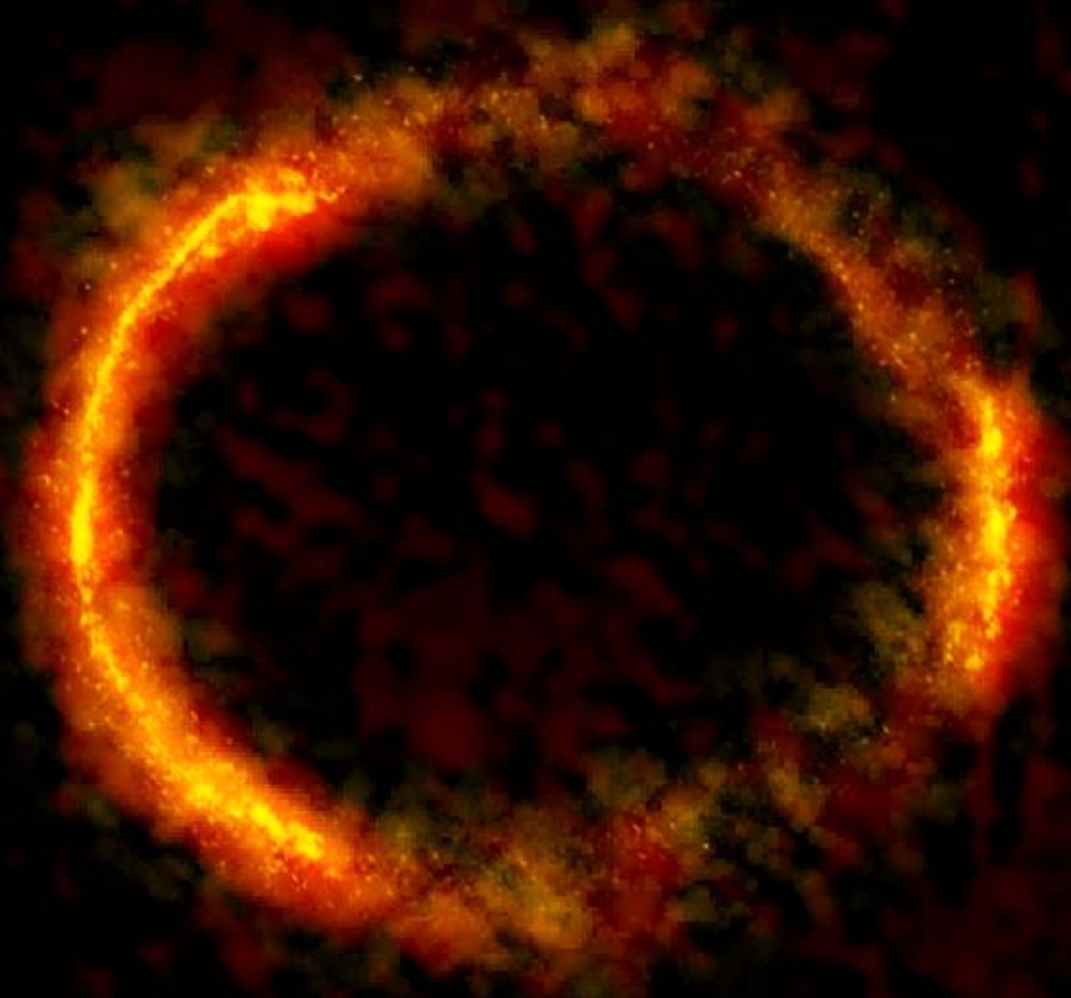


fizikai szemle



2015/6



Jonathan Hunt ADVENTURES

A FŐSZEREPBEN: GÖRÖG LÁSZLÓ

TOVÁBBÁ: KEREKES VICA GÁTI ODSZKAR DÓSA MÁTYÁS DUNAI TAMÁS
TALAMINT: GESZTESI KÁROLY KASSAI ILOMA UDVARIAS ANNA ÉS MASOK

MIAZMA

AVAGY AZ ÖRDÖG KÖVE



MIAZMA AVAGY AZ ÖRDÖG KÖVE

2006-ban a **Jumurdzsák gyűrűje** produkció volt az *első magyar interaktív film* és egyben az első olyan számítógépes kalandjáték, amelyet városmarketing célokra hasznosítottak. Ugyanekkor született az Egerben letelepedő amerikai újságíró, **Jonathan Hunt** karaktere is, aki azóta tucatnyi történetben eredt magyar vonatkozású történelmi rejtélyek nyomába.



Jelen epizódban hősünk ártatlan, néhány naposra tervezett debreceni kirándulása változik át eleinte egy **eltűnt srác** utáni nyomozással, majd egy százötven évvel ezelőtt leesett **meteorit** utáni kutatással, végül pedig rejtélyfejtéssel, amely a **múlt kódolt üzeneteire** derít fényt. Kiderül, hogy a történelem során sokak sorsát befolyásoló ördögi „lebkő” mit tartalmaz: gyémántot, az örök élet elixírjét, egy eddig nem ismert elemet, vagy netán egy **pusztító erejű miazmát**.

Eközben Jonathan Hunt bőrébe bújva beelátunk a **Debreceni Református Kollégium** egykori és mai működésébe, megismerünk részleteket **neves magyar fizikusok** életéből és munkásságából, felfrissíthetjük és végre használhatjuk is a gyakorlatban az iskolai fizika órán tanultakat, valamint nem utolsósorban bepillantunk az **ATOMKI** falai mögé, megtudván, hogy kik és mivel foglalkoznak egy atommagkutató intézetben.

Európai
Strukturális
és Beruházási
Alapok



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFETTESÉ A JÖVŐBE



AZ ATOMKI MEGBÍZÁSÁBÓL KÉSZÍTETTE A PRIVATE MOON STUDIOS

A FILMBETÉTEKET RENDELTE: KOMLÓS ANDRÁS FŐRAGATÓKÖNYV: PIERROT
OPERÁTOR: KHIN ANDRÁS VÁGÓ: MAROSI Z. ANDRÁS ÉS KAPITÁNY DÓRA
ZENE: PIERROT GYÁRTÁSVÉZETŐ: KUN RICHÁRD KREATÍV PRODUCER: PIERROT



www.miazma.privatemoon.com



Ahogy arról 2012 júniusában beszámoltunk (*Fizikai Szemle* 62/6 2012, 209) a *Természet Világa* 2012 májusi, teljes egészében az Atomki munkatársai által készített és róluk szóló számához DVD-mellékletként csatlakozott egy Atomkiban készített 25 perces film, az *Elemi álom*.

Az *Elemi álom* egy bájos szerelmi történet egy héliumatom és egy fullerénmolekula között. Tekintettel a szereplők korlátozott erotikus lehetőségeire nagyobb hangsúlyt kapnak a héliumatomok kalandjai a gyorsítóban, a hideglaborban és a plazmakamrában – a laborokban, ahol a fizikusok legalább számolnak velünk, jegyzi meg az egyik sókímondó atom.

A sok képi és verbális humorral megvalósított animációs dokumentumfilm, a lab story nagy siker volt három évvel ezelőtt, de miután megtette kötelességét az Atomkiban folyó kutatások bemutatásával, emlékezete elhalványult, mint bármi másé. Ám a *Természet Világa* idei áprilisi száma olyan DVD-t ad ajándékba olvasóinak, amely várhatóan sokkal emlékezetesebb lesz, már csak azért is, mert élvezetért alaposan meg kell szenvedni, pontosabban jó néhány órát rá kell szánni. Ha egyszerű filmről lenne szó, akkor két óra alatt feltölthetnénk agyunkban a megfelelő memóriarekeszt. A *Miazma, avagy az ördög köve* azonban interaktív film és számítógépes kalandjáték, amelynek végigjártásához az alkotók átlagosan 15 órát találnak megfelelőnek.

Az interaktív film olyan, mint egy hagyományos film, de a cselekmény alakulása a néző közreműködését is igényli. A *Miazma* esetében sokféle utat választhatunk, de mindegyik ugyanahoz a végkifejlethez vezet. Külső nézetű játék, azaz egy külső kameraállásból látjuk a filmjeleneteket és az interaktív részek többségét, ettől a látvány sokkal inkább megidéz filmélményeinket.

A kalandjátékban egy „interaktív történet” áll a középpontban; a játékos a főhőst irányítva bontakoztatja ki és fejezi be azt. Ehhez meg kell oldania egy rejtélyt vagy bűnügyet, esetleg el kell hártania valamilyen katasztrófát. A *Miazma, avagy az ördög*

köve „Az Atomki tudományos eredményeinek terjesztése és népszerűsítése – Megérthető-elérhető fizika” című projektje keretében jött létre *Fülöp Zsolt* igazgató kezdeményezésére, *Pierrot* (művésznév, mint például Vas Gereben) vezényletével, hiszen a forgatókönyv, a játékterv és a zene is az ő nevéhez köthető.

A történet középpontjában egy szerteágazó nyomozás áll, amelynek szálai Debrecenbe és egyúttal a fizika világába vezet el a nézőt és a játékost. A történet helyszíne az Atomki, ahol az intézet alapító igazgatója, *Szalay Sándor* professzor annak idején elrejtett egy meteoritot. A meteorit még a 18. században hullott alá és került a debreceni *Hatvani István* vegyész- és fizikusprofesszor (a ’magyar Faust’, aki az ördöggel cimborált) birtokába. Ez egy igen különleges fajta, úgynevezett gyémántmagvú meteorit, amely ráadásul nanoképződményeket is tartalmaz. Szalay professzor igen hamar felismerte a benne rejlő veszélyeket és biztonságba helyezte, hogy a tudomány és a technika fejlődésével majdan biztonságos módon lehessen megvizsgálni. A nanoképződmények egy eddig még fel nem fedezett, igen mérgező anyagot tartalmaznak – ez a miazma –, amely kikerülve felbecsülhetetlen károkat okozna.

Sok évvel Szalay professzor halála után a tudomány felnőtt a feladathoz, és az Atomki szakembereinek segítségével és eszközparkjának igénybevételével végre megoldódhat a rejtély. A történet cselekménye kiváló alkalmat ad arra, hogy az interaktív film feladványait megoldó játékosok megismerkedjenek a fizika több ágával és azok legújabb eredményeivel.

Aki kíváncsi a film vázlatára, szereplőire, átfogó bemutatóra, az a www.miazma.privatemoon.com/miazma---vegigjatsz.html helyen mindezt megtalálja. Ezután pedig egy kis szerencsével a *Természet Világa* áprilisi számát is fellelheti, amelynek mellékletként övé lesz az egész filmet tartalmazó DVD!

Füstöss László

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat havonta megjelenő folyóirata.

Támogatók: a Magyar Tudományos Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya, az Emberi Erőforrások Minisztériuma, a Magyar Biofizikai Társaság, a Magyar Nukleáris Társaság és a Magyar Fizikushallgatók Egyesülete

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztőbizottság:

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

Szerkesztő:

Füstöss László

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mail címe:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A beküldött tudományos, ismeretterjesztő és fizikatanítási cikkek a Szerkesztőbizottság, illetve az általa felkért, a témában elismert szakértő jóváhagyó véleménye után jelenhetnek meg.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>



A címlapon:

Egy távoli galaxis gravitációs lencszéssel szinte tökéletes Einstein-gyűrűvé széthúzott képe. A páratlanul éles felvételt a (szub)milliméteres hullámhosszakon működő ALMA távcsőrendszerrel (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) készítették Chilében 2014 végén. Részletesebben lásd Barnaföldi Gergely Gábor és társainak írásában. (Forrás: ALMA, NRAO/ESO/NAOJ; B. Saxton, NRAO/AUI/NSF)

TARTALOM

<i>Barnaföldi Gergely Gábor, Bencédi Gyula, Karsai Szilvia:</i> Gravitációs fényelhajlás szimulációja optikai lencsékkel: készítsünk fekete lyukat házilag!	182
<i>Finta Viktória:</i> Az „elektroszmog”-ról tudományosan	189
<i>Varga János:</i> Teller Edéről mondták – pályatársak, barátok, ellenségek véleménye	193
KÖNYVESPOLC	181
A FIZIKA TANÍTÁSA	
<i>Radnóti Katalin, Adorjáné Farkas Magdolna:</i> A kutatás alapú tanulás lehetőségei a fizikaórán	198
<i>Márki-Zay János:</i> A fémkristályok modellezésére szolgáló Bragg–Nye–Lomer-féle buborékmodell	204
<i>Stonawski Tamás:</i> Csírázási sebességek mérése – egy tévhit tisztázása a mikrohullámú sütőről	211
<i>Menich Péter, Szabó László:</i> Kripton gáz nyomásának mérése izzólámpában	214
HÍREK – ESEMÉNYEK	215
<i>G. G. Barnaföldi, Gy. Bencédi, Sz. Karsai:</i> The simulation, accomplished by optical lenses, of the bending of light by gravitational fields. Home made black holes	
<i>V. Finta:</i> On “electrosmog”	
<i>J. Varga:</i> What colleagues, friends and foes said concerning E. Teller	
BOOKS	
TEACHING PHYSICS	
<i>K. Radnóti, M. Adorján-Farkas:</i> The possibilities of proceeding the teaching of physics by “research”-like work	
<i>J. Márki-Zay:</i> The Bragg–Nye–Lomer bubble model of metal crystals	
<i>T. Stonawski:</i> The measurement of germination processes – a misunderstanding of microwave ovens	
<i>P. Menich, L. Szabó:</i> The measurement of krypton gas pressure in glow lamps	
EVENTS	
<i>G. G. Barnaföldi, Gy. Bencédi, Sz. Karsai:</i> Simulation mit (optischen Linsen) der Ablenkung von Licht durch Schwerekräfte: zu Hause gebastelt Schwarze Löcher	
<i>V. Finta:</i> Über den „Elektrosmog“	
<i>J. Varga:</i> Das Gerede über E. Teller (Kollegen, Freunde, Gegner)	
BÜCHER	
PHYSIKUNTERRICHT	
<i>K. Radnóti, M. Adorján-Farkas:</i> Die Möglichkeiten das Lehren aller abschnitte der Physik mit Teilen über „Forschung“ zu beginnen	
<i>J. Márki-Zay:</i> Das Bragg–Nye–Lomer-sche Blasenmodell für Metallkristalle	
<i>T. Stonawski:</i> Das Messen von Keimungsprozessen – über ein Mißverständnis bezüglich Mikrowellen-Öfen	
<i>P. Menich, L. Szabó:</i> Die Messung des Krypton-Gasdrucks in Glühbirnen	
EREIGNISSE	
<i>Г. Г. Барнафельди, Д. Бенцеди, С. Карсай:</i> Симуляция отклонения света гравитационными полями с использованием оптических линз. Самодельные чёрные дыры	
<i>В. Финта:</i> Научно о т.-н. электромоге	
<i>Я. Варга:</i> Высказание коллег, друзей и противников об Э. Теллером	
КНИГИ	
ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ	
<i>К. Радиоти, М. Адорян-Фаркаш:</i> Возможности обучения всем разделам физики после предыдущего очерка об исследованиях	
<i>Я. Марки-Зай:</i> Пузырковая модель металлических кристаллов	
<i>Т. Стонавский:</i> Измерение скорости прорастающих процессов. Ошибочные сведения о микроволновых печей	
<i>П. Мэнх, Л. Сабо:</i> Измерение давления газа криптона в лампочках накаливании	
ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ	

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését támogatják:



GRAVITÁCIÓS FÉNYELHAJLÁS SZIMULÁCIÓJA OPTIKAI LENCSEKKEL: KÉSZÍTSÜNK FEKETE LYUKAT HÁZILAG!

Barnaföldi Gergely Gábor – MTA Wigner FK RMI
Bencédi Gyula – MTA Wigner FK RMI és ELTE
Karsai Szilvia – ELTE TTK, Csillagász MSc hallgató

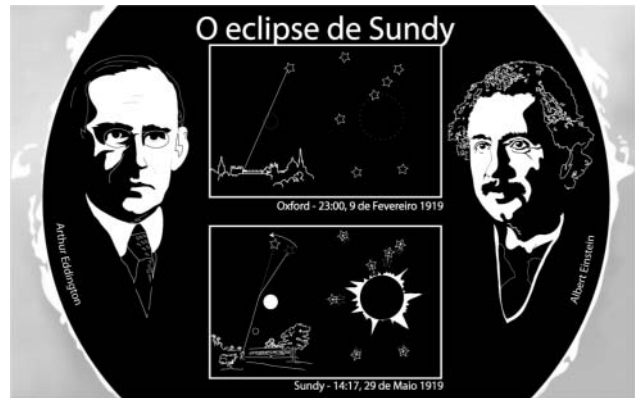
A tudományos-fantasztikus irodalomban gyakran találkozhatunk olyan történetekkel, amelyekben a Világegyetem utazói veszélyesebbnél veszélyesebb helyeket járnak be: féreglyukakon haladnak át, esetleg csapdába esnek egy fekete lyuk környezetében. A történetek megfilmesítése során gyakran kérnek fel kutatókat, hogy segítsék ezen extrém asztrofizikai objektumok megjelenítését. A *Christopher Nolan* rendezésében nemrégiben bemutatott *Csillagok között* című filmben [1] például *Kip Thorne*, a Caltech fizikusa segédkezett abban, hogy a fekete lyuk körül kialakuló, digitális effektusokkal szimulált gravitációs-lencse-hatás minél élethűbb legyen a mozivászonon.

Kapcsolódva „a fény nemzetközi éve 2015” programsorozathoz, jelen cikkünkkel azt kívánjuk bemutatni, hogy a gravitációs fényelhajlás jelensége („lencsézés”) hogyan szemléltethető egy egyszerű kísérletben, amellyel érdekessé tehetünk egy fizikaórát az optikai jelenségek témakörében. Amint látni fogjuk, néhány talpas pohár és borosüveg is elegendő ennek megvalósításához.

A gravitációs-lencse-hatás rövid történeti háttere

A fény nagy tömegű égitest által okozott elhajlásának lehetőségével elsőként *Johann Georg von Soldner* foglalkozott 1804-es publikációjában, amelyben kiszámította egy a Naphoz közel látszó hipotetikus csillag fényének eltérülését [2]. A gravitációs-lencse-hatást, mint az általános relativitáselmélet szükségszerű asztrofizikai következményét maga *Albert Einstein* jósolta meg elmélete 1915-ös véglegesítése előtt 3 évvel. Sőt a lencsehatás alapegyenleteit is levezette: meghatározta egy pontszerű csillag nagy tömegű objektum mellett elhaladó fényének elhajlását és annak látszó fényességét. *Erwin Freundlich* csillagással a jelenség megfigyelhetőségéről beszélgetett akkortájt, és barátjának, *Heinrich Zanggernek* írt levelében is megemlítette a jelenséget 1915 végén. Azonban nem tartotta fontosnak közölni addigi eredményeit, mivel nem hitt abban, hogy ezek a jelenségek jó eséllyel megfigyelhetők lennének.

A szerzők köszönetüket fejezik ki az MTA Wigner FK Technikai Osztályán dolgozó kollégáiknak, akik a lencséket készítették. Barnaföldi Gergely Gábor köszönettel tartozik az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj, illetve a CompStar COST ACTION MP1304 pályázat nyújtotta támogatásért.



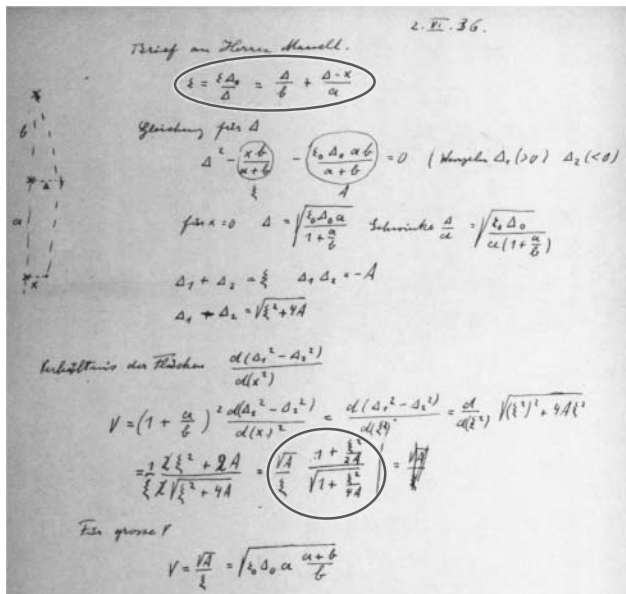
1. ábra. Eddington mérésének helyén felállított emléktábla részlete a fényelhajlás jelenségének sematikus magyarázatával.

A következő években a gravitációs lencsézés ideája több publikációban is felbukkant. *Oliver Joseph Lodge* 1919-ben a *Nature* folyóiratban közölt munkájában már erre az effektusra hivatkozott [3]. Még ugyanebben az évben *Arthur Eddington* vetette fel, hogy ha egy gravitációs lencseként ható, tömeggel bíró objektum egy távoli csillag és a megfigyelő között megfelelő pozícióban helyezkedik el, akkor – szerencsés esetben – a csillag megtöbbszörözött képeit figyelhetjük meg. Végül a fényelhajlás jelensége empirikus bizonyosságot nyert egy Eddington által 1919-ben az Afrikához közeli Príncipe szigeten vezetett expedíció során (1. ábra), a teljes napfogyatkozás adta lehetőség kihasználásával [4].

Egy évvel később *Orest Chwolson* mutatott rá, hogy ha a csillag, a lencséző objektum és a megfigyelő egy vonalba esnek, akkor a csillagról gyűrű alakú kép keletkezik. A jelenséget végül azonban nem róla, hanem Einsteinról nevezték el *Einstein-gyűrűnek* (lásd a címképet¹).

¹ A címlapon egy távoli galaxis gravitációs lencsézéssel szinte tökéletes Einstein-gyűrűvé széthúzott képe látható. Az eddigi legnagyobb felbontású, páratlanul éles felvételt a (szub)milliméteres hullámhosszokon működő ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) távcsőrendszerrel készítették Chilében 2014 végén. A finom részletek detektálása érdekében az antennarendszert hosszú alapvonalú üzemmódban használták: a legtávolabbi antennák 15 km-re voltak egymástól. A Herschel űrtávcsővel felfedezett, mintegy 12 milliárd fényév távoli – amikor az Univerzum mostani korának még csak 15%-át érte el –, még aktív csillagformáló időszakában lévő SDP.81 jelű galaxis képét a látóirányban pontosan előtte, de sokkal közelebbi (4 milliárd fényévre) galaxis gravitációs mezeje torzítja gyűrű alakúvá. A gravitációs-lencse-hatás jól értelmezhető az Einstein által éppen egy évszázada kidolgozott általános relativitáselmélet keretében. A lencsézés eredményét ezért nevezik Einstein-gyűrűnek. (Forrás: ALMA, NRAO/ESO/NAOJ; B. Saxton, NRAO/AUI/NSF)



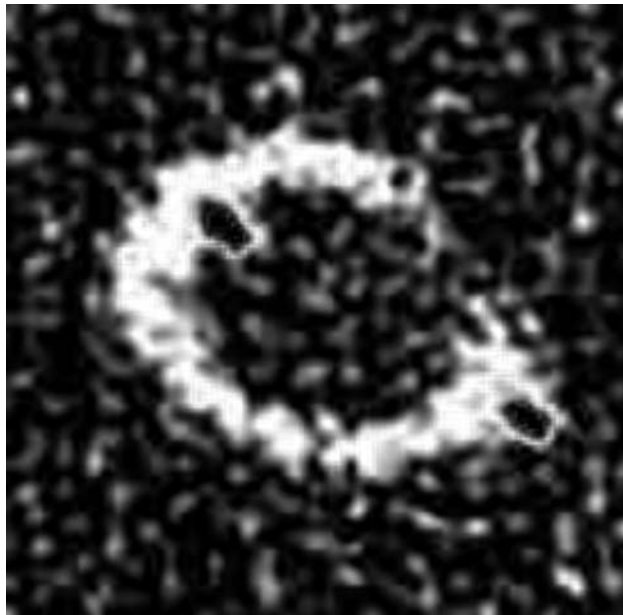
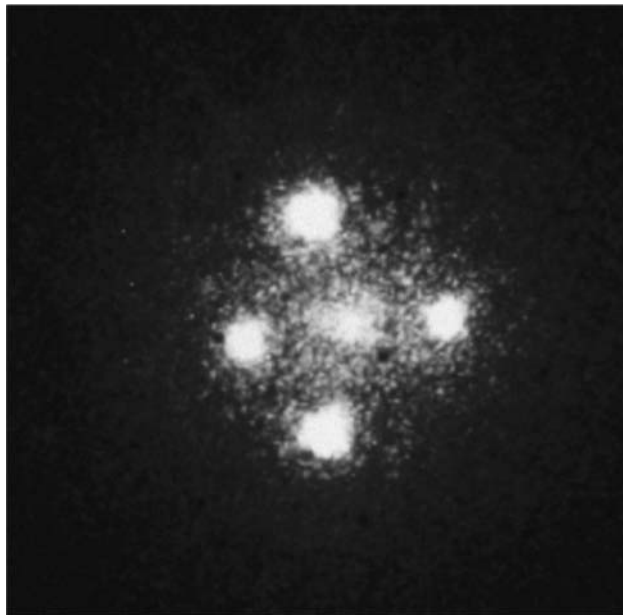


2. ábra. Albert Einstein által 1936-ban végzett gravitációs lencsehatással kapcsolatos rész-számolások (teljes azonosságban az 1912-es eredményeivel), amelyeket R. W. Mandl ösztönzésére végzett és publikált a *Science* magazinban [6].

1936-ban *Rudi W. Mandl* cseh villamosmérnök biztatására Einstein újra elvégezte korábbi, 1912-es számolásait, amelyek eredményeiről *Lens-Like Action of a Star by the Deviation of Light in the Gravitational Field* címmel számolt be a *Science* magazinban [5]. A 2. ábrán Einstein jegyzeteiből származó releváns számolások láthatók. 1937-ben *Fritz Zwicky* a gravitációs lencsézést már galaxisok tekintetében tárgyalta és kiszámította a galaxis okozta fényelhajlást. Ugyanekkor *Henry Norris Russell* pedig fehér törpék környezetében vizsgálta a fényelhajlást.

Az 1960-as évek elején felfedezett extragalaktikus objektumok, a kvazárok megjelenése új megvilágításba helyezte az addigi elméletet. Ezek a nagyon távoli, extrém nagy energiakibocsátású galaxisok a megfigyelhető gravitációs lencsék kereséséhez ideális célpontnak bizonyultak. 1979-ben Einstein korábbi peszsimizmusa ellenére *Walsh*, *Carswell* és *Weymann* detektálták az első gravitációs lencse-effektust a *Kitt Peak National Observatory* 2,1 méteres teleszkópjával, amely egy megkettőződött képű (egymástól 6" szög alatt látszó), $z = 1,41$ vöröseltolódású kvazár (Q0957+561) volt, a lencséző objektum pedig egy $z = 0,355$ vöröseltolódású elliptikus galaxis [7]. Az első azonosítást újabb észlelések követték és 1985-ben felfedezték a QSO 2237+0305 kvazár által létrehozott jellegzetes Einstein-keresztet (3. ábra, fent), majd 1988-ban az MG1131+0456 által létrehozott Einstein-gyűrűt (3. ábra, alul) [8, 9].

