársegéd, és az atommag-reakciók kölcsönhatási mechanizmusait tanulmányozta.

Hódmezővásárhelyen jelentős fejlesztésekkel mutatkozott be. Eredményeiről előadásokon, valamint tudományos és ismeretterjesztő cikkekben számolt be. Csongrád megyei működése végéig, 1976-ig mintegy 46 publikációja jelent meg (*Pedagógiai Szemle, Politechnika, Fizika Tanítása, Fizikai Szemle*). 1966-tól a fizikatanári ankétokon is tartott bemutatókat, állított ki eszközöket. Ezeket a munkáit különféle díjakkal ismerték el.

Az Oktatási Minisztérium 30, a Megyei Művelődési Osztály 25 újítását fogadta el. Légpárnás kísérleti eszközeivel középiskolákban, egyetemeken, sőt külföldön is járt, bemutatókat tartott, és számos díjat is nyert. Néhány mechanikai kísérleti eszközéből még „áru” is lett, ezeket a Tanért forgalmazta (részben külföldön is), de számolatlanul ontotta a demonstrációs fizikai kísérletekhez a módszereket és az eszközöket.

Módszertani eredményeiről hosszabb időn keresztül különféle tudományos konferenciákon tartott előadást.

Csongrád megyében a középiskolai fizika tanárok továbbképzésének állandó szervezője, vezetője volt. Pedagógiai munkája három fő területre terjedt ki: szaktanári munka, szakfelügyelet, szakmódszertani kérdések.

Fejér megyében – főiskolai működése alatt – műszerépítő tanári továbbképzést kezdeményezett és szervezett, ezen digitális stopperórát készítettek a résztvevők.

Nyugdíjba vonulását követően a Társulat középiskolai tanári rendezvényein gyakran jelent meg és vállalt

feladatokat. Szívesen „vonult fel” házi készítésű eszközeit bemutatni a tanári továbbképzést szolgáló rendezvényeken. Tanítványai valóban „kísérleteken nőttek fel”; rengeteg kísérletet mutatott be tanóráin is.

Társulati aktivitása

A társulati élet alakításában is sokat vállalt előbb Csongrád, majd Fejér megyében. Csoportot szervezett, tisztségeket látott el a felmerülő igények szerint. Jó kapcsolatokat épített ki és tartott fenn a helyi TIT-szervezetekkel; szakmai munkáját ott is elismerték.

1961-ben a vidéki városok közül elsőként Hódmezővásárhelyen alakították meg az ELFT helyi tagozatát (az MTSZ helyi Fizikai Szekciójaként, melynek elnöke volt) a megyei szervezeten belül. Itt szerveztek nem „megyeszékhely” városok közül elsőként Országos Középiskolai Fizikatanári Ankétot (XVII.).

1980-tól foglalkozott *Lánczos Kornél* életének és munkásságának kutatásával. Ő volt a Lánczos-centenárium egyik fő szervezője. Sokat tett a megye neves szülöttének népszerűsítéséért; egyike volt a tudósról elnevezett középiskolai megyei fizikaverseny kezdeményezőinek, amely versenynek azóta az általános iskolai változata is megszületett.

VARGA ISTVÁN

1952–2007

Varga Pistát az 1980-as években a KöMaL-ban közölt – a mindennapi életből vett, a gyerekeket érdeklő, őket a logikára, a természettudományok szeretetére nevelő – feladatain keresztül ismertem meg. Abban az időben feladatait Erdélyből küldte.

Azonnal elképzeltem, milyen jók lennének ezek a feladatok a Mikola-, a Vermes- vagy a Fényes-versenyünkben. Írtam neki egy levelet. Vázoltam, hogy az országnak sok fizikust (*Renner János, Rätz László, Mikola Sándor, Vermes Miklós* stb.) adó, közel félezer éves Líceumból, a soproni Berzsényi Dániel Gimnáziumból keresem, ahol ma is pezsgő a fizikus élet. Kértem arra, hogy lépjen be a feladatokat előállító tanárok közé. Egy héten belül egy egész csomagnyi feladatot kaptam tőle, valamint ígéretet arra, hogy a jövőben is részt vesz a munkánkban.

Rövidesen áttelepült Magyarországra, Békéscsabán kapott állást. A bútorai még a teherautón voltak, amikor vonatra szállt, eljött Sopronba, hogy személyesen megismerje a magyarországi fizikus tehetségápolást. Hossza-



1982-től 1989-ig két választási cikluson át az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Fejér Megyei Csoportjának elnöke volt.