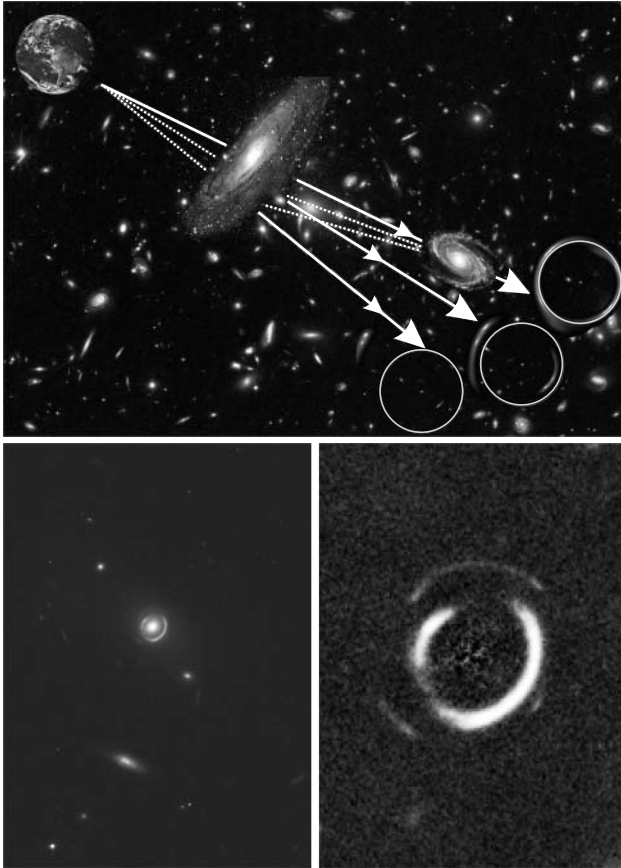
Napjainkra már több tucat gravitációs lencsét azonosítottak. A *CfA-Arizona Space Telescope Lens Survey (CASTLES)* 2005 végéig 64-et talált [10], miközben a gravitációs lencsézés aktív asztrofizikai kutatási területté fejlődött, amelyről az első, 1983-as liége-i nemzetközi konferencia óta évről évre rendszeresen tartanak összejöveteleket.



3. ábra. A QSO 2237+0305 kvazár által előidézett Einstein-kereszt (fent). Az MG1131+0456 által létrehozott, elsőként detektált Einstein-gyűrű 1,75 ívmásodperc szögátmérővel (alul) [8, 9].

A gravitációs lencse-hatás elmélete

Az általános relativitáselméletből ismeretes, hogy egy fényforrás fényének a megfigyelőig megtett útja a nulla-geodetikust követi, ami a téridő görbültségétől függ. Nem-euklideszi térben ezt a görbültséget a lokális tömegeloszlás határozza meg. A gravitációs lencse-effektus az a folyamat, amelyben a fény „mozgása” során a lokális tömegeloszlás generálta, görbült téridőben halad a nulla-geodetikusan mentén. Nagyobb tömegsűrűség-inhomogenitás nagyobb eltérést okoz a fény eredeti útjához képest, ami egy kritikus eltérülési értéknél az Einstein-gyűrűket eredményezheti. Ennek megfelelően egy kritikus értéket el nem érő tömegsűrűségű égi objektumok (főleg galaxisok)



4. ábra. Felül: Einstein-gyűrűk és ívek. Ha a forrás és a lenséző objektum egy egyenesbe esik a megfigyelővel, akkor adódik az Einstein-gyűrű; ha a lencse és/vagy a forrás nem esik az előbbi tengelyre, akkor csak részleges Einstein-gyűrű látható (körívek). Pontszerű forrás (például kvazár) esetén a gyűrűk helyett pontszerű többszörös látszólagos képek figyelhetők meg (például Einstein-kereszt, 3. ábra fent). Mindkét jelenség az erős gravitációs lensézés effektusához köthető.

Alul: a Hubble-űrteleszkóppal 2007-ben észlelt kettős Einstein-gyűrű (SDSSJ0946+1006), amelynél mind a lenséző, mind pedig a forrásobjektum galaxis volt (NASA, ESA, R. Gavazzi és T. Treu (University of California, Santa Barbara), valamint a SLACS Team).

csupán a látszólagos képeket torzítják el. Ezek elemzéséből meghatározható például a szóban forgó lenséző objektumnak mind a barionos, mind pedig a nembarionos (sötét-) anyagtartalma.

A 4. ábra egyszerű geometriája annak viszonyát mutatja, ahogy egy forrás (galaxis) látszólagos és eredeti helyzetének ismeretében meghatározható az általa kibocsátott fény eltérülési szöge. Ez azonban erősen függ a lenséző objektum tömegeloszlásától, amely meghatározza az eltérülés szögét, a látszólagos kép fényességét és a létrehozott többszörös képek számát is. 2007-ben a Hubble-űrteleszkópnak sikerült észlelnie egy kettős Einstein-gyűrűt (SDSSJ0946+1006), amelynél mind a lenséző, mind pedig a forrásobjektum galaxis volt – utóbbiból ráadásul kettő is, a lenséző objektumtól különböző távolságokra (4. ábra, alul). Az egyik forrás szerencsésen majdnem tökéletesen egybeesett a megfigyelő-lencse tengellyel, így annak képe gyűrű, míg a tengelytől távolabbi esetben csak részleges körív látható.

Az eddig leírt lensézést a szakirodalom további típusokra osztja: erős lensézésnek (strong lensing) nevezi a fenti effektust, ahol jól látható az Einstein-gyűrű, a forrásobjektum többszörös látszó képe vagy torzulása egyértelműen megfigyelhető (például az Abell 2218 galaxishalmaz, lásd a 4. ábra felső részének háttéré [11]).

Gyenge lensézés (weak lensing) esetében a háttérobjektumok képe jóval csekélyebb mértékben torzul. Ekkor a torzulás kimutatására csak nagyszámú, egymáshoz közel látszó objektum statisztikai elemzésével van lehetőség. Bizonyos esetben – ha például a „lencse” egy galaxishalmaz – a gyenge és erős lensézés együttesen is megfigyelhető.

Ha a forrásobjektumok képe nem torzul, de a róluk detektálható fény erőssége időben változik, akkor mikrolensézésről beszélünk. A lenséző objektum tipikusan tejútrendszerbeli csillag, míg a forrás lehet egy nem túl távoli extragalaxis csillaga, vagy akár egy nagyon távoli kvazár. A fenti két jelenséggel ellentétben itt a lenséző objektum „kis” tömege miatt az eltérülés szöge helyett a fénygörbét elemzik. Emiatt – a kisugárzott fény hullámhosszától függetlenül – tanulmányozhatók a tömeggel bíró objektumok (viszonylag közeliek, akár Tejútrendszeren belüliek is), mint például a galaxis halója a benne lévő kompakt objektumokkal.

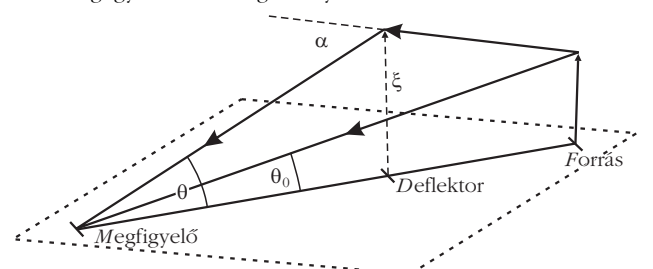
A fentiek ellenőrzésére Einstein számolása alapján tekintsünk egy $M(\xi)$ tömegeloszlású objektumtól ξ távolságra elhaladó fénysugarat, amely $\alpha(\xi)$ nagyságú eltérülést szenved:

$$\alpha(\xi) = \frac{4G}{c^2} \frac{M(\xi)}{\xi}, \quad (1)$$

ahol G a gravitációs állandó, c pedig a vákuumbeli fénysebesség. Érdekesképpen megjegyezzük, hogy ez az eredmény megkapható a Fermat-elv felhasználásával, ha az eikonál-egyenletben szereplő törésmutatót a Minkowski-metrikától csak kismértékben eltérő metrikából számolt tömegpont terében lévő gravitációs potenciállal fejezzük ki, és az adódó egyenletet integráljuk.

A 5. ábrán látható triviális geometria alapján könnyen megkapható, hogy egy θ szög alatt látszó forrás esetében milyen θ_0 szög alatt kell látszania a valódi

5. ábra. Egy fényjel $M(\xi)$ tömegeloszlás által generált gravitációs tér hatására történő eltérülése. Az F forrásból kiinduló fényjel a D pontban lévő lenséző objektum (például galaxis, fekete lyuk) hatására ξ impakt paraméternél $\alpha(\xi)$ mértékű eltérülést szenved, majd az M megfigyelő θ látszólagos helyen észleli.



képének, ha ismerjük az $\alpha(\xi)$ eltérülési szöget és feltecsszük, hogy a szögek kicsik:

$$\theta_0 = \theta - \frac{d_{DF}}{d_{MD} d_{MF}} \frac{4 G M}{c^2 \theta}. \quad (2)$$

Vegyük észre, hogy az egyenletet invertálva, egy adott valódi kép látszólagos képeit már nem triviális megkapni, hiszen az eltérés szöge az objektum felületi tömegsűrűségének nemlineáris függvénye is lehet. A fenti geometria alapján látható, hogy az Einstein-gyűrű $\theta_{Einstein}$ szögátmérője a lencséző objektum tömegeloszlásának gyökével arányos, azaz

$$\theta_{Einstein} \propto \sqrt{M(\xi)}. \quad (3)$$

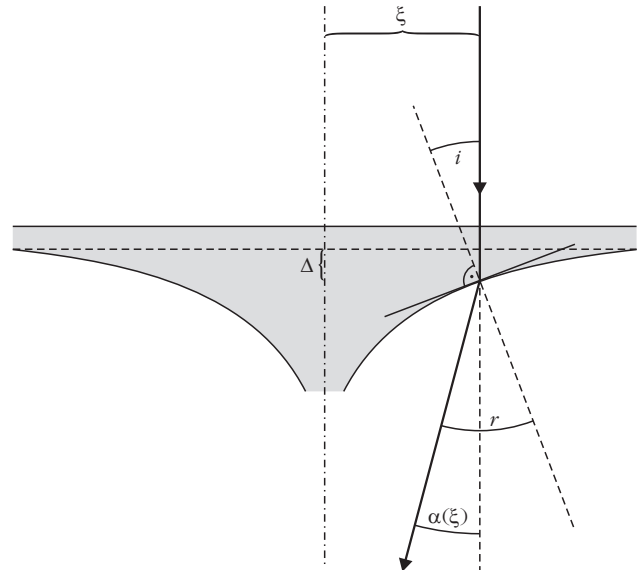
E mérőszám nyújthat segítséget például a többszörös látszólagos képek megkeresésében, azaz az egy mástól megkülönböztethető képek szögátmérőjének meghatározásában. A gyakorlatban ennek értéke a mikroív másodperctől (csillag vagy fekete lyuk esetén) a néhány száz tíz ívmásodpercig (galaxishalmaz esetén) változik a lencséző objektum tömegétől függően.

A téridő ilyen nagy tömegű objektumai – fényeltérítésük szempontjából – földi körülmények között, laboratóriumban, sőt akár otthon is modellezhető. Konkrét kísérlet(ek)ben látjuk majd, hogy egy nem forgó fekete lyuk stacionárius gravitációs terében (Schwarzschild-féle fekete lyuk) eltérülő fénysugár által alkotott kép ekvivalensen modellezhető egy alkalmas profilú optikai lencse képalkotásával. Vizsgáljuk továbbá a különböző tömegeloszlású objektumok vagy galaxishalmazok gravitációs terének eltérítő hatását modellező különböző lencsealakokat, és az utolsó fejezetben – egyebek mellett – megadjuk a tesztelésük során eredményezett látszólagos képüket.

A gravitációs lencse-hatást szimuláló lencsealakok

A gravitációs lencse-hatás szemléltetésére három, csilágászati módszerekkel jól vizsgálható objektumtípushoz rendelhető tipikus lencsealakot vettünk figyelembe. E három jellemző alak: (i) fekete lyuk, azaz a pontszerű gravitációs forrás, (ii) izoterm gázgömb, azaz a konstans tömegeloszlású, kiterjedt objektum, (iii) spirálgalaxis, azaz exponenciális felületi tömegeloszlású „lencse”. Az alábbiakban megmutatjuk, hogy ezen feltételezések mellett milyen alakú profil jellemzi a gravitációs lencse-hatást szimuláló lencsét.

A lencsealakok mindegyikének meghatározásánál azzal a közelítéssel élünk, hogy az optikai tengelytől mért távolság (ξ impakt paraméter) jóval nagyobb a lencséző objektum Schwarzschild-sugaránál, továbbá, hogy a gravitációs tér gyenge, aminek következtében az optikai utak eltérése kismértékű. Emellett a lencsét az egyszerűség kedvéért egyik oldalukon



6. ábra. Gravitációs fényelhajlást modellező lencse és az optikai utak.

síknak vettük, ezáltal a számítandó profilok függvényalakja, valamint a kivitelezhetőség sokban egyszerűsödött.

A gravitációs fényelhajlás jelensége során a téridő görbülete változik meg a lencséző objektum különböző tömegeloszlása és az objektumtól mért távolság függvényében. Ez a jelenség analóg lehet azzal, hogy a geodetikussok torzulása nem a téridő anomáliájából adódik, hanem sík téridőben a törésmutató válik helyfüggővé. Ez az effektus nem ismeretlen az optikában, hiszen a délibáb (*fata morgana*) hasonló okokra vezethető vissza: a közegbeli hőmérsékletgradiens a törésmutató helyfüggését eredményezi, amely a törés és visszaverődés törvényeit alkalmazva jól leírható. Jelen esetben is a Snellius–Descartes-törvényből indulhatunk ki, ahol a 6. ábra jelölésrendszert használva:

$$\frac{\sin r}{\sin i} = \frac{c_r}{c_i} = n \approx \frac{r}{i}. \quad (4)$$

Ahol i és r a beesési és törési szögeket, c_i és c_r a közegbeli fénysebességeket és n a második közeg (itt a lencse) elsőre vonatkoztatott törésmutatóját jelöli. Levezetésünkben ez adott helyen, lokálisan igaz marad, azonban a törésmutató helyfüggése miatt a szögek közötti összefüggés változni fog. A Snellius–Descartes-törvényt alkalmazva feltételezzük, hogy az optikai felület normálisa és a beeső, illetve a megtört fénysugár által meghatározott beesési és eltérülési szögek kicsik. Ekkor a törésmutató – a trigonometriai függvények Taylor-sorfejtése alapján – közelíthető a két szög arányával is.

Einstein levezetése alapján az eltérülő fénysugár és az optikai felület normálisa által bezárt r szög az alábbiak szerint fejezhető ki:

$$r = \alpha(\xi) + i = \frac{4 G}{c^2} \frac{M(\xi)}{\xi} + i, \quad (5)$$

ahol az optikai tengely és a lencse síkja által meghatározott koordináta-rendszer $(\xi, \Delta(\xi))$ pontjában lokálisan i a beesési szög, r a törési szög, $\alpha(\xi)$ pedig az optikai tengelyhez viszonyított fényelhajlás szöge a tengelytől mért $\Delta(\xi)$ távolság függvényében. A képletben megjelent az (1) egyenletben szereplő $M(\xi)$ tömegeloszlás is. A lencse profiljának meghatározásához szükséges a görbe deriváltja a $(\xi, \Delta(\xi))$ pontban, amelyre könnyen adódik, hogy:

$$\frac{d\Delta(\xi)}{d\xi} = -i. \quad (6)$$

Egymásba helyettesítve a (4), (5) és (6) egyenleteket, felírható a $\Delta(\xi)$ függvényre az alábbi differenciálegyenlet:

$$\frac{d\Delta(\xi)}{d\xi} = -\frac{4G}{c^2(n-1)} \frac{M(\xi)}{\xi}. \quad (7)$$

A lencse alakját tehát a feltételezett tömegeloszlás, az alkalmazott anyag törésmutatója és a lencse fizikai méretei határozzák meg, amelyeket most a korábban említett speciális tömegeloszlások eseteire mutatunk be.

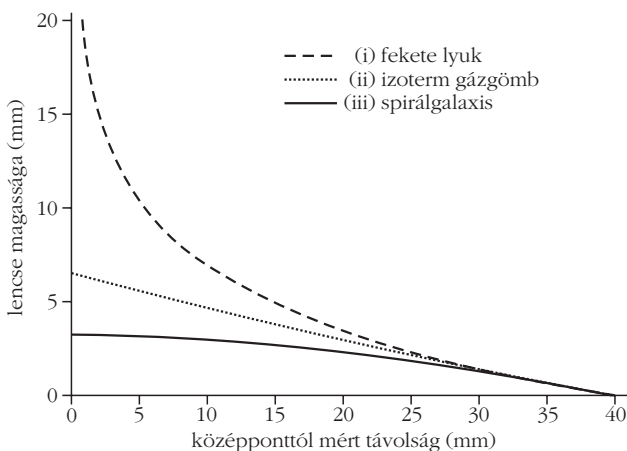
(i) Pontszerű gravitációs forrás esete

A tömegpontot reprezentáló optikai lencse esetében definíció szerint a modell M tömege egy pontba koncentrálódik. Ez az eset felel meg a fekete lyuknak, ahol az $M(\xi) = M$ tömegeloszlású forrás lencseprofilját a (7) egyenlet integrálásával a következő függvény adja meg:

$$\Delta(\xi) = \Delta(\xi_0) + \frac{2R_s}{n-1} \ln\left(\frac{\xi_0}{\xi}\right), \quad (8)$$

ahol az $R_s = 2GM/c^2$ kifejezés a Schwarzschild-sugarat jelöli. Ebben az esetben a kapott lencsealak középén csúcsos, az optikai tengelytől távolodva logaritmikusan lecsengő lesz.

7. ábra. A három különböző tömegeloszlás esetére számolt lencseprofilok függvényalakjai az $R_s/(n-1) = 0,5$ érték rögzítése mellett: (i) fekete lyuk, azaz a pontszerű gravitációs forrás; (ii) izoterm gázgömb, azaz a konstans tömegeloszlású, kiterjedt objektum, valamint (iii) spirálgalaxis, azaz „exponenciális felületi tömegeloszlású” lencse esetére.



(ii) Izoterm gázgömb esete

A konstans tömegeloszlású, úgynevezett izoterm gázgömbbel modellezhető galaxis esetében az objektum M tömege lineárisan nő a ξ impakt paraméterrel, azaz: $M(\xi)$ és ξ egyenesen arányosak. A lencse alakját meghatározó differenciálegyenlet a következő alakú:

$$\frac{d\Delta(\xi)}{d\xi} = -K, \quad (9)$$

ahol K pozitív konstans. A fenti egyenlet megoldásával a lencseprofil függvénye:

$$\Delta(\xi) = \Delta(\xi_0) + K(\xi - \xi_0). \quad (10)$$

Ebben az esetben a K konstanssal megadott meredekségű egyenes lesz a kúp alakú lencse alkotója.

(iii) Spirálgalaxis esete

Az exponenciális felületi tömegsűrűségű, ξ_c karakterisztikus mérettel jellemezhető spirálgalaxis tömegeloszlása a következő formula szerint alakul:

$$M(\xi) = 2\pi \xi_c^2 \Sigma_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{\xi}{\xi_c}\right) \left(\frac{\xi}{\xi_c} + 1\right) \right], \quad (11)$$

ahol Σ_0 a spirálgalaxis felületi tömegsűrűsége a középpontban. Annak változása a ξ függvényében:

$$\Sigma(\xi) = \Sigma_0 \exp\left(-\frac{\xi}{\xi_c}\right). \quad (12)$$

A lencse alakját leíró differenciálegyenletbe helyettesítve $M(\xi)$ -t, a következő lencseprofil leíró függvényt kapjuk az integrálás után:

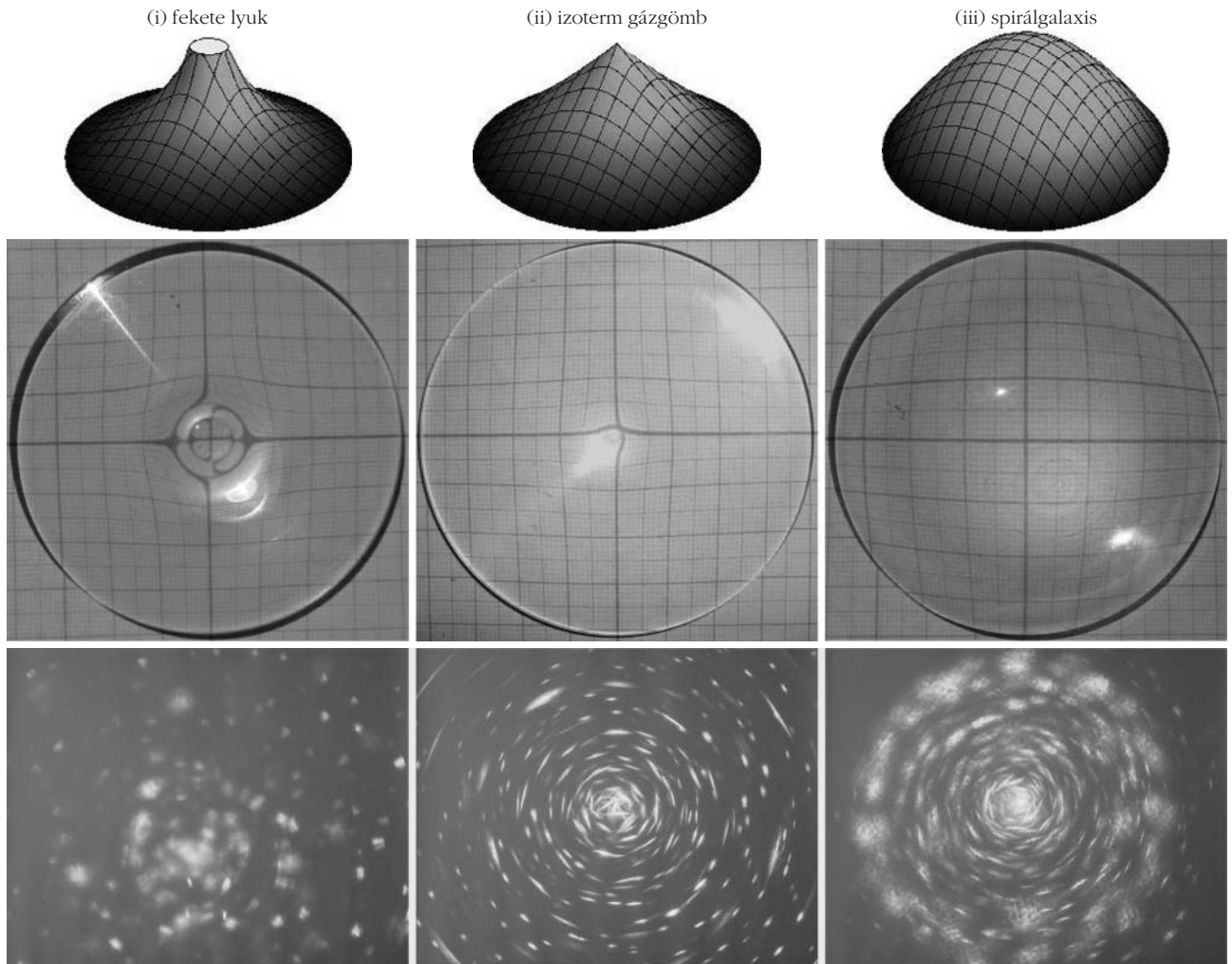
$$\Delta(\xi) = \Delta(\xi_0) + \frac{8\pi G \xi_c^2 \Sigma_0}{(n-1)c^2} \Pi, \quad (13)$$

ahol

$$\begin{aligned} \Pi = & \ln\left(\frac{\xi}{\xi_0}\right) - \exp\left(-\frac{\xi}{\xi_c}\right) + \exp\left(-\frac{\xi_0}{\xi_c}\right) + \\ & + \int_{\xi_0}^{\xi} \frac{\exp(-z)}{z} dz. \end{aligned} \quad (13a)$$

Ebben az esetben a lencsealak a (13a) egyenlet utolsó tagja miatt nem adható meg kompakt analitikus alakban, azonban adott értékek mellett numerikusan kiszámítható.

A lencsék elkészítéséhez a (8), (10), (13) és (13a) egyenleteket felhasználva kiszámíthatjuk az (i), (ii) és (iii) esetekhez tartozó lencsealakokat a megfelelő paraméterek választása mellett. A megvalósítás során az eszterga tokmánya a lencsék átmérőjét 8 centiméterben, a befogáshoz szükséges 0,5 centiméteres ráhagyás pedig a lencseprofilok magasságát – a plexilap



8. ábra. Felső sor (balról jobbra): a kiszámított lencsealakok, (i) fekete lyuk (pontszerű gravitációs forrás), (ii) izoterm gázgömb (konstans tömegeloszlású, kiterjedt objektum), valamint (iii) spirálgalaxis („exponenciális felületi tömegeloszlású”) lencse esetére. Középső sor: az MTA Wigner FK Technikai Osztályán készített megfelelő lencsék. Alsó sor: az egyes lencsék által okozott fénytérülésről készült felvételek.

2,5 cm vastagságából adódóan – 2 centiméterben maximalta. A lencsék tervezése során a (7) egyenletet vettük alapul, amelyben úgy igyekeztünk megválasztani a paramétereket, hogy a lencsék optimálisak legyenek. Jó választásnak bizonyult az $R_s/(n-1) = 0,5$ érték, így számolásainkban is ezt használtuk. A 7. ábrán láthatók az ezen választás mellett kiszámított lencseprofil-függvények a fenti (i)–(iii) esetekre.

A fent ismertetett képletek alkalmazásával kiszámítottuk a három tipikus lencsealakot, amelyet a 8. ábra felső során mutatunk be. Az ábra középső sorában az MTA Wigner FK Technikai Osztályán készített 8 cm átmérőjű lencsék láthatók, amelyeket 2,5 cm vastag plexiből esztergáltunk. Megjegyezzük, hogy konkavítása okán az (i) lencse elkészítése technikailag igen nehézkes, mivel a marófej tipikusan konvex felületek megmunkálását teszi lehetővé. A további két (ii), (iii) lencse esetében ez a probléma nem lépett fel.

Az elkészített lencsékkel tesztelhetjük, hogy a valóságban hogyan működik az Einstein-lencsésítés. Legegyszerűbb esetben pontszerű forrás (például lézermutató) fényét bocsátva a lencsékre, majd er-

nyőn felfogva a jellegzetes gyűrűket kapjuk. Jól alkalmazható a lézeres mutatókhoz kapható pontrács is, amellyel a „szabályos” csillagos égbolt képeinek torzulását láttathatjuk. További lehetőség, hogy az égbolt egy részét bemutató fényképet kivétítve, a vetítő nyalábjába helyezett lencsével megmutatjuk, hogyan torzulna a keletkezett kép, ha egy nagy tömegű sötét objektum lenne a forrás és a megfigyelő között. A számításaink alapján esztergált lencsékkel a 5. ábrán bemutatott esethez hasonló mérés-összeállítással készített képeket a 8. ábra alsó sora tartalmazza.

Fekete lyuk a konyhában

A fentiekben bemutatott lencsék az MTA Wigner FK Technikai Osztályának műhelyében készültek. Limitált költségvetés esetén felmerül a kérdés, hogyan készíthetünk vagy kereshetünk ilyen lencséket a környezetünkben. Miként mutathatjuk be a fenti kísérleteket akkor, ha nem áll rendelkezésünkre technikai műhely? A válasz, mint sokszor, most is a kony-



9. ábra. Egy borosüveg és „spirálgalaxis” alja, illetve pezsgőspohár, valamint „fekete lyuk” talpa.

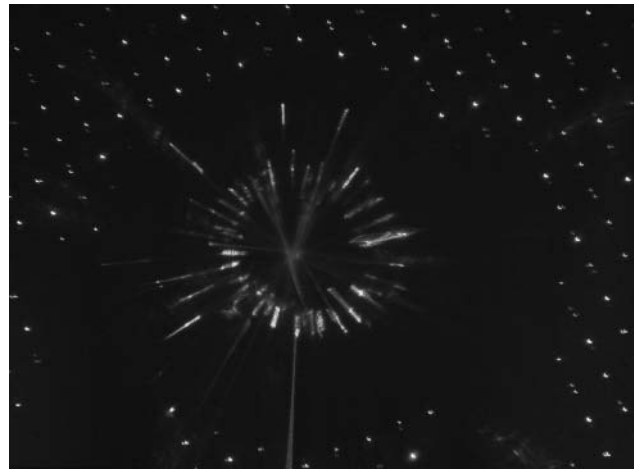
hában keresendő, és további „örömekeket” is okozhat – például egy üveg kellemes bor vagy pezsgő elfogyasztása során.