Lendületes, nyugdíjasként is tettere kész kollégát ismertünk meg személyében, aki nemrégiben még lelkesen magyarázta, hogy milyen könnyű elkészíteni egy-egy bemutatott eszközt még „konyhai” körülmények között is. *Ronyecz* tanár úr jellegzetes színfoltja, különleges értéke volt a megyei csoport szakmai munkájának, életének, pótolhatatlan szereplője a fizika tanításának.

Kitüntetései, díjai

Pályája során sokféle formában ismerték el munkáját és eredményeit. Kitüntetéseinek, díjainak se szeri, se száma. Néhány a legkiemelkedőbbek közül: Mikola Sándor díj (1969), Kiváló Újító Arany Fokozat (1973), Miniszteri Dicséret (1993), Dr. Ferenczi György Emlékalapítvány 2002. évi díja, a Lánczos Kornél–Szegefi Gyula Ösztöndíj Alapítvány díja (2005).

Ezeket kívül több mint húsz különféle elismerést – díjat, dicséretet – vihett haza az ankétokról, kiállításokról, bemutatóokról a hetvenes évektől élete végéig.

Theisz György

san elbeszélgettünk. Haláláig tartó barátságot kötöttünk. Mindhárom versenyünk szervezésébe bekapcsolódott, elméleti és kísérleti feladatai az ország legjobb kis fizikusainak felkészüléséhez járultak hozzá. Önzetlen, szelíd, mindig segítőkész egyéniségével, mély szakmai tudásával és egyedülálló kísérletező képességével a fizikus társadalom egyik legértékesebb tagja lett.

Szakmai munkáját több fórumon dicsértem. Voltak, akik azt mondták, hogy könnyű neki, mert tud románul, onnan is tud rengeteg feladatot átültetni. Erre személyes tapasztalatból adódó válaszom volt: egyszer, a kifolyt tintát itatóspapírral töröltem fel. Pista figyelte a tinta felszívódását, majd párolgását. Öt percen belül differenciálegyenletek segítségével leírta és lázasan magyarázni kezdte ennek fizikáját, valamint azt, hogy milyen jó kísérleti feladatot lehet ebből összeállítani. Ilyen embernek nem kellett a feladataihoz romániai szaklapokat tanulmányozni.

Nagyon sok helyre hívták. Mindenüvé elment, mindenütt segített. Erején felül teljesített. Azok közé a szerencsés emberek közé tartozott, akik nem úgy haláltak ki a világból, hanem elfogytak, átalakultak a tanulók iránti szeretetté, tudássá, ami az új generációk fejében, szívében él tovább.

Nagy Márton

PÁLYÁZAT TELLER EDE SZÜLETÉSE 100. ÉVFORDULÓJÁNAK MEGÜNNEPLÉSÉRE

„Félni csak egy dologtól kell és az a tudatlanság!”
(Teller Ede)

A Magyar Nukleáris Társaság pályázatot hirdet a magyar nyelvű iskolák számára a *Teller-centenárium* méltó megünneplésére. A pályázatban részt vehet minden magyar nyelvű határon inneni és határon túli iskola kollektívája.

A pályázatra jelentkezés: 2008. január 1. és 2008. május 31. között.

A pályamunkák beadásának határideje: 2008. október 15.

A pályázat fővédnöke *Kroó Norbert* akadémikus, a Magyar Tudományos Akadémia alelnöke. A pályamunkákat egyetemi vezető oktatókból, valamint az oktatással kapcsolatban álló tudományos-műszaki szakemberekből álló zsűri fogja értékelni.

A pályázat díjai a következők:

I. díj: 200 000.- Ft,

II. díj: 150 000.- Ft,

III. díj: 100 000.- Ft.

A pályázaton nyert összegeket a nyertes iskolákban a fizika oktatásának fejlesztésére (pl. szertárfejlesztés) kell fordítani. A pályázatot több intézmény és alapítvány is támogatja. A támogató intézmények *különdíjakat* is adhatnak. A különdíjak elnyeréséről is a zsűri dönt.