Ha megfigyeljük, a borosüvegek alja sok hasonlóságot mutat a fenti (iii) lencsealakokkal (9. ábra, balra és középen). Ez elsősorban a vörös- és rozéborok üvegeire igaz, amelyekben a befelé horpadó alj a mechanikai tulajdonságok javítása mellett lehetővé teszi, hogy e borokra jellemző, lerakódó seprő kevésbé keveredjen fel a kitöltés során. Már csak az a feladatunk, hogy keressünk egy alkalmas átlátszó üveget, és lencsévé alakítsuk.

Az üres üveget függőlegesen fejjel lefelé fordítjuk, és rögzítjük egy kémcsőállványon, majd a felülre kerülő üvegaljat feltöltjük például vízzel. Erre azért van szükség, hogy tömör lencsét kapjunk. Megjegyezzük, hogy az üveg $n_{\text{üveg}}$ törésmutatója tipikusan 1,42–1,59, így jobb lencse előállításához víz ($n_{\text{víz}} = 1,33$) helyett használhatunk nagyobb törésmutatójú, áttetsző folyadékot (például cukrozott vizet vagy olajat). Ezek után helyezünk el egy fényforrást (például izzót vagy lézermutató-pálcát) az üveg szájába úgy, hogy felfelé, a plafonra világítson. A plafonon kialakult kép hasonló lesz az Einstein-lencsézés során megismert alakokkal.

Sokáig nézegetve az előző fejezetben kiszámított lencsealakokat, felismerhetjük bennük a boros- vagy pezsgőspoharak talpának tipikus alakját (9. ábra, középen és jobbra). Üvegvágó segítségével óvatosan megkarcolva egy ilyen pohár lábát a talp közelében, konyharuhába csavarva egy bátor mozdulattal könnyen letörhetjük a talpat. Az így kapott lencse általában az (i) vagy az (ii) lencsealaknak felel meg. Érdekes sík aljú pohártalpat „feláldozni”, hiszen így a fenti lencséknél megfelelő alakot kapjuk.

Diákoknak feladható mérési feladatnak is megfelel, ha a borosüveg mögé négyzethálós lapot helyezve, majd oldalról lefényképezve és a képet megmérve meghatározzák, hogy a bemutatott profilok melyikéhez áll legközelebb a lencsealak. Az (1–4) képletek felhasználásával – például illesztés után – megállapíthatják, hogy mekkora Schwarzschild-sugár tartozhat hozzá. Végül kiderül, hogy „konyhánk univerzumába” fekete lyukat (10. ábra) vagy spirálgalaxist sikerült-e „beszuszakolni”.



10. ábra. A felvételen egy borospohár „fekete lyuk” talpa szolgált lencseként a lézermutató fényének eltérítéséhez.

Utószó

A modern fizika elsődleges célja az alapvető természeti jelenségek és folyamatok feltérképezése, megismerése. Ennek során, mint a fizika minden ágának oktatásánál, sarkalatos szempont a szemléletesség, az effektusok bemutatása, így nem mentesülhet ez alól a nagyenergiás asztrofizika vagy a nagyenergiás részecske- és magfizika oktatása.

Manapság már ritka, hogy a legújabb felfedezések akár egy tanteremben bemutathatók legyenek. Különösen igaz ez a részecskefizikai, kozmológiai vagy csillagászati jelenségekre. Jogosan merül fel a kérdés, hogyan lehet olyan jelenségeket bemutatni, amelyek természetüknél fogva extrém körülményeket igényelnek. E cikk célja annak bemutatása volt, hogyan szemléltethető osztályteremben „konyhai” módszerekkel és eszközökkel az általános relativitáselmélet egy, a távoli extrém égi objektumokkal tesztelhető jelensége.

Irodalom

1. <http://www.interstellarmovie.net>
2. Soldner, J. G.: On the deflection of a light ray from its rectilinear motion by the attraction of a celestial body at which it nearly passes by. *Berliner astronomisches Jahrbuch* (1804) 161–172.
3. Lodge, O. J.: Gravitation and Light. *Nature* 104 (1919) 354.
4. Dyson, F. W.; Eddington, A. S.; Davidson, C. R.: A Determination of the Deflection of Light by the Sun's Gravitational Field, from Observations made at the Solar Eclipse of May 29, 1919. *Phil. Trans. Roy. Soc. A* 220 (1920) 291–333, 571–581.
5. Einstein, A.: Lens-Like Action of a Star by the Deviation of Light in the Gravitational Field. *Science* 84 (1936) 506–507.
6. Jürgen Renn, et al.: The Origin of Gravitational Lensing: A Postscript to Einstein's 1936 Science Paper. *Science* 275 (1997) 184, DOI: 10.1126/science.275.5297.184
7. Walsh, D.; Carswell, R. F.; Weymann, R. J.: 0957 + 561 A, B – Twin quasistellar objects or gravitational lens. *Nature* 279 (1979) 281.
8. http://www.einstein-online.info/spotlights/grav_lensing_history
9. NASA and ESA (September 13, 1990): The Gravitational Lens G2237 + 0305. *HubbleSite* <http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases/1990/20/image/a> Retrieved July 25, 2006., <http://www.nrao.edu/pr/2000/vla20/background/ering>
10. <https://www.cfa.harvard.edu/castles>
11. <http://www.spacetelescope.org/static/archives/images/screen/heic0606a.jpg>

Ki ne hallotta volna már ezt a kifejezést? Az utóbbi időben, elsősorban a bulvársajtóban egyre gyakrabban olvashatunk róla, ezért néhány dolgot feltétlenül érdemes tisztázni. A radioaktivitáshoz hasonlóan ez is egy olyan láthatatlan és érzékszerveinkkel felfoghatatlan valami, ami ezáltal nagyon alkalmas arra, hogy téveszmék alakuljanak ki körülötte, illetve vélt vagy valós okokból félelmeket tápláljunk irányában. Ezekre a téveszmékre és félelmekre azután komplett üzletág épül olyan eszközöket és szolgáltatásokat értékesítve, amelyek többnyire nélkülözik a tudományos alapot.

Ezért is tartom fontosnak, hogy egy rövid tudományos áttekintést adjak ezzel a jelenséggel kapcsolatban, és a kutatási irányvonalak felvázolása mellett hírt adjak egy hiteles hazai vizsgálatról.

Fizika

„Elektroszmog” – már maga a kifejezés is több okból megtévesztő. A szó hallatán egy sűrű, ködszerű felhőt képzelünk el, és ez önmagában idegenkedést, taszító hatást kelt. Ugyanakkor az ezzel a kifejezéssel illetett jelenség fizikailag egyáltalán nem hasonlít a hagyományos értelemben vett ipari szmoghoz. Először is, ez a sugárzás nem halmozódik olyan módon a szervezetben, mint a szmog káros anyagai. Másodszor pedig ez a technológia velejárója, ami az ipari szmoggal ellentétben nem csökkenthető a végletekig anélkül, hogy az a szolgáltatás rovására ne menne.

De akkor miről is beszélünk? Tulajdonképpen a *komplex nem-ionizáló elektromágneses környezetünket* értjük alatta, azaz olyan nem-ionizáló elektromágneses sugárzásokat, amelyeket valamilyen használati eszközünk bocsát ki, vagy amely annak működtetéséhez szükséges. A legjellemzőbb ezek közül az 50 Hz frekvenciájú hálózat és általában az elektromos berendezések, a leghírhedtebb pedig a mikrohullámon működő mobiltelefon és az azt kiszolgáló bázisállomások. Az ionizáló sugárzásokkal szemben nagyon fontos különbség, hogy míg azok természetesen hozzátartoznak a földi életünkhöz, addig az *„elektroszmog”-nak megfelelő frekvenciájú sugárzások és terek természetes intenzitása gyakorlatilag nulla, de mindenképpen elenyésző a civilizációs forrásokhoz képest.* Ugyanakkor az is igaz, hogy szervezetünk elektromágneses impulzusokkal működik, így *egyes esetekben a természetes belső terek nagyságrendekkel nagyobbak lehetnek a mesterséges külső tereknél.*

A következőkben lássunk néhány alapvető tény ezek fizikai és biológia tulajdonságairól!

Az elektromágneses hullámban egymásra és a terjedési irányra is merőleges, szinuszosan változó elektromos és mágneses tér terjed fénysebességgel. A λ hullámhosszal, ν frekvenciával jellemzett hullámok között vannak olyanok, amelyekben a fotonok $h\nu$ energiája már olyan nagy, hogy elektronokat tudnak kiszakítani az atomból, ezek az ionizáló sugárzások. Mivel a fotonok energiája arányos a hullám frekvenciájával, ezért $3 \cdot 10^{15}$ Hz = 3 PHz-nél húzható egy határ: ez alatti frekvenciájú hullámok a nem-ionizáló tartományba tartoznak. Ide sorolható az optikai tartomány is, azon belül az ultraibolya, a látható fény és az infravörös is. „Elektroszmog”-on az optikainál alacsonyabb frekvenciájú tartományt értjük, különös tekintettel a rádiófrekvenciás (RF) és mikrohullámú (MH) tartományra (RF és MH: 300 kHz – 300 GHz), valamint az extrém alacsony frekvenciára (ELF: 1–300 Hz, különösen az 50/60 Hz). Az előbbi tartományban működnek a rádió- és televízióadók, a készenléti egységek kommunikációs csatornái, a mobiltelefonok és a hozzájuk tartozó bázisállomások, a radarok és navigációs rendszerek, a mikrohullámú sütők, valamint az összes vezeték nélküli irodai és kommunikációs eszköz (bluetooth, WLAN, telefon, egér, billentyűzet). Az 50 Hz-hez köthető lényegében az összes háztartási elektromos berendezésünk, a hozzájuk tartozó vezetékek, valamint a transzformátorok és a távvezetékek. A két tartomány között leggyakrabban felmerülő sugárzás pedig a katódsugárcsőves monitorokból származik (15 és 60 kHz).

Megkülönböztethetünk távoli és közeli sugárforrásokat. Távoli források közé sorolhatóak RF-MH esetén a bázisállomások és tv-rádió műsorszóró adók, valamint a WLAN adók. ELF esetén tipikusan a nagyfeszültségű vezetékek és transzformátorok tartoznak ide. Ezek távol vannak a testtől, így az egyn helyen kisebb intenzitású, de folyamatos háttérsugárzást biztosítanak. A közeli források a használati eszközök, RF-MH esetén például a mobiltelefonok, az egyéb vezeték nélküli eszközök, a WiFi-vevők és a mikrohullámú sütők. ELF esetén az elektromossággal működő használati tárgyakat sorolhatjuk ide, amelyek közül különösen jelentősek például a hajszárító, a villanyborotva vagy a turmixgép. Ezek használat közben mind közel vannak a testünkhöz, de sugárzást csak rövid ideig, azaz használatuk közben bocsátanak ki, akkor viszont elég nagy intenzitású. Mindeztidőig nem tisztázott, hogy biológiai hatását tekintve távoli vagy a közeli sugárforrás közül melyik a jelentősebb. Laikusként, „józan paraszti ésszel” belegondolva számos hatás esetén a rövid idő alatti nagy intenzitású effektus a károsabb. A kézenfekvő radioaktivitás példája mellett gondolhatunk az „elektroszmog”-hoz hasonlóan a nem-ionizáló napsugárzásra vagy a zajszennyezésre, de akár olyan hétköznapi dolgokra is, mint az alkoholfogyasztás (nem mind egy, hogy 30 napon át iszik valaki napi egy korsó sört, vagy egy napon 30 korsóval...).

A szerző köszönetet mond az OSSKI munkatársainak és az ELTE hallgatóinak a csapatmunkáért, valamint az összes mérési alanyuk a közreműködésért.

Biológia és egészség

Különböző forrásokból különböző információkat lehet kapni arról, hogy pontosan milyen egészségügyi hatások köthetők az „elektroszmog”-hoz. Egyes internetes oldalak olyan panaszokat tulajdonítanak neki, mint a fejfájás, alvászavar, kimerültség, az immunrendszer gyengülése, depresszió, valamint szív- és érrendszeri problémák. Ezekre azonban semmilyen tudományos bizonyíték nincs, és bárki könnyen láthatja, hogy a civilizált világban ezek a panaszok gyakoriak ugyan, de számos kézenfekvőbb magyarázat található rájuk (mozgásszegény életmód, egészségtelen táplálkozás, környezetszennyezés, stressz stb.). Emellett számos honlapon találunk különböző megoldásokat az „elektroszmog” csökkentésére vagy megszüntetésére, természetesen az ingyenes jótanácsok mellett a legtöbbjét jó pénzért. Tehát úgy tűnik, hogy egyes csoportoknak kifejezetten érdekük fűződik a – lakosságban a jelenséggel kapcsolatos – bizonytalanság és tévhitiek fenntartásához. Ehhez köthetően kialakult az „elektromos túlérzékenység” fogalma. Egyes emberek azt állítják, hogy érzik az „elektroszmog”-ot, és ilyenkor bőrtünetek, szédülés, hányinger, fejfájás, alvási rendellenesség és emlékezetkiesés lép fel náluk, de súlyosabb esetben légzési problémák, szívdobogás és eszméletvesztés is előfordulhat. Az eddigi vizsgálatok azt állapították meg, hogy egyrészt a tünetek olyan nem-specifikus panaszok, amelyek objektív módon nem ellenőrizhetők, másrészt megjelenésük esetleges (tehát nem feltétlenül függ össze az elektromágneses tér jelenlétével), és nagy valószínűséggel pszichés hátterük van.

Vannak viszont olyan biológiai és egészségi hatások, amelyeket már tudományosan alátámasztottnak tekinthetünk. A biológiai hatásokat tekintve elmondható, hogy ezek a sugárzások az élő szervezetet nem-ionizáló tulajdonságuk miatt magasabb frekvencián elsősorban hőhatással, illetve elektromos terük által, alacsonyabb frekvencián pedig mágneses terük révén érinthetik.

Az extrém alacsony frekvenciájú teret a Nemzetközi Rákkutató Ügynökség már korábbi vizsgálatok alapján besorolta a lehetséges emberi rákkeltő (2B) kategóriába, a gyermekkori leukémiára nézve. Ez azt jelenti, hogy olyan emberben történő rákkeltés bizonyítékán alapul, amelyre azonban nem zárható ki más ok sem. (Érdemes megemlíteni, hogy ebbe a kategóriába tartozik a kávé mellett az aloe vera és a ginkgo biloba is, aminek persze nincs akkora sajtóvisszhangja.) Ezen kívül fontos hozzátenni, hogy az ELF-re kizárólag a gyermekkori leukémia esetén találtak összefüggést, és csak nagyfeszültségű terekkel, azaz transzformátor-állomások és távvezetékek közelében lakók körében. Felmerült a lehetőség, hogy az 50 Hz összefüggő különböző daganatok, illetve – a melatonin-termelés csökkenése révén – a depresszió kialakulásával, de ezekre eddig nem sikerült meggyőző bizonyítékot találni.

A RF és MH tartományon belül – széles elterjedtségük miatt – kiemelt jelentőséggel bírnak a mobiltelefonok. Számos kutatás vizsgálta/vizsgálja, hogy a mobiltelefon okoz-e agydaganatot, de a mai napig nem sikerült közvetlenül igazolni, hogy daganatkeltő és/vagy -növelő hatása lenne. *Azonban statisztikai alapon a Nemzetközi Rákkutató Ügynökség 2011-ben ezt is besorolta a lehetséges emberi rákkeltő kategóriába, a gliómára nézve.*

Emellett leginkább a központi idegrendszerre gyakorolt hatások állnak a kutatások középpontjában. Az eddigi eredmények azt mutatják, hogy a sugárzás jelenlétében megváltozik a neuronokat körülvevő folyadék ionösszetételért felelős vér-agy gát működése, ezáltal előfordulhat, hogy olyan anyagok is bejuthatnak az agyba, amelyek sugárzás nélkül nem. Azonban ennek egészségi megnyilvánulásai egyelőre további kutatások tárgyát képezik. A sejtmembránnal kapcsolatos hatások közül eddig igazolást nyert, hogy sugárzás jelenlétében megnő a kalcium- és más ionok kiáramlása, de itt szintén a vizsgálatok folytatása szükséges annak megállapítására, hogy ez a mikroszkopikus biológiai hatás milyen makroszkopikus, egészséget érintő hatást vonhat maga után. *Híszén fontos kiemelni, ahogyan nem minden fizikai behatást követ biológiai válasz, úgy egy biológiai hatás sem feltétlenül befolyásolja az egészséget, hiszen a szervezet védekező-mechanizmusai meggátolhatják azt.*

Számos egyéb területen is folynak kutatások, köztük az alvásra, EEG-re, fejfájásra, nemzőképességre, immunrendszerre gyakorolt hatások terén, azonban az eredmények nem egyértelműek.

A mobil-probléma egyébként kétkomponensű, mert egyrészt *nem használjuk tömegesen annyi ideje, hogy egy esetleges hosszú távú hatást epidemiológiai méretekben észleljünk*, másfelől viszont éppen *az eszköz népszerűsége miatt egy viszonylag kis egészségi kockázat is népegészségügyi következményekkel járhat*. Megdöbbentő adat, hogy ma a világon ötmilliárd mobiltelefonos van, de elgondolkodtató az a tény is, hogy Magyarországon 2007 áprilisában, tizenhárom évvel a GSM szolgáltatás hazai beindulása után, a mobiltelefon előfizetések száma meghaladta a lakosság lélekszámát, mára csaknem 12 millióra rúg.

Nem véletlen tehát, hogy nemrégiben nagyszabású felmérést indítottak a britek, amelyben öt ország több mint 250 ezer lakosa vesz részt. A kutatás időtartama több mint 30 év, így a rövid, közép és hosszú távú hatások vizsgálatára is mód nyílik, és remélhetőleg sok, mobiltelefonokkal kapcsolatos kérdésre kapunk majd választ.

Mindenesetre az eddigi eredmények alapján már megállapítottak lakosságra vonatkozó hatósági határérték-ajánlásokat. Ezeket úgy tervezték, hogy kivédjék az összes azonosított veszélyt, legyen szó akár rövid, akár hosszú távú expozícióról. Magyarországon a hatályos szabályozást a 63/2004. (VII. 26.) ESzCsM rendelet tartalmazza.



Expozimetria

Miután – főleg állatkísérletek alapján – meghatározták azt a sugárzási szintet, ami megengedhető a lakosságra nézve, szükséges felmérni, hogy ez miként viszonyul a környezetünkben mérhető értékekhez.

Fontos tisztázni, hogy az ionizáló sugárzásokkal ellentétben itt a külső fizikai expozíció nem tekinthető azonosnak a biológiailag hatásos dózissal. Emiatt nem is dozimetriáról, hanem expozimetriáról beszélünk, amikor a külső sugárzás mérését taglaljuk. Ez RF-MH esetén leggyakrabban az elektromos térerősség V/m-ben történő mérését jelenti, amit esetleg átszámolunk teljesítménysűrűsége ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$). A dozimetriával foglalkozó kutatók pedig a fajlagosan elnyelt teljesítménnyel (SAR-W/kg) dolgoznak, amely számos paramétertől függ, a sugárzás frekvenciáján és intenzitásán kívül a besugárzott test méretétől, alakjától, víztartalmától, elektromos és mágneses tulajdonságaitól. A mi kutatócsoportunk az ELTE Atomfizikai Tanszékén az OSSKI Nem-ionizáló Sugárzások Főosztályával szoros együttműködésben elsősorban RF-MH expozimetriával foglalkozik 2007. ősz óta.

Az eddigi vizsgálatok azt mutatták, hogy az expozíció meghatározása legmegbízhatóbban személyi expozícióméréssel (expozimetria) valósítható meg, tekintettel arra, hogy a tapasztalat szerint a helyszíni mérések adatai önmagukban nem szolgáltatnak elegendő információt az egyén expozíciójáról az időben ingadozó és hely szerint is nagyon változó komplex elektromágneses környezetben. Az „elektroszmozg” expozíció valós becslését a korábban kifejlesztett személyi expozíciómérők (PEM: Personal Exposure Meter) teszik lehetővé.

Kutatásaink során ilyen expozimétert (1. ábra) használunk mi is. Ez a nap 24 órájában 12 kiemelt frekvenciasávon, irányfüggetlen módon méri az elektromos térerősség értékeit. A sugárforrások közül a tv- és rádióadókat, a mobiltelefon-készülékeket és bázisállomásokat, a készenléti egységek frekvenciáit (TETRA), a vezeték nélküli otthoni telefont és a WLAN-t/mikrosütőt (mindkettő 2,45 GHz frekvenciájú sugárzást bocsát ki) detektálja. A mérési alanyok naplót vezetnek napi

1. ábra. A PEM és viselési módja.



tevékenységeikről, különös tekintettel a készülék-használatokra. Az adatok elektronikus feldolgozása és kiértékelése után az időre átlagolt teljesítménysűrűségek statisztikai analízise következik.

Felméréseink eredményei

Az elmúlt 6 évben összesen négy nagy projektünk volt. Az elsőben egyetemi hallgatók napi expozícióját vizsgáltuk, hogy a tevékenységek és a frekvenciasávok szerinti eloszlás mellett a lakóhelytől (fővárosi, ingázó, vidéki) való függést megállapítsuk. Második felmérésünk a budapesti bázisállomások közelében lakók expozíciójának meghatározását célozta meg, különös tekintettel a bázisállomás távolságától való függésre. A következő vizsgálatban óvodások expozícióbecslését végeztük óvónők és szülők bevonásával különböző módszerekkel. Az utolsó tanulmány pedig mentődolgozók szolgálati rádióhasználatából adódó foglalkozási többszörös sugárzásának a meghatározását tűzte ki célul.

A kutatásaink érdekessége, hogy világviszonylatban is úttörő jellegűek, hiszen még nincs nemzetközileg elfogadott, egységes protokoll sem a mérésre, feldolgozásra, kiértékelésre, sem pedig a statisztikai elemzésre. Így felméréseink során az egyes csoportok expozíciójának meghatározása mellett a módszertani fejlesztés is jelentős szerepet kapott. Az olvasókat azonban nyilvánvalóan inkább az érdekli, hogy a mért értékek miként viszonyulnak az egészségügyi határértékekhez.

Bár a leegyszerűsített válasz az, hogy *a tényleges expozíciós értékek mindig nagyságrendekkel az ajánlott egészségügyi határérték alatt vannak*, mégis az egyes csoportok és kategóriák elemzése lényeges információkkal szolgál, ezért összefoglalom a főbb tapasztalatokat.

A *diákok* napi szinten a GSM 900 MHz-es mobiltelefonok és bázisállomásaik, valamint a rádióadók sávjából kapták a legintenzívebb sugárzást, és ez független volt lakóhelytől. Ezen kívül az is megállapítást nyert, hogy a TETRA, a VHF tv- és a 3G telefonkészülékek sugárzása elhanyagolható. Tevékenységeket tekintve a legnagyobb expozíció utazás alatt, a legkisebb pedig alvás alatt adódott, ami jó egyezésben van a nemzetközi irodalommal. Lakóhelyek alapján nincs különbség a fővárosi, ingázó és vidéki csoportok között a napi teljes expozíció szempontjából, ami jó hír lehet a városban lakó, beépítettség miatt aggódó egyéneknek.

A *bázisállomások közelében élők* vizsgálatakor egy népszerű tévhitet sikerült mérésekkel alátámasztva megdöntenünk. A bázisállomások 300 m-es körzetében végzett méréseink a fizika alapján várt képet támasztották alá: *közvetlenül a bázisállomás alatti épületben lakókat statisztikailag szignifikánsan kevesebb sugárzás érte, mint a szomszédos házakban élőket.* Mindazonáltal a visszaverődések miatt a bázisállomás alatt lakók esetén is mértünk valamekkora expozíciót, a körzeten belül a legkisebbnek pedig nyilván a bá-

zisállomástól távolabbi házakban adódott a teljesítménysűrűség. A frekvenciasávok szerinti eloszlásban természetesen a bázisállomásoktól származó expozíció volt jelentős, abból is kiemelkedett a 900 MHz-es. A tevékenységek szerinti vizsgálat viszont újdonságot hozott, ebben a csoportban ugyanis a diákoktól eltérően nem volt számottevő különbség az egyes tevékenységek között. Ennek oka abban keresendő, hogy az otthoni és alvás alatti expozíció a bázisállomások közelsége miatt emelkedettebb. Ezek a következtetések lakótelepen és családi házas környezetben is igaznak bizonyultak.

Az epidemiológiai kutatások és expozimetria területén kiemelt kutatási téma a *gyerekek* expozíciójának meghatározása, mivel a fejlődő szervezet általában mindenféle ágenssel szemben érzékenyebb. Azonban gyerekekkel végezni méréseket korántsem triviális feladat, ez jelentős módszertani probléma. Emiatt bevált szokás, hogy a gyerekek expozícióját a körülöttük lévő felnőttek (szülők, pedagógusok) méréseiből származtatjuk, de egyelőre erre sincs egységesen működő módszer. Az eredmények elsősorban módszertani szempontból jelentősek, de megállapítható, hogy nagyon alacsony az expozíció és a felnőttek készülékhasználata jelentősen befolyásolta a mérési eredményeket.

Az utolsó, 2012-es vizsgálatunk az Országos Mentőszolgálatnál dolgozó személyzet foglalkozási expozíciójának vizsgálatára irányult. A *mentők* ugyanis munkájuk során a civil lakossághoz képest fokozottan vannak kitéve az úgynevezett TETRA-rendszerű rádiókommunikáció sugárzásának. Várakozásunknak

megfelelően ez kiemelten igaz munkaidejükben. Összehasonlítva a korábbi felmérésekben vizsgált csoportokkal kiderült, hogy a TETRA, bár jelentősen alatta marad a rendeletben rögzített határértékeknek, egyértelműen valós foglalkozási expozíciót jelent a mentőszemélyzet számára.

A négy felmérés összehasonlításában a teljes napi expozíciót tekintve a *legalacsonyabb értékeket az óvodai méréseben kaptuk, a legmagasabbat pedig a bázisállomások közelében élő lakosságnál (azonban még ez is csak századrésze volt az egészségügyi határértéknek!)*. A kettő között a diákok és a mentők nagyjából azonos mértékű sugárzásnak vannak kitéve, azonban az expozíció időbeli és frekvencia szerinti eloszlása minden csoportnál különböző.

Következtetések

A kutatások természetesen folytatódnak, számos módszertani kérdés vár megválaszolásra, és több, epidemiológiailag fontos csoport expozíciójának mérése szükséges még. Ezen kívül méréseinket feltétlenül szeretnénk kiterjeszteni az ELF tartományra.

Reményeim szerint az általam publikált információk hozzájárulnak egy objektív megközelítés megalkotásához és elterjesztéséhez.

Irodalom

Finta V.: *Személyi expozíció mérése az elektromágneses spektrum rádiófrekvenciás és mikrobullámú tartományában*. PhD értekezés, ELTE, 2012. <http://www.doktori.hu/index.php?menuid=193&vid=10838>

Ez is a Kanári-szigetek!

Nézzed meg!

Töltsd le!

Mutasd meg másoknak!

Tanítsd meg diákjaidnak!

VAN ÚJ A FÖLD FELETT

Keresd a fizikaiszemle.hu mellékletek menüpontjában!



TELLER EDÉRŐL MONDTÁK

– pályatársak, barátok, ellenségek véleménye

Varga János
Székesfehérvár

Ez a gyűjtemény a pályatársak, barátok, ellenségek – saját tudományterületük jeles képviselői – véleményét tartalmazza, amelyből részben kirajzolódik *Teller Ede* színes egyénisége. Az idézetek névsorban következnek, elkerülve a minősítést.

James Richard Arnold, a bolygó- és űrkémia elismert úttörője, a Manhattan-terv résztvevője: „Lehet valaki jobb tudós, mint Teller; de ragyogóbb aligha. Mindig ezer lépéssel jár előttem.”



Luis Walter Alvarez, Nobel-díjas amerikai fizikus, Teller egyik legfőbb tudományos támogatója: „Erőssége a körvonalak felrajzolása és nem a részletek kimunkálása.”



Hans A. Bethe, Nobel-díjas fizikus, aki az atombombaprogramban az elméleti fizikai részleg vezetője volt: „Teller tíz ötlete közül kilenc haszontalan. Szüksége van egy jobb ítélőképeséssel megáldott emberre, még ha az kevésbé tehetséges is, aki kiválasztja a tizedik ötletet, amely gyakran a zseni megnyilvánulása.” Teller új hidrogénbomba koncepciójáról ezt írta: „számomra [...] csaknem olyan meglepő volt, mint 1939-ben a maghasadás felfedezése [...]”