A pályázat célja

Annak elősegítése, hogy az iskolák olyan rendezvényeket szervezzenek a Teller-centenárium kapcsán, amelyek a fiatalokkal (és rajtuk keresztül szélesebb társadalmi rétegekkel) megismertetik Teller Ede tudományos és közéleti munkásságát, segítenek megérteni a cselekedetei mögött lévő indítékokat, és ezzel hozzájárulnak ahhoz, hogy *Teller Ede* sokak szemében mindmáig ellentmondásosan megítélt személye méltó helyére kerüljön. A Teller-centenárium arra is alkalmat ad, hogy az iskolák a tanulók figyelmét ismét jobban ráirányíthassák a fizikára. A cél az, hogy a fiatalok a fizikában ne kötelezően előírt, megtanulandó, unalmas képlethalmazt lássanak, hanem ismerjék fel a fizi-

ka – és különösen a modern fizika – hasznát és szükségességét a mindennapi életben, és értsék meg, hogy a 21. század előttünk álló nagy kérdéseinek megoldása elképzelhetetlen a tudomány legújabb vívmányainak a segítségül hívása nélkül.

A pályázat végrehajtása

A pályázat az iskolák kezdeményező készségére és kreativitására támaszkodik, és nagy szabadságot ad az iskoláknak. A 2008 októberében beadásra kerülő *pályamunkának* annak a *dokumentációját* kell tartalmazni, hogy az iskola milyen módon, milyen rendezvényekkel valósította meg a pályázat által kitűzött célokat. Egy iskola egyetlen pályamunkát adhat be. Célszerű a zsűrit az év során tartott rendezvényekről előre értesíteni, hogy a zsűri megfigyelőt küldhessen a rendezvényre – ha azt szükségesnek tartja. A pályamunkában csak olyan rendezvény(ek)e lehet szerepeltetni, amely(ek) a pályázatra történt jelentkezés és 2008. október 14. között zajlott(ak), továbbá amely(ek)e a pályázó iskola kifejezetten a Teller-centenárium



megünneplésére szervezett. Egy iskola több ilyen jellegű rendezvényt is szervezhet a fenti időintervallumban, és ezek mindegyikét szerepeltetheti a pályamunkájában. A pályamunka – a szokásos és kötelező írásbeli leíró részen túl – tartalmazhat információhordozókat (videoszalag, CD, DVD stb.), amelyek a zsűrit segítik a pályamunkában dokumentált rendezvények megítélésében és az alábbi szempontok szerinti elbírálásban.

A pályamunkák bírálati szempontjai

- A rendezvények szakmai színvonala.
- A rendezvények általános hatása (a résztvevők száma, internetes megjelenés stb. Külön fel kell tüntetni, ha iskolán kívüli – esetleg nemzetközi – hatása is volt a rendezvénynek).

• A rendezvények ötletessége, újszerűsége, kreativitása, figyelemfelkeltő hatása.

Különösen bátorítjuk az olyan rendezvényeket, amelyek

- a fizika kísérletes oldalát hangsúlyozzák;
- a résztvevő tanulókat aktívan bevonják (pl. tanuló-kísérletek, tanulói projektek stb.);
- a modern (20–21. századi) fizikával és annak hatásaival foglalkoznak;
- Teller Ede tudományos felfedezéseivel foglalkoznak;
- az atomenergiával kapcsolatos téveszmék és indokolatlan félelmek eloszlatására irányulnak;
- a 21. század globális problémáival, és az azokra adható válaszokkal foglalkoznak.

Az eredmények közzététele

A pályázat eredményéről az iskolák írásban kapnak tájékoztatást 2008 novemberében. Az eredményt megjelentetjük az interneten is, a Magyar Nukleáris Társaság honlapján (<http://nukinfo.reak.bme.hu>). A díjakat a Magyar Nukleáris Társaság 2008. évi Ünnepi Közgyűlésén adjuk át a nyerteseknek 2008 végén.

A nyertes iskolák pályázatot készítő tanárai meghívást kapnak a 2008. évi Nukleáris Technikai Szimpóziumra, hogy ott az oktatási szekcióban 20 perces előadás (prezentáció) keretében számoljanak be a Teller Centenárium a megünnepléséről az iskolájukban.

Jelentkezés a pályázatra

A pályázatra a részvételi szándékot az iskola igazgatója, vagy a fizika-munkaközösség vezetője legkésőbb 2008. május 31-ig *levélben* jelentheti be a Magyar Nukleáris Társaság titkáránál (postacím: *Silye Judit* MNT főtitkár, OAH NBI 1136 Budapest Pf. 676).

Csak a jelentkezés után szervezett rendezvények számíthatók be a pályázat értékelésébe. Ezért minél korábbi jelentkezés ajánlott.

A Teller Centenárium ismét jó alkalom, hogy a magyar társadalom figyelmét felhívjuk a természettudományos oktatás és a tudományos kutatás fontosságára.

Minden kedves Pályázónak nagyon jó munkát és sok sikert kívánok!

Budapest, 2007. november 20.

Sükösd Csaba

a Magyar Nukleáris Társaság alelnöke

HÍREK – ESEMÉNYEK

AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

Tudományos ülés Teller Ede születésének 100. évfordulója alkalmából

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat és a Magyar Történelmi Társulat, a Magyar Tudományos Akadémia II. és XI. Osztályával együttműködésben, az MTA-székház Nagytermében 2008. január 16-án, szerdán 10.00 órai kezdettel *Teller Ede Centenárium* Ülést tart.

10.00– *Vizi. E. Szilveszter*, az MTA elnöke: Megnyitó

Teller és a nagyvilág

Üléselnök *Sólyom Jenő*, az MTA r. tagja, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat elnöke

10.15–10.45 *Hargittai István* (MTA r. tagja, BME): Teller Ede – A szabadság bajnoka vagy háborús uszító?

10.45–11.15 *Ormos Mária* (MTA r. tagja, Pécsi Tudományegyetem): Szellemirtás Európában

11.30–12.00 *Bencze Gyula* (MTA doktora, MTA RMKI): Teller Ede, a magfizikus és a „megatonna ember”

12.00–12.30 *Békés Csaba* (PhD, Hidegháború-történeti Kutatóközpont): Szuperhatalmi politika a hidegháborúban

12.30–13.00 Hozzászólások, vita

Teller és Magyarország

Üléselnök *Orosz István*, az MTA I. tagja, a Magyar Történelmi Társulat elnöke

14.00–14.30 *Surján Péter* (MTA doktora, ELTE Kémiai Intézet): Teller Ede hatása a hazai molekulafizikai kutatásokra

Társszerzők: *Kamarás Katalin* (MTA doktora, MTA SzFKI), *Kürti Jenő* (MTA doktora, ELTE Fizikai Intézet), *Szalay Péter* (MTA doktora, ELTE Kémiai Intézet)

14.30–15.00 *Rónaky József* (Országos Atomenergia Hivatal, főigazgató): Teller Ede és az atomenergia Magyarországon

15.00–15.30 *Palló Gábor* (MTA doktora, MTA Filozófiai Kutatóintézet és MTA Kutatásszervezési Intézet): Teller Ede és Budapest

15.30–16.00 *Frank Tibor* (MTA doktora, ELTE Angol-Amerikai Intézet): Teller Ede, Szilárd Leó és a Magyar Tudományos Akadémia

16.00–16.30 Hozzászólások, vita

Minden érdeklődőt meghívunk és várunk.

HÍREK ITTHONRÓL

Új egyetemi képzés: Molekuláris Bionika

Az utóbbi évtizedben egy új tudományág, a molekuláris vagy infobionika megjelenésének lehetünk szemtanúi, amely rövid idő alatt nagy sikereket ért el, és elképesztő gyorsasággal fejlődik.

Két csúcstechnológia, az információs technológia és a biotechnológia találkozásáról van szó.

A bőr alá ültetett gyógyszeradagolóktól az epilepsziás roham előjelzésén át a látássérülteket segítő bionikus szemüvegig már most számos gyakorlati alkalmazási területe van.

Ahhoz, hogy ilyen eszközöket létre lehessen hozni, az informatikus mérnököknek az idegrendszer, a genetika, valamint az immunológia alapjaival is tisztában kell lenniük. Ezért hozott létre a Pázmány Péter Katolikus Egyetem Információs Technológiai Kara és a Semmelweis Egyetem közösen egy új alapszakot. Több tudományágot ötvöző, multidiszciplináris képzés keretében 2008-ban indul az új alapszak, a MOLEKULÁRIS BIONIKA. A londoni Imperial College mellett Európában elsőként induló képzés négy szakterületet fog össze: a molekuláris biológiát, a mikro-, nanoméretű elektromágnességet és optikát, a számítástechnikát, valamint az idegtudományokat.

Érettségi utáni 7 féléves alapképzés elvégzése után molekuláris bionikus BSc oklevelet kapnak a diákok, mely lehetőséget biztosít a további infobionikai, valamint orvosi biotechnológiai mesterképzésekhez (2 év). A molekuláris bionika képzés keretében – többek között – komplex biolaboratóriumi gyakorlattal, elekt-

rofiziológiai mérésekkel, valamint számítógépes hatóanyag-tervezéssel is megismerkednek a hallgatók.