Reagan elnök bemutatja Tellert Gorbacsovnak.



Mindenki elismeri, hogy Teller mindenki másnál jobban hozzájárult elgondolásaival a H-bomba programjának minden lépéséhez...”

Bor Zsolt lézerfizikus, akadémikus: „Kiváló tudós volt, aki a saját intellektuális teljesítményével befolyásolta a világ történelmét. Bár ezért sokan támadják, mégis a hidrogénbomba kifejlesztése a hidegháború komoly stabilizáló tényezője volt. Többé-kevésbé Teller vezetésével a haditechnikai fejlesztések a Szovjetuniót behajszolták egy olyan drága fegyverkezési versenybe, aminek a súlya alatt végül megroppant a gerince.”



William Broad, az igen kritikus és ellenséges alapállású *Teller háborúja* című könyv szerzője: „Az atomkorszaknak aligha volt nála befolyásosabb tudósa, talán az egész évszázadnak sem. Elnökök jöttek, elnökök mentek, ám Teller évtizedeken át a színen maradt, bombákat épített, kifejtette véleményét a kongresszus előtt, tábornokokat és elnököket látott el tanácsaival. Befolyása egy egész korszakra rányomta bélyegét.”

Freeman Dyson, korunk egyik legeredetibb amerikai fizikus, Teller jó barátja: „Buggyognak belőle az ötletek és a tréfák. Sok érdekes dologgal foglalkozott a fizikában, de egyik témával sem sokáig. Úgy látszik, a fizikát az élvezetért csinálja, nem a dicsőségért.”



Kennedy elnök (jobb oldalt) Fermi-díjjal tünteti ki Tellert.



Függetlenül attól, hogyan ítéli majd meg a történelem ezt az embert, nekem semmi okom rá, hogy az ellenségemnek tekintsem.”

Enrico Fermi, Nobel-díjas fizikus, a Manhattan-terv résztvevője: „Ennek a fiatalembernek van fantáziája. Ha teljesen hasznára tudja fordítani az invencióit, még nagy jövő áll előtte. Minden magyar, akivel eddig találkoztam, vagy intelligens, vagy szörnyen intelligens volt. Legtöbbjük viszont túl eredeti. Néha bizony jó, ha az ember konvencionális.”



Laura Fermi, Enrico Fermi felesége: „Enricónak tetszett az újfajta eredeti szemlélet, amellyel Teller



Ede a régi problémákat nézte, tetszett, hogy Tellernek mennyi új ötlete van. Sok teoretikushoz hasonlóan Teller is rendkívül szerette a zenét, és szabad idejének nagy részét muzsikával töltötte. Sokat játszott a zongoráján, de mint-hogy nappal dolgozott, erre csak éjszaka nyílt alkalm.

Képzeltető, milyen zavarban voltak a szomszédok: hálások legyenek a fülükbe mászó szép muzsikáért, vagy dühöngjenek, amiért zavarja álmukat. Teller ugyanolyan játékos és naiv tudott lenni, mint a fia, úgyhogy minden nap szakított egy kis időt arra, hogy együtt szórakozzanak.

Elkezdett egy abc-t a fia számára; hadd álljon itt belőle a következő részlet:

»A annyi, mint atom: olyan kicsike, hogy nem látta még soha senkise.

B annyi, mint bomba: ez sokkal nagyobb, komám, hát ne kapkodj e gyever ravaszán.

...

T annyi, mint titok: örökké megőrizheted, ha nem akad külföldön, aki ügyesebb.»



George Gamow fizikus, Teller munkatársa és barátja (ő hívta meg dolgozni Teller Amerikába, a George Washington Egyetemre): „Ez az ember mindent tud, mindent!”

Hargittai István kémikus, tudománytörténész, akadémikus. Idézetek *Teller* című könyvből: „Tellernek a hidrogénbombaért való lobbizása szöges ellentétben volt mindazzal, amit a tudósok szerepéről írt egy ugyanebben az időben megjelent cikkében (231. old.).



Teller Paul fiával, Julian Schwinger és David Inglis fizikusokkal.

Tellernek nem vált a javára, hogy jóslataiban bagatelizálta a nukleáris robbantásokból származó radioaktív szennyezést (397. old.). Teller lekicsinyelte a nukleáris háború lehetséges következményeit, és inkább az atomcsendegyezmény káros következményei agasztották (398. old.).”

Werner Heisenberg, Nobel-díjas fizikus, Teller tanára: „Teller logikus volt. Kollégái közül kiemelte hűvös logikája. Fiatal kora ellenére rendkívüli módon szabatos és határozott volt kérdéseiben és válaszaiban egyaránt.”



André Kostolany, magyar származású párizsi pénzügyes: „Mert ő volt az, aki főtanácsadóként állandóan biztatta Reagan elnököt: »Elnök Úr, nem engedni! Az oroszoknak nincs ilyen elektronikájuk és célzó rendszerük.« Ez volt az oka annak, hogy Gorbacsov beadta a derekát. S a végén mi lett belőle? A szovjet rendszer összeomlása.”



Lax Péter, Wolf- és Abel-díjas matematikus, New York Egyetem: „Azt hiszem, *Tellernek igaza volt a hidrogénbombát illetően*, mert az oroszok biztosan kifejlesztették volna. Teller talán *a csillagháborús program kapcsán tévedett*, az 1980-as években. *A rendszer nem működik, csupán fantazmagória.*”

Lovas István fizikus, akadémikus: „Teller Ede eltöklélt ellensége volt a huszadik század diktatúráinak, és a diktatúrák képviselői is kibékíthetetlen ellenségei voltak Neki. Fél évszázadon keresztül rágalmazták fáradhatatlanul. Ezért nem kapott Nobel-díjat, pedig sokszor és sokan jelölték. Volt olyan esztendő, amikor számos magyar akadémikus kapott meghívót arra, hogy jelöltet állítson. Biztosan tudom a titoktartásra kötelezett társaim tekintetéből, hogy Őt jelölték. Hiába! A zsarnokság hívei többen voltak.”



Herman Mark, osztrák polimer-kémikus, Teller tanára: „Nagyon gyakran, az óra végén vagy már az óra alatt azt mondta ez a fiatalember: »Igen, ez igazán érdekes volt, de ha szabad szólnom, a Professor Úr voltaképpen a következőt kívánta mondani.« Ezután – erős magyar kiejtéssel – elmagyarázta saját ötletét. És mindig igaza volt!”

Teller élete utolsó éveiben szoros kapcsolatba került *Marx György* professzorral és *Tóth Eszter* fizikatanárral, akik sokszor meglátogatták kaliforniai otthonában, illetve szervezték magyarországi látogatásait.

Marx György fizikus, akadémikus, itthon Teller legközelebbi barátja: „Politikusok és tábornokok nemzeti hősként ünnepezték Tellert, aki segített megnyerni a hidegháborút. Teller számára a jövő mindig érdekesebb, mint a múlt. A kvantummechanikából is azt említi, hogy a múlt nem determi-



nálja olyan könyörtelenül a jövőt, mint azt Newton tanította.”

Oláh György, Nobel-díjas kémikus: „Teller legalább annyival járult hozzá a világbéke megőrzéséhez, mint a szovjet hidrogénbomba kidolgozásáért elsődlegesen felelős személy, Andrej Szaharov, akinek a békéért tett erőfeszítéseit Nobel-díjjal jutalmazták. Ezt a fegyvert szerencsére sosem kellett bevetni. Inkább volt elriasztó, mint tömegpusztító eszköz. Teller Ede ezáltal *jelentős mértékben járult hozzá abhoz, hogy a század második felében az emberiség nem pusztította el önmagát.*”



Linus Pauling, kémiai (1954) és béke (1962) Nobel-díjas német származású amerikai kémikus: „...álláspontjaink a nukleáris energiatermelő üzemekről nem állnak távol egymástól, de a nukleáris fegyverekkel kapcsolatban még mindig »homlokegyenest ellenkező« nézeteket vallunk.”

Isidor Rabi, Nobel-díjas fizikus: „Teller veszélyt jelent minden számára, ami csak fontos nekünk ... Teller nélkül jobb lenne ez a világ ... az emberiség ellensége.”



Joseph Rotblat, béke Nobel-díjas, a Pugwash-mozgalom volt elnöke: „Tellernek azt az érvét, hogy a tudósok nem felelősek azért, hogy a munkájukat hogyan



használgják fel, hangoztatták a tudósok régebben és mondják sokan ma is. Kedvenc mondatuk, hogy »Scientists should be on tap, not on top«, ami körülbelül annyit jelent, hogy »mi csak kis csavarok vagyunk a gépezetben«. A képmutatás teteje volt azonban attól az embertől, aki – jobban, mint bárki, és hozzáte-

szem, hogy sikeresen – befolyásolta a legfelsőbb katonai és politikai vezetést abban, hogy hogyan alkalmazzák a tudományos kutatás eredményeit.”

Teller az Amerikában élő magyar származású tudóssal – különösen *Neumann Jánossal* és *Wigner Jenővel* – szoros baráti kapcsolatot ápol, és kevés dologban tért el a véleményük. *Szilárd Leóval* is jó barátságban volt, annak ellenére, hogy szinte mindenben különbözött a véleményük, különösen a Szovjetunió megítélésében. *Szent-Györgyi Albert* azon tudósok közé tartozott, akivel sem tudományos, sem magánemberi

kapcsolatot nem ápolott és véleményük szintén jelentősen eltért. Több tv-vitájuk volt Amerikában.

Szent-Györgyi Albert, Nobel-díjas biokémikus: „Véleményének az ad egyébként azt meg nem illető súlyt, hogy Teller a politikai feszültségben és gyanakvásban



anyagilag is érdekelt, politikailag befolyásos és jóformán kimeríthetetlen eszközökkel rendelkező katonai-ipari komplexum szócsovévé vált. ... Úgy látszik képtelen elképzelni, hogy az embereket időlegesen szétválasztó szakadékok fölé hidat lehet emelni, és ezért a

vallásháborúk mentalitásához visz közel bennünket, amikor is a vitás kérdések bizonyára legalább annyira megoldhatatlannak látszottak, mint napjainkban.” (*Egy biológus gondolatai*. Gondolat, 1970, 136-138. old.: Hirosima legendája.)

Szilárd Leó fizikus, a nukleáris láncreakció felfedezője, a Manhattan-terv elindítója, Teller barátja: „Teller nélkül az USA alulmaradt volna a H-bomba megépítésében és így védetlen lett volna a Szovjetunióval szemben.”



Az 1925-ös Eötvös matematika versenyen Teller, *Fuchs Rudolf* és *Tisza László* holtversenyben elsők lettek. Innét datálódott Tisza negyvenes évekig tartó szoros barátsága Tellerrel. Hármójuk közül Tisza az 1944-es nyilas terror áldozatául esett Fuchst tartotta a legtehetségesebbnek.

Tisza László, a Massachusetts Institute of Technology (MIT) emeritus professzora: „Egyáltalán nem volt vad antikommunista. Teller és Oppenheimer a [...] hidrogénbomba ügyében nem értettek egyet. Tellernek volt igaza Oppenheimerrel szemben. Amikor Tellert kérdezték a [megbízhatóságot vizsgáló] bizottság előtt, megújítják-e Oppenheimer szerződését, Teller azt válaszolta, a nemzet érdeke az, hogy ne újítsák meg, ezért az amerikai liberális fizikusközösség Teller-



ellenessé vált. Teller nekem nagyon sokat segített, jó barátom volt, és ezért szimpátiával nézek rá. Néha nem értettem egyet erőteljes fegyverkezési elgondolásával, amilyen például a csillagháború.”

Tóth Eszter a magyarországi fizikatanítás és népszerűsítés kiemelkedő alakja, a lakótéri radon mérésének úttörője. Mérései – amelyek arra utaltak, hogy a radon nagy mennyisége ugyan növeli a rák valószínűségét, kisebb mennyisége azonban mintha éppen csökkentené, rákmegelőző hatású lenne – kiváltották Teller maximális elismerését. A magyarországiak közül ő találkozott utoljára Tellerrel.

Tóth Eszter fizikatanár: „Vágyta a szeretetet és nagyon hálás volt mindazoknak, akiktől megkapta. Sokan szerették Tellert, sokan gyűlölték, és sokan használták hírnevét, tekintélyét a nagyvilágban is, idehaza is – nem is mindig tiszta célokra. Engem tanított és bátorított a cselekvő tudományra és tanításra.”



Alvin Martin Weinberg atomfizikus, a Tennessee állambeli Oak Ridge Nemzeti Laboratórium volt igazgatója: „Teller az egyik legokosabb ember, akivel találkoztam. Nagyon gyors az agya, rendkívüli a fizikusi intuíciója. Ami nem jelenti azt, hogy jó néhányszor ne tévedett volna. Előáll dolgokkal, amelyek később befulcsolnak. De képzeletgazdag és eredeti. A reaktorok biztonságának teljes egészében ő a feltalálója. Teller Ede volt az első ember, aki



hangoztatta, hogy a reaktorbiztonság abszolút követelmény, mert anélkül az atomenergia nem terjedhet el, és Reaktorellenőrző Bizottság megszervezését javasolta, aminek ő lett az első elnöke. Hogy a Teller által lefektetett biztonsági elvek szerint épült reaktorok közül egy sem követelt emberáldozatot, az nagy meglepéssel töltheti el az atomenergia ma már öreg úttörőit.”

Wigner Jenő, Nobel-díjas fizikus, Teller barátja: „Lehet, hogy Neumann Jancsi Tellernél is zseniálisabb



elme volt, Einstein pedig jelentősegteljesebb fizikai elméleteket alkotott, a legtermékenyebb képzelőerővel viszont Teller rendelkezett. Mély elkötelezettséget érzett az országot iránt, amely új otthont adott neki, és a legjobb képességei szerint akarta szolgálni. Mivel a hidrogénbomba működési elvét már

1946-ban feltárták, legkésőbb 1960 körül Teller Ede nélkül is kifejlesztették volna.”

Epilógus

Teller Ede tudományos tevékenysége szorosan kötődött olyan nagy katonai projektekhez, mint az atombombaprogram (Manhattan-terv), a hidrogénbomba-program, vagy a tudományos kutatók nagy része által ellenezett csillagháborús program (SDI), új katonai kutatólaboratórium létrehozása (Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL), amelyekben nem csak mint kutató, hanem mint tudományos vezető is részt vett. Emiatt tudományos tevékenységének egy része talán örök titok lesz.

Hibás Teller-képünkre már Wigner Jenő is rámutatott. Emlékirataiban azt írja, hogy: „Teller politikai és katonai nézeteit a közvélemény szkeptikusan fogadta, kiváló fizikusi erőnei pedig homályban maradtak a laikusok előtt. ... Teller a diktatúra minden formáját mélységesen megvetette. Tartalmilag tökéletes megnyilvánulásait szenvedélyes előadásmódja következtében értelmezheték félre. *Ha valaki közelről tekint fel rá, feltétlenül észre kell vennie, mekkora különbség van a közvélemény által alkotott Teller-kép és a valóság között.*”

A média militáns, atomháborút kiobbantani akaró személynek állította be Tellert. Ismét Wignert idézve: „Ennél nagyobb ostobaságot azonban nehéz elképzelni, hiszen Teller Ede mindenfajta erőszaktól kifejezetten irtózott!”

A háborút egyetlen esetben, az emberi szabadság ellenség általi alapvető veszélyeztetése esetén tartotta lehetségesnek. Ezt a Linus Paulinggal, az atomfegyver-kísérletek okozta radioaktív szennyezés veszélyességéről folytatott nyilvános tv-vitában jelentette ki 1958. február 21-én.

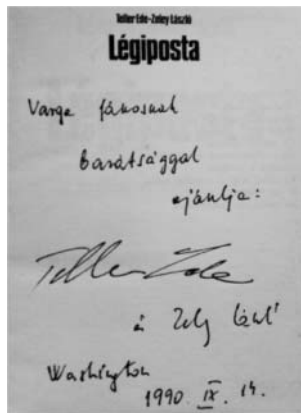
Hibás Teller-képünk – és most szó szerint a róla készült fotókra gondolok – kialakulásához hozzájárultak a fotósok is, akiknek nem sikerült megragadniuk Teller egyéniségét. Rendkívül ritka az igazi egyéniségét tükröző fotó. *A képekből nem tudjuk meg, milyen deris személyiség és mennyire empátiikus alkat volt.* Ezt bizonyítja Wigner Jenő könyve képmellékletének utolsó előtti fotója is, amelyet most én is közreadok.



Hogy Teller mennyire nem volt „földi lények felett álló”, azt a szerzővel való kapcsolata is bizonyítja. Ezt a rövid intermezzót nem azért hozom nyilvánosságra, hogy a Tellelrel való kapcsolatommal kérkedjek – hiszen ez mindössze csak néhány e-mailváltásra korlátozódott 2000. június 30. és 2002. február 12. között – személyesen sohasem találkoztunk. Csupán annak bizonyítására mutatom be, hogy még egy tudományos fokozattal nem rendelkező fizikatanárral is szóba állt, főleg, ha kiderült róla, hogy magyar.

Ez a kapcsolat akkor kezdődött, amikor Teller először adott interjúkat a Magyar Rádióknak, amelyeket a rádió akkori főmunkatársa, Zeley László készített, kezdetben telefonon, majd Amerikában személyesen is. Amikor erről tudomást szereztem, akkor felkerestem Zeleyt és megajándékoztam egy körülbelül 100 darabos amerikai újságcikkgyűjteménnyel, amit *Kórász Mária*tól, a Szegedi Somogyi Könyvtár Vasváry-gyűjteményének gondozójától kaptam. Ez nagy segítséget nyújtott Zeleynek a következő Teller-interjúra való felkészüléséhez.

Amikor *Légiposta* címmel megjelent az első interjúkötetük és Zeley ismét Amerikába utazott Tellerhez, akkor hálából megajándékozott egy Teller által nekem dedikált példánnyal – ez látható a képen – és



még néhány családi fotót is küldött Teller. Ezután tíz év szünet következett, majd az interneten elindult az *Ask Dr. Teller* honlap, amelynek Fórum rovatában lehetett kérdezni Tellertől. Én is írtam és legnagyobb meglepetésemre válasz is érkezett, először Teller titkárnőjétől, *Yuki Ishikawától* 2000. június 30-án, majd a többi levelet *Joanne Smith* Teller Ede

titkárságvezetője írta a Lawrence Livermore Nemzeti Laboratóriumból. 2001. február 12-én pedig Teller diktálta az alábbi levél angol eredetijét:

„Kedves Varga úr!

Szeretném elmondani, hogy mennyire örülök Ishikawa asszonyhoz írt megjegyzésének a weboldalam iránti magyarországi érdeklődésről. Néhány hónap múlva megjelenik önéletrajzom, és remélem, hogy magyarul is elérhető lesz. Akár érzelmesen, akár tárgyilagosan tekintve, mélyen érdekel az otthoniakkal (Magyarország) való kommunikáció, azokkal, akik visszaszerezték saját fejlődésük ellenőrzését.

Szívélyes üdvözzel,

Teller Ede

(a diktálást lejegyezte: Joanne)”

Egyik levelében megkérdezte, hogy hova valósi vagyok. Én sem a régiót, sem a falu nevét nem írtam meg válaszómban, csak ennyit:

„Kanyargó Ér mentén fekete magyar föld
Volt az én testemnek életet adója.”

Válasza nem sokáig váratott magára, és így kezdte levelét. Ön is szereti Adyt, vagy csak közel született hozzá? Ebből rögtön megtudtam, hogy Adynak még a *Dankó* című versét is kívülről ismeri, ugyanis az kezdődik az idézett sorokkal. (Én pedig valóban közel születtem Érdmindszenthez, az Ér folyó magyarországi szakaszától mindössze másfél kilométerre, a román határtól 300 méterre, a közigazgatásilag Létavérteshez tartozó, ma már csak 4 fő által lakott elnéptelenedő kis alföldi faluban, Cserekerthben, és szintén szeretem Ady verseit. Ráadásul még a vers harmadik sora – „Földből élő ember az édesapám is” – is igaz rám.)

A mai napig sem tudom, hogy miért nem folytattam tovább a levelezést, amikor úgy tűnt, hogy készséggel válaszolt volna.

Irodalom

1. Hargittai I.: *Teller*. Akadémiai Kiadó, 2011, 563 o.
2. *Wigner Jenő emlékiratai Andrew Szanton lejegyzésében*. Kairosz Kiadó, 2002, 335 o.
3. Marx Gy.: Teller Ede köszöntése. *Fizikai Szemle* 48/1 (1998) 1.
4. Teller E.: *20 századi utazás tudományban és politikában*. Huszadik Század Intézet, 2002, 595 o.
5. Marx Gy.: *A marslakó érkezése*. Akadémiai Kiadó, 2000, 427 o.
6. Hargittai M., Hargittai I.: *Tudósok Tellerről*. Magyar Tudomány, 2003/12 1547.

A KUTATÁS ALAPÚ TANULÁS LEHETŐSÉGEI A FIZIKAÓRÁN

Radnóti Katalin – ELTE TTK Fizikai Intézet

Adorjáné Farkas Magdolna – Arany János Általános Iskola és Gimnázium

A *Fizikai Szemlében* korábban megjelent írásainkban többször hivatkoztunk arra, hogy a fizika egyes területeinek tanításához jól alkalmazható az olyan oktatási módszer, amelyben a diákok részesei lehetnek egy kutatáshoz hasonló folyamatnak [1]. Ilyenkor a diákok átélik a tudásalkotás folyamatát, a tanári magyarázat követően nem csupán tankönyvből tanulják meg a leckét [2]. Az úgynevezett kutatásalapú tanulás, mint oktatási módszer elterjesztésére és a diákok kutatási készségeinek értékelésére hangsúlyt fektetnek az Európai Unió országai. Jelen cikkben közreadott példánk a SAILS-projekt keretében történt fejlesztések termékei közül valók.

A SAILS-projekt bemutatása

A SAILS betűszó a Strategies for Assessment of Inquiry Learning in Science (Értékelési stratégiák a természettudományok kutatásalapú tanulásához) rövidítése. A SAILS az Európai Unió támogatásával megvalósuló projekt, szakmai vezetését a Dublin City University látja el. Tizenkét partnerország egy-egy egyeteme csatlakozott a programhoz, hazánkban a Szegedi Tudományegyetem Oktatásméleti Csoportja.

A nemzetközi munkacsoport célja, hogy Európában segítse a pedagógusokat a 12-18 éves tanulók kutatásalapú természettudományos oktatásának elsajátításában. Ennek érdekében meglévő modelleket és forrásokat használnak mind a gyakorló pedagógusok, mind a tanárjelöltek képzésekor. A SAILS egy önfenntartó modell létrehozásán dolgozik, amely abban támogatja a tanárokat, hogy megosszák tapasztalataikat és a kutatásorientált tanítási, tanulási és értékelési gyakorlataikat. A munka keretében a partnerek meghatározott szerkezetű unitokat – más néven modulokat – dolgoznak ki, ezek a feladat leírásán túl tartalmazzák a tanórai megvalósításhoz és a kutatási készségek értékeléséhez szükséges módszertani útmutatót is.

Egy-egy unitot több országban is kipróbálnak. Minden próbáról esettanulmány készül, amelynek egyik fő eleme azt értékeli, hogy a modul által kiemelt készségek fejlesztését miként sikerült megvalósítani [3].

A kutatást az Európai Unió a SAILS 289085 számú FP7-es projekt keretében támogatta.

A tanulmány az MTA Szakmódszertani Pályázat 2014 támogatásával készült.

A SAILS-projekt a természettudományos műveltség formálása és a gondolkodás fejlesztése mellett a következő kutatási készségek fejlesztésére és értékelésére helyezi a hangsúlyt:

- vizsgálat tervezése (planning investigation),
- feltevés- / hipotézisalkotás (developing hypothesis),
- következtetések megfogalmazása (forming coherent arguments),
- vita a társakkal, csoportmunka (debating with peers).

Az értékeléshez a nemzetközi munkacsoport az *1. táblázatban* látható táblázatos rendszert fejlesztette ki, amelyet természetesen minden unitra adaptálni kell. Jelen cikkben bemutatandó példánk esetében fontos volt a grafikonok készítése is, ezért annak értékelési lehetőségeire is gondoltunk.

Két SAILS-modul kipróbálása egyetemi hallgatókkal

Az angol fejlesztésű, *Úszó narancsok* című modult és a magyar fejlesztésű *Galvánelemek* modul feldolgozását próbáltuk ki tanárnak készülő fizika-, kémia- és biológiaszakos MA hallgatókkal. Mivel a kipróbálók egyetemisták voltak, ezért jelentősen kibővítettük az eredetileg ajánlott feladatokat. Több szakmai ismeretet vártunk el, és mérésorozatot, kvantitatív vizsgálat elvégzését is kértük.

A feldolgozás további érdekessége volt, hogy azt két tanár vezette. Ezáltal a tanulók csoportmunkája mellett a foglalkozást vezető tanárok együttműködését is vizsgálhattuk. A munkamegosztás szerint a kétféle mérésből egyikünk az egyik, másikunk a másik mérési feladat tanulói megvalósítását és az azt követő beszámolókat figyelte a felsorolt szempontok alapján mindhárom csoport esetében.

A hallgatók ugyanolyan helyzetben voltak a foglalkozás során, mint amilyenbe majd diákjaik kerülnek egy hasonló kísérletnél. Így a kipróbálással azt a célt is elértük, hogy az egyetemisták ne csak halljanak egy módszerről, hanem ők maguk is a majdani tanulóikhoz hasonló tapasztalatokat szerezzenek. A foglalkozás alatt többször is felhívtuk a leendő tanárok figyelmét, hogy gondolják át, a diákokkal hogyan végeztetnék el a feladatot.

A megvalósítás egy 180 perces foglalkozás keretében történt. A hallgatók semmilyen előzetes információt nem kaptak, csak annyit tudtak: kísérletezni fog-

Értékelési lehetőségek

Kompetenciák		Szintek		
		Kezdő	Középhaladó	Haladó
Kutatói készségek	Vizsgálat tervezése és kivitelezése	A csoport csak tanári irányítással képes a feladat végrehajtására, kérdéseik nem relevánsak, megfigyeléseik rögzítése kaotikus. Nem tudják, hogy melyik eszköz mire szolgál.	A csoport időnként segítségre szorul. Kérdéseik nem minden esetben relevánsak. A megfigyeléseket jól rögzítik, de hiányosan. Eszközhasználatuk bizonytalan.	A csoport önállóan dolgozik. A problémára irányuló kérdések lényegre törőek. A megfigyelések rögzítése pontos. Ki tudják választani a célnak megfelelő eszközöket.
	Hipotézisalkotás	Végrehajtanak valamilyen változtatást és ismét mérnek.	Kiválasztanak egy tesztelendő változót, és mérnek a változó különböző értékeinél. Várható feltevéseiket lejegyzik. Matematikai jellegű feltevést tesznek a várható összefüggésre.	Megkísérelnek kivitelezni egy vizsgálatot, az eredményeket feljegyzik. Matematikai jellegű feltevést tesznek a várható összefüggésre, konkrét előzetes becsléssel, közelítési lehetőségek figyelembe vételével.
Tudományos műveltség	Grafikus ábrázolás	A grafikonon összekeverik a függő és a független változót, rossz a beosztás, a grafikonnak nincs címe.	A grafikon szerkesztésében vannak hiányosságok, nem minden szükséges jelölés szerepel, van címe, de nem pontos.	A grafikon megszerkesztése pontos, a tengelybeosztás jól van megválasztva, a cím pontos, a függvényillesztés jó.
	Következtetések bemutatása	A beszámoló szétszórt, a lényegyet nem emeli ki.	A beszámoló csak részleteiben felel meg a kívánalmaknak.	A beszámoló összefüggő, érthető, követhető. A ténylegesen kapott adatokat összevetik a hipotézissel.

nak. A 13 egyetemistából két darab négy fős és egy öt fős csoport alakult, a hallgatók szimpátia alapján választottak társakat. A feladatok elosztását is a csoportokra bíztuk.