A képzés célja molekuláris bionikus szakemberek képzése, akik szelektív biológiai, molekuláris fizikai-kémiai, elektronikai és számítástechnikai, valamint orvosi alapismereteket és kísérleti metodikákat elsajátítva, ezeket a gyakorlati és elméleti munkában integrálni képesek. Ismereteiket alkalmazni tudják a gyógyszeripar, orvosi biotechnológiai és orvosi és bioelektronikai ipar, nanotechnológiai ipar, bioprotézis-ipar, bioképzőberendezés-ipar és rokon iparágak területén, valamint más kapcsolódó területeken (környezet- és közegészség-védelem, ipari- és természetikatásztrofa-védelem, köz- és személyi biztonság, személyre szóló orvosi és gyógyszerkezelési technikák stb.). A nagyértékű műszerkomplexumok használatának készségi szintű oktatása által képesek lesznek azon berendezések működtetésére, amelyek egyre jelentősebb szerepet kapnak az egészségügyi és ipari alkalmazásokban. Kellő mélységű elméleti ismerettel rendelkeznek a képzés második ciklusban történő folytatásához.

A várakozások szerint a következő évtizedben számos új termék és szolgáltatás az információs és a biotechnológiák kapcsolódási pontjain alakul majd ki. Nem véletlen, hogy ezek az Európai Unió új pályázati lehetőségei között (FP-7-es keretprogram) kiemelt szerepet kapnak.

Roska Tamás

HÍREK A NAGYVILÁGBÓL

Elhunyt Wolfgang K.H. Panofsky

2007. szeptember 24-én, a kaliforniai Los Altos-beli otthonában szívroham következtében elhunyt *Wolfgang K.H. Panofsky*, a Stanford Egyetem fizikaprofesszora, a híres Stanford Linear Accelerator Center (SLAC) emeritus igazgatója. 88 éves volt.

Panofsky kiemelkedő részecskefizikus és gyorsítószakember volt, ezenkívül az alaputatások kiváló szervezője. Tudományos munkája mellett két további fontos téma foglalkoztatta: a nukleáris fegyverkezés szabályozása és a nemzetközi biztonság, a világbéke megőrzése.

Élete folyamán számos elismerésben és kitüntetésben részesült, amelyek közül kiemelkedik 1969-ben a Nemzeti Tudományos Érdemérem (National Medal of Science) valamint 1979-ben az Enrico Fermi-Díj.

Panofsky 1919-ben Berlinben született, apja, *Erwin Panofsky*, híres művészettörténész volt. 1934-ben érkezett az Egyesült Államokba, 1942-ben kapta meg az amerikai állampolgárságot. A Princeton Egyetemen

szerezett diplomát 1938-ban, PhD-fokozatát pedig 1942-ben a California Institute of Technology szerezte. A II. világháborúban a Manhattan-terv konzultánsaként közreműködött az első atombomba létrehozásában.

1945-ben kezdett dolgozni a Kaliforniai Egyetem Berkeley Sugárzási Laboratóriumában, 1951-ben lett a Stanford Egyetem egyetemi tanára, és 1961-ig vezette a Nagyenergiás Fizikai Laboratóriumot. Amikor 1961-ben elkezdtek építeni Stanfordban az új kétföldes lineáris elektrongyorsítót, annak vezetője lett, majd az új intézet, a SLAC igazgatója volt 1984-ben történt nyugdíjba vonulásáig. Berkeley-ben *Jack Steinberger*-rel elsőként figyelték meg a semleges π -mezont, majd Stanfordban számos kísérlet vezetője volt, amelynek célja a proton szerkezetének vizsgálata volt.

Panofsky *Eisenhower*, *Kennedy* és *Johnson* elnöksége alatt az elnöki tudományos tanácsadó testület tagja volt, tanácsadója volt az USA Atomenergia Bi-

zottságának, valamint az Energiaügyi Minisztériumnak az atomfegyverekkel és az atomfegyverkezés korlátozásával kapcsolatos kérdésekben. Az 1980-as években heves ellenzője és kritikusa volt a „csillagháborús terveknek” és a rakétaelhárító programoknak.

Tagja és 1974-ben elnöke is volt az Amerikai Fizikai Társaságnak, tagja az amerikai National Academy of Sciences-nek, valamint külföldi tagja a kínai, olasz, francia és orosz Tudományos Akadémiának.