Az eszközök és anyagok egy részét minden csoport egységesen megtalálhatta a saját tálcáján, a többit pedig szükség szerint a közös tálcáról vehették el. A csoportok az alábbi feladatlapot kapták.

Kutatásalapú tanulási feladatlap

Elvégzendő feladatok:

- Különböző gyümölcsök és zöldségek úszási tulajdonságainak vizsgálata.
- Galvánelemek készítése gyümölcsök, zöldségek és fémdarabok felhasználásával.

Anyagok és eszközök az egyes csoportok számára:

- csoportonként néhány gyümölcs/zöldség, például: mandarin vagy narancs, alma, uborka (nyers és savanyú), 2 darab burgonya, citrom;
 - víz, cukor, só;
 - kanál, pohár, vonalzó, hőmérő, melegítő eszköz, pH-papír;
 - finom szemcsés csiszolópapír vagy -vászon;
 - pénzérmék, illetve egyéb elektródának alkalmas fémek, mint például szögek, csavarok;
 - csoportonként feszültségmérő (2 db), krokodilcsipesz (4 db), vezeték (4 db);
 - zseblámpaizzó;
 - mobiltelefon, laptop Excel programmal (lehetőleg a hallgatóknál is legyen az ábrázoláshoz, csoportonként 2 db), projektor.

Segédletek, felhasználható grafikonok:

- cukor és konyhasó vízben való oldhatóságának hőmérsékletfüggése;
- telített vizes cukoroldat sűrűsége a hőmérséklet függvényében;
- a cukoroldat sűrűsége az összetétel függvényében;
- a sóoldat sűrűsége az összetétel függvényében;
- a víz sűrűségének változása a hőmérséklet függvényében.

A csoport vezessen jegyzőkönyvet a munka során, amely tartalmazza:

- a csoport által megfogalmazott kutatási kérdéseket;
- a feltett kérdések vizsgálatához megtervezett kísérletek leírását és az előzetes elképzeléseket, hipotéziseket;
- függvénykapcsolatok jellegének hipotetikus megfogalmazását;
- a kísérletek során felmerülő problémákat, azok megoldásait;
- a kísérletek során tett megfigyeléseket, eredményeket, mérési adatokat;
- a mérési adatok felhasználásával készült Excel grafikonokat és az azokhoz tartozó függvényillesztéseket, amelyek jóságáról az R^2 próba ad felvilágosítást;
- az előzetes hipotézisekkel való összevetést;
- elhanyagolások, közelítések, hibalehetőségek meg gondolását;
- a következtetéseket.

Kérjük, hogy a csoportok a jegyzőkönyvet a fenti szempontok szerint egy héten belül készítsék el és küldjék el nekünk.

A kísérletezés három órája

A csoportok papíron kapták meg a feladatokat. A terembe érkeve a tálcájukon megtalálták a feladatlapon szereplő eszközöket és anyagokat.

A foglalkozás menete:

1. Kutatási kérdések összeírása, majd közös megbeszélés és döntés arról, hogy melyik csoport konkrétan mit fog csinálni, milyen vizsgálatokat fog elvégezni (30 perc).

2. A csoportok gyakorlati munkája (90 perc).

3. A csoportok beszámolója a munkájukról (40 perc).

4. Értékelés, kiterjesztési lehetőségek (20 perc).

A három társaság mindegyike differenciált csoportmunkában kicsit mást csinált, azonban voltak közös elvárások:

- A kiválasztott gyümölcsök és zöldségek úszási tulajdonságainak vizsgálata.

- Úszás esetén az oldatból kilógó rész magasságának ábrázolása grafikonon a vízben feloldott cukor/só mennyiségének függvényében. (Az egység: 1 kanálnyi mennyiség.)

- Különböző galvánelemek készítése a kiválasztott anyagok felhasználásával.

- A burgonyából, valamint rézből és horganyzott acélból álló galvánelem által létrehozott kapcsoltszűrés időbeli változásának mérése és ábrázolása grafikonon.

Segítő kérdések, előzetes tudás mozgósítása:

- Milyen esetben merül el a test egy folyadékban?
- Mi az úszás és mi a lebegés feltétele?
- Hogyan lehet elérni, hogy az elmerülő test lebegjen, netán ússzon?

- Mitől függ az, hogy egy folyadékban úszó test kilógó része milyen magas?

- Hogyan lehet azt megváltoztatni?

- Szükséges-e, hogy a folyadékközeg valódi oldat legyen?

- Hol használunk elemeket a mindennapi életben?

- Mi a különbség az elemek és az akkumulátorok között?

- Miből származik egy elem energiája?

- Melyek a galvánelem részei?

- Mitől függ egy galvánelem elektromotoros ereje?

Ez hogyan vizsgálható?

- Egy adott galvánelem elektromotoros ereje időben állandó marad-e? Ez hogyan vizsgálható?

Felhívtuk a hallgatók figyelmét arra, hogy egy-egy új téma bevezetésénél az általános, illetve középiskolások esetében is fontos az előzetes ismeretek feltárása. Ezekre lehet alapozni, ezeket kell beépíteni a rendszerezett tudásba, korrigálni az ismerethiányt, a tévképzeteket javítani.

A két vizsgálatsorozatot egyszerre végezték a csoportok, így a feladatok tagok közötti ésszerű megosztása fontos elemmé vált.

Kielégítő megoldásként a következőket vártuk el a hallgatóktól:

- Táblázatok a készített galvánelemekről (mely elektródák, gyümölcsök, zöldségek esetében mekkora feszültség mérhető), valamint az egyes zöldségek és gyümölcsök vízbéli viselkedéséről (lesüllyed, lebeg vagy úszik).

- Grafikonokat az időbeli viselkedésről, illetve a különböző paraméterek közötti összefüggésről.

Az úszás leírása

Közelítsük a gyümölcsöt egy A alapú és b magasságú testtel (például téglatest), amely y hosszán lóg ki a vízből! A gyümölcs sűrűsége legyen ρ . Ekkor

$$\rho A = V$$

a téglatesttel közelített gyümölcs teljes és

$$(b - y) A$$

a vízben lévő rész térfogata. A vízben lévő részre ható felhajtóerő egyenlő a testre ható nehézségi erővel. Vizsgáljuk meg a kilógó rész y magasságát a folyadék ρ_f sűrűségének függvényében!

A lebegés vagy úszás esetében érvényes mozgásegyenlet:

$$\begin{aligned} \mathbf{G} - \mathbf{F}_{\text{felhajtó}} &= 0 \\ \Downarrow \\ \mathbf{G} &= \mathbf{F}_{\text{felhajtó}} \\ \Downarrow \\ \rho g A b &= \rho_f g A (b - y) \quad / g A \\ \Downarrow \\ \rho b &= \rho_f (b - y) \quad / \rho_f \\ \Downarrow \\ \frac{\rho b}{\rho_f} &= b - y \\ \Downarrow \\ y &= b - \frac{\rho b}{\rho_f} \end{aligned}$$

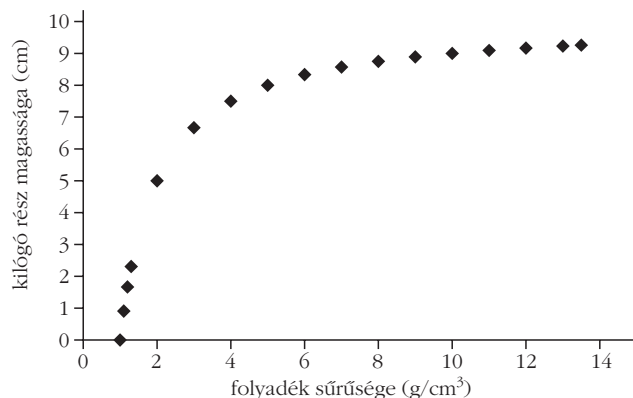
A feladat ebben az esetben *egy függvénykapcsolat feltárása, nem pedig egy egyszerű számítás megoldása*.

Számításos feladatok során például a kiemelkedő rész magasságát vagy a folyadékban lévő rész tömegét szokás kérdezni egy adott folyadéksűrűség mellett. Ekkor egy dimenzióval rendelkező szám a végeredmény. Pedig fontos, hogy a diákok lássák a függvény-szerű kapcsolatot a folyadéksűrűséggel.

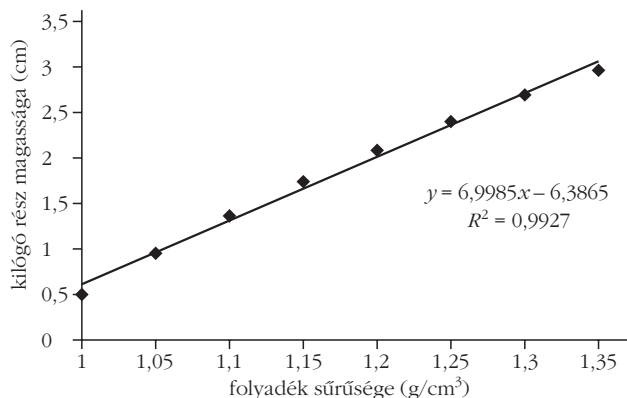
Legyen a „gyümölcstéglatest” b magassága 10 cm és ρ sűrűsége 1 g/cm^3 , ekkor

$$y = b - \frac{\rho b}{\rho_f} = 10 - \frac{10}{\rho_f} \text{ (cm)}$$

a ρ_f sűrűségű folyadékból kiemelkedő gyümölcscrész y magassága.



1. ábra. A kilógó rész magassága, ha az úszó test sűrűsége 1 g/cm^3 , elméleti görbe a levezetés alapján.



2. ábra. A kilógó rész magassága, a várható elméleti görbe a sós-cukros vízre.

A legnagyobb sűrűségű folyadék a higany, és eddig tart görbénk is, amely jól láthatóan telítésbe megy (1. ábra), hiszen határértékben a teljes 10 cm-nyi gyümölcs kilógna a végtelen sűrűségű folyadékból.

A tapasztalat szerint a gyümölcs inkább úszik a vízben, mint lebeg – van egy kis kiálló része –, ezért sűrűsége legyen kisebb, mint a tiszta vízé: $0,95 \text{ g/cm}^3$, ekkor:

$$y = 10 - \frac{9,5}{\rho_f} \text{ (cm)}.$$

Az $y(\rho_f)$ függvényt ábrázolva látható, hogy a cukor/só adagolásával ténylegesen megvalósítható, $1\text{--}1,5 \text{ g/cm}^3$ sűrűségi tartományban a görbe nagyon jól közelíthető egyenessel (2. ábra). Az elméletileg számítható pontokhoz egyenest illesztettünk. További közelítésünk volt a gyümölcs alakja, amelyet téglatestnek vettünk.

A fenti gondolatmenet alapján kijelenthető, hogy lineáris jellegű függvénykapcsolatra lehet számítani a mérésnél.

A mérési eredmény ábrázolásakor a vízszintes tengelyen a folyadéksűrűség helyett például az adagolt cukor kanálszáma szerepelhet (hiszen az a feloldott cukor mennyiségével és így az oldat sűrűségével arányos). Segítségként cukorkoncentráció-sűrűség grafikont kaptak a hallgatók.

Bár a cukor nagyon jól oldódik a vízben, $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -on 100 g víz 200 g cukrot képes feloldani, de a görbe telítés jellegű részét a mérés során biztosan nem fog-

juk látni, az oldat sűrűsége messze nem éri majd el a 3 g/cm^3 értéket, ahol már nem érvényes a lineáris közelítés (1. ábra).

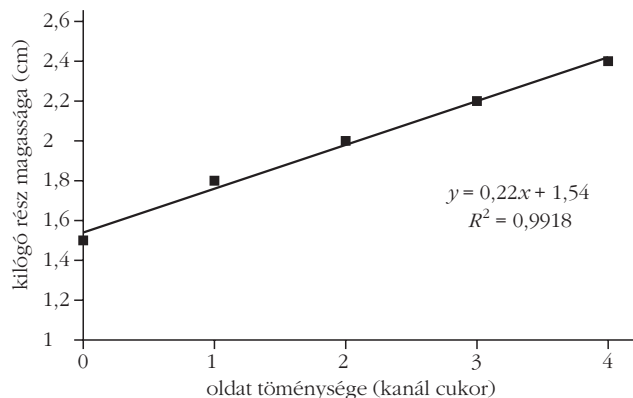
A gyümölcs nem „ugrik ki” a vizes oldatból, csak egyre nagyobb része fog kilógni. A kilógás értéke sem 0-ról indul, csak ha a gyümölcs/zöldség sűrűsége nagyobb vagy egyenlő a víznél (a burgonya például lesüllyed, található lebegő gyümölcs is). A mért görbe a teljes függvény első, lineáris tartományába esik, egyenessel közelíthető.

A kísérletezők egyetemi hallgatók voltak, így arra számítottunk, hogy – ha nem is a fentihez hasonló módon, bár a fizikaszakosok esetében még ez is elvárható – végiggondolják, milyen jellegű függvényt kapnak, milyen közelítő feltevést alkalmazhatnak a gyümölcs/zöldség alakjára. A hallgatók zöme először egyszerű lineáris kapcsolatra tippelt, majd némi gondolkodás után rájöttek, hogy az 1. ábrán vázolt, telítésbe menő görbe a helyes alak, bár ezt a részt ennél a mérésnél nyilván nem lehet látni.

A mérést magunk is elvégeztük. A pohárban lévő tiszta vízhez egy, kettő, három végül négy kanál cukrot adtunk. Mind az öt esetben (tiszta vízzel is mértünk) – összekeverés és oldódás után – a folyadékba tettük a mandarint és lefénnyképeztük (3. ábra). A képeket a pohár méretének segítségével azonos méretűre szerkesztettük, és ilyen helyzetben mértük le a mandarin vízből kilógó részét, az eredményt Excel programmal ábrázoltuk. A mérési pontokra – a hipotézisnek megfelelően – egyenest fektettünk (4. ábra).

3. ábra. Mandarin tiszta vízben, majd 1, 2, 3, 4 kanál cukrot tartalmazó oldatban.





4. ábra. A mérési adatok mandarin úsztatásakor.



5. ábra. A burgonyaelem összeállítása.

Galvánelem

A hallgatók működő galvánelemet állítottak össze valamilyen zöldségből vagy gyümölcsből (elektrolit) és fémekből (elektrodák), majd egy voltmérő bekapcsolásával zárták az áramkört. Ezután kellett megmérniük a kapcsolófeszültség időbeli változását, illetve kideríteniük, hogy milyen tényezőktől függ a kezdeti feszültség nagysága.

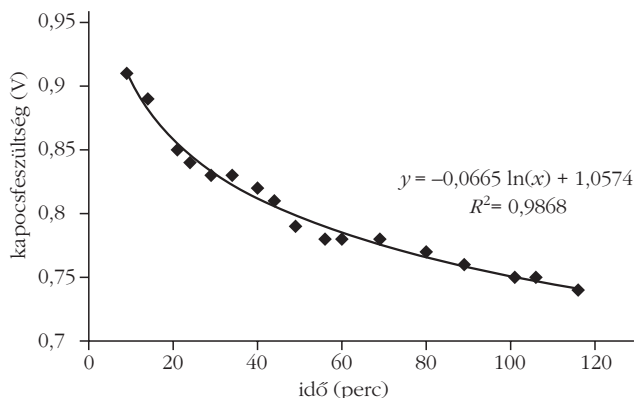
Az előzetes ismeretek feltárása

A mai gyerekek már egészen fiatal korban is több egyenáramú forrásról működő eszközt használnak – mobiltelefon, digitális fényképezőgép, tablet –, ezért sok ezzel kapcsolatos fogalmat ismernek. Így a hallgatóknak először azokat a fogalmakat kellett írásban összegyűjteniük, amelyeket egy hatodikos tanuló e témakörből nagy valószínűséggel ismerhet.

Az előzetes hipotézisek felállítás, a kísérletek megtervezése, szóban és írásban

- Milyen összetevőkből hozható létre a galvánelem?
- Hogyan mérhető meg az általa szolgáltatott feszültség?
- Hogyan változik a feszültség az időben?
- Milyen tényezőktől függhet a feszültség?
- Mi történik, ha fogyasztót (például zsebizzó) kapcsolunk az áramkörbe?

6. ábra. A burgonyaelem kapcsolófeszültségének változása az idő függvényében.



1. kísérleti feladat: a kapcsolófeszültség változása az idő függvényében

Az első részfeladatban burgonyából és a minden csoport számára egységesen kikészített réz – horganyzott acél elektrodapárból kellett galvánelemet készíteni – az előzetes kipróbálás során ez bizonyult a legstabilabb összeállításnak – (5. ábra), majd elvégezni a mérést. Az időben lassan csökkenő kapcsolófeszültség miatt körülbelül másfél óra hosszan kell mérni, ezért indítottunk ezzel a feladattal. A hosszú mérési idő miatt elegendő körülbelül 5 percenként rögzíteni az adatokat. Egy mérés görbéje a 6. ábrán látható.

A hallgatók előzetes feltevései között előfordult a lineáris és az exponenciális csökkenés is. A mérési adatokból látszik, hogy a működés elején ábrázolt mérési pontokra jól illeszkedik egy egyenes. A mérés egészét nézve viszont látszik, hogy a változás nem lineáris.

2. kísérleti feladat: mitől függ a kapcsolófeszültség?

Ennél a feladatnál a hallgatók szabadon megtervezhették, hogy milyen méréseket végeznek. Sokféle zöldség/gyümölcs és fém közül választhattak (7. ábra).

A mérések alapján a hallgatók arra a helyes következtetésre jutottak, hogy a feszültség meglehetősen széles tartományban változik attól függően, hogy milyen elektrodapárt használunk azonos zöldség-elektrolit mellett, azonban azonos elektrodapár esetén csak kis mértékben függ az elektrolit anyagától.

7. ábra. Egy „zöldség-elem” összeállítása.



A hallgatói munka értékelése

A hallgatók munkáját a bemutatott *1. táblázat* alapján értékeltük.

A „Vizsgálat tervezése” képesség esetében mindhárom csoport a „Haladó” kategóriába tartozik, ami egyetemisták és ilyen egyszerű feladatok esetében elvárható. Az adatok gyűjtése rendben megtörtént, ezeket logikus táblázatokba rendezték a hallgatók.

A „Hipotézisalkotás” képességkategóriák közül viszont mindhárom csoport csak a „Középhaladó” szintet teljesítette. Az *úszó narancsokra* ugyan mind-egyik csoport megfogalmazta hipotézisét, de csak a fizikus csoport várt telítésbe menő görbét, a másik kettő lineárisra tippelt. Azonban még a fizikus hallgatók sem a tanult fizikai leírás alapján dolgoztak, ahogy azt az első részben vázoltuk. Ez még kutatók szintjén sem magától értetődő. Ez a fajta megközelítés láthatóan ismeretlen a hallgatók előtt, noha már számtalan laborgyakorlatot csináltak végig. Azokon minden esetben előre megadták „recept” szerint kellett dolgozniuk. A hazai oktatás még az egyetemen sem fejleszti ezt a képességet.

A „Grafikus ábrázolás” kategóriában az elért műveltségi eredménynél lényegesen jobbra számítottunk. Csak egy grafikonra illesztettek függvény, ezért a hallgatókat a „Középhaladó” szintre soroltuk.

A „Következtetések bemutatása” a „Haladó” szintet közelítette. A hallgatók szépen összevetették a kapott eredményeiket az általuk megfogalmazott hipotézisekkel.

Még egyetemistáknál is megjelentek a fiatalabb tanulókra jellemző elképzelések. A feltárni kívánt függvénykapcsolatokat a legtöbben lineárisnak gondolták, holott egyik esetben sem az. A folyadékba helyezett gyümölcs esetében csak az egyik fizikaszkos hallgató gondolta végig, hogy a lineáris közelítés csupán kis sűrűségváltozás esetén írja le a jelenséget. A galvánelem kapcsolófeszültségének változását többen egyszerűen lineárisnak gondolták, bár felvetődött a logaritmikus kapcsolat lehetőségére.

Többen vélekedtek úgy, hogy a kapcsolófeszültség nem csak az elektródának használt fémek anyagi minőségétől függ, hanem a gyümölcstől, vagyis az elektrolitól is.

A tapasztalatok összegzése

Fontos, hogy a feldolgozandó *kutatási témában a tanár szakmailag otthonosan mozogjon*, hiszen ezeken a foglalkozásokon a diákok sokféle kérdéssel, ötlettel állhatnak elő. Ezek mindegyikére nem lehet külön felkészülni, így a biztos háttértudás elengedhetetlen. A tervezéskor, például a segítő kérdések előzetes átgondolásához is magas szintű szakmai tudás szükséges.

Pedagógiai szempontból fontos, hogy a tanár gyakorlott legyen a különböző kollektív munkaformák alkalmazásában, lehetőleg már az adott diákcsoport-

tal is. Először nem a kutatási feladat megoldását, hanem az egyszerű csoportmunkát javasoljuk, majd a diákok fokozatosan kapjanak egyre nagyobb önállóságot. A tanár pedig apránként vonuljon „háttérbe”. Ez nem könnyű, hiszen a honi pedagógiai gyakorlatban a tanár áll a középpontban, ő a tudás forrása még akkor is, ha bizonyos részfeladatokat a diákokkal végeztet el.

Nem minden téma alkalmas kutatás alapú feldolgozásra, tudni kell kiválasztani a megfelelőket.

A hazai gyakorlatban szokatlan, hogy a diákoktól hipotéziseket kérjenek a tanárok. A *tanulói hipotézisek* értékelésekor ügyelni kell arra, hogy a „jó” hipotézis ismérve nem csupán annyi, hogy a mérések visszaigazolják. Figyelembe kell venni az elképzelés kidolgozottságát, a tanulók előzetes tudása alapján ad-e konkrét előrejelzést, amit majd össze lehet vetni a kísérleti eredményekkel.

A hipotézis használhatóságára a *következtetések* levonásánál kell kitérni. A diákok vessék össze hipotézisüket a tényleges tapasztalatokkal, és értékeljék a szerint, hogy az előrejelzés bevált-e. Keressék meg a siker, de a kudarc okát is!

Tapasztaltabb diákokkal célszerű minél több *méressorozatot* végeztetni, a hipotéziseket lehetőleg matematikai alakban megfogalmazni: milyen jellegű függvénykapcsolatra számítanak, egyenes vagy fordított arányosságra, esetleg egyéb kapcsolatra. A diákok alkalmazzák előzetes tudásukat ebben a szakaszban, származzon az akár a hétköznapi tapasztalatból, akár az iskolában tanultakból. Az IKT eszközök felhasználása – például Excel programé, amely tananyag informatikából – remek lehetőséget ad arra, hogy rámutassanak: *a természeti törvények gyakran leírhatók függvénykapcsolattal*.

A hagyományos feladatmegoldások esetében a végeredmény sokszor egy számérték, általában mértékegységgel. Ritkán térünk ki arra, hogy a kapott számértékek gyakran az adott jelenséget leíró függvény egy pontjának koordinátái.

A tanulókísérletekhez vagy a tananyag ahhoz hasonló feldolgozásához a megszokottól eltérő *tanári felkészülés* szükséges. Ennek elengedhetetlen részeként előre el kell végezni azt a méressorozatot, amelyet a diákoktól megkívánunk. A saját tapasztalat és a diákok várható előzetes tudása alapján kell tervezni a segítő kérdéseket, a szükséges anyagokat, eszközöket és egyéb segédleteket. Mi szerepeljen a feladatlapon, mi az, amit már elvárhat a diákoktól? Végig kell gondolni, hogy a diákoknak milyen ötletei lehetnek. Más ez a felkészülés, mint ami egy előadást vagy demonstrációs kísérletet előz meg, bár akkor is meg kell tervezni a kérdéseket, el kell végezni a demonstrációs kísérletet. Ám ott a tanár közvetlenül irányítja a folyamatot, megtervezve az egymást követő lépéseket. A tanulókísérletekben is a tanár irányít, ő ismeri pontosan a célt, de a megvalósításban sokkal nagyobb szerepet szán a diákoknak, teret ad egyéni ötleteiknek, javaslataiknak. Ilyenkor nagy szükség van a magas szintű szakmai tudásra,

például annak eldöntésére, hogy a diákok által javasolt út járható-e. Meddig lehet engedni, hogy a diákok egyéni útjaikat kövessék akkor is, ha már az elején látszik, hogy az rossz, azonban fontos tapasztalatokat ígér?

A munka során fényképsorozatok készítését tanácsoltuk a hallgatóknak. A feszültség-idő függvény felvételéhez a voltmérőt a mellé tett órával fényképezték le. A vízben úszó gyümölcsről a kilógó rész magasságának meghatározásához is érdemes fényképeket készíteni a különböző koncentrációk mellett. A leolvásánál ügyelni kell, hogy a fényképek azonos méretek legyenek. Ez elérhető fix geometriájú beállítással, de a kép utólagos kicsinyítésével-nagyításával is.

Ekkor egy adott méret, például a pohár legyen a viszonyítási alap. Mindkét esetben kielégítő pontossággal mérhető a folyadékból kilógó rész hossza.

Irodalom

1. Radnóti K. Adorjáné Farkas M.: A fizika tanításához szükséges tanári tudás rendszere, II. rész. *Fizikai Szemle* 52/12 (2012) 422–425. <http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1212/FizSzem-201212.pdf>
2. Nagy L.-né: A kutatásalapú tanulás/tanítás ('inquiry-based learning/teaching', IBL) és a természettudományok tanítása. *Iskolakultúra* 12, (2010) 31–51. <http://www.iskolakultura.hu/ikultura-folyoirat/documents/2010/2010-12.pdf>
3. Brassói S., Hunya M., Vass Vilmos.: A fejlesztő értékelés: az iskolai tanulás minőségének javítása. *Új Pedagógiai Szemle* 2005/7–8. 4–17. <http://epa.oszk.hu/00000/00035/00094/2005-07-ta-Tobbek-Fejleszto.html>

A FÉMKRISTÁLYOK MODELLEZÉSÉRE SZOLGÁLÓ BRAGG–NYE–LOMER-FÉLE BUBORÉKMODELL

Márki-Zay János
Hódmezővásárhely

Akik kiderítették hogyan történik a fémek képlékeny alakváltozása címmel a *Fizikai Szemle* januári számában ismertettük azt a küzdelmes és hosszú utat, amit a tudósok végigjártak a laikusok által ma is nehezen követhető folyamat titkainak feltárásáig. A tudományos kutatómunka nehézségét többnyire az okozza, hogy az okok feltárásához érzékszerveink, sőt gyakran műszereink által sem észlelhető mélységekbe kell kutakodnunk valamely folyamat megértéséhez. Miután sikerült feltárni az okokat, kezdetét veszi egy másik folyamat, amely során igyekszünk szélesebb körben is hozzáférést biztosítani az elért eredményekhez. Ez a folyamat egyben azt is jelenti, hogy a következő nemzedék már új, szilárdabb alapokról elindulva folytathatja a kutatást és a korábbi eredmények hasznosítását.

A buborékmodell kidolgozói

A Bragg–Nye–Lomer-féle buborékmodell ismertetése előtt ismerkedjünk meg röviden a három névadó tudóssal!

William Lawrence Bragg (1890–1971), Nobel-díjjal kitüntetett tudós (1915-ben édesapjával, W. H. Braggal megosztva kapott Nobel-díjat a kristályszerkezet röntgensugármódszerrel való analizisének felfedezéséért) mindig fontos feladatának tartotta a tanítást is. Az Ausztráliában született tudós 1939-ben a magyar *Orowan Egon* kérésére jött Cambridge-be. A diszlokációk szerepének feltárását követően az oktatás számára is fontossá vált a folyamat modellezése. 1940 januárjában megjelentetett tanulmányában – amelyhez

1. ábra. William Lawrence Bragg, valamint tanítványai: John Frederick Nye és William Michael Lomer.



beosztotta, Orowan is hozzájárult – a hidegen megmunkált fémeket egy hab szerkezetéhez hasonlította. Majd észrevette, hogy a motorok az üzemanyag keverése közben apró buborékokat állítottak elő, amelyek egy olyan szabályos mintájú felület alkottak, mint egy kristály építőkövei. Egy évvel később Bragg a fém kristályszerkezetének modellezésére kifejlesztette a buborékmodellt és 1942-ben leírta a buborékmodell összes lényeges tulajdonságát. A buborékgyártó készülék lehetővé tette akár 100 000 darab 0,1 és 2 mm átmérőjű buborék készítését.

Két beosztottja, *Nye* és *Lomer* egy évet dolgoztak a buborékmodellen (*1. ábra*).

John Frederick Nye (szül. 1923) fizikaprofesszor. Tudományos munkásságának kezdetén a képlékeny alakváltozásokkal foglalkozott. Nye leírta a struktúrákat, amelyeket a buborékmodell előállít. Később az alakváltozások terén megszerzett ismereteit a gleccserek áramlásának megértésére fordította és a jéggel kapcsolatos ismeretek szakértője lett. 1966–1969 között a Nemzetközi Glaciológiai Társaság elnöke is volt. A glaciológián kívül foglalkozott még a maró hatású anyagokkal és a mikrohullámú érzékelőkkel.

William Michael Lomer (1926–2013) fizikusnak több szilárdtestfizikával foglalkozó publikációja is megjelent és csodálatos kvantitatív kísérleteket végzett a modellel. Lomer később a britanniai termonukleáris fúziós laboratórium vezetőjeként is dolgozott.

A modell újszerű megvalósítása

1970-ben *Mai fizika* címmel megjelent *R. P. Feynman*, *R. B. Leighton* és *M. Sands* könyve, amelynek hetedik kötetében először szerepel a buborékmodell magyar nyelvű leírása „Bragg–Nye-féle kristálymodell” néven. A könyvben szereplő, fényképekkel illusztrált leírás tökéletesen alkalmas volt arra, hogy felkeltse a téma iránti érdeklődést. Azonnal megfogalmazódott bennünk az igény, hogy ezt a modellt hozzáférhetővé tegyük iskoláink számára is. De hogyan hozzuk létre a modellt a szükséges egyforma méretű, apró légbuborékok sokaságát? Hiszen az az út, amit a könyv kínált, a mi lehetőségeinknek nem felelt meg.

Megpróbáltuk gyökeresen más úton haladva előállítani a megfelelő buborékokat. Eltelt néhány hónap, amíg fáradozásunk sikerrel járt. A Winchester-palackot felfűjt léggömbbel helyettesítettük, amelyet egy műanyag cső végéhez erősített fecskendőűn keresztül csatlakoztattunk a mosószeres oldatot tartalmazó edényhez.

Az általunk gyártott buborékok egyforma méretének biztosítására a következő feltételeket kellett biztosítani:

1. A fecskendőűt adott mélységben és adott helyzetben kell a felszín alatt tartanunk.

2. A levegő beáramlásának sebességét a műanyag csőre helyezett szorító segítségével tartottuk állandó értéken.

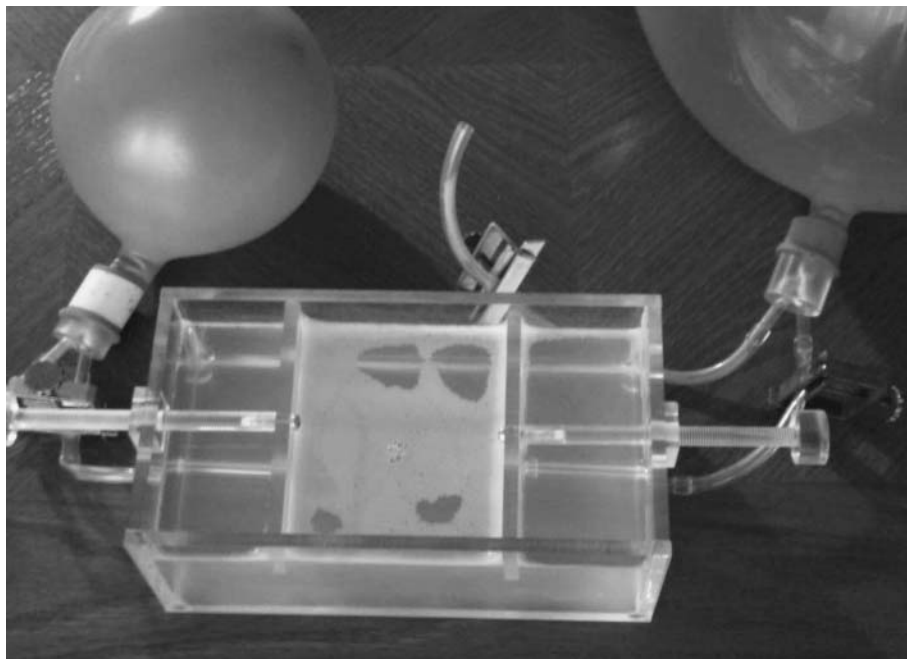
Kísérleteink azzal a tapasztalattal jártak, hogy e módszerrel a kellő keménységűre fűjt léggömb hosszú ideig alkalmas egyforma méretű buborékok gyártására. A kereskedelemben számos megfelelő mosószert találhatunk tartós buborékok létrehozására. Jó tanácsként mondhatjuk, hogy a mosószert célszerű jóval a buborékgyártást megelőzően a vízbe juttatni, mert hatására a vízben oldott levegő hab formájában kiválik, amit a zavartalan kísérletezés biztosítására el kell távolítanunk.

A buborékgyártás problémájának megoldását követően üvegtechnikus segítségét kértük az eszköz elkészítéséhez. A későbbiekben célszerűbbnek látszott a törekeny üveget plexivel helyettesíteni. Már az első eszközt is úgy készítettük, hogy a téglalap alakú folyadékfelületen képződő buborékokat a téglalap rövidebb oldalával párhuzamosan két csavarral finoman egymás felé mozgatható alumínium lapáttal össze tudjuk nyomni, illetve szét tudjuk húzni.

Miután az aktív felület beborításához elegendő mennyiségű buborékot gyártottunk, a buborékok fűtésére szolgáló csapokat leállítottuk és a buborékokat úgy osztottuk szét, hogy azok egyenletesen befedjék a felszínt. A beáramló levegő elzárásának folyamata alkalmával mindig számítani kellett arra is, hogy képződik néhány eltérő méretű buborék, amelyeket például egy kávéskanál segítségével el kellett távolítanunk. Ezt követően már kezdődhetett a kísérletezés.

Ha egy buborék a víz felszínére emelkedik, akkor a víz felszíni hártája nem engedi a légtérbe, hanem tartósan a felszíni hártá alá szorítja. A buborék, ha nem is képes azonnal a légtérbe távozni, a víz felszíni hártáját némiképpen megemeli és így egy kiemelkedést képez a víz felszínén. A következő buborék úgyszintén. Energetikailag a felszín kiemelkedése akkor lesz minimális, ha a két buborék a kiemelkedések által létrehozott lejtőn felfelé – azaz egymás felé – mozdul el. Ezért a buborékok nem egyenként, hanem csoportosan, szigeteket alkotva fedik be a folyadék felszínét, majd hasonló okokból a szigetek nagyobb szigetekkel egyesülnek, végül a folyadék teljes szabad felszínét beborítva összefüggő fedést hoznak létre.

A kísérletezéshez használható eszközt házilag is összeállíthatjuk (*2. ábra*). Célszerű átlátszó műanyagból (plexiből) egy körülbelül 1,5 dm² felületű műanyag kádat készíteni. A kádat saját anyagával is összeragaszthatjuk, ha a kád lapjainak kifűrészelésekor kapott plexireszeléket kloroformban feloldjuk és ragasztóanyagként hasznosítjuk. A buborékképzést úgy oldhatjuk meg, hogy egy keményre fűjt léggömb levegőjét vezetjük a kádba a kád oldalfalát a lufihoz kapcsolódó plexicsővel áttörve. A plexicső kádba nyúló végéhez pedig egy fecskendőűt illesztünk, amelynek belső átmérőjét célszerű minél kisebbre szűkíteni, például a fecskendőűbe helyezett vékony drót, vagy hajszál segítségével. A víz felszínétől néhány centiméternyire elhelyezett fecskendőű segítségével megfelelően egyforma méretű buborékok sokaságát állíthatjuk elő.



2. ábra. A Bragg–Nye–Lomer-féle buborékmodell előállítására szolgáló eszközünk.

vagy nyomtatványt a falra. A szemléltetés minősége ennél az eszköznél, de a mainál jóval gyengébb fényű diavetítők alkalmazásánál is nagymértékben függött a sötétítés milyenségétől. Ahhoz, hogy érdekes jelenségeket mutathassunk diákjainknak, több ezer diát készítettünk, ezek levételese alkalmával is jó szolgálatot tett a sötétíthető tanterem. Ezek az eszközök ma már inkább múzeumi tárgyak, a mai projektorokhoz és képernyőkhöz szokott diákok számára alig ismertek.

A válasz másik része azonban ma is időszerű. Az erős fény nemcsak segíti látásunkat, hanem zavarja is. A csillagászok számára az egyik legnagyobb nehézséget a növekvő fényszennyezés jelenti. A

A Bragg–Nye–Lomer-féle buborékmodellrel végzett modellkísérletek írásvetítővel is kivetíthetők, és jól látható módon szemléltetik a valódi fémkristályok esetében bekövetkező jelenségeket.

Ha a kísérletekről fényképet kívánunk készíteni, akkor a modell felületét kell megvilágítanunk. A kontúr fokozza, ha a plexiedény alá fekete papírt helyezünk.

Demonstráció elsötétíthető tanteremben

Ünnepi eseménynek számított magunk és a diákjaink számára is, amikor tanári demonstrációs kísérletként egy-egy osztálynak mutattuk be a modellt. Ahhoz, hogy ez megvalósulhasson, először is a megfelelő szaktantermi körülményeket kellett megteremteni. Sajnos azok az épületek, ahol „szerencsénk” volt tanítani, vagy eleve nem iskola céljára épültek, vagy ha igen, akkor sem építettek hozzá sötétíthető tantermet, ami számunkra mindig a szemléltetés alapvető követelményének számított. Így egyik első feladatként meg kellett oldani a rendelkezésre álló nagy ablakokkal rendelkező tanterem teljes elsötétítését. Előgyakorlatként a hódmezővásárhelyi vendéglátó szakközépiskola fizika szertárában lévő szekrények segítségével a szertár egy sarkát leválasztva sötétkamrárt alakítottunk ki. Hasonló gondossággal sikerült a szaktanterem elsötétítését is megoldani. Ebben kiemelkedő szerepe volt a háromrétegű függönynek, amelynek középső részét sűrű szövésű fekete vászon képezte. Felmerülhet a kérdés, miért volt erre szükség?

A válasz egyrészt technikatörténeti vonatkozású. Nem is olyan régen még az iskola egyik fontos szemléltető eszköze volt az epidiaszkóp, amely egy megvilágított fényképről vagy nyomtatványról visszaverődött fény felhasználásával vetítette kinagyítva a fényképet

bemutató planetáriumokban is szükség van a teljes sötétítésre és arra is, hogy szemünket hozzászoktassuk a sötéthez. Számos olyan csodálatos jelenség van, aminek élvezése csak a zavaró fényhatások kiiktatása révén lehetséges. A természetben ilyen jelenségek: az ezernyi csillaggal borított égbolt pazar látványa, a nálunk ritkán látható sarki fény, az elektromos kisülések és villámok stb. Sohasem felejthetjük el azokat az órákat, amikor diákjainkkal együtt élveztük az elsötétített teremben létrehozott 60-70 cm-es méreteket is meghaladó felületi kisüléseket. Ezek fényképezését úgy sikerült megoldani, hogy a régi típusú fényképezőgépet „B”-re¹ állíthattuk, ami azt jelentette, hogy amíg az exponáló gombot lenyomva tartottuk, addig a fényt a lencserendszer begyűjtötte. Ezzel a módszerrel megvárhattuk a kisülés létrejöttét és csak utána zártuk el a fény útját. Ehhez is szükség volt a teljes elsötétítésre. A film előhívása után csodálatos, részletekben dús képet nyertünk.

Gyermekkorunk egyik nagy élménye volt, amikor egy világító számlappal és mutatóval rendelkező órát kaptunk. Sötétben a szemünkhöz illesztve gyönyörködtünk az egyes fényfelvillanásokban, szcintillációkban.

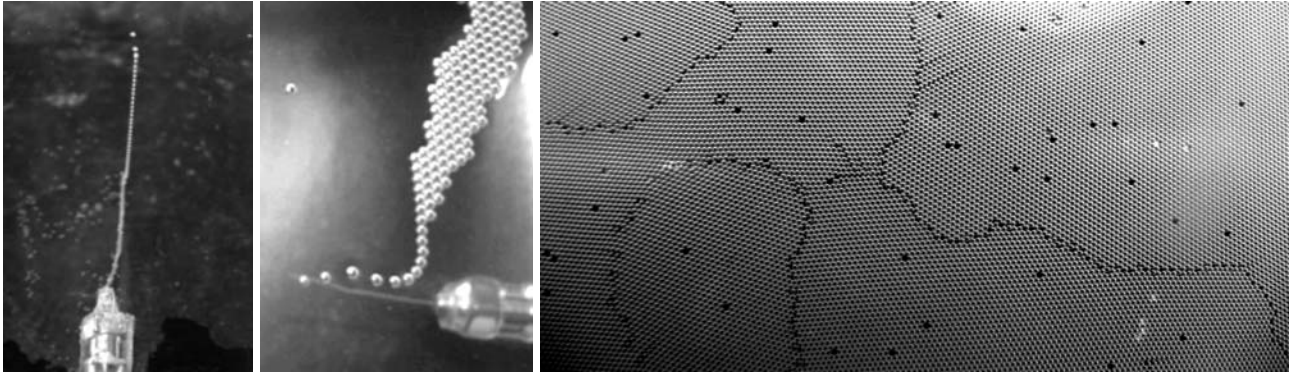
Példaként megemlítek még néhány olyan jelenséget, amit a fizikatanárnak illene bemutatni, de nem biztos, hogy lehetősége van rá.

Az úgynevezett Szent Elmo tűz bemutatásához sötétíthető teremben elegendő egy elektromosan jól töltődő bergmanncső és egy varrótű.

Jó szolgálatot tesz a sötétíthető terem a fluoreszcencia és a foszforeszkálás szemléltetésénél.

Hasonló a helyzet a kristályok poláros fényvel való vizsgálata esetében is.

¹ A mai tükörreflexes digitális fényképezőgépeken is van B záradék, minél alacsonyabb érzékenységgel és szűk blendével fotózzunk!



3. ábra. A buborékok térfogata a felszín felé haladva növekszik. A gyorsan szaporodó buboréktutajok hamarosan összefüggő felületet alkotnak. Az összefüggő buborékalmazt jól látható szemcsehatárok tagolják. Ha a buborékalmaz felett tapsolunk, akkor a nyomáshullám néhány buborékot kipukkanaszt és ott „vakanciának” nevezett ponthiány alakul ki. A kép felső felének közepén láthatók egymással párhuzamos „éldiszlókációk” is, amelyek a szemcsehatáron végződnek.

A buborékmodell bemutatása osztályteremben

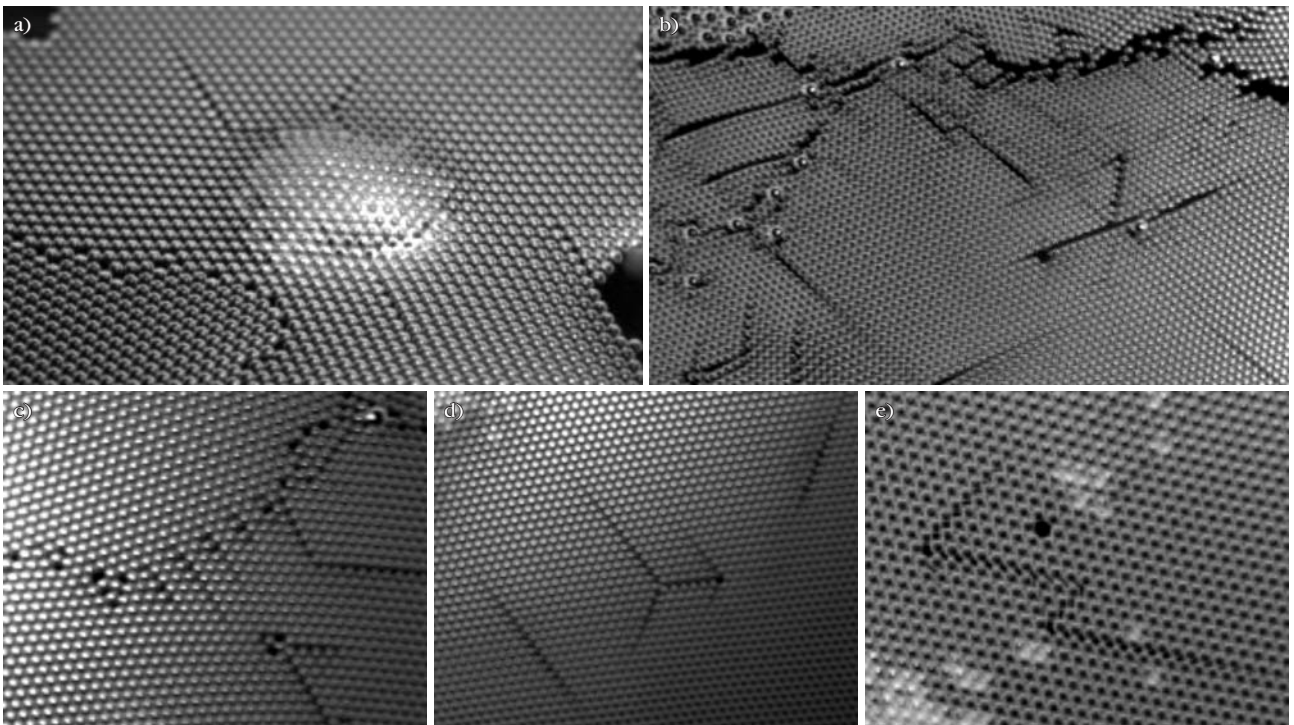
A modelleszközt írásvetítőre helyeztük úgy, hogy a zavaró fények kiszűrése érdekében az írásvetítő azon részét, amelyet az eszköz nem fedett, fekete fotópapírral borítottuk le. A körülbelül tizenegy méter hosszú tanterem egyik végén állt az írásvetítő, a szemközti oldalon pedig a fehérre meszelt, a vetítés céljára szabadon hagyott falfelület. A modell előkészítése után a termet lesötétítettük és indulhatott a csoda. Igen a csoda, mert a tanulók, mint egy szélesvásznú mozifilm vetítésén tapasztalhatták, hogy még a hat méter széles falfelület is kevés a látvány befogadásához. Az öklömnyi nagyságúra nagyított buborékok elmosódva, alig követhető sebességgel jelentek meg a falon, és bámulatos gyorsasággal rendeződnek bubo-

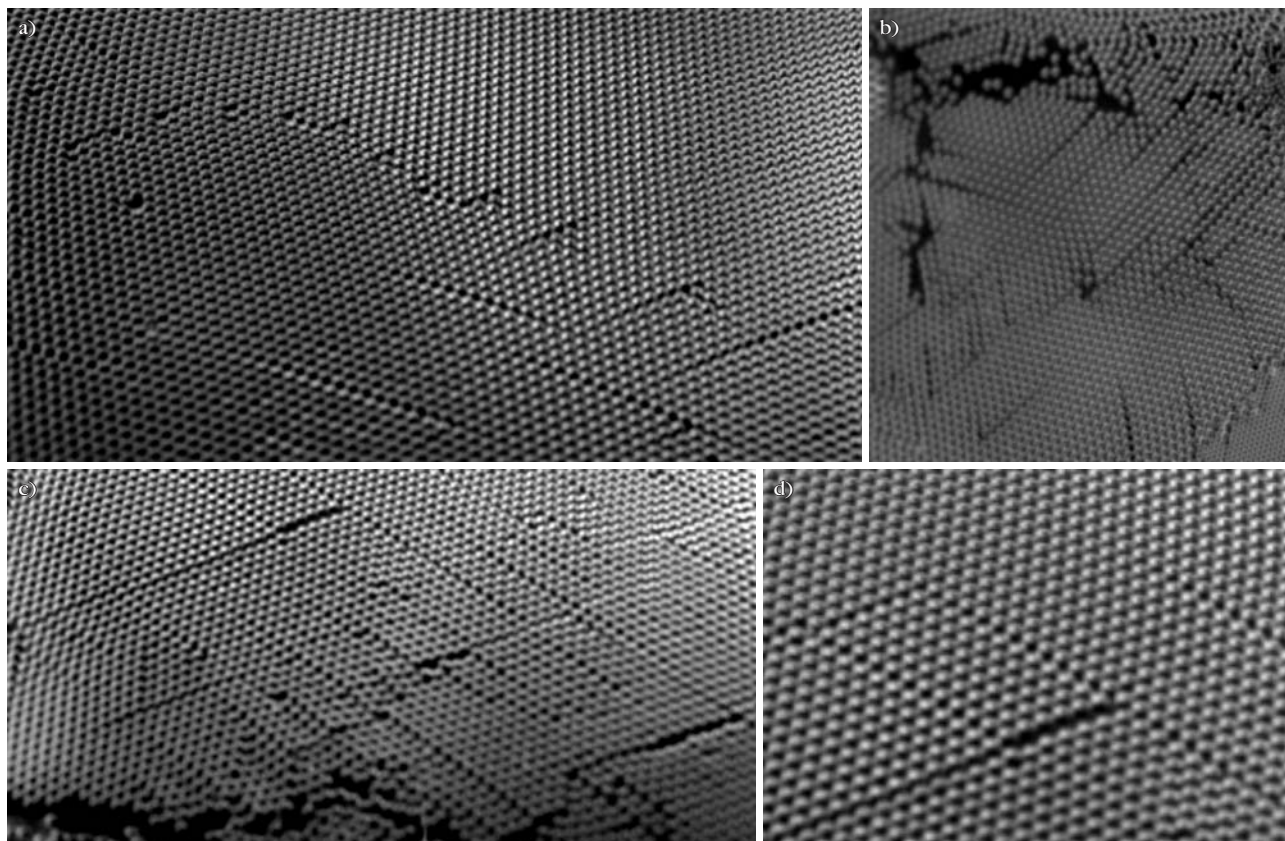
réktutajokká. Majd láthatták azt is, amint az állandó mozgásban lévő és más-más rendezettséget mutató buboréktutajok között szemcsehatárok alakulnak ki (3. ábra).

A továbbiakban a felszín bizonyos mértékű befedettsége után alkalmuk volt megfigyelni azt is, amint a feltörekvő újabb és újabb buborékok alulról nyomást gyakorolva a felettük lévő buborékrétegre egyre-másra diszlókációs mozgásokat váltanak ki a buborékalmazon, és ezért a modell folyton-folyvást újra-rendeződik (4. és 5. ábra).

Megmutathattuk, amint a buborékokkal fedett felszín felett egy-két taps hatására néhány buborék kipukkadt és így ponthibák: egyes és többes vakanciák keletkeztek (6. ábra). A buborékok képződését leállítva létrejöttek eltérő méretű, és ezért ugyancsak hibák forrásául szolgáló buborékok is.

4. ábra. a) A felszínre érkező buborékok nyomása diszlókációs mozgásokat vált ki. b) Erős rezgések hatására a diszlókációk és szemcsehatárok is megnyílnak. c–e) Szemcsehatáron végződő diszlókációk és a diszlókációk összekapcsolódása.





5. ábra. a) Diszlokációsorok, mint kisszögű szemcsehatárok. b) Sűrűn előforduló diszlokációk. c) Egymással párhuzamos és egymást metsző diszlokációk. d) Az előző, c) kép kinagyított részlete.

Külön felvonást jelentett, amikor az alumínium-lapátok elmozdításával a modellt nyomó vagy húzó igénybevételnek vetettük alá. Észlelhettük, hogy a buborékréteg miként reagál ezekre a deformációs hatásokra. Láthattuk a rend átalakulását a külső behatások következtében (diszlokációs mozgások, átkristályosodás stb.).

A modell érzékenysége környezetének változásaira elsősorban diszlokációs elmozdulásokban mutatkozik meg. Sejthetjük, hogy a modellezett fémkristályok még érzékenyebben reagálnak környezetük változásaira.

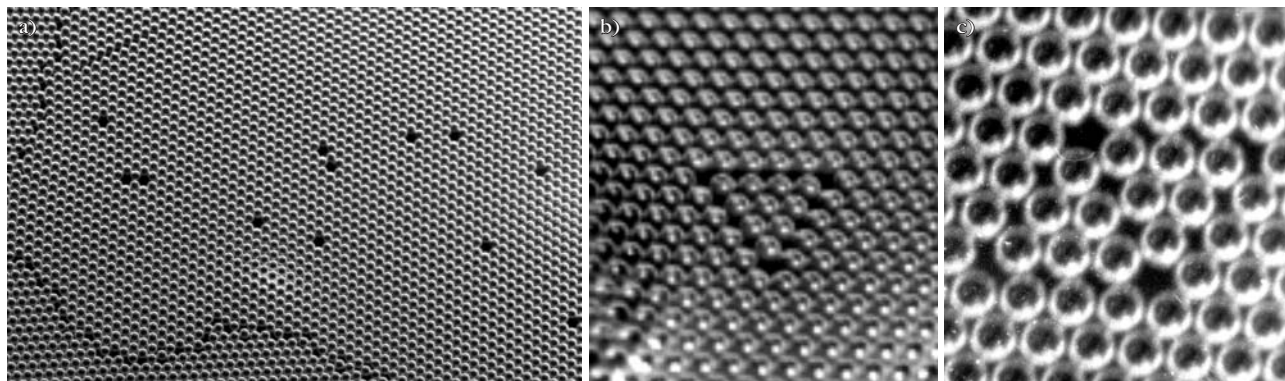
Ha érzékszerveinkkel nem is észleljük, de levonhatjuk a következtetést: semmi nem történhet követ-

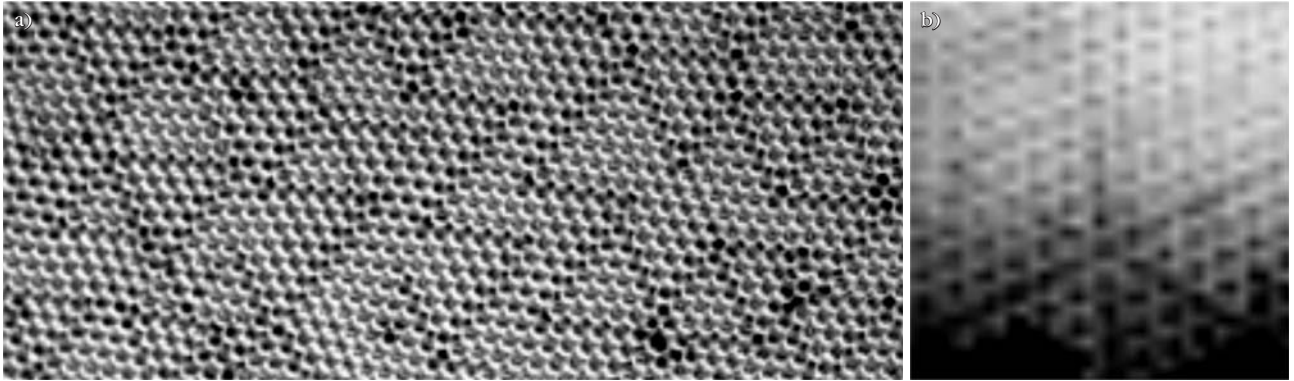
kezmények nélkül, a környezetünkben bekövetkező legkisebb változásnak is nyoma marad. A minket körülvevő anyagok állandó kölcsönhatásban állnak egymással.

Kísérletek többretegű buborékhalmozokkal

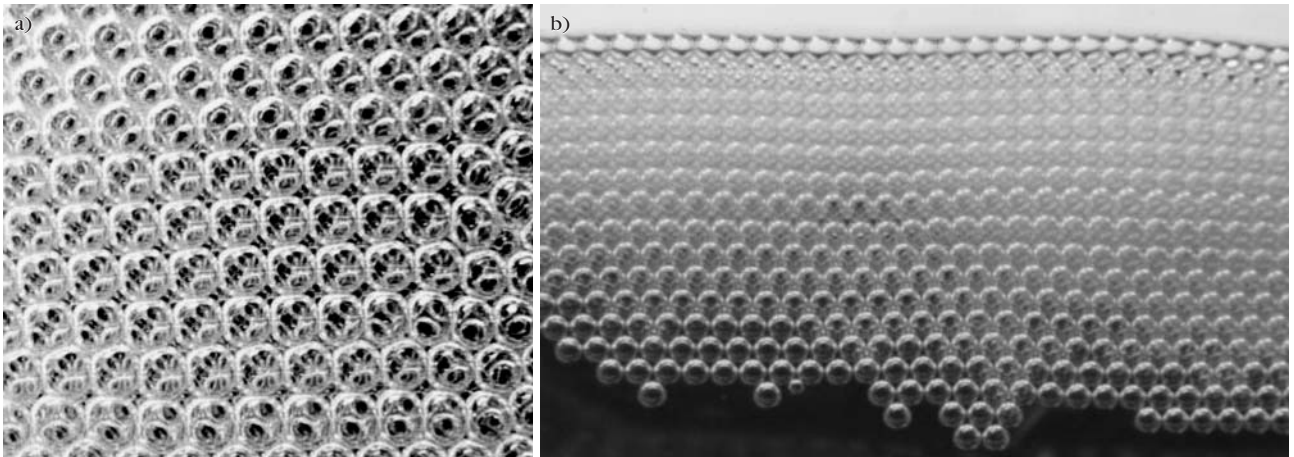
Megtehetjük azt is, hogy a buborékokat kettős rétegben helyezzük egymásra. Ekkor csökken a modell átlátszósága, és az egymás felett elhelyezkedő buborékok jobban akadályozzák egymást mozgásukban. Ez azt jelenti, hogy bizonyos helyzetek tartósabban megmaradnak.

6. ábra. Taps hatására kialakult ponthibák: a) egyes vakanciák, b) többes vakancia, c) „iker” vakancia.





7. ábra. a) Diszlokáció-hálózat, benne tört vonalak, szabályos háromszögek és paralelogrammák. b) Kettős rétegben szabályos hatszög átlói látszanak.

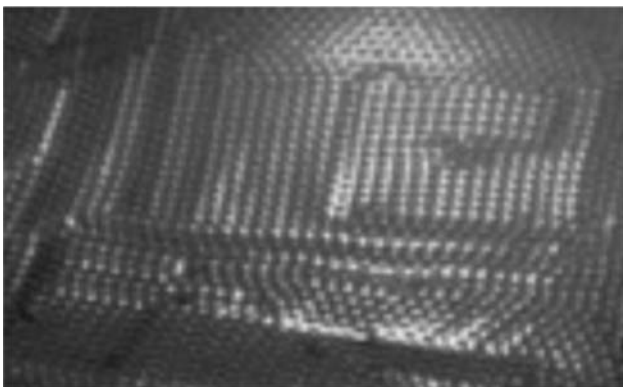


8. ábra. a) A buborékok köbös elrendeződése többes rétegnél. b) A nagyobb méretű buborékok kissé deformálódnak.

A 7.a ábrán többes vakanciák és diszlokáció összefüggő hálózatát láthatjuk, amelyek tört vonalakból, szabályos háromszögekből és paralelogrammákból tevődnek össze. Az elrendeződés kialakulásában jelentős szerepe volt a kettősrétegre ható ismétlődő igénybevételeknek. A 7.b ábrán egy szabályos hatszög átlói rajzolódnak ki. Egyrétegű buborékhalmozon ehhez hasonló elrendeződés nem jelenik meg.

Megjelenik a buborékok köbös elrendeződése elsősorban az edény szélén kialakuló többes rétegnél (8. ábra). A 8.b ábrán nagyobb méretű és ezért kissé deformálódó buborékok többes rétegen figyelhetjük meg a köbös elrendeződést.

9. ábra. Többes rétegben kialakult csavardiszlokáció.



Újabb szemléltetési lehetőséggel szolgál, amikor a keletkező buborékokat nem simítjuk szét, hanem tartósan hagyjuk átlátszatlan, fehér, többes réteggé növekedni. Ekkor már nincs lehetőségünk a buborékhalmoz átvilágítására, de tanulmányozhatjuk a buborékfelszínét. A 9. ábra felvételén egy csavardiszlokációt fedezhetünk fel. A 10. ábrán pedig az egymásra rakódó buborékok halmaza sokféle rácsot és rácshibát mutat.

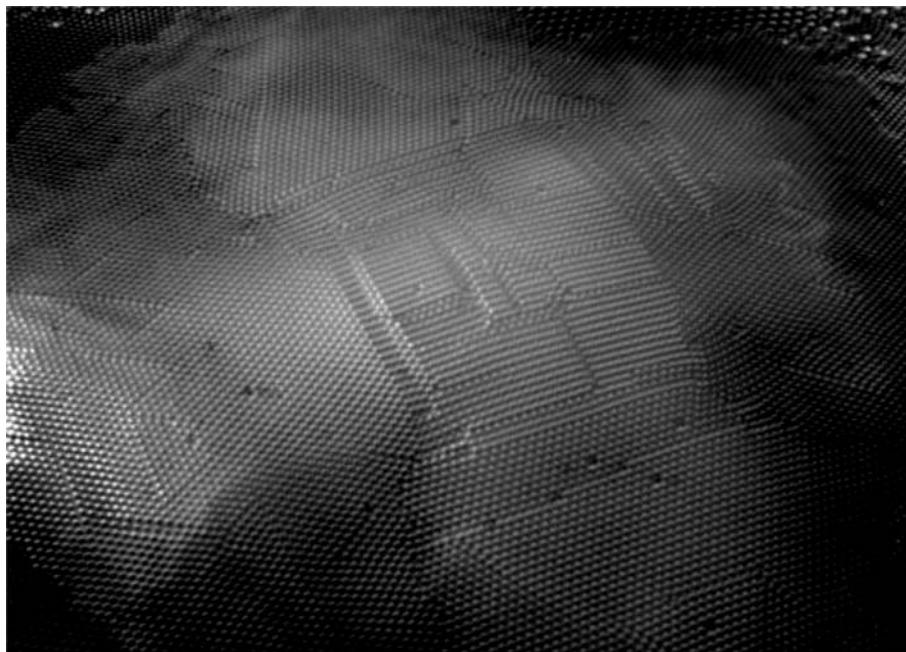
Ezen kísérletek bemutatásánál nem volt unatkozó diák. Megsejthették a rend és a rendetlenség közötti különbségből fakadó eltéréseket. A modell segítségével feltáruhatott előttük az az egyébként szemmel nem látható világ, ami parányi volta miatt korábban gondosan elfedte titkait. De megértették azt is, hogy ez csak egy modell, ami néha jelentős mértékben különbözik a valóságtól. Jó példa erre, hogy a Föld modelljeként elkészített földgömb milyen hitvány másolata a valóságos Földnek. A különbséget a buborékmodellel kapcsolatban is érzékeltetnünk kellett.

A tanítás csúcса: a valóság csodáinak demonstrálása

A fizika nagyszerűségének bemutatása hasznosnak bizonyult a fizika iránt amúgy nem túlságosan érdeklődő, szakmát tanuló diákok számára is. Fontos, hogy

a modellezett világba bepillantást engedjünk. Ehhez az ugyancsak sötétített teremben végzett kristályosítási kísérlet bemutatása bizonyult a legjobbnak.

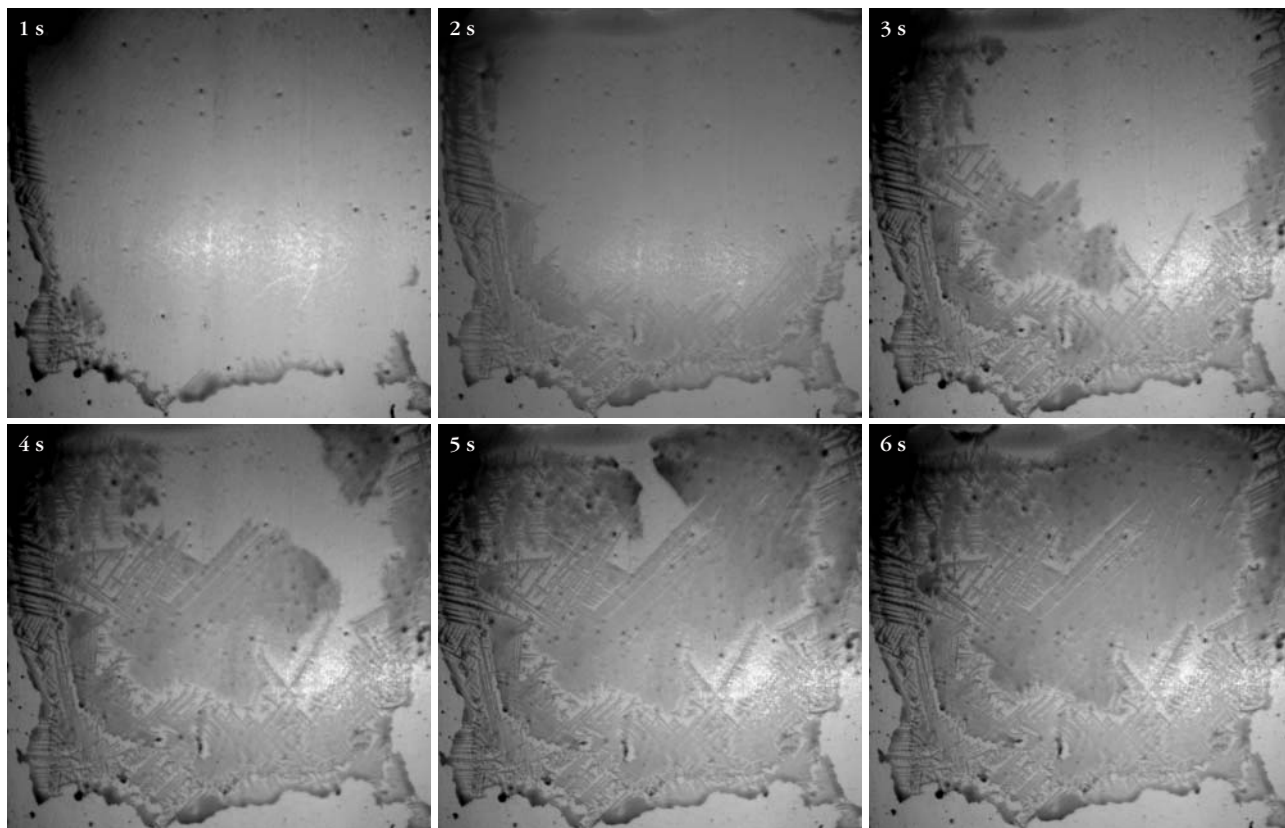
A demonstrációhoz szükségünk van diavetítőre és előzetesen gondosan megtisztított diaüvegre. Az üveget alkoholba mártott papírzsebkendővel tisztítottuk és zsírmentesítettük. Ezt követően különböző, vízben oldható kristályos anyagokat kerestünk. Jól bevált például a látványos dendrites kristályosodást mutató ammóniumklorid. Az oldatot vékony rétegben kell a diaüvegre felvinnünk. Ezt úgy értük el, hogy az oldathoz a filmek előhívásakor használt F 905 márkájú csepptelenítőt adtunk. A felületaktív anyag segítségével az oldatot vékony rétegben és egyenletesen szétkentük az üveglemezen. Miután a diaüveget diavetítőbe helyeztük már csak rövid ideig kellett várni az újabb csodára. A diavetítő hője hamar felmelegítette az üveglemezt, és megkezdődött az oldat beszáradása, gyors kikristályosodása



10. ábra. Egymásra púposodó buborékhalmozás felszíne. A képen feltűnik a buborékok egymás mellett elhelyezkedő hatszöges és köbös elrendeződésű halmaza. A halmaz felszínén látható néhány diszlokáció és vakancia is.

(11. ábra). (A kristályosodás sebessége jelentős mértékben függ a párolgást elősegítő hőtől és a légáramlattól.) A kísérlet hatását itt is fokozta, hogy jól sötétíthető és nagyméretű szaktanteremben tíz méter távolságból tudtuk a jelenséget diavetítővel falra vetíteni.

11. ábra. A vékony rétegben diaüvegre vitt ammóniumklorid kikristályosodása 6 másodperc alatt.



A fehérre meszelt falra vetítve, tanulóink szeme láttára hihetetlen sebességgel indult meg az ammóniumklorid rendkívül látványos, dendrites formában történő kristályosodása. Ez a gyors elrendeződés csak a kristályt felépítő parányi építőkövek világában lehetséges. A diákok megsejtették, hogy a kristályba rendeződés bámulatos sebessége a részecskék parányi méretéből (mozgékonyaságából) fakad. Kézenfekvő volt az összehasonlítás a testnevelési órán való tornasorba rendeződés, a buborékmodellnél tapasztalt elrendeződés és a valódi kristályok kialakulása során megvalósult rend létrejötte kö-

zött. A bemutató mindenki számára meggyőző volt: gyönyörű a világ és csodálatos feltárni titkait.

A folytatásban ismertetni fogjuk a modellel végzett további vizsgálatainkat.

Irodalom

1. R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands: *Mai fizika 7. Kristályszerkezetek. Dia-, para- és ferromágnesség. Folyadékok áramlása.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1970.
2. Márki-Zay J.: Kristálymodell, szemcsemódel és az amorf anyagok modellezése: a Bragg-Nye-féle buborékmodell továbbfejlesztése. Márki-Zay János, Hódmezővásárhely, 2013.

CSÍRÁZÁSI SEBESSÉGEK MÉRÉSE

– egy tévhit tisztázása a mikrohullámú sütőről

Stonawski Tamás
Nyíregyházi Főiskola

11. osztályos gimnazista tanulókkal közösen, projekt munkában a konyhai mikrohullámú melegítés káros voltáról a médiában időről időre megjelenő állítások egyikét vizsgáltuk meg. Az állítás szerint a mikrohullámmal kezelt (felforralt) víz káros hatással van az élővilágra, amit az igazol, hogy az ilyen vízzel locsolt növények elpusztulnak, vagy csak kevésbé fejlődnek. Az ellenőrző kísérletet, beleértve a kontrollméréseket is, a diákok önállóan tervezték meg. Ebben ismét szerepet kapott a webkamerás számítógépes méréstechnika is. A kísérlet eredménye minden kétséget kizáróan cáfolta a médiában nyilvánosságot kapott állítást és igazolta, hogy a mikrohullámnak nincs olyan hatása, hogy az azzal kezelt vízzel történő locsolás káros lehet a növények fejlődésére. A kísérlet eredménye észrevehetően meglepte a diákok azon csoportját, akik úgy gondolták, hogy a médiában és az interneten megjelenő állítások, különösen azok, amiket valamilyen tudományos ízü titokzatosság körít, hitelt érdemlők. Bizton állíthatjuk, hogy az ilyen jellegű kísérleti projekt munkában való részvételnek szemléletformáló szerepe van a médiában is gyakran megjelenő áltudományosság ellen. A projektben résztvevő tanulók később sem fogadták el a médiából származó információkat pusztán a tekintélyelvűségeire hagyatkozva.

A kísérlet előzményei

A 11. osztályban az elektromágneses hullámok hullámhossz szerinti csoportjait tanítottam, amikor megkérdeztem, szeretne-e valaki e témakörben kiselőadást tartani. Többen jelezték, hogy a mikrohullámú sütőről szeretnének többet megtudni. A kiselőadást tartó diáklány az előadás végére egy nyitott kérdést hagyott: „Vajon káros-e az egészségre a mikrohullámú sütőben melegített ételek fogyasztása?” A tanuló több olyan cikket is talált, amelyek az eszköz használatát

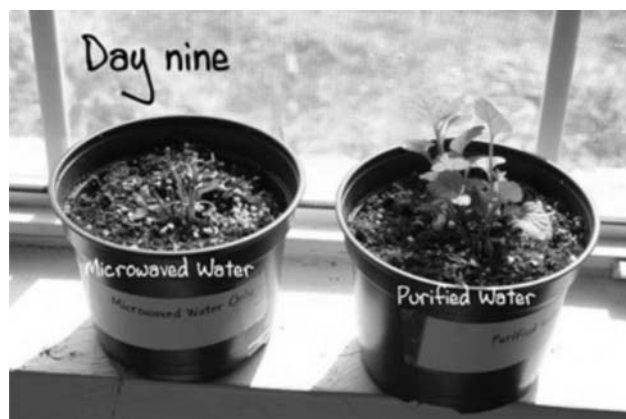
nem ajánlják, mert egészségkárosító hatású. Az egyik cikk kísérlettel is alátámasztja ezt a feltevést [1]. Az interneten olvasható írás arra szólítja fel olvasóit, hogy dobják ki mikrohullámú sütőjüket. Az angol nyelvű cikk magyarul is megjelent egy több mint százezres olvasótáborral rendelkező internetes lapon [2]. A nagy érdeklődés miatt elhatároztam, hogy szakörön felvetem a témát és megbeszéljük az írást.

A cikkben egy sussex-i diáklány a következő kísérletéről számol be, amelyet osztálytársai is megismételték, és ők is hasonló eredményt kaptak. A tanuló csapvizet forralt fel gáztűzhelyen, majd mikrohullámú sütőben. Két azonosnak tűnő növényt locsolt a folyadékokkal, és a 9. nap a mikrohullámú sütővel forralt vízzel öntözött növény elpusztult (1. ábra). Konklúzióknak a mikrohullámú sütő emberi egészséget károsító hatását hozta ki.

A szakörön az írást tanulmányozva a tanulókkal közösen arra jutottunk, hogy nem alapozták meg jól, esetleg helytelenül hajtották végre a kísérletet. A következő megjegyzések hangzottak el:

– Lehet, hogy sósavval öntötték le a bal oldali növényt (☹).

1. ábra. Az [1] cikkben közölt fotón a kísérlet 9. napi eredménye látható.



Köszönet Juhász András témavezetőmnek.

– Két növény kevés a kísérlethez.

– Lehet, hogy nem azonosak voltak a feltételek (fény, vízmennyiség).

– Lehet, hogy nem várta meg a diáklány, a mikrohullámú sütőben forralt víz kihűlését.

– Sehol egy számérték, grafikon.

– Az első napi felvételen összeér a két virágtartó, a kilencedik napon már nem, és a növény elfordult, tehát mozgatták a növényeket.

– A cikkben nem szerepelnek a diáktársak megismerését kísérletei (gyanúsnak tartották).

– Nem biztos, hogy azonos volt a talaj. (A talajfelszínen látható apró fehér foltok a jobb oldali képen nem változtak az első és a második nap között, de a „mikrós”-on igen, tehát ezt a talajt át is mozgatták, de miért?)

– Nem ismerjük a két növény előtörténetét.

– A diáklány tudta, hogy melyik vízzel locsolta, hiszen a virágtartóra ráírta, ezzel pedig befolyásolhatta a kísérlet kimenetelét.

– Egyéb befolyásoló tényező, például huzatban volt az egyik növény.

A kísérlet

A csoportból két diáklány vállalta, hogy csapvízzel, illetve esővízzel is megismétli a kísérletet, és elhatározták, hogy tudományos módszereket fognak alkalmazni. Azért bővítettük ki a kísérletet esővízzel, mert annak magasabb a szervesanyag-tartalma, és ezeken az anyagokon esetleg nagyobb roncsolást okoz a mikrohullámú sütő, ahogy a lap egy előző cikkében már írt róla [3]. Ha igaz az állítás, nagyobb különbségnek kell lenni az esővízzel végzett kísérleteknél. A tanulók a kísérletet kifejlődött növények helyett magokon végezték el, hiszen így a változásokat a kezdeti fejlődéstől lehetett megfigyelni.

A kísérlet elvégzése előtt az egyik diákot megbíztam, hogy készítsen néhány napos time lapse felvételt (2. ábra) 15 perces léptékben kis méretű tritikáléről



2. ábra. Tritikálé csíranövekedése. A csíranövekedés sebességének méréséhez készült film első és utolsó képkockájának felvétele között 6 nap telt el.

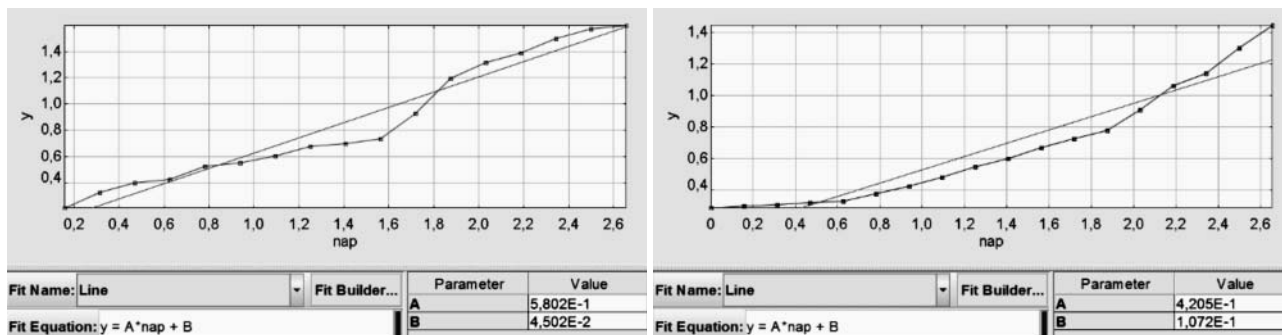
(a tritikálé a búza és a rozs keresztezésével létrehozott gabonaféle).

A magokat egy felbontatlan csomagból vette ki és egy befőttes üveg záró fedelén csíráztatta. A gabonáról készült felvételt a számítógép 6 napig 15 percenként automatikusan rögzítette. A kísérlet alatt a tanuló biztosította az állandó megvilágítást (nappal az ablakból jött természetes fény, éjszaka asztali lámpával világította meg), hogy a felvételen a csírák folyamatosan nyomon követhetők legyenek. A felvételt szakköri munkán elemeztük. Az elemzést azért végeztük el, hogy megfigyeljük, az azonos körülmények mellett milyen különbség van a csírázás folyamatában. A felvételen már szabad szemmel is észre lehetett venni, hogy a tálban véletlenszerűen elhelyezkedő magok nem azonos ütemben csíráznak. Pontos számszerű adatokat a videoanalízis adott (3. ábra).

Két, tetszőlegesen kiválasztott gabonaszem csírájának átlagos növekedési sebességét a videoanalízis $y-t$ grafikonjához illesztett egyenes meredeksége adta: $v_A = 0,6 \text{ cm/nap} \neq v_B = 0,4 \text{ cm/nap}$ (33%-os eltérés). Az $y-t$ grafikon t tengelyének kezdőértékét a csírázás kezdetéhez, azaz a filmfelvétel 3. napjához rendeltük. A kísérletből a tanulók megbizonyosodtak arról, hogy azonos körülmények között is várható (nem túl nagy) növekedési különbség a vizsgált növények között.

A kísérleteket két diáklány végezte otthon. Az egyikük 2 liter csapvizet forralt fel: 1 litert a gáztűzhelyen, 1 litert a mikrohullámú sütőben. A másik tanuló ugyanígy járt el, csak esővízzel. Az esővíz gyűjtésével várni kellett, így a csapvizet hamarabb kezdődött el. A literes flakonokat „mikro” és „gáz” feliratokkal jelölték meg és az iskolába hozták. A szertárban,

3. ábra. Két, véletlenszerűen kiválasztott tritikálé függőleges irányú csíranövekedése az idő függvényében.



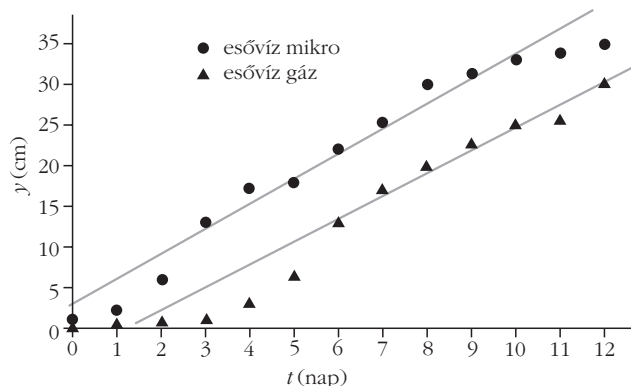


4. ábra. A vattára helyezett babszemek csírái a 15. napon.

teljes titokban a saját flakonjaimba öntöttem a „különböző” eljárásoknak kitett folyadékokat, majd „Einstein” és „Newton” feliratokkal láttam el őket. Ettől fogva már csak én tudtam, melyik flakonban melyik folyadék van. A tanulók a flakonokat hazavitték, és a boltból vásárolt azonos csomagból véletlenszerűen kiválasztott babokat azonos méretű műanyag tálkába helyezték. A tálkák alá vattapamacsot raktak, amibe naponta 5 ml folyadékot cseppentettek orvosi fecskendő segítségével. A tálaknak az „Albert” és az „Isaac” nevet adták, így tudták, melyik flakomból kell azokat locsolni. Az egyes tálakba több babot is tettek, felkészülve a csírázási növekedés – tritikálé vizsgálatánál tapasztalt – egyenetlenségeire. A kísérletről jegyzőkönyvet készítettek, amelyben minőségi és számértéki megfigyelés is szerepelt. A babokat minden nap délután 5 órakor lefényképezték és a csírák megjelenése után a legnagyobb csírákat milliméter pontosan megmérték (4. ábra).

Az értékeket táblázatba foglalták. Megfigyelésük szerint a csíráképződés a 6-7. napon indult meg (jóval később, mint a tritikálé esetében), a teljes kísérlet 20 napig tartott. Eredményeiket a szakkörre elhozva kiértékeltek. Ekkor azonosítottuk a folyadékokat is, ami különleges izgalmat keltett a tanulóknál. Az adatokat a Graph programmal koordinátarendszerben ábrázoltuk, majd a pontsorokra egyeneseket illesztettünk (5.

5. ábra. A kétféle módszerrel felforralt esővízzel öntözött babok függőleges irányú csíranövekedésének adatai a pontokra illesztett egyenesekkel. A növekedési ütemben nincs lényeges különbség.



1. táblázat

Az átlagos csíranövekedési sebesség az összetartozó értékek százalékos eltéréseivel

a növény és az öntöző víz jellemzői	átlagos növekedési sebesség (cm/nap)	eltérés
tritikálé „A” (csapvíz)	0,6	33%
tritikálé „B” (csapvíz)	0,4	
bab (csapvíz, mikro)	2	23%
bab (csapvíz, gáz)	2,6	
bab (esővíz, mikro)	3,1	10%
bab (esővíz, gáz)	2,8	

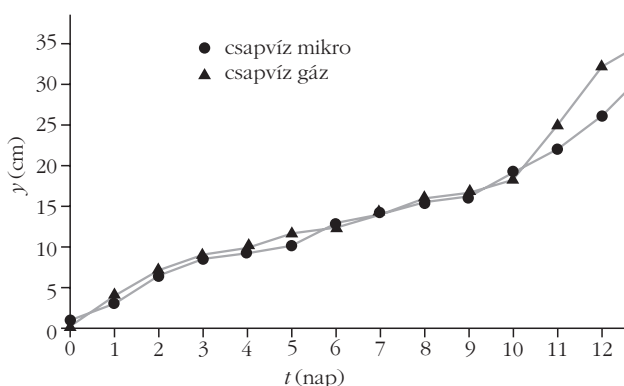
és 6. ábrák). Az egyenesek meredekségeit a programból kiolvastuk, így megkaptuk az átlagos növekedési sebességeket. A növekedési sebességeket és az összetartozó értékek százalékos eltéréseit táblázatba foglaltuk (1. táblázat).

A kísérlet eredményeinek összefoglalása

A kísérletben szereplő csapvíznél a gázzal forralt víz eredményezett nagyobb mértékű fejlődést, míg az esővíznél a mikrohullámúval forralt víz. Az összetartozó mennyiségek közötti százalékos eltérés viszont nem haladta meg az azonos körülményeknél előforduló különbségeket. A kísérleti eredményekből a tanulók azt a következtetést vonták le, hogy a babok csírázását nem befolyásolja az a körülmény, hogy milyen vízzel öntözik; előzőleg gázlángon vagy mikrohullámú sütőben felforralt vízzel. A felforralt esővíz és a csapvíz közötti különbség sem mutatott az átlagosnál nagyobb eltéréseket a csírafejlődésben. A csapvízzel öntözött babszemek csíranövekedési üteme hullámzó volt, ezt a környezeti viszonyok változásai okozhatták (fény, hőmérséklet stb.). Érdemes lehet a kísérletet nagyobb babszám-megismételni.

A mérés nagyon egyszerűen elvégezhető volt, a titkosság miatt a motivációt és az érdeklődést könnyen fenntarhattuk. A kísérleteket az átlagosnál nagyobb figyelem kísérte a kívülállók részéről, és itt

6. ábra. A kétféle módszerrel felforralt csapvízzel öntözött babok függőleges irányú csíranövekedésének adatai a növekedési ütemben nincs lényeges különbség.



nem csak a tanulókat érdemes megemlíteni, hanem a szülőket és rokonokat is. Az alkalmazott mérési módszer, mint egy adott kérdésre választ adó technika, növelte a fizika tantárgy elismerését. Véleményem szerint fontos, hogy a tanulók az interneten olvasott (esetleg tudományosnak tűnő) szövegeket képesek legyenek felülvizsgálni és ne kontroll nélkül fogadják el azt. Az internetes médián felnövő generáció sokkal jobban ki van szolgáltatva azoknak a befolyásoló tényezőknek, amelyek a kialakulóban lévő világgépeket esetlegesen torzíthatják. A csíráztatásokat ugyan

lánytanulók végezték, de a kísérlet elemzésénél szívesen közreműködtek a fiúk is. A kísérletsorozatban a téma általánossága miatt sikerült olyan tanulókat is mozgósítani, akik korábban nem mutattak nagyobb aktivitást a fizikaórákon.

Irodalom

1. <http://www.hfpt.co.uk/dispose-of-your-microwave>
2. <http://filantropikum.com/iskolas-kislany-bizonyította-be-hogy-káros-a-mikrohullamu-suto>
3. <http://filantropikum.com/miert-ne-hasznaljuk-a-mikrohullamu-sutot>

KRIPTON GÁZ NYOMÁSÁNAK MÉRÉSE IZZÓLÁMPÁBAN

Menich Péter,¹ Szabó László
Puskás Tivadar Távközlési Technikum
Infokommunikációs Szakközépiskola

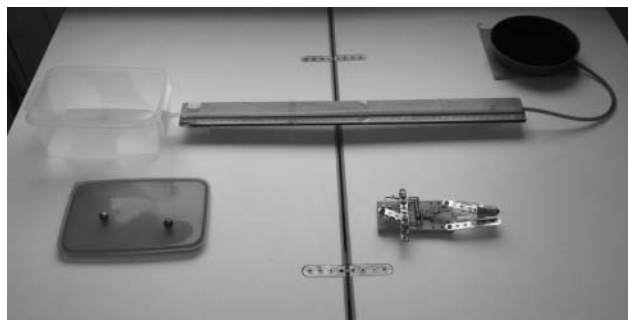
A kísérlettel egy 15 W teljesítményű 230 V-os, hűtőszekrényben használatos izzólámpában lévő gáz nyomását határozhatjuk meg. Mivel összetörjük az üvegbúrát, használjunk védőfelszerelést (kesztyű, védőszemüveg)!

Felhasznált eszközök:

- lezárható műanyag doboz (uzsonnás doboz),
- vékony átlátszó műanyag cső (vagy üvegcső),
- lapos edény (virágcserep alátét),
- festékes víz,
- vonalzó,
- egérfogó (csavarral a végén),
- mágnes,
- vasgolyó (1. ábra).

A dobozba helyezzük az izzólámpát és az élesített egérfogót. A dobozfedő külső oldalán mágnessel megfogjuk a belső oldalára helyezett vasgolyót és óvatosan lezárjuk a dobozt. Ezután felemeljük a mágnest, így a vasgolyó leesik az egérfogóra, az lecsap és a ráerősített csavar széttöri az izzólámpa búráját. Az izzólámpában a légkörinél alacsonyabb volt a nyomás, így a törés után az egész dobozban csökken a nyomás: a festett víz befolyik a csőbe. A víz addig folyik, amíg a külső nyomással ki nem egyenlítődik a dobozban lévő gázkeverék nyomása (2. ábra).

1. ábra



Elméleti áttekintés

A folyamatot leírhatjuk az ideális gáz állapotegyenletével, figyelembe véve, hogy a hőmérséklet állandónak tekinthető.

Alaphelyzetben a kriptonlámpában

$$p_{\text{lámpa}} V_{\text{búra}} = N_{\text{kripton}} k T, \quad (1)$$

valamint a doboz – ép lámpa – cső V_1 térfogatú rendszerében:

$$p_0 V_1 = N_{\text{levegő}} k T, \quad (2)$$

ahol p_0 a külső légnyomás; törés után a doboz – törött lámpa – cső V_2 térfogatú rendszerében:

$$p_0 V_2 = (N_{\text{kripton}} + N_{\text{levegő}}) k T \quad (3)$$

alakú az állapotegyenlet.

Az (1) és (2) egyenleteket összeadva a (3) egyenletet kapjuk, tehát:

$$p_{\text{lámpa}} V_{\text{búra}} + p_0 V_1 = p_0 V_2.$$

Felhasználva, hogy a kezdeti és végső térfogatra

$$V_1 = V_{\text{doboz}} - (V_{\text{egérfogó}} + V_{\text{golyó}} + V_{\text{búra}} + V_{\text{foglat}}) + V_{\text{cső}},$$

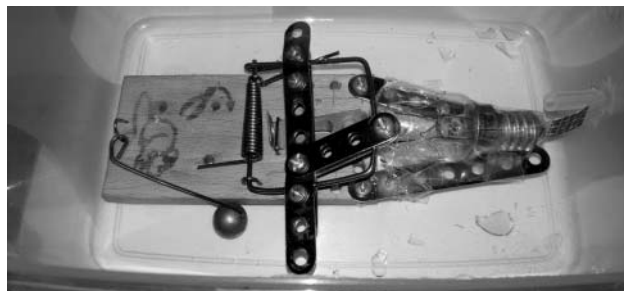
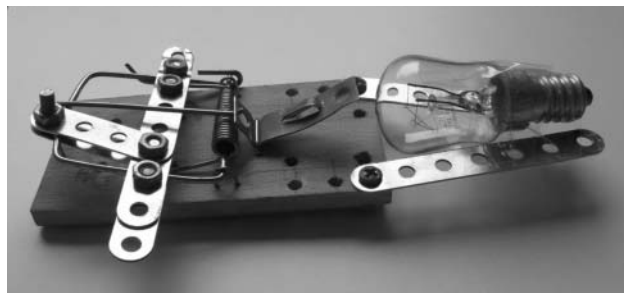
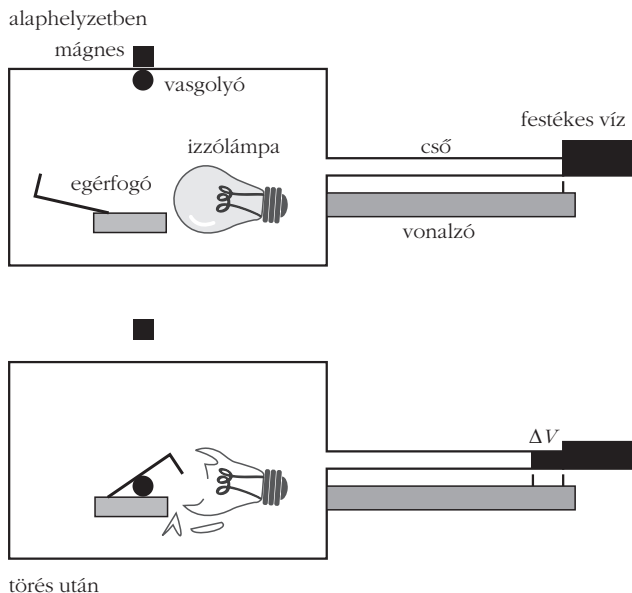
$$V_2 = V_{\text{doboz}} - (V_{\text{egérfogó}} + V_{\text{golyó}} + V_{\text{foglat}}) + V_{\text{cső}} - \Delta V_{\text{cső}},$$

ahol $\Delta V_{\text{cső}}$ a csőbe befolyt festett víz térfogata.

A lámpában lévő gáz nyomása

$$p_{\text{lámpa}} = p_0 \frac{V_2 - V_1}{V_{\text{búra}}} = p_0 \frac{V_{\text{búra}} - \Delta V_{\text{cső}}}{V_{\text{búra}}} = p_0 \left(1 - \frac{\Delta V_{\text{cső}}}{V_{\text{búra}}} \right).$$

¹ 11. osztályos tanuló.



2. ábra.

A mért adatokkal a lámpában uralkodó nyomás:

$$p_{\text{lámpa}} = 101,3 \text{ kPa} \left(1 - \frac{1,76 \text{ cm}^3}{18 \text{ cm}^3} \right) = 91,4 \text{ kPa},$$

ami keveset különbözik a külső légnyomástól.



A kísérletről rövid, mindössze fél perces videót készítettünk, ahol jól látható a térfogatsökkenés. Megtekinthető a <http://www.youtube.com/watch?v=A4QNXE9JlmY&feature=youtu.be> linken.

HÍREK – ESEMÉNYEK

HÍREK ITTHONRÓL

Jóhírünk a világban

Barna B. Péter, az MTA doktora, a Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Kutatóközpont Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet (MTA EK MFA) professzor emeritusa vehette át az R. F. Bunshah Award életműdíjat az anyagtudomány jeles képviselőinek részvételével megrendezett San Diegó-i konferencián. A magyar fizikus ezt követően előadásban összegezte az elmúlt évtizedekben elért eredményeit.

Az International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films immár 42. tanácskozásán tartott előadásában Barna B. Péter méltatta azon tudósok munkáját, akiknek meghatározó szerepük volt eredményei megalapozásában. Szólt a kutatócsoportját megalapító *Pócza Jenőről*, valamint *Barna Árpádról*. Pócza Jenő az 1950-es évek közepén,



a világ vezető laboratóriumaival egy időben ismerte fel, hogy a vékonyrétegek lehetnek a jövő új eszközeinek alapjai. Rájött, hogy a vékonyréteg-technológiákra jellemző, atomonként történő felépítéssel különleges, akár előre tervezhető anyagszerkezetek alakíthatók ki, amelyeknek sajátos, tömbanyagokban nem megvalósítható tulajdonságaik lehetnek. Kutatási programjában az atomonkénti szerkezetépülés alapjelenségeinek, törvényszerűségeinek, valamint a szerkezet és a fizikai-kémiai tulajdonságok közötti összefüggéseknek feltárását tűzte ki célul. Kísérleti módszerként a nanométer-tartományban lejátszódó folyamatok elektronmikroszkópos közvetlen megfigyelését és az elektromos tulajdonságok egyidejű mérését javasolta. Az erre alkalmas, a világon máig egyedülállóan komplex kísérleti berendezést Bar-

na Árpád tervezte és készítette el az 1960-as években. Barna B. Péter kiemelte: a két kiváló kutató 1963 és 1985 közötti elektronmikroszkópos kísérleteinek eredményeire építve lehetett kidolgozni a mai technológiák alapismereteit is magukba foglaló modelleket, amelyekről részletesen beszélt előadásában.

Barna B. Péter fizikai PhD doktori fokozatát a Magyar Tudományos Akadémián szerezte meg 1967-ben, majd ezt követően az MTA Műszaki Fizikai Kutatóintézet Vékonyréteg-fizika Osztályának vezetőjeként dolgozott. A debreceni Kossuth Lajos Tudományegyetemnek 1991-ben lett a professzora, 1999-ben szerezte

meg az MTA doktora címet. Szerzője, illetve társszerzője több mint 270 tudományos publikációnak, amelyek összesen több mint 1600 hivatkozást kaptak. Fő kutatói munkássága a vékonyrétegek fizikájára irányult, különös figyelemmel a felszíni jelenségekre, a kristálynövekedésre és a mikrostruktúrák fejlődésére. A magyar tudós úttörő jellegű munkát végzett a vékonyrétegek transzmissziós elektronmikroszkópos előállításának és növekedésének technikájában, valamint nagymértékben hozzájárult a vékonyrétegek szerkezete és sajátosságai közötti összefüggések felállításához.

MOL MesterM-díj 2015

A MOL (Magyarország legnagyobb olaj- és gázipari vállalata) elkötelezett támogatója a középiskolai természettudományos oktatás fejlesztésének, színvonala emelésének. Ezért 2010-ben létrehozta a MOL MesterM-díjat.

A díj célja, hogy a középiskolai kémia-, fizika- és matematikatanárok szakmai munkáját és tehetséggondozásban betöltött kiemelkedő szerepét elismerjék. A díjra a tanárok volt tanítványai, *egyetemi és főiskolai hallgatók jelöltették tanáraikat, ezzel is köszönetet mondva azért, hogy tanáruk*

- munkájával, személyiségével megszerettette velük a *kémia, fizika, vagy matematika tantárgyakat;*
- neki köszönhetik szakmai felkészültségüket, teljesítményüket;
- támogatta / megerősítette őket abban, hogy *műszaki, mérnöki, vagy esetleg természettudományos pályát válasszanak hivatásul.*

Azok a még aktív pedagógusok kaphatnak MesterM-díj elismerést, akik

- sokat tesznek azért, hogy minél több középiskolás diák fedezze fel a természettudományokban rejlő lehetőségeket;
- fontos szerepet töltenek be a tehetséggondozásban, többek közt a diákok versenyekre való felkészülésében, szakköri tevékenységekben;
- ezek mellett az alapvető kritériumok mellett sokat nyom a latban a jelölésben szereplő bármely más tényező is, amely a hallgatók szemében kiváló pedagógussá teszük a jelölt tanárt.



A 2015-ös felhívásra többszáz jelölés érkezett a MesterM-díjra, amelyből egy zsűri választotta ki a díjazottakat.

A MesterM-díjat idén Budapesten a Magyar Nemzeti Galériában ünnepélyes rendezvény és állófogadás keretében adták át összesen tíz középiskolai tanárnak.

Fizikából három kolléga kapott MesterM-díjat: *Jarosievítz Beáta* (SEK Budapest Általános Iskola és Gimnázium, Budapest), *Jendrék Miklós* (Boronkay György Műszaki Szakközépiskola és Gimnázium, Vác), valamint *Szittyai István* (Németh László Gimnázium, Általános Iskola, Hódmezővásárhely).

Gratulálunk a díjazottaknak!

A korábbi díjazottak névsora a MOL weboldalán, <http://mol.hu/hu/molrol/tarsadalmi-szerepvallalas/egyuttmukodeseink/oktatas#mol-mesterm-dij-2015> elérhető.

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

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

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

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

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

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

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

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

EURÓPAI ÉRDEKESSÉGEK A *EUROPHYSICS NEWS* VÁLOGATÁSÁBAN (2015. január–február)

Az EU kutatástámogatási versenyének győztesei és vesztesei

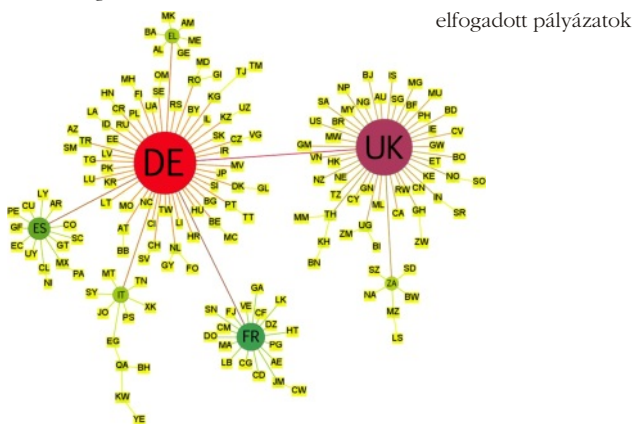
M. Tsouchnika, P. Argyrakis: Network of participants in European Research: accepted vs. rejected proposals. *Eur. Phys. J. B* 87(2014) 292.

Az EU-támogatás elnyerése függ a kutatási konzorcium jellegétől. Az Európai Unió pályázatok formájában olajozottan működő támogatási mechanizmust működtet a kutatási konzorciumok számára. A jövőző pályázóknak segíthet annak megértése, hogy milyen jellegű konzorciumoknak van esélye a támogatás elnyerésére. Egyben átláthatóbbá válik a közösségi alapok elköltésének módja. A szerzők értékes betekintést tesznek lehetővé abba, hogy milyen jellegű pályázatok a legesélyesebbek a támogatás elnyerésére.

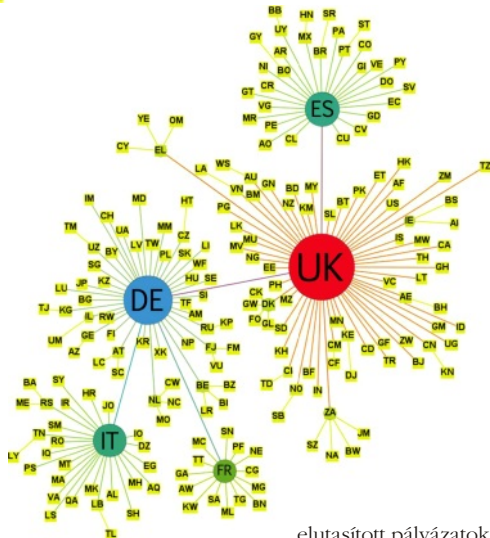
Azt találják, hogy a kis méretű intézmények partnerségével benyújtott pályázatok visszautasításának

Egy-egy reprezentatív minimális kifeszítő fa az FP7 keretben elfogadott és elutasított kutatási javaslatokat benyújtó országok hálózatára. Az ábrázolás jól megragadja az egyes országok közötti kölcsönhatások „gerincrendszerét” (ábra az eredeti cikkből).

elfogadott pályázatok



max.



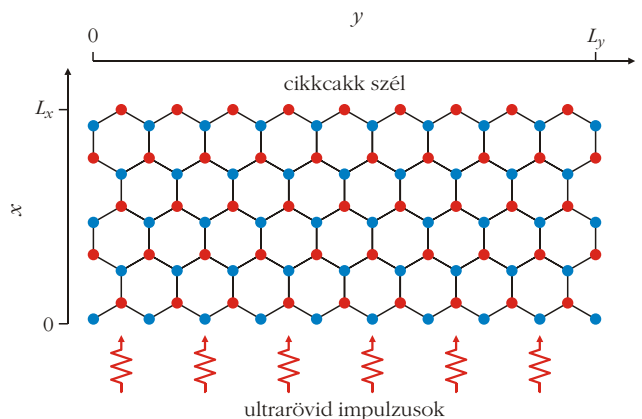
elutasított pályázatok

esélye a legnagyobb. Másik következtetésük szerint a nagy méretű intézmények preferálják a kicsikkel való együttműködést, amely konklúziófüggetlen attól, hogy nyertes vagy elutasított projekterveket elemeztek. Ez eltérő sajátosság a hasonló kölcsönhatásokra épülő egyéb szociális hálózatoktól. Végül kimutatták, hogy mindkét hálózati típusban ugyanaz az 5 ország intézményei a legbefolyásosabbak, nevezetesen a brit, francia, német, spanyol és olasz kutatóintézetek és egyetemek.

A grafén nanoláncok „rendelésre” változtatható vezetőképessége

D. Babajanov, D. U. Matrasulov, R. Egger: Particle Transport in Graphene Nanoribbon Driven by Ultrashort Pulses. *Eur. Phys. J. B* 87(2014) 258.

A szerzők elméleti modellt konstruáltak, amellyel a cikk-cakk geometriájú nanoláncok vezetőképességét ultrarövid lézermimpusokkal lehet szabályozni. A fizikusok első alkalommal adták az ultrarövid impulzusoknak kitett grafén vezetőképességének és más elektrontranszport-jelenségeknek részletes jellemzését. Mostanáig a grafén transzporttulajdonságainak tanulmányozásában a külső hatások, mint a télerősség vagy a periódusidő/frekvencia hatásának kiderítése játszott központi szerepet. Ez a kutatás hasznos lehet a grafénalapú elektronikai eszközök fejlesztésében, azon anyagok esetében, amelyek az ultrarövid impulzus hatására válnak vezetőkké, egyébként szigetelők.



Egy ultrarövid impulzusokkal hajtott cikk-cakk nanolánc vázlata (ábra az eredeti cikkből).

Közelebbről, a szerzők azt találták, hogy külső hajtóerő alkalmazásakor megnő a valencia- és vezetési sávok közötti elektronikus átmenet intenzitása. A cikk kimutatja, hogy az ilyen átmenetek nagyon rövid idő alatt drámai növekedésre vezetnek a vezetőképességben. Az eredmény lehetőséget ad az elektronikus tulajdonságok rövid, külső impulzusokkal történő hangolására.

MAGYAR TUDÓSOK ÉS MŰVÉSZEK SZÜLŐHÁZA

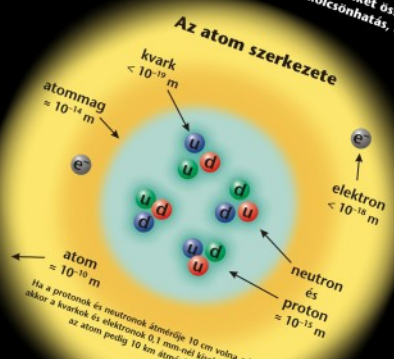
- akik Nyugaton alakították a 20. század történelmét és kultúráját

Z ELEMELI RÉSZECSKÉK ÉS ALAPVETŐ KÖLSÖNHATÁSOK

Standard Modellje

Az elemi részecskékre és alapvető kölcsönhatásokra vonatkozó jelenlegi legpontosabb ismereteinket összegzi a Standard Modell, amely az erős és egyesített elektromágneses kölcsönhatások elmélete. A gravitáció, jóllehet alapvető kölcsönhatás, nem része a Standard Modellnek.

leptonok (spin = 1/2)	jel/iz	tömeg GeV/c ²	elektromos töltés
elektron	e	< 10 ⁻⁶	0
muon	μ	0,000511	-1
tauon	τ	< 0,0002	0
neutrínó	ν	0,106	-1
...	...	< 0,02	0
...	...	1,7771	-1



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

erős - a kölcsönhatások közvetítői, spinjük: 0, 1, 2...	jel/név	tömeg GeV/c ²	elektromos töltés
gluon	g	0	0

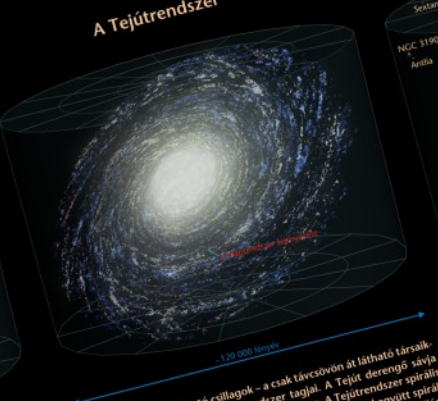
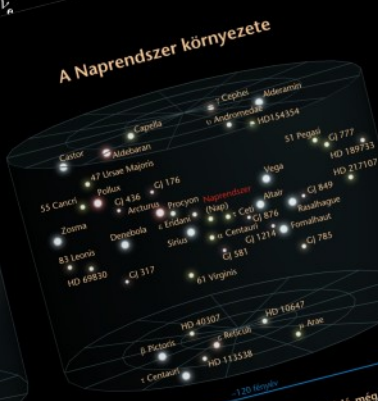
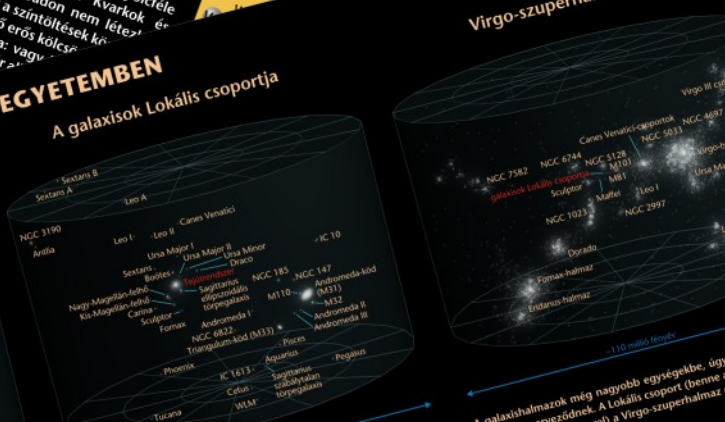
elektromágneses kölcsönhatások közvetítői, spinjük: 0, 1, 2...

erős - a kölcsönhatások közvetítői, spinjük: 0, 1, 2...	jel/név	tömeg GeV/c ²	elektromos töltés
gamma-foton	γ	0	0

A kölcsönhatások tulajdonságai

kölcsönhatás	erős	elektromágneses	gyenge
szintöltés	erős	gyenge	erős
kvarkok, gluonok	erős	gyenge	erős
gluonok	erős	gyenge	erős
25	erős	gyenge	erős
60	erős	gyenge	erős

HELYÜNK A VILÁGEGYETEMEN



A galaxisok túlnyomó többsége nem elszórtan helyezkedik el a térben, hanem csoportosulva. Néhány tucat tagból állnak a galaxiscsoportok, és több száz vagy akár ezer tagja is van a galaxis-halmazoknak. A Tejútrendszer a Lokális csoporthoz tartozik körülbelül 60 ismert galaxissal együtt. E csoport meghatározó tagjai a Tejútrendszer spirális csillagképe (M31) és a Triangulum-kód (M33) - mindhárom spirálgalaxis. Mellette számos szabálytalan és ellipszoidális törpegalaxis alkotja a Lokális csoportot.

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

A Naprendszer nem ér véget a Kuiper-övezetnél, kifelé még az üstökösöket tartalmazó Oort-felhő található, amelynek átmérője az 1 fényévet is meghaladja. A Naphoz legközelebbi csillag, a Proxima Centauri körülbelül 4,2 fényévre van tőlünk. A csillagok nem egyforma erősen sugároznak, ezért egy csillag látszó fényességéből nem lehet következtetni a távolságára. A csillag látszó fényességét (luminositását) a felszíni hőmérsékletétől és az átmérőjétől függ. Az égbolt legfényesebb csillaga a Sirius, 8,6 fényévre van tőlünk, jó néhány csillag ennél közelebbi. A legfényesebb csillagokra egyedi távolságneveket, a háttérben lévő csillagok távolságukat pedig sorszámaikkal hivatkozunk.

A szabad szemmel látható csillagok - a csak távcsővön át látható lárszálakkal együtt - galaxisunk, a Tejútrendszer tagjai. A Tejútrendszer spirális csillagképe a csillagok zöme a csillagközi anyag nagy részével együtt spirális csillagképek mentén tömörül. Becslések szerint a Tejútrendszer 200 milliárd csillagot alkotja.

Énergiaháztartása

A Föld energia-háztartása bolygónk körüli űrben lévő rendszerrel írja le, egy-egy légkör-erő, valamint az onnan származó hő- és fényenergia mennyiségeket. Ezek lehetnek a felületre eső sugárzás (fény és hő) - értékeit a CERES műhold méri fel a Föld felszínéről. A légkör felületre eső sugárzását a hosszúhullámú infravörös sugárzás - egyenlítői és poláris régiókban - mint az infravörös sugárzásból származó hővesztés, hőáramlás és párolgás - mérik fel. A légkör felületre eső sugárzását a légkör felületre eső sugárzásból származó hővesztés, hőáramlás és párolgás - mérik fel.

a légkör által elnyelt 77 W/m²

a felszín által visszavert 23 W/m²

infravörös kisugárzás 239,7 W/m²

a légkör által kibocsátott 170 W/m²

a légkör által elnyelt 358 W/m²

légköri ablak 40 W/m²

felhők által kibocsátott 30 W/m²

üvegházhatás 33 W/m²

POSZTEREINKET KERESD A FIZIKAISZEMLE.HU MELLÉKLETEK MENÜPONTJÁBAN!

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