<http://home.slac.stanford.edu>

Fellőtték a Dawn űrszondát

A Dawn 2007. szeptember 27-én helyi idő szerint reggel 7.34-kor emelkedett a levegőbe az amerikai légierő Cape Canaveral-i kísérleti telepén. Az ionhajtóművet október 6-án este 21.07-kor kapcsolták be az irányítók, és 27 órán keresztül kísérték figyelemmel működését. A Dawn 2011-ben fogja megkezdeni a Vesta elnevezésű aszteroida kutatását, 2015-ben pedig a Ceres kisbolygót teszi majd vizsgálat tárgyává. Az aszteroida öv e két fontos objektumának vizsgálatából igen sok információ szerezhető a Naprendszer történetéről. A fedélzeten elhelyezett tudományos műszerek vizsgálják a bolygók

felületét, felületi topográfiáját, a felszín tektonikus mozgását, anyagának ásványi és kémiai összetételét, továbbá vizet tartalmazó ásványok után is kutatnak. A Dawn-szonda pályájának, valamint a Vesta és a Ceres körüli keringésének vizsgálatával pedig megmérhető az égitestek tömege, gravitációs terük erőssége.

A programot a NASA megbízásából a pasadenai Jet Propulsion Laboratory vezeti, együttműködő tudományos partnerek a Los Alamos National Laboratory, valamint német és olasz űrkutatással foglalkozó intézetek.

<http://dawn.jpl.nasa.gov>

Részecskefizikai detektor figyelmeztet az erdőtüzekre

Ez év júniusában és szeptemberében a Görögországon végigvonuló erdőtüzek legalább 64 embert megöltek, leégettek közel 2800 négyzetkilométer erdőt, és görög hivatalos becslések szerint 1,6 milliárd dollár kárt okoztak. A legjobb módszer ilyen katasztrófák elkerülésére, ha a tüzet minél előbb észlelik és kioltják, mielőtt az még szétterjedne. *Vladimir Peskov*, a svájci CERN és *Antonino Zichichi*, a római Enrico Fermi Központ kutatója részecskefizikában használatos detektort módosítottak arra a célra, hogy a lángokat észlelje, és állításuk szerint ez a berendezés ezer-szer érzékenyebb, mint a kereskedelmi forgalomban kapható legjobb detektorok.

A mesterséges holdak nagy területeket képesek megfigyelni, a kisebb tüzeket füstdetektorokkal észlelik, amelyek infravörös fénynyalábok szóródását detektálják füst részecskéken. Ha azonban fűj a szél, és a füst eloszlik, vagy a tűz még csak a keletkezés állapotában van,

csak a lángok közvetlen megfigyelése segíthet. Fontos azonban, hogy a detektorok meg tudják különböztetni a lángokat a napfénytől, vagyis az ilyen detektoroknak 185 nanométernél rövidebb hullámhosszú ultraibolya fényre is érzékenynek kell lenni. Ezeket a hullámhosszakat az ózonréteg elnyeli, a lángok azonban ilyen fényt is kibocsátanak. Peskov és Zichichi berendezését a CERN lepton aszimmetria analízátor projektje (LAA) számára fejlesztették ki 1988–1992 között. A detektor egy fényérzékeny trimetilaminoetil gőzzel töltött cső. A cső közepén helyezkedik el az anódként szolgáló drót, míg a végén van a katód. Ha egy UV-foton kerül a csőbe, az elektródákra kapcsolt nagyfeszültség az ionizációban keletkező elektront felgyorsítja, és a gázban az ütközések során keletkező elektronlavina erős elektromos impulzust hoz létre, amely megfelelő elektronikával észlelhető és tárolható, mint egy tüzet jelző jel.

www.physicsworld.com

Egy korszaknak vége, kikapcsolták a HERA berendezést

Június 30-án, 15 évi sikeres működés után kikapcsolták a hamburgi DESY Hadron–Elektron Gyűrű Gyorsítóját (HERA). A gyorsítóban elektronokkal vagy pozitronokkal bombáztak protonokat, és a kutatás célja a protonok kvark-szerkezetének tanulmányozása volt.

A gyorsító egyelőre az alagútban marad, hogy megvédjék az időjárás viszontagságaitól, majd átadja helyét a DESY új nagyberendezésének, a PETRA III elnevezésű, nagy intenzitású szinkrotron röntgensugárforrásnak.

www.cerncourier.ch

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:

