

fizikai szemle



2009/7–8

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

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztő bizottság:

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

Szerkesztő:

Füstöss László

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mailcíme:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>

A címlapon:

**Negyven évvel ezelőtt fordult elő első
alkalommal, hogy az ember szilárd
talajon állva nézhette a távoli Földet.**

TARTALOM

<i>Hraskó Péter:</i> A fizika axiomatizálásáról	229
<i>Vancsó Péter, Bíró László Péter, Márk Géza István:</i> Kvantum fónix – hullámcsomag-dinamika az interneten	233
<i>Kiss Péter, Csabai István, Lichtenberger János, Jánosi Imre:</i> Kozmikus sugárzás, időjárás, éghajlat: hol a hiányzó láncszem?	238
<i>Házi Gábor:</i> A rács-Boltzmann módszer	244
<i>Hargittai Magdolna, Hargittai István:</i> Nevek és hírnevek – Herzberg, Jahn, Renner, Teller és az elektron–rezgési kölcsönhatások	247
<i>Füstöss László:</i> Száz éve született Gombás Pál	251
A FIZIKA TANÍTÁSA	
<i>Beke Tamás:</i> Termoakusztikus projektfeladat Rijke-cső vizsgálatára	253
<i>Kopasz Katalin, Papp Katalin, Szabó M. Gyula, Szalai Tamás:</i> Üstökös az asztalon – Hogyan „főzzünk” csillagászati demonstrációs eszközöket?	257
<i>Jendrék Miklós:</i> Minden, ami ellenállás	260
Hogyan készítettem töltésmegkülönböztető elektroszkópot? (<i>Czétényi Benjámin</i>)	265
52. Középiskolai Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató (<i>Kopcsa József</i>)	266
<i>Vannay László, Fülöp Ferenc, Máthé József, Nagy Tamás:</i> A Fizika Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny harmadik fordulója, a második kategória részére	270
<i>Szatmáry Károly:</i> Egy „nem hivatalos” tanulmányi verseny sikeréről: a Galilei Országos Csillagászati Diákvetélkedő	275
Fogolydilemma és tojáshej-csontimplantátum az MFA nyári kutatótáborában	277
<i>Gyulai József:</i> Élt 65 évet... – Requiem egy tanszékért	278
<i>Hartmann Ervin:</i> BME Kísérleti Fizikai Tanszék 65 éve	278
VÉLEMÉNYEK	
<i>Theisz György:</i> Gondolatok az iskolai energiafoglalomhoz	281
KÖNYVESPOLC	283
HÍREK – ESEMÉNYEK	286
<i>P. Hraskó:</i> The axiomatization of physics	
<i>P. Vancsó, L. P. Bíró, G. I. Márk:</i> Quantum phoenix – the dynamics of wave groups on internet	
<i>P. Kiss, I. Csabai, J. Lichtenberger, I. Jánosi:</i> Cosmic rays, weather, climate – where to look for the missing link?	
<i>G. Házi:</i> The grid-Boltzmann method	
<i>M. Hargittai, I. Hargittai:</i> Names and fames: Herzberg, Jahn, Renner, and Teller, and the vibronic interactions	
<i>L. Füstöss:</i> The P. Gombás centenary	
TEACHING PHYSICS	
<i>T. Beke:</i> The study of Rijke-tubes	
<i>K. Kopasz, K. Papp, M. G. Szabó, T. Szalai:</i> Comet on the table – How to “cook” astronomic demonstration equipments	
<i>M. Jendrék:</i> Everything behaving like a resistor	
How I made an electroscope discerning the charge sign (<i>B. Czétényi</i>)	
52nd Meeting and Equipment Show of physics teachers (<i>J. Kopcsa</i>)	
<i>L. Vannay, F. Fülöp, J. Máthé, T. Nagy:</i> The 3rd round (2nd category) of the secondary school pupils’ contest in physics	
<i>K. Szatmáry:</i> A “non-official” but successful contest: the “Galileo” Astronomical Contest	
The summer research camp of MFA	
<i>J. Gyulai:</i> 65 years alive – an obituary of a TU department	
<i>E. Hartmann:</i> 65 years of the Department for Experimental Physics of the Technical University at Budapest	
OPINIONS, BOOKS, EVENTS	
<i>P. Hraskó:</i> Über die Axiomatisierung der Physik	
<i>P. Vancsó, L. P. Bíró, G. I. Márk:</i> Quanten-Phönixe – die Dynamik von Wellengruppen im Internet	
<i>P. Kiss, I. Csabai, J. Lichtenberger, I. Jánosi:</i> Kosmische Strahlung, Wetter, Klima – wo ist das fehlende Glied der Kette zu suchen?	
<i>G. Házi:</i> Die Gitter-Boltzmann-Methode	
<i>M. Hargittai, I. Hargittai:</i> Persönlichkeiten und Phänomene: Herzberg, Jahn, Renner, Teller, und die Wechselwirkungen aufgrund von Elektronen-Schwingungen	
<i>L. Füstöss:</i> P. Gombás vor hundert Jahren geboren	
PHYSIKUNTERRICHT	
<i>T. Beke:</i> Die Untersuchung von Rijke-Röhren	
<i>K. Kopasz, K. Papp, M. G. Szabó, T. Szalai:</i> Komet auf dem Tisch – wie “kocht” man astronomische Demonstrations-Objekte	
<i>M. Jendrék:</i> Alles, was sich wie ein Widerstand verhält	
Ein Elektroskop, das das Vorzeichen der Ladung aufzeigt (<i>B. Czétényi</i>)	
52. Landestreffen und Ausstellung der Physiklehrer (<i>J. Kopcsa</i>)	
<i>L. Vannay, F. Fülöp, J. Máthé, T. Nagy:</i> Die dritte Runde (zweite Kategorie) des Schüler Wettbewerbs in Physik	
<i>K. Szatmáry:</i> Ein erfolgreicher „inoffizieller” Wettbewerb: Der Galilei-Wettbewerb in Astronomie	
Das Sommerlager des MFA	
<i>J. Gyulai:</i> 65 Jahre am Leben – Requiem für einen Lehrstuhl	
<i>E. Hartmann:</i> 65 Jahre des Lehrstuhls für Experimentalphysik der TU Budapest	
MEINUNGSÄUSSERUNGEN, BÜCHER, EREIGNISSE	
ВНИМАНИЕ! По техническим причинам русская часть оглавления печатается отдельно на конце журнала.	

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LIX. évfolyam

7–8. szám

2009. július–augusztus

A FIZIKA AXIOMATIZÁLÁSÁRÓL

Hraskó Péter
Pécsi Tudományegyetem,
Elméleti Fizika Tanszék

A geometria, majd pedig az aritmetika axiomatizálásának két és félezer éves története a tudománytörténet egyik legambiciózusabb vállalkozása volt, amelyre csak a legnagyobb tisztelettel nézhetünk fel. Miért van az, hogy a fizikusok mégis inkább bizalmatlanul, mint elismeréssel tekintenek azokra a kollégáikra, akik a fizikában is ezt az utat akarják követni?

Az ok a fizika és a matematika tárgyában, feladatában és – ennek következtében – módszereiben rejlő fundamentális különbségekben keresendő. Ez annak ellenére van így, hogy a fizika a legpéldaszerűbben matematizált ága a természettudományoknak. Az alábbiakban ezekre a mélyenfekvő különbözőségekre próbálok majd rámutatni.

Mielőtt azonban ehhez hozzáfognék hangsúlyoznom kell, hogy axiomatikus módszerrel nem csupán azt értjük, hogy feltevéseket teszünk, és ezekből korrekt matematikai eljárással következtetéseket vonunk le. Ezt természetesen a fizikában is így csináljuk. Az axiomatikus módszer lényege máshol van, abban például, hogy egy axiomatizált elméletben vizsgálni illik az axiómák egymástól való függetlenségét és a rendszer ellentmondás-mentességét, és az axiómákon valamint az axiómákból levezetett tételeken kívül semmit sem szabad a bizonyításnál felhasználni. Az ezzel járó tömör szűkszavúság az axiomatikus tárgyalásmód jellegzetes ismérve. Az axiomatizálást ellenző elméleti fizikusok szerint az így értett axiomatikus módszer az, aminek nincs helye a fizikában.¹

¹ C. W. Kilmister és J. E. Reeve *Rational Mechanics* című könyvükben (Longmans, 1966) a newtoni mechanikát hét kiinduló feltevése alapozzák. Ezeket axiómáknak nevezik, és az elnevezéshez a könyv 50. oldalán ezt a megjegyzést fűzik: „Az axiómák kiválasztásánál nem törekedtünk arra, hogy minimális számú egymástól független axiómánk legyen; még ha ez lehetséges lenne is, nem biztos, hogy különösebben hasznos volna. A fő szempontunk az volt, hogy az olvasók elfogadhatónak találják őket és a kívánt eredményre vezessenek.”

A fizika alapfeltevései nem tekinthetők axiómáknak

Mindenekelőtt arra a különbözőségekre mutathatunk rá, ami a matematikai és a fizikai ismeretek *legitimációjában* fedezhető fel (hogy ezt a divatos politológiai kifejezést használjuk). Ez a különbözőség abból származik, hogy a matematika sajátos tárgyát a gondolkodás törvényszerűségei, a fizikáét pedig a „külvilág” törvényszerűségei képezik. Ebből következően az ismeretek igazolási módja (vagyis azon kritériumok természete, amelyek alapján elfogadjuk őket), a matematikában *belső*, a fizikában *külső*. Úgy gondolom, ezek a jelzők elég világosan utalnak rá, mire gondolok, mégis hasznos lehet egy konkrét példa.

A 18–19. század folyamán egyre nagyobb pontossággal igazolták, hogy minden test súlyos és tehetetlen tömege – a test anyagi minőségétől függetlenül – egyenlő egymással. Egy piros és egy fehér biliárdgolyó tehetetlen tömege akkor egyenlő egymással, ha centrális ütközésnél a nyugvó piros golyó teljesen átveszi a fehér golyó sebességét, és ezért a fehér golyó az ütközés után megáll. A súlyos tömegük pedig akkor egyenlő, amikor a rugósmérleg mindkettőnél ugyanazt a súlyt mutatja. A két megfigyelés egymástól teljesen eltérő természetű, mégis mindig igaz, hogy ha az egyik kísérlet szerint a tömegek egyenlőnek bizonyultak, akkor a másik kísérlet szerint is egyenlők egymással.

A newtoni fizika nem nyújtott semmiféle magyarázatot erre a meglepő tapasztalati tényre, a rejtélyt csak *Einsteinnek* sikerült tisztáznia. Einstein megoldása az volt, hogy *posztulálta* a kétfajta tömeg egyenlőségét, erre a posztulátumra felépített egy teljesen új gravitációelméletet, amelynek struktúrája olyan, hogy a testeknek *egy és ugyanazon* paramétere jelenik meg mindkét kísérlet leírásában. Az új elmélet nézőpontjára

ból ezért fel sem merülhet annak lehetősége, hogy ez két paraméter – a newtoni fizika súlyos és tehetetlen tömege – különbözzön egymástól.

Állítsuk most párhuzamba ezt a valódi fizikus-történetet egy kitalált matematikus-történettel. A súlyos és a tehetetlen tömeg egyenlőségének még megoldatlan problémáját feleltessük meg annak az „empirikus” ténynek, hogy bármely páros szám felbontható két prímszám összegére (*Goldbach-sejtés*). Tegyük fel most, hogy valaki úgy oldja meg ezt a rejtélyt, ahogy Einstein tette a kétfajta tömeggel: *posztulálja*, hogy minden egész szám felírható két prímszám összegeként. Ezután annak érdekében, hogy ez biztosan ne mondjon ellent az aritmetikának, az aritmetika Peano-féle axiómarendszerét sikeresen helyettesíti egy másik ugyancsak ellentmondásmentes axiómarendszerrel, amelynek egyik axiómája éppen az, hogy az egész számok között nincsenek olyanok, amelyek nem állíthatók elő két prímszám összegeként.

A példa matematikai része mesterkéltnél, de úgy gondolom, tényleg van hasonlóság a valódi fizikai és a kitalált matematikai szituáció között. Azonban biztosan lényegesen különböznek abban, hogy mikor tekintjük a javasolt megoldást elfogadhatónak.

Az általános relativitáselmélet esetében az olyan tapasztalati tények perdöntőek, mint a Merkúr perihélium-vándorlása, a fénysugár elhajlása a Nap körül, és természetesen az, hogy a feltevésnek nincs egyetlenegy olyan következménye se, amely végzetesen ellentmondana a tapasztalatnak.

A matematikai példában a javaslat mellett vagy ellen nem lehet érvelni azzal, hogy tapasztalatilag igaz-e vagy sem, mert ez a kritérium axiómákra nem alkalmazható. Itt csak arról lehet szó, hogy elég érdekes és tartalmas séma építhető-e fel az új axiómákra ahhoz, hogy a matematikusok cikkeket írassanak róla. Gondoljunk csak meg: amikor *Bolyai* és *Lobachevszkij* az euklideszi V. posztulátumot az ellenkezőjével cserélte fel, nem azért teremtett ezzel „új világot”, mert kiderült, hogy fizikai világunkban az új geometria érvényes. Az új világnak csak a *logikai lehetőségét* mutatták meg, mégis méltán nevezhetjük felfedezésüket korszakalkotónak, teljesen függetlenül attól, hogy a fizikai világ geometriája euklideszi vagy sem. Ma úgy tudjuk, hogy a Világegyetem nagyléptékű geometriája *lehet* Bolyai-geometria,² de erre végső soron a súlyos és a tehetetlen tömeg tapasztalati egyenlősége vezetett rá.

Ez az oka annak, hogy a súlyos és a tehetetlen tömeg einsteini feltételezését semmiképpen sem tekinthetjük axiómának, ha nem akarunk ezzel a kifejezéssel visszaélni, vagyis teljes jelentés-udvarával (összes konnotációjával) együtt fogjuk fel. Az axióma fogalmába *ma már* beletartozik, hogy szabadon választható, mert nem meghatározott objektumok tulajdonságát fejezi ki, azaz nincs *jelentése*. *Eukleidész*nél még

volt, de ez a felfogás mára már teljesen elavult. Az axiomatikában ma már nem sajátos tárgyak természetéről, hanem a bizonyítások struktúrájáról, *bizonyítás-elméletéről* van szó. *Bertrand Russel* frivol megjegyzése szerint „a tiszta matematika olyan tudomány, amelyben sem azt nem tudjuk, hogy miről beszélünk, sem azt, hogy igaz-e, amit mondunk.”³

Egy fizikai kijelentés ezzel szemben csak akkor érdekes, ha tudjuk, mire vonatkozik, és következményei falszifikálhatók (vagyis létezik olyan kísérlet, amelynek alapján eldönthető, hogy igaz-e). *Ezért* súlyosan félrevezető axiomatizálást ígérni a fizikában a szó teljes értelmében.⁴

A fontosság mérlegelésének szükségessége

Az axiomatizálás kérdéskörével szorosan összefügg, hogy a fizikában az alapfeltevésekkel egyenlően fontos szerepet játszik a *feltevések alkalmazhatóságának mérlegelése* a különböző konkrét esetekben.⁵ Nem arról van szó, hogy a rendszerint kis számú felkínálható feltevés közül melyiket válasszuk, hanem arról, hogy egy konkrét alapfeltevés alkalmazható-e a szóbanforgó fizikai szituációban vagy sem. Vagyis arról kell folyamatosan dönteni, hogy a körülmények kusza halmazában melyik az a néhány összetevő, ami *fontos*.

A bizonyításelméletben ilyesmi nem fordulhat elő. Azon természetesen el lehet gondolkozni, hogy egy bizonyítás adott szakaszában melyik axiómát célszerű alkalmazni, de arról szó sem lehet, hogy szubjektív mér-

³ Mint már szó volt róla, az axiomatikus módszerhez nemcsak az tartozik hozzá, hogy csak az lehet tétel, amit az axiómákból lehet levezetni a transzformációs szabályok alapján, hanem az ellentmondás-mentesség analízise is. Ennek egyik legfontosabb eljárása a *modellezés*. Ha objektumok egy halmazáról sikerül megmutatni, hogy realizálják az axiómarendszer összes axiómáját, akkor az axiómarendszer nem lehet önellentmondó, mert ezek a tárgyak léteznek, és *a létezőben nincs ellentmondás*. A matematikában ennek a módszernek a hatékonysága elég korlátozott, mert az igazán érdekes esetekben nem lehet „tárgyakkal” realizálni egy axiómarendszert, hanem csak legfeljebb egy másik axiómarendszerrel. De még így is érdekes eredményeket lehet kapni. *Klein* és *Poincaré* ezzel a módszerrel mutatta meg, hogy a Bolyai-geometria ellentmondásmentes, ha az euklideszi az, *Hilbert* pedig a Bolyai-geometria ellentmondás-mentességét az aritmetika ellentmondás-mentességére vezette vissza.

A fizika számára a „létezőben nincs ellentmondás” elvből az következik, hogy ha a fizika a tapasztalat folyamatos kontrollja alatt fejlődik, vagyis a kísérleti eredmények „visszaigazolják” az elgondolások helyességét, akkor nem szükséges még külön gondoskodni az ellentmondás-mentességről, hiszen ekkor a természet maga az elmélet létező modellje.

⁴ A fizikai feltevéseket legfeljebb a *posztmodern* (teljesebb nevén az *ismeretelméleti szkeptícizmus*) nézőpontjából tekinthetjük önkényesen választható axiómáknak. Ez az ókorig visszanyúló felfogás ugyanis azt vallja, hogy a természet minden lehetséges „olvasata” egyenértékű egymással. A modern tudomány *módszertani szkeptícizmus*a azonban megcáfolja ezt a véleményt.

⁵ Lehet-e a földgolyót pontszerűnek tekinteni? A fizikában még ezt is teljesen abszurd feltételezést is elfogadjuk annak érdekében, hogy a Kepler-törvényeket levezethessük a newtoni gravitációelméletben vagy az általános relativitáselméletben. De ha a Föld forgástengelyének lassú precesszióját is meg akarjuk érteni, akkor már nem tekinthetjük a Földet tömegpontnak. Akkor pedig végképp nem tehetjük ezt meg, ha Buda egyik végéből Pest másik végébe kell utaznunk.

² A ma elfogadott álláspont szerint a megfigyelések az euklideszi teret favorizálják a két másik lehetőséggel, a háromdimenziós gömbbel és a háromdimenziós Bolyai-térrel szemben.

legelés alapján döntsük el, mikor érvényes egy axióma, mikor nem. Egy olyan axióma ugyanis, amely nem tartalmazza egyértelműen alkalmazhatóságának feltételeit, hiányosan van megfogalmazva (nem axióma).

A fizika alapfeltevéseivel viszont mindig pont ez a helyzet, mert lehetetlen egyértelműen körülhatárolni azokat a természeti körülményeket, amelyek mellett egy feltevés érvényes. Ezt minden esetben mérlegelni kell, és a döntés nem mindig könnyű. Meggyőződés, hogy a mérlegelés aktusában van redukálhatatlan összetevő, és ennek következtében a természettudomány működése nem formalizálható. Ezért amikor valaki azt állítja magáról, hogy axiomatikus fizikát űz, ezzel akarva-akaratlanul azzal hiteget, hogy megszabadít a fontosság mérlegelésének kényszerétől, ez pedig semmiképpen sem lehet igaz (és ráadásul egyáltalán nem is vonzó perspektíva, hiszen a mérlegelés a fizikusság egyik legélvezetesebb tevékenysége).

Folyamodjunk megint egy fizikatörténeti példához. 1824-ben jelent meg *Sadi Carnot* könyve a „Carnot-ciklusról”. Carnot a perpetuum mobile lehetetlenségének meggyőződéses híve volt, de még a hőanyagelmélet (kalorikum) talaján állt. Ez a korszakalkotó munkája is a hőanyagelméleten alapult.

Carnot elméletének fő eredménye az volt, hogy a hőerőgépek működtetéséhez két hőtartályra van szükség: egy magas és egy alacsony hőmérsékletűre. Így érvelt: ha egy hegyi tó potenciális energiájának egy részét mozgási energiává akarjuk átalakítani, lehetővé kell tennünk, hogy a víz alacsonyabb szintre zuhanjon. Ha a lezúdult víz potenciális energiája a magasabb szinten U_1 volt, az alacsonyabb szinten pedig U_2 , akkor maximálisan $U_1 - U_2$ mozgási energiára tehetünk szert, tehát a maximális hatásfok $(U_1 - U_2)/U_1$ -gyel egyenlő.

Carnot „mérlegelte ezt a dolgot” és úgy találta, hogy ez a mechanikai képlet alkalmazható a hőanyagra is, ha potenciális energián a hőmérsékletet értjük, és ezzel felfedezte a termodinamika máig érvényes formuláját, amely szerint a hőerőgépek maximális hatásfoka $(T_1 - T_2)/T_1$.

Huszonöt évvel később *William Thomson* (a későbbi *Lord Kelvin*) is „mérlegelte a dolgot” és még mindig a hőanyagelmélet alapján rámutatott, hogy Carnot kihagyott egy fontos (!) szempontot. Amikor a víz lezúdul a hegyről és közben vízimalmot hajt, kisebb sebességgel érkezik a völgybe, mint amikor nincs ott a vízimalom. Carnot elképzeléséből ez az elem hiányzik, ezért rosszul „mérlegelte a helyzetet”, analógiája sántít. Thomson kritikája helyénvalónak bizonyult, Carnot gondolatmenete ma már csupán fizikatörténeti kuriózum.

Egy bizonyításméleten csiszolódott elme ebből a történetből könnyen levonhatja azt a következtetést, hogy a fizika egyszerűen összevissza beszéd, amire csak a gyengeelméjűségnek kijáró elnézéssel lehet tekinteni, vagy – legjobb esetben – tragikomédia.⁶ De ez súlyos félreértés. Ami itt történt, az *maga volt a*

működő fizika, Ember és Természet birkózásában a „fogáskeresés” stádiuma, amely elkerülhetetlen kezdeti szakasz a természettudományban, amikor új területre merészkedik.⁷ Ha sikerülne megtisztítani a fizikát ettől a „termékenyen zavaros” gondolkozásmódtól, akkor biztosan a halálát okoznánk.



Tény azonban, hogy éppen a termodinamika az a területe a fizikának, ahol talán a legerősebb volt a törekvés az axiomatizálásra. A hő, ami a kalorikum helyébe lépett, a hőanyagnál sokkal nehezebben felfogható entitás. A hőanyaggal ellentétben ugyanis a testekben nincs meghatározott mennyiségű hő, a termodinamikában mégis folyamatosan ennek a nemlétező valaminek a változásáról van szó. Vagy vegyük a reverzibilis folyamat fogalmát, ami alapvető, csak éppen nem lehet megvalósítani.

Teljesen érthető az a remény, hogy az axiomatikus módszer bevetésével esetleg nagyobb világosságot lehet teremteni. Folyamatosan történtek ilyen próbálkozások. Az első és talán legismertebb a *Constantin Carathéodory* (1909), amelyet később *Max Born* népszerűsített. Ha azok a másodlagos források, amelyekből erről a próbálkozásról olvastam, igazat beszélnek, Carathéodory nagyon különös módon fogott hozzá a feladatához.

Azt a kérdést tette fel, hogy vajon hogyan jutnának el a hő és a hőmérséklet fogalmához a „disztermiás” gondolkozó lények, akiknek egyáltalán nincs hőérzetük. Ezután megmutatja, milyen kísérletek azok, amelyek – logikus gondolkozást föltéve – végül is elkalauzolják őket ezekhez a fogalmakhoz.

Disztermiás fizikusaink véletlenül rájöhetnek, hogy ha speciális falú edényt készítenek, amely dugattyúval van ellátva, akkor az edénybe töltött gáz nyomása nem változik meg, akármilyen közegbe mártják is bele: akár forrásban levő vízbe (nem tudják, hogy nagyon meleg!), akár olvadó jégbe (nem tudják, hogy nagyon hideg!). Aztán készítenek hasonló edényt olyan anyagból is, amelyben a gáz nyomása függ attól, hogy milyen közegbe tették. Az első edényt elnevezik adiabatikusnak, a másodikat diatermikusnak... Carathéodory megmutatta, hogy ezen az úton is el lehet jutni a termodinamikához.

Biztosan igaza volt, de milyen általános érvényű tanulság vonható le mindebből? Az, hogy érzékszerveink csak akadályoznak abban, hogy a természetet megértsük? Esetleg az optikát is akkor értenénk meg jobban, ha vakok lennénk? A fizikában valójában rengeteg olyan entitással van dolgunk, amelyek az érzékszerveink számára hozzáférhetetlenek, ezért a Carathéodory által elképzelt szituáció nagyon is gyakori. Az elektromos és a mágneses tér közvetlen érzékelése nincs alkalmas érzékszervünk, mégis van elektrodinamikánk. Vajon nehezebb lett volna a Maxwell-

⁶ C. A. Truesdell: *The Tragicomical History of Thermodynamics, 1822–1854*. New York: Springer-Verlag, 1980.

⁷ Ugyanezt a „fogáskeresést” figyelhetjük meg a maghasadás felfedezésének a történetében is (lásd az *Epizódok a maghasadás felfedezésének történetéből* című cikkemet a *Természet Világa* 2004. I. különszámában).

egyenleteket megtalálni, ha a költöző madarakhoz hasonlóan mi is tudnánk közvetlenül érzékelni a mágneses teret?

Talán helyénvaló, ha idézek abból a magnós interjúból, amelyet *Frenkel Andor* készített 2004-ben *Tisza László*val Bostonban. Az interjú idején Tisza volt az egyedüli olyan élő szemtanú, aki a 20-as évek második felétől kezdve közelről figyelhette a fizika nagy eseményeit. 1934 és 1937 között Harkovban „inaskodott” *Lev Davidovics Landaun*ál (aki egyébként egy évvel fiatalabb volt nála). Ezzel az inaskodással kapcsolatban tette fel Tiszának Frenkel a kérdést, hogy választott-e Harkovban magának egy konkrét problémát, amin dolgozott. Tisza válasza ez volt⁸:

„A témaválasztásnak rituális rendje volt. Először is mindenkinek le kellett vizsgáznia a »teorminimum«-ból, amelyet később »Landau-minimum«-nak neveztek. Erre egy tematikai összefoglaló alapján készülhettünk fel. Kérhettem volna, hogy tegyenek velem kivételt, de nem kértem. Landau minden sikeres vizsgázó pályáját figyelemmel kísérte. Az élete végéig vezetett listán az ötödik vagyok – az egyetlen külföldi. Az anyagot részterületekre osztották, és mindegyikből szóbeli vizsgát kellett tenni Landaunál. Matematikából és klasszikus mechanikából felmentett, az első vizsgát termodinamikából kellett letennem. Rögtön bajba kerültem. Mint már említettem, Max Born-tól tanultam termodinamikát. Landau felfogása nem is különbözhetett volna jobban Bornétól. Born Carathéodory szellemében fektette le az alapokat. Önéletrajzából tudjuk, hogy az alapelvet ő javasolta Carathéodorynak. Mint már említettem, úgy találta, hogy Carathéodory dolgozata túlságosan elvont a fizikusok számára, és három cikkből álló sorozatot írt, amelyben az elméletet emészthetőbbé tette. Ezt a változatot adta elő azon a kurzuson, amelyikre jártam.

Born szerint a termodinamika gyönyörű, de a fizikának tökéletesen kidolgozott ága volt; Landau úgy látta, hogy folyamatosan fejlődik. Ennek megfelelően Landau lebontotta azokat a határokat, amelyeket Born emelt, amikor ezt a területet mindentől el akarta választani. A Born-féle termodinamika klasszikus, és nem kapcsolódik sem a statisztikus fizikához, sem a kvantummechanikához. Landau szerint a termodinamika statisztikus és kvantum, fejlődésben lévő diszciplína. A vizsgán fogalmam sem volt, miről beszél, meg is buktam. A csoport egyik tagja, *Pjatigorszkij* megszánt, és kölcsönadta a Landau-féle termodinamika rövid összefoglalóját. El voltam ragadtatva tőle, és le is tettem a vizsgát.”

David Hilbert

David Hilbert nemcsak a matematikában képez külön fejezetet, hanem a fizika axiomatizálásának területén is.

Az elméleti fizika rengeteget köszönhet a matematikus Hilbertnek. Kettőt emelnék ki ezek közül. Elő-

ször is a lineáris integrálegyenletek elméletében elért eredményeit, ezen belül a Hilbert-tér fogalmának megalkotását, amely a kvantumelmélet matematikai apparátusának alapját képezi. A másik terület a variációs elvek és módszerek. Itt Hilbert talán legjelentősebb eredménye a fizika számára az általános relativitáselmélet téregyenletének származtatása egy egyszerű variációs elvből.

Hilbert körülbelül két évtizeden keresztül, nagyjából 1900 és 1920 között folyamatosan foglalkozott fizikával, rendszeresen tartott egyetemi kurzusokat a fizika különböző ágairól. Előtte a geometria axiomatizálásának területén publikált jelentős eredményeket (az euklideszi axiómarendszert öntötte modern formába), utána pedig a bizonyításelmélet róla elnevezett formalista felfogását dolgozta ki. Egyáltalán nem meglepő, hogy közben a fizika axiomatizálására is jelentős erőfeszítéseket tett.

Egy Tel Aviv-i tudománytörténész, *Leo Corry* az utóbbi tízegynéhány évben kritikai vizsgálat alá vette Hilbertnek a fizika axiomatizálásával foglalkozó dolgozatait. A konklúzióit 2004-ben egy könyvben publikálta.⁹ Az alábbiakban Corry következtetéseit foglalom össze dióhéjban.

Hilbert axiomatizálási törekvései kiterjedtek a fizika összes fontos területére (mechanika, statisztikus fizika, termodinamika, elektrodinamika). Valószínűleg Born és Carathéodory is innen merítették az indítást a termodinamika axiomatizálására. Hilbert, amikor a fizika axiomatizálásáról írt vagy beszélt, ezt a kifejezést az axiomatikus módszer matematikában elfogadott értelmében használta, és úgy állította be a dolgot, hogy a fizikában pontosan ugyanolyan cél vezet, mint az euklideszi geometria sikeres axiomatizálásánál. Corry konklúziója szerint azonban a két axiomatizálás semmiképpen sem mérhető össze egymással. Hilbert ezt sohasem ismerte el, pedig sokszor kényszerült rá, hogy a bírálatok hatása alatt az axiómáit átfogalmazza. Az is előfordult, hogy a későbbi séma ellentmondott a korábbinak, de Hilbert ezt következetesen tagadta.

A bírálatok időnként igencsak hevesek voltak. Ez különösen a hőmérsékleti sugárzás axiomatizálása kapcsán dokumentálható. 1913-ban Hilbert úgy ítélte meg, hogy *Kirchhoff* nevezetes törvényének¹⁰ igazolása nem üti meg a szigorúság elvárható mértékét, és azt állította, hogy axiomatikus alapon szigorú bizonyítást adott rá.

Hilbert bizonyítása azonban indulatos reakciót váltott ki annak a berlini kísérleti csoportnak a tagjaiból, akiknek a mérései alapján vezette be bő tíz évvel korábban *Max Planck* a róla elnevezett *b* állandót. A

⁹ Leo Corry: *Hilbert and the Axiomatization of Physics (1898–1918)*. Dordrecht: Kluwer, 2004.

¹⁰ Emlékeztetek a Kirchhoff-törvényre: minden test elnyeli a rá eső elektromágneses sugárzás egy részét és maga is képes ilyen sugárzást kibocsátani. Ezeket a tulajdonságokat két koeficienssel, az *A* abszorpció és az *E* emissziós koeficienssel lehet jellemezni, amelyek anyagról anyagra erősen változnak. *Arányuk* azonban univerzális, és csak a hőmérséklettől valamint a hullámhossztól függ.

⁸ *Természet Világa* 2004/4.

csoport véleményét *Ernst Pringsheim* fogalmazta meg cikk formájában. A bíráló lényege az volt, hogy Hilbert olyan feltevéseket fogad el axiómaként, amelyeket a fizikusok szerint bizonyítani kell,¹¹ és ugyanakkor olyan irányban általánosít, ami a fizikusok szerint érdektelen. Mint látható, a vita tényleg arról szólt, hogy a jelenségekben ki mit tart *fontosnak*. A fizikában ez elkerülhetetlen, és aláaknáz minden axiomatizálási kísérletet.

Volt Hilbert fizikájának egy csendes bírálója is, aki csak magánlevélben tett elmarasztaló észrevételeket: Albert Einstein. Már említettem, hogy Hilbertnek maradandó érdemei vannak az általános relativitáselmélet variációs elvként történő megfogalmazásában. Van egy kitűnő könyv, *A modern gravitációelmélet kialakulása* (szerzője V. P. Vizgin, magyarul is megjelent *Illy József* fordításában), amely mintaszerűen elemzi Hilbert hozzájárulását az általános relativitáselmülethez.¹² Itt most a kérdésnek csak egyetlen aspektusát emelem ki: Vizgin megerősíti Einstein véle-

¹¹ Például azt, hogy a sugárzás külön-külön minden hullámhosszon egyensúlyban van önmagával. Kirchhoff törvénye az előző lábjegyzetben idézett formájában erre az esetre vonatkozik. Amikor a falak szórják a fényt és/vagy fluoreszkálnak, a Kirchhoff-törvény gyengébb formában érvényes (lásd Landau, Lifsic: *Statistikusi fizika* kötetében a *Fekete sugárzás* című fejezetet).

¹² W. Isaacson nemrég megjelent Einstein-életrajzában (Alexandra, 2009) újonnan előkerült dokumentumokat is felhasznál arra, hogy tisztázza Hilbert szerepét az általános relativitáselmélet létrejöttében.

ményét, hogy Hilbert – miközben tökéletesen megértette a probléma matematikai oldalát – az elmélet fizikai tartalmát súlyosan félreértette. Vizgin (és egyébként Corry is) hivatkozik Einstein 1916-ban *Hermann Weyl*hez írott leveléből az alábbi sorokra, amelyeket az utolsó mondat miatt idézek:

„Gyerekesnek tűnik Hilbertnek az anyagra vonatkozó föltevése, olyan gyerekre gondolok, aki nem ismeri a világ álnokságát... Semmiképp sem lehet helyeselni, hogy a relativitási posztulátumból következő komoly megfontolásokat az elektron vagy az anyag fölépítésére vonatkozó ily kockázatos és alaptalan föltevésekkel zavarjanak össze. Készséggel elismerem, hogy az elektron szerkezetére vonatkozó alkalmas föltevés, illetve Hamilton-függvény felkutatása ma az elmélet egyik legégetőbb feladata. Az »axiomatikus módszer« azonban aligha segíthet.”



Befejezésül újra aláhúzom, hogy a fizikában az egyes törvények alkalmazását mindig megelőzi annak mérlegelése, hogy a vizsgált jelenség szempontjából a megfigyelés konkrét körülményei között milyen hatásokat kell lényegesnek, illetve lényegtelennek tekinteni. Az axiomatizálás erről eltereli a figyelmet, mert az egzaktság illúzióját nyújtja. Ezzel fontos igényt elégít ki: a *bizonyosság* utáni vágyat. Lehet, hogy gyakran ezért élük meg az axiómarendszerek kidolgozói *inzultusként* a bírálatot. Ez a reakció még egy Hilbert méretű zseninél is megfigyelhető.

KVANTUM FŐNIX – HULLÁMCSOMAG-DINAMIKA AZ INTERNETEN

Vancsó Péter, Biró László Péter, Márk Géza István
MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet
Nanoszerkezetek Osztály

A kvantummechanika ismerete alapvető fontosságú, hogy megértsük a körülöttünk lévő természetet, annak működését. Az elektronok mozgásának, az atomok és molekulák tulajdonságainak leírásához a klasszikus fizika törvényei (már) nem elegendők. Habár az a mikroszkopikus méret- és időtartomány, amelyben a kvantummechanika törvényei érvényesek, távol esik emberi világunk méret- és időskálájától, ez a tudomány mégsem csupán a kutatók birodalma. A 21. század elején az embereket a mindennapokban körülvevő modern technikai eszközök [1] – például tranzisztor, lézer – működésének megértésénél is nélkülözhetetlenek a kvantummechanikai ismeretek. Ezeknek az ismereteknek az átadása az oktatás feladata, legyen szó középiskolai vagy egyetemi szintű oktatásról [2].

A kvantummechanika oktatása az egyik legnehezebb feladat a fizika tanítása folyamán, mivel a diákok túl absztraktnak, matematikailag túl bonyolultnak tartják [3]. Ez érthető is, ha végiggondoljuk, hogy a

klasszikus fizika fogalmkörének és törvényeinek megértésénél segítségünkre vannak mindennapi tapasztalataink, mindenki által könnyen elvégezhető kísérletek. Ezzel szemben a kvantummechanika mérettartományában végzett mérések többnyire közvetettek és nehezen értelmezhetők.

Matematikai szempontból ahhoz, hogy klasszikus mechanikai leírását adjuk egy részecske (tömegpont) mozgásának, 6 paramétert kell megadnunk: $\mathbf{r}(t)$ és $\mathbf{p}(t)$, azaz a hely és a lendület x , y és z komponensét az idő függvényében. Ezek határozzák meg a többi dinamikai változót, például az energiát. A Newton-törvények ismeretében kiszámíthatjuk az $\mathbf{r}(t)$ és $\mathbf{p}(t)$ függvények értékeit minden pillanatra, ha ismerjük a függvények értékét valamely tetszőleges t_0 kezdeti pillanatban, azaz adottak az $\mathbf{r}_0 = \mathbf{r}(t_0)$ és $\mathbf{p}_0 = \mathbf{p}(t_0)$ kezdeti hely- és lendületértékek, továbbá ismerjük a részecskére ható erőket. A kvantummechanikai leírás mód ennél bonyolultabb. A részecske állapotát t pillanatban egy hullámfüggvény adja meg, $\Psi(\mathbf{r}, t)$, amely

tartalmazza az összes információt, amit a részecskéről tudni lehet. Látható tehát, hogy a 6 paraméter helyett, most végtelen számú paraméterünk van: a ψ $3+1=4$ változós függvény értékei a tér minden pontjában, minden időpontban. A $\psi(\mathbf{r}, t)$ függvényt valószínűségi amplitúdónak nevezzük, mert

$$\rho(\mathbf{r}, t) d\mathbf{r}^3 = |\psi(\mathbf{r}, t)|^2 d\mathbf{r}^3$$

annak a valószínűségét adja meg, hogy a részecske t időpontban egy \mathbf{r} pont körüli $d\mathbf{r}^3$ térfogatelemben található, $\rho(\mathbf{r}, t)$ pedig a megtalálási valószínűségi sűrűség. A hullámfüggvény időfejlődését az időfüggő Schrödinger-egyenlet írja le, amely egy homogén lineáris parciális differenciálegyenlet:

$$i\hbar \frac{\partial \psi(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = \hat{H}\psi(\mathbf{r}, t).$$

Ez az az egyenlet, amely mai ismereteink szerint az atom- és molekulafizika, a szilárdtestfizika, sőt a kémia és a biológia összes (nem-relativisztikus) jelenségét kormányozza. Következményeit számtalan kísérlet igazolta az egyenlet megalkotása óta eltelt több, mint 80 év folyamán.

A Schrödinger-egyenlet determinisztikus; adott $\psi_0(\mathbf{r}) = \psi(\mathbf{r}, t=t_0)$ kezdőállapot esetén a hullámfüggvény kiszámítható bármely t időpontra. A véletlenszerűség, az indeterminizmus, a fizikai mennyiség mérése folyamán jelenik meg a kvantummechanikában. A Schrödinger-egyenlet megoldásához a kezdő állapot ismeretén kívül szükséges az adott fizikai rendszert meghatározó \mathbf{H} Hamilton-operátor. Konzervatív rendszerek esetén $\mathbf{H} = \mathbf{K} + \mathbf{V}$, ahol \mathbf{K} a kinetikus, \mathbf{V} pedig a potenciális energia operátora, tehát a rendszert végső soron a \mathbf{V} potenciáloperátor írja le. Ha ez a potenciál lokális, akkor a potenciális energia operátor hatása egy egyszerű $V(\mathbf{r})$ potenciálfüggvénnyel adható meg.

Látható tehát, hogy a kvantummechanika matematikai nyelvezetének megértése szintén nem egyszerű feladat, és további probléma, mint említettem, hogy a jelenségeket nem tudja a diák a mindennapi tapasztalataihoz kapcsolni – $\psi(\mathbf{r}, t)$ komplex értékű függvény(!) –, a mérések pedig mindig közvetettek: maga a hullámfüggvény nem mérhető, csak a belőle származtatott mennyiségek, az úgynevezett megfigyelhető mennyiségek, mint például $\langle \mathbf{r} \rangle$, a hely várható értéke:

$$\langle \mathbf{r} \rangle = \langle \psi | \mathbf{r} | \psi \rangle = \int \int \int \psi^* \mathbf{r} \psi dx dy dz.$$

Ahhoz, hogy mégis szemléletes képet tudjunk adni a diákoknak a Schrödinger-egyenlet „működéséről”, egy nagyon hasznos eszközt alkalmazhatunk: a számítógépes szimulációt. A mai személyi számítógépek sebessége és tárolókapacitása már bárki számára lehetővé teszi egyszerű kvantummechanikai rendszerek numerikus vizsgálatát. Ha például a háromdimenziós hullámfüggvényt egy x, y, z -ben egyaránt 256 pontból álló felosztáson modellezzünk, a hullámfüggvény (duplapontos komplex) tárolásához 256 Megabyte tárolókapacitás szükséges – egy mai köznapi PC-ben

általában több mint 1024 Megabyte memória található. Ha a számítást két dimenzióra korlátozzuk és/vagy kihasználjuk az adott rendszer szimmetriáit, akkor még kevesebb memória elegendő a számításokhoz.

Web-Schrödinger

Az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet Nanoszerkezetek Osztályán, belga kutatókkal együttműködésben kifejlesztett Web-Schrödinger egy olyan interaktív számítógépes szimuláció, amely szemléletesen teszi az időfüggő Schrödinger-egyenlet megoldását. A numerikus számítás maga egy alkalmazsszerveren fut, így a felhasználónak nem kell telepíteni semmit a saját számítógépén, egyszerű web-böngésző segítségével használhatja a programot (<http://www.nanotechnology.hu/online/web-schroedinger/index.html> címen). A program interaktív voltából adódóan pedig a felhasználó betöltheti az előre elkészített példákat, és változtathat azok beállításain, továbbá készíthet teljesen új példákat, amelyek mentése szintén lehetséges. Ahhoz, hogy megértsük hogyan „kormányozhatja a hullámfüggvényt” a felhasználó a szimuláció során, kicsit részletesebben meg kell ismerkednünk a programmal.

A szimuláció három lépésből áll:

- Először meg kell határozni a $\psi_0(\mathbf{r})$ kezdőállapot- és a $V(\mathbf{r})$ potenciálfüggvényeket, és beállítanunk néhány számolási paramétert, mint például a szimulált időintervallumot.
- Ezután a program kiszámítja a hullámfüggvény időfejlődését.
- Végül megjeleníti a megtalálási valószínűség időfejlődését.

A hullámcsomag-dinamikai módszer

Erwin Schrödinger 1926-ban [4] azzal a céllal alkotta meg a kvantummechanikai hullámcsomag fogalmát, hogy hidat építsen a klasszikus és a kvantummechanika között. A hullámcsomag egy térben lokalizált hullámfüggvény, azaz olyan kvantumállapotot ír le, amikor a részecske nagy valószínűséggel egy adott pont közelében található. A Schrödinger-egyenletből levezethető, hogy a hullámcsomag tömegközéppontja jó közelítéssel úgy mozog, mint egy klasszikus tömegpont, ha a potenciál lassan változik a hullámcsomag méretéhez képest. A hullámcsomag leggyakrabban alkalmazott formája a Gauss-hullámcsomag – a Web-Schrödinger program is ezt használja kezdőállapotként:

$$\psi_0(\mathbf{r}) = N \exp(i\mathbf{k}_0 \cdot \mathbf{r}) \exp\left(-\frac{[\mathbf{r} - \mathbf{r}_0]^2}{a^2}\right),$$

ahol $\mathbf{k}_0 = (2\pi/\lambda)\mathbf{n}$ a hullámcsomag hullámszámvektora, λ a de Broglie hullámhossz, a pedig a hullámcsomag szélessége – minél nagyobb a , annál szélesebb a hullámcsomag. Az \mathbf{n} vektor a részecske haladási irá-



File	Edit	Time development	Results	Help & more
Mesh	Potential	Initial state	Calculation parameters	

Mesh parameters
 $E_0 = 384$, $E_1 = 384$, $\omega_0 = -64 \text{ \AA}$, $\omega_1 = -64 \text{ \AA}$, $\omega_2 = 328 \text{ \AA}$, $\omega_3 = 328 \text{ \AA}$

Objects

Def	shape	V _{min}	V _{max}	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅
Def1	circle	4.81	0.0	30	35			3.71
Def2	circle	0.0	0.0	30	35			4.23
Def3	circle	4.81	0.0	30	33			3.71
Def4	plane	4.81	-10.0	31	27	0	18.8	2.7

Grayscale image of the 2D potential

- Click the checkboxes before the object to remove the object
- Give object potential values in eV
- Give all length values in Angstroms
- Give the angle in Degree

1. ábra. STM tű – szén nanocső – hordozó felület potenciál konstrikciója a Web-Schrödingerben – a Web böngésző ablakából kimentett képernyőkép. Láthatjuk, hogyan lehet összerakni az STM leképezés szimulációjához használt potenciált a különféle objektumokból. A jobboldali kép az így elkészült potenciált mutatja: a fehér szín a nulla potenciál, a fekete $-9,81 \text{ eV}$, ezt a potenciálkád mélységet a grafit Fermi-energiájából és kilépési munkájából számítottuk ki, lásd [5]. A nanocső átmérője 1 nm , ez megfelel egy tipikus egyfalú szén nanocső átmérőjének. A méreteket a programban ángströmökben ($1 \text{ \AA} = 0,1 \text{ nm}$), az energiákat elektronvoltban kell megadni.

nyát adja meg, N pedig egy normálási faktor. A hullámszám a részecske lendületéből így számítható ki: $\mathbf{k}_0 = \mathbf{p}_0/\hbar$, $\hbar = h/2\pi$, ahol h a Planck-állandó. \mathbf{r}_0 adja meg a részecske helyét – a negatív kitevőjű exponenciális függvény miatt ezen a helyen maximális a ψ hullámfüggvény abszolút értéke, \mathbf{r}_0 -tól távolodva gyorsan csökken. Mivel $\rho = |\psi|^2$ adja a megtalálási valószínűségeket a hely függvényében, azonnal láthatjuk, hogy a Gauss-hullámcsomag valóban lokalizált állapotot ír le: a részecske megtalálási valószínűsége az \mathbf{r}_0 pontban a legnagyobb, attól távolodva rohamosan csökken – lásd a 2. ábrát!

Mint azt korábban részletesen leírtuk [5], a hullámcsomag-dinamikai módszerben egy adott potenciáltérben vizsgáljuk meg a hullámcsomag mozgását (szimulált szórás kísérlet). Ennek szemléltetése pedig kiemelkedő fontosságú, ugyanis a diákok nehezen tudják elképzelni, hogyan terjed egy elektron, mi történik, ha potenciálgáttal érintkezik, hogyan megy végbe a kölcsönhatás stb.

Paraméterek

Elsőként a felhasználó a számolási doboz méretét, illetve annak felosztását tudja beállítani. Jellegzetes nanofizikai alkalmazásoknál a számolási doboz mérete néhány nanométer, a felosztást pedig úgy kell megadni, hogy a szimulációban előforduló de Broglie hullámokat jól mintavételezze. Elektronvolt nagyságrendű energiáknál ez – elektronra – $0,01\text{--}0,1 \text{ nm}$ lépésközt jelent.

A második lépés a potenciálfüggvény megadása, voltaképpen ezzel határozzuk meg azt a fizikai rendszert, amelyet vizsgálni akarunk. A különböző potenciálokkal vagyunk tehát képesek különböző jelenségek szemléltetésére, mint például az alagutazás folyamata, a tiltott és megengedett sáv kristályokban, dobozba zárt részecske stb.

Háromfajta potenciál „építőköve” közül választhatunk; a kör, a téglalap és a félsík, amelyeket tetszőleges módon és számban helyezhetünk el a számolási dobozban, természetesen értékeik megadásával, ezáltal széles alkalmazási spektrumot kínálva a felhasználóknak. Az 1. ábrán, amely egy, a programból kimentett képernyőkép, láthatjuk, hogyan lehet bonyolult potenciálokat is egyszerűen felépíteni a programmal: ezen a képen egy szén nanocső pásztázó alagútmikroszkópos leképezésének szimulációjánál használt potenciált [5] mutatunk be. Az 1. ábrán az STM-tű – nanocső – hordozó felületnek a csőre merőleges keresztmetszetét láthatjuk: az alsó fekete félsík a hordozót, a középső gyűrű a nanocsövet (amely a Van der Waals potenciálon „lebeg” a hordozó fölött, körülbelül $0,335 \text{ nm}$ távolságra), a felső félsík a félkör alakú kiemelkedéssel az alagútmikroszkóp tujét szimulálja. Az STM leképezésnek ezzel az egyszerű, geometriai modelljével számos kísérleti eredmény vált értelmezhetővé, amelyekről részletesen az alábbi cikkekben lehet olvasni [5–7].

A következő lépés a kezdeti hullámcsomag paramétereinek megadása. Itt tudja a felhasználó a hullámcsomag kezdeti helyét, kinetikus energiáját, szélességét és még egyéb, ehhez kapcsolódó adatokat beállítani.

Végül a már említett számolási lépésközt (δt) és a szimulált időtartamot adhatjuk meg. A számolás eredményét a program képek formájában jeleníti meg (results menüpont). A képeken a megtalálási valószínűsége sűrűség, $\rho(\mathbf{r}, t) = |\psi(\mathbf{r}, t)|^2$ időfüggése látható.

Megismerkedvén lehetőségeinkkel, a cikk következő részében néhány példával szeretnénk bemutatni a program működését (ezek szintén megtalálhatóak a „példák” menüpont alatt).

Példák

Alagúteffektus

A klasszikus fizika törvényei szerint egy E energiával rendelkező részecske nem tud behatolni $V > E$ potenciállal rendelkező térrészbe, ez számára ugyanis tiltott tartomány. Ennek szemléletes példája a mély gödör alján lévő, abból kigurulni nem tudó labda esete. A kvantummechanika azonban mást mond: hullámtulajdonságából kifolyólag a részecskének van egy véges valószínűségű esélye arra, hogy áthaladjon az energiáját meghaladó „magasságú” potenciálfalon. Ezt a jelenséget nevezzük alagúteffektusnak, ennek nem egy megjelenési formájával találkozhatunk a természetben és a technikában, a radioaktív bomlástól a villanykapcsoló működéséig. A Web-Schrödingerrel most ezt a jelenséget szeretnénk bemutatni.

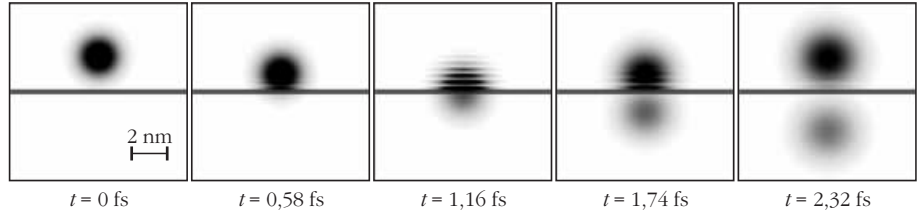
A beállítások kritériuma, hogy a potenciálfal magassága legyen nagyobb a hullámcsomag energiájánál. Ekkor az áthaladási valószínűség jó közelítéssel

$$T \sim e^{-2\kappa d},$$

ahol κ paraméter a részecske tömegéből, energiájából, illetve a potenciál nagyságából számítható. Innen

már látszik, hogy nem érdekes a potenciállal szélességét túl nagyra választani, mert akkor az átjutás mértéke túlságosan csökkenhet, ezáltal a jelenség kevésbé szemléletes. A példában a potenciál értéke $V = 7$ eV, a kezdeti energia pedig $E = 5$ eV. A potenciál vastagsága $d = 2$ Å. Ezekkel az értékekkel az átmeneti valószínűsége $T = 0,17$ értéket kapunk a fenti képletből, a visszaverődési valószínűség tehát $R = 1 - T = 0,83$.

A megtalálási valószínűsége időfejlődése a 2. ábrán látható. Mivel a kezdeti hullámcsomagnak egy $-y$ („lefelé”) irányú lendületet adtunk, megfigyelhetjük, hogy időfejlődése során a $-y$ irányba halad – amíg csak el nem éri a potenciálfalat. A további képek azt mutatják, ahogyan a hullámcsomag kölcsönhatásba lép a potenciálfallal, az utolsó kép pedig a kölcsönhatás lezajlása utáni végállapotot ábrázolja. A teljes folyamat $2,32$ fs = $2,32 \cdot 10^{-15}$ s időt vesz igénybe. A vízszintes csíkokat a visszavert és beérkező hullámok interferenciája okozza. Látható hogy bár a részecske elég nagy eséllyel visszaverődik, mégis véges valószínűséggel átjuthat a potenciálfalon (szürke folt a potenciál túloldalán). Így tehát szemléletes képet sikerült alkotnunk az alagutazás folyamatáról.



2. ábra. Hullámcsomag alagutazása, a $\rho(x,y;t)$ megtalálási valószínűsége függvény különböző pillanatokra. A felülről lefelé haladó kezdeti hullámcsomag nekiütközik az E energiájánál nagyobb V_0 magasságú potenciálfalnak. Az áthaladás valószínűségét (az alagutazást) a potenciálfal túloldalán megjelenő hullámcsomag mutatja, a potenciálfal felső oldalán pedig a visszavert hullámcsomagot láthatjuk. A vízszintes sötét sáv a potenciálfalat jelképezi. A szürkés-kék árnyalatú ábrázolásban a sötétszürke jelenti a legnagyobb, a fehér a nulla megtalálási valószínűséget. Nemlineáris szürkés-kék árnyalat alkalmaztunk, hogy a nagyobb és kisebb megtalálási valószínűségértékek egyaránt jól látszanak az ábrán.

A 3. ábrán bemutatott szimulációban a potenciálok megegyeznek, de a kezdeti állapotok energiái eltérőek, így szemléltetve a tiltott és megengedett sáv hatását. Láthatjuk, hogy a szimulációban a tiltott sáv esetén is van egy kis áthaladás és a megengedett sáv esetén is egy kis visszaverődés. Ez abból adódik, hogy a hullámcsomag nem egy energia-sajátállapot, azaz van egy bizonyos ΔE energiaszórása. Ezért a tiltott (megengedett) sávba eső hullámcsomag – kis valószínűséggel – áthaladhat (visszaverődhet) a kristály-potenciálon. A hullámcsomag ΔE energiaszórását természetesen tetszőleges mértékben csökkenthetjük, de ez csak azon az áron lehetséges, hogy a Δr térbeli kiterjedését megnöveljük (azaz egyre inkább közelítünk a síkhullám határesethez). Ám a hullámcsomag térbeli kiterjedésének növelése megnöveli a számolási doboz méretét is.

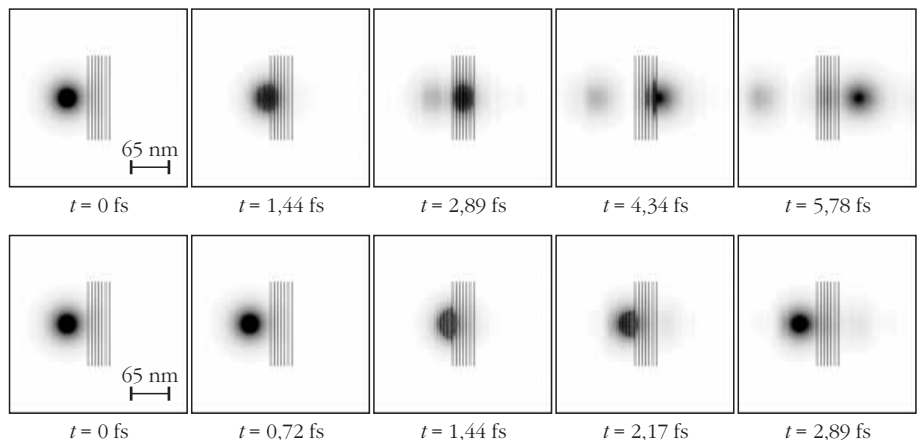
Tiltott és megengedett sáv kristályokban

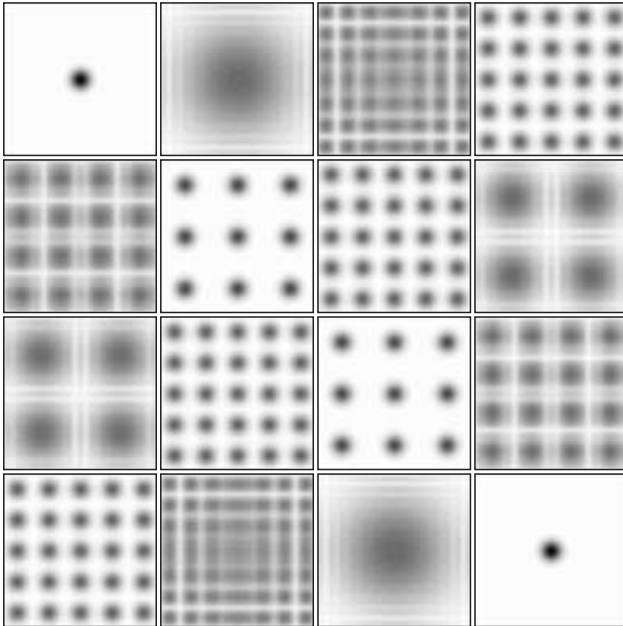
Az ideális kristály a térben ismétlődő, azonos szerkezetű egységekből álló rendszer. Ha egy hullám, amelynek hullámhossza összemérhető a kristály periodicitásával, kölcsönhatásba lép a kristállyal, akkor fellép a diffrakció jelensége. A diffrakció pedig erősen függ a hullámhossztól, ezáltal bizonyos hullámhosszú hullámok át tudnak hatolni a kristályon (megengedett sáv), míg mások visszaverődést szenvednek (tiltott sáv). Ha elektronok szóródnak, akkor ez a jelenség alakítja ki többek között az elektronok sávszerkezetét – ezen alapul a félvezető eszközök működése –, látható fény szóródásánál pedig különböző színek megjelenését tapasztalhatjuk. Azokat a kristályokat, amelyek periodicitása a látható fény hullámhosszának nagyságrendjébe esik, fotonikus kristályoknak nevezzük, és bizonyos ásványoknál és élőlényeknél ez okozza a szín-pompás megjelenést. Ezzel részletesen az alábbi cikk foglalkozik [8].

A kvantum főnix

A szabad térbeli kvantummechanikai hullámcsomag – azaz, ha a részecske nem hat kölcsön semmi mással – alapvető tulajdonsága a szétfolyás, azaz a megtalálási valószínűség az idő előrehaladtával egyre nagyobb térrészre terjed ki. Megfelelő potenciál alkalmazásával

3. ábra. Megengedett és tiltott sáv. A felső sorban a bejövő hullámcsomag energiájának középértéke 10,61 eV, amely a megengedett sávba esik, ezért a hullámcsomag áthalad a kristályon. Az alsó sorban az energia 14,88 eV, ez egy, a tiltott sávba eső érték, ezért a hullámcsomag visszaverődik. Szürke színnel továbbra is a hullámcsomag megtalálási valószínűsége ábrázoltuk, a sötét vonalak pedig a kristály periodikus potenciálját mutatják. A kristály ebben a szimulációban hét darab, 0,53 Å vastag, 9,81 eV magas potenciálfalból állt, amelyek 5,3 Å távol vannak egymástól. A szórási folyamat a kisebb energiájú hullámcsomag esetén lassabb.





4. ábra. 7 nm széles dobozba zárt részecske időfejlődése látható a képeken, amely jól meghatározott idő – esetünkben 71 fs – után ismét felveszi a kezdeti állapotot, azaz újjászületik. Ennek az időnek a tört részeinél ($1/2$, $1/3$, $1/4$...) a tört újjászületések ($2\times$ -es, $3\times$ -os, $4\times$ -es) figyelhetők meg. Az időfejlődést egy újjászületési periódus (revival time) hosszúságban ($T_R = 71$ fs) szimuláltuk és $T_R/15$ időközönként mintavételeztük. A $3/15$ és $6/15$ képeken az ötszörös, az $5/15$ képen a háromszoros újjászületést figyelhetjük meg. A mintázatok $T_R/2$ időtől fordított sorrendben ismétlődnek. A kétszeres újjászületést nem látjuk, mert a $T_R/2$ idő nem esik pontosan egyik időfelosztás pontra sem. De a $7/15$ és $8/15$ képeken megfigyelhetjük a hullámcsomag alakját a kétszeres rekonstrukció előtt és után kis idővel.

azonban megfordíthatjuk ezt a folyamatot! Azt a jelenséget, amikor a kezdeti hullámcsomag időfejlődése folyamán újra kialakul a kezdeti állapot, quantum revivalnek (kvantumállapot újjászületés) nevezzük. Egy végtelesen mély potenciáldoboz esetén a folyamat érdekessége továbbá, hogy az a periódusidő, ami alatt a hullámfüggvény visszatér kezdeti állapotába, független a kezdeti hullámcsomag paramétereitől, csak a doboz méretei határozzák meg, ami szöges ellentétben áll a klasszikus szemlélettel. Ezt nevezik revival-paradoxonnak, további részletek erről az alábbi cikkben található [9]. Érdemes megemlíteni, hogy hasonló jelenség (Talbot-effektus) már 1836 óta ismert az optikában!

A kvantumállapot újjászületés bemutatásához a „dobozba zárt részecske” modelltől indulunk ki, amelyben a hullámcsomag egy kétdimenziós potenciálgödörbe van lokalizálva. $\rho(x,y;t)$ időfejlődését láthatjuk a 4. ábrán, ahol a szimuláció teljes időtartama egy újjászületési periódus. Megfigyelhetjük, hogy a kezdeti hullámcsomag először elkezd szétfolyni, majd visszaverődik a potenciálfalról, interferencia-mintázatok alakulnak ki. A szimuláció végére rekonstruálódik a kezdeti állapot. Ám a közbeni időkben is bámulatosan érdekes jelenséget figyelhetünk meg, a többszörös (tört) újjászületéseket: a kezdeti hullámcsomag több példányban rekonstruálódik a potenciáldoboz különböző helyein. A többszörös újjászületések szimmetriaszerkezetét a $V(\mathbf{r})$ potenciál szimmetriája szabja meg. Mivel a 4. ábrán a potenciál x és y irányban szimmetrikus, a kezdeti hullámcsomag x

és y irányban is megismétlődik. Mint a hátsó borítón látható színes kép bemutatja, az újjászületés és a többszörös újjászületések bonyolult alakú hullámcsomagok esetén is bekövetkeznek. A 4. ábrán a fehér fele meg a nulla megtalálási valószínűségi sűrűségnek, a fekete a legnagyobb megtalálási valószínűségi sűrűségnek. Láthatjuk, ahogyan a hullámcsomag szétfolynik, úgy egyre szélesebb lesz, de egyre alacsonyabb lesz a csúcsa. Fizikailag ez azt jelenti, hogy a kezdeti, jól lokalizált állapotban a hullámcsomag az \mathbf{r}_0 hely (ami a 4. ábrán az origó) kis környezetében található nagy valószínűséggel, de később már nagyobb térrészre terjed ki. A többszörös rekonstrukciók esetén, ha a rekonstrukció n -szeres, a maximális megtalálási valószínűség $1/n^2$ arányban csökken a kiinduló állapothoz képest.

Természetesen az időfüggő Schrödinger-egyenlet megoldásán alapuló hullámcsomag-dinamikai szimulációkat nemcsak az oktatásban, hanem a kutatásban is eredményesen lehet használni. Ennek szemléltetésére a Web-Schrödinger példái közt szerepel még egy érdekes, a hétköznapi tudományból származó példa, amellyel az 1990-es években tanulmányoztuk a szén nanocsövek alagútmikroszkópos leképezését.

Összegzés

A kvantummechanika megértéséhez nagyon hatékony eszköz a számítógépes szimuláció, amellyel szemléletesen tudunk bemutatni különböző folyamatokat. A Web-Schrödinger egy ilyen szimulációs program, amely a szemléletesség mellett interaktív is. Ezáltal a diákok maguk készíthetnek példákat, modellezhetnek folyamatokat, amelyek segítségével mélyebben megérthetik a kvantummechanika jelenséglátát.

Epilógus

A hullámcsomag-dinamikai szimulációk még a kvantummechanika filozófiai kérdéseit is segítenek megvilágítani – már az egyszerű alagútjelenség példája segítségével. Ugyanis a hullámcsomag, amíg nem éri el a potenciálgátat, egyenletesen halad és közben szétfolynik. A szétfolyás jelensége ellen még talán nem nagyon berzenkedik a klasszikus szemléletünk – annyi történet mindössze, hogy a részecske helyének „bizonytalansága” egyre nagyobb lesz. Ám az alagútjelenség lezajlása utáni végállapotban (2. ábra) azt láthatjuk, hogy a hullámcsomag két különálló részre oszlott, amelyek egyre távolodnak egymástól – azaz immár nem egy, hanem két hely van, amelynek környezetében nagy valószínűséggel megtalálható a részecske. Nevezzük ezeket A (a potenciálfal egyik oldalán) és B (a potenciálfal másik oldalán) helyeknek. Az idő múlásával a két rész-hullámcsomag bármilyen messzire távolodhat egymástól. De – mivel az egyrészecske hullámfüggvény valójában egyetlen tömegpont megtalálási valószínűségi sűrűségét határozza meg – a részecske csak az A hely környezetében, vagy a B hely környezetében lehet, viszont az,

hogy melyik helyen találjuk meg a részecskét, csak akkor derül ki, mikor megmérjük, hogy hol van. Amint megmérjük, hogy például az A oldalon van-e a részecske és azt találjuk, hogy ott van (illetve nincs), ekkor abban a szempillantásban meghatározottá válik, hogy a másik oldalon nincs (illetve van). Az A és B helyeken történő részecske helymeghatározás akkor is antikorrrelációt fog mutatni, ha a két mérés között a $t = d/c$ időnél rövidebb idő telik el, ahol d a két hely távolsága és c a vákuumbeli fénysebesség. Ezekről a kérdésekről lásd bővebben [10, 11] Geszti Tamás cikkeit!

Irodalom

1. Gyulai J.: Az anyagtudomány apoteózisa. *Fizikai Szemle* 46/8 (1996) 264.
2. Márk G. I.: A modern fizika alapjai a műszaki menedzser-képzésben – *Fizikai Szemle* 47/9 (1997) 298.

3. D. F. Styer: Common misconceptions regarding quantum mechanics. *American Journal of Physics* 64 (1996) 31–34.
4. E. Schrödinger: Quantisierung als Eigenwertproblem (Zweitere Mitteilung). *Ann. Phys.* 79 (1926) 489.
5. Márk G. I.: Egy hullámcsomag kalandjai az alagútmikroszkópban. *Fizikai Szemle* 61/6 (2006) 190.
6. G. I. Márk, L. P. Biró, J. Gyulai: Simulation of STM images of 3D surfaces and comparison with experimental data: carbon nanotubes. *Phys. Rev. B* 58 (1998) 12645.
7. G. I. Márk, L. P. Biró, P. Lambin: Calculation of axial charge spreading in carbon nanotubes and nanotube Y-junctions during STM measurement. *Phys. Rev. B* 70 (2004) 115423-1.
8. Rajkovits Zs.: Szerkezeti színek az élővilágban. *Fizikai Szemle* 72/4 (2007) 121.
9. D. F. Styer: Quantum revivals versus classical periodicity in the infinite square well. *American Journal of Physics* 69/1 (2001) 56–62.
10. Geszti Tamás: Párolt macska. *Fizikai Szemle* 47/5 (1997) 157.
11. Geszti Tamás: Kvantum és klasszikus határán. *Fizikai Szemle* 58/6 (2008) 209.

KOZMIKUS SUGÁRZÁS, IDŐJÁRÁS, ÉGHAJLAT: HOL A HIÁNYZÓ LÁNCSZEM?

Kiss Péter¹, Csabai István¹, Lichtenberger János², Jánosi Imre¹

¹ELTE TTK Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék

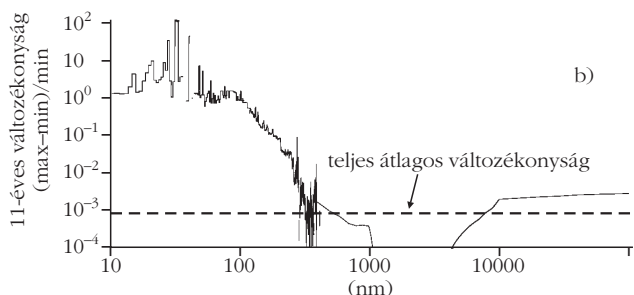
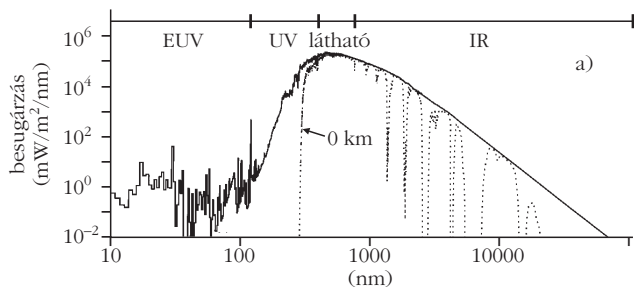
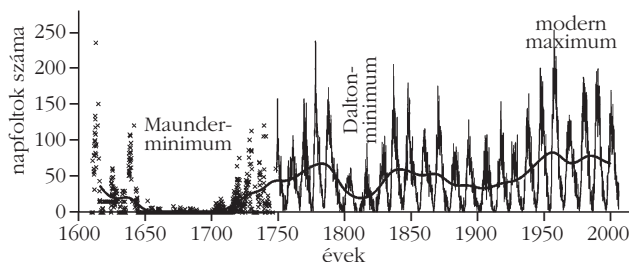
²ELTE TTK Úrkutató Csoport

A bolygónk felszínén lejátszódó természeti folyamatok túlnyomó részét végső soron a Napból érkező sugárzási energia hajtja, ezért igen kézenfekvő feltételezés, hogy a naptevékenység jellemzőiben bekövetkező változások szoros csatolásban állhatnak az éghajlati és időjárási jelenségekkel [1]. Nem valószínű, hogy az 1. ábrán látható napfoltgyakoriság adatsora túl sok Olvasónak jelentene újdonságot. A napfoltgyakoriság nagyjából 11 éves ciklikusságát (Samuel Heinrich Schwabe, 1843) közvetlen csillagászati megfigyelések alapján egészen Galilei 1610 körüli észleléseitől visszamenőleg sikerült kimutatni. A pontos földi és műholdas mérések az utolsó néhány napciklus ideje alatt sok ismeret összegyűjtését tették lehetővé, ezért valószínűleg hasonlóan ismerős a 2.a ábra is, ami a beérkező elektromágneses sugárzás energiasűrűségének eloszlását mutatja a hullámhossz függvényében (*Planck*-görbe). A légkör optikai szűrőhatásairól sem érdemes itt sokat értekezni. Különösen az ózonlyuk megjelenése óta tekinthető közismertnek, hogy az ultraibolya (UV) és extrém-ultraibolya (EUV) komponensek gyakorlatilag nem érik el a Föld felszínét (2.a ábra, pontozott vonal), legalábbis rendes körülmények között.

nyében (*Planck*-görbe). A légkör optikai szűrőhatásairól sem érdemes itt sokat értekezni. Különösen az ózonlyuk megjelenése óta tekinthető közismertnek, hogy az ultraibolya (UV) és extrém-ultraibolya (EUV) komponensek gyakorlatilag nem érik el a Föld felszínét (2.a ábra, pontozott vonal), legalábbis rendes körülmények között.

2. ábra. a) A Napból érkező elektromágneses sugárzás energiasűrűségének eloszlása a légkörön kívül (folytonos vonal), illetve a Föld felszínén (pontozott vonal) a hullámhossz függvényében. b) A 11 éves napfoltciklusok során mért spektrális változékonyság ([2] nyomán).

1. ábra. Rekonstruált napfoltgyakoriság a 17. század elejétől. A grafikon bal felén látható keresztek a korai, kevésbé megbízható adatokat jelzik. A folytonos vastag vonal a 11 éves futó átlag, amelyen a hosszútávú ingadozást jellemző szakaszok nevét föltüntettük (<http://en.wikipedia.org>).

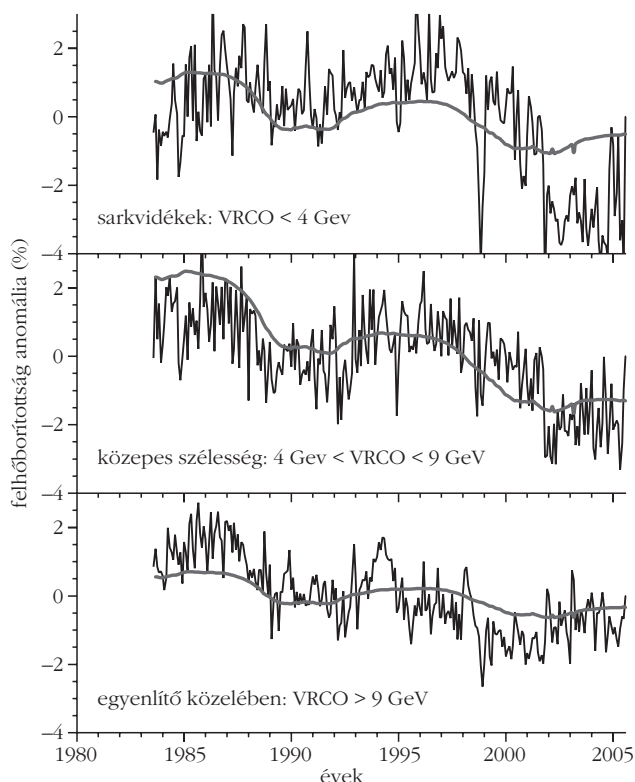


Talán nem ennyire közismert a *2.b ábrán* vázolt görbe, amely egy tipikus napciklus maximum- és minimumértékeinél mutatja a spektrális eloszlásfüggvények különbségét. Először is érdemes megjegyezni, hogy a napfoltgyakoriság maximumaihoz és minimumaihoz tartozó teljes sugárzási intenzitásban mindössze 0,1% különbség tapasztalható (*2.b ábra*, vízszintes szaggatott vonal). Eközben egyre több környezeti jelenségben vélték fölfedezni a naptevékenység változékonyságának hatását, például az *1. ábrán* jelzett *Maunder*-minimumot (a napfoltok szinte teljes hiányát) sokan az Európában komoly válságok sorával jellemzett „kis jégkorszak”-kal látják ok-okozati összefüggésben. De hogyan vezethet néhány tizedszázaléknyi sugárzási intenzitásváltozás ilyen komoly éghajlati eltolódásokhoz? Arról nem is beszélve, hogy ez a tized-százaléknyi változás is a spektrum EUV és UV tartományában összpontosul (*2.b ábra*), ami a légkör legfelső rétegeiben elnyelődik. Miféle csatolási mechanizmus létezhet, amely az atmoszféra tetején bekövetkező változásokból felszíni éghajlati kilengéseket eredményez?

A kozmikus sugárzás hipotézis

Nagyjából másfél évtizeddel ezelőtt elég nagy visszhangot keltett a főleg *Henrik Svensmark* dán fizikus nevéhez köthető elmélet, amely a hiányzó láncszemet a kozmikus sugárzásban vélte fölfedezni [3]. A Napból (hasonlóan egyéb kozmikus forrásokhoz) az elektromágneses sugárzás mellett nagy intenzitású részecskezár is érkezik (napszél), amely sok más összetevő mellett főleg alacsony és közepes energiájú protonokból, valamint elektronokból áll [4, 5]. Az elektromosan töltött részecskék kölcsönhatásba lépnek a Föld mágneses terével, pályájuk módosul, és többek között egy sor látványos légköroptikai jelenség, például a sarki fény okozói [6]. Az alacsonyabb energiájú töltött részecskék többsége nem éri el a Föld felszínét, bár behatolási mélységük jóval nagyobb, mint az EUV és UV sugárzásé. Lényeges viszont az a tény, hogy a részecskesugárzásnak a napciklus maximumához és minimumához tartozó intenzitásváltozása 15% körüli, azaz két és fél nagyságrenddel nagyobb, mint az elektromágneses sugárzásé. A Svensmark-féle hipotézis szerint a troposzférába hatoló kozmikus részecskéknek jelentős szerepe van a felhőképződés mikroszkopikus folyamataiban.

E feltevés igazolására a *3. ábrán* láthatóhoz hasonló görbéket szoktak bemutatni. Annak oka, hogy szándékosan nem az eredeti közlemények egyikét idézzük az, hogy mind a mai napig nem jutott nyugvópontra az a szakmai vita, ami a bizonyítékok hitelessége körül bontakozott ki. A *3. ábrán* az alacsony magasságú (< 3–4 km) felhőborítottság anomáliájának idősora látszólag meggyőzően mutatja a napciklussal egybeeső 11 éves ingadozást, különösen a közepes földrajzi szélességekhez tartozó sávban (*3. ábra*, középső grafikon). Az alapadatok a Nemzet-

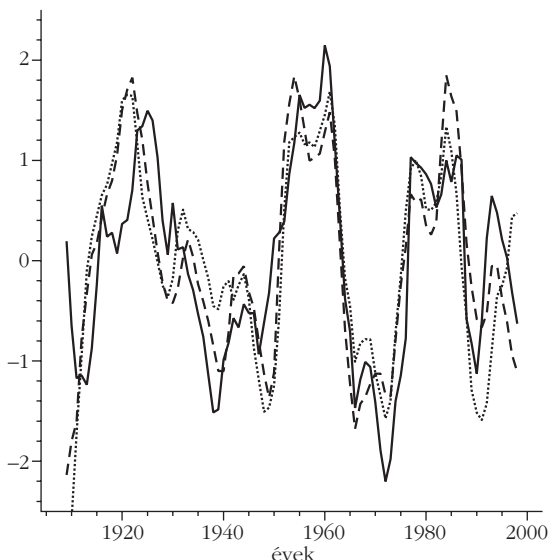


3. ábra. A felhőborítottság anomáliája (eltérés a hosszútávú éghajlati átlagoktól) és az illesztett napfoltszám-ingadozás (vékony folytonos vonal) az idő függvényében, három földrajzi régióra. A VRCO (angolul: *vertical rigidity cut off*) érték a kozmikus sugárzás részecskéinek azon energiaküszöbét jellemzi, ami egy adott földrajzi helyen a földfelszín eléréséhez szükséges, függőleges beesési irányt feltételezve ([7] nyomán).

közi Műholdas Felhő Klímatalógiai Projekt (angolul: *International Satellite Cloud Climatology Project*, ISCCP) adatbankjából származnak, és infravörös távérzékelésen alapulnak (<http://isccp.giss.nasa.gov>). A napciklus illesztése valójában a kozmikus részecskesugárzás intenzitását veszi alapul [7], ami a napfoltok gyakoriságváltozásával pontosan ellentétes előjelű (azaz napfoltminimum idején maximális a napszél fluxusa).

Még abban sincs egyetértés, hogy a görbéken látható monoton csökkenő trend vajon valódi fizikai (éghajlati) effektus-e, vagy a műholdra szerelt érzékelők fokozatos előregedésével kapcsolatos. A vita eldöntését különösen nehezíti, hogy a különböző csoportok jobb híján ugyanabból az ISCCP adatbankból dolgoztak, néha kiegészítve azt különösen megbízhatatlan felszíni észlelésekkel.

Az elmélet ellenzőinek főbb érvei, hogy (i) a *3. ábrán* látható korreláció nem feltétlenül jelent ok-okozati összefüggést (igaz), (ii) a magasabb szintű felhőknél még ez a korreláció is eltűnik (erre utalnak az adatok), illetve (iii) a felhőborítottság nem követi a kozmikus részecskesugárzás rövid idejű, nagy amplitúdójú „kilengéseit” (erre még visszatérünk). Az elmélet támogatói hangsúlyozzák, hogy a globális felhőészlelések még csak nagyon kezdeti stádiumban járnak, sok hibával és bizonytalansággal (igaz), és a korrelációkat valódi fizikai csatolásokkal lehet ma-



4. ábra. Hosszútávú ingadozás az éghajlati átlagok körül: a Paráná-folyó vízhozama (folytonos vonal), a napfoltok száma (szaggatott vonal) és a felszíni besugárzás erőssége (pontosított vonal). Mindhárom mennyiség standardizált formájú (aritmetikai átlag kivonva, szórással normálva), ezért a függőleges tengely dimenziótlan ([8] nyomán).

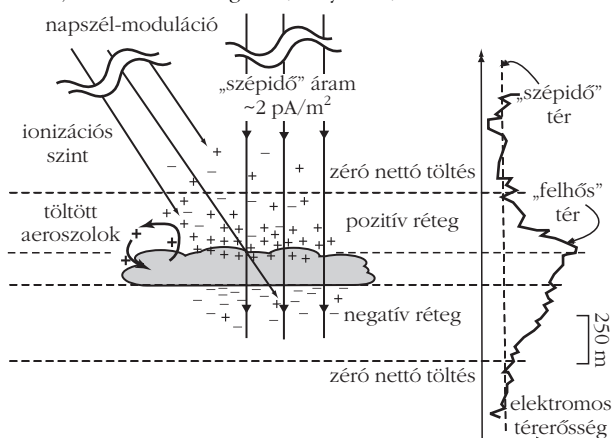
gyarázni. Ez utóbbi érvet támasztják alá például a 4. ábrán bemutatott érdekes eredmények is, amelyek a Paráná-folyó hosszú idejű vízhozam-ingadozásában találják meg a naptevékenységgel fennálló szignifikáns korrelációt [8]. Hangsúlyozzuk, hogy ez nem a 11 év körüli napciklus, hanem az 1. ábrán is látható gyakoriság-maximumok „modulációjával” kapcsolatos. A vízhozam esetében tényleg nem sok egyéb lehetséges magyarázat adódik, mint hogy a vízgyűjtő területre hulló csapadék mennyiségének kell követnie valahogyan a Nap aktivitásának változásait, ez pedig a felhőképződéssel szorosan összefüggő folyamat. Megjegyezzük, hogy saját vizsgálataink során ugyanezt a korrelációt nem sikerült kimutatnunk a Duna hasonlóan hosszú időszakot lefedő, napi vízálási adataiban. Persze érvelhetünk azzal, hogy teljesen más az éghajlati terület, vagy megemlíthetjük a Dunán épített 59 duzzasztó-szabályozó gátat is. De tény az is, hogy a naptevékenység ingadozása a különféle jelenségekben csak nagyon gyenge háttérjelként jelentkezik, ezért a meggyőző kimutatása nem is olyan egyszerű.

Mi lehetne a kozmikus részecskék és a felhőképződés csatolási mechanizmusa? A vezető elmélet szerint a csatolás a töltött részecskék ütközéses ionizáló hatásával kapcsolatos. Bizonyos „nyomgáz” molekulákból (elsősorban H_2O és H_2SO_4) keletkező ionok nanométer nagyságú aeroszolok (nano-cseppecskék) kialakulását segíthetik elő, amit sok helyen meg is figyeltek. E cseppecskék aztán szerencsés esetben egy kritikus nagyságot elérve stabil kondenzációs magokká válhatnak, ami az elképzelések szerint a felhőképződés alapja lehet. A kondenzációs magokból kialakuló makroszkopikus cseppek eső formájában folyamatosan „kiürülnek” a troposzférából, ezért a folyamatos felhőképződés és csapadék-utánpótlás

nem képzelhető el a kondenzációs magok állandó keletkezése nélkül. Ha ennek tényleg döntő lépése a kozmikus részecskék kiváltotta ionizáció, akkor a részecskezapor intenzitásának változásai szükségképpen megjelennek a felhőképződés és a csapadék ingadozásaiban is [1, 9]. A kondenzációs magokhoz szükséges légköri aeroszolok koncentrációját sok más folyamat is erősen befolyásolja: például a vulkáni vagy az emberi tevékenység (gondoljunk csak a repülőgépek mögött kialakuló „kondenzcsíkokra”). Az ilyen forrásokból származó ingadozásokat elvileg el lehet különíteni a kozmikus részecskék hatásaitól. A vulkánkitörések, nagy kiterjedésű erdőtüzek vagy gyárak által kibocsátott SO_2 szennyezés jól lokalizált, erős kilengéseket okoz, ezzel szemben a kozmikus sugárzás hatása a várakozások szerint sokkal gyengébb, de globális.

Az egyéb elképzelések közül talán érdemes még megemlíteni a már meglévő felhők és a kozmikus részecskék kölcsönhatását taglaló elmélete(ke)t. Tapasztalati tény, hogy nemcsak a látványos zivatarfelhők, hanem az alacsonyan elhelyezkedő, vékony rétegfelhők környékén is erősen inhomogén a töltéseloszlás (5. ábra). Ennek egyszerűsített magyarázata, hogy a felhősáv belseje még a levegőnél is rosszabb vezetőnek számít, mert ott a cseppecskék miatt a kis méretű ionok kiürülnek a légtérből, mozgékonyaságuk csökken [1]. A globális „szépidő” áram ($1,5\text{--}2\text{ pA/m}^2$), ami az ionoszféra és a földfelszín között „csordogál”, kialakít egy tértöltést, ami a felhősáv fölött egy $200\text{--}300\text{ m}$ vastag nettó pozitív, alatta nettó negatív töltésű rétegből áll. Ez a tértöltés aztán beállítja a „szükséges” áramerősséget a felhő belsejében. Innen kezdve az elmélet különböző variációi jócskán elbonyolódnak. A közös pont bennük az, hogy a töltésmegosztás miatt e rétegek különösen érzékenyek az ionizáló háttérsugárzás moduláló hatásaira. A további részletek és egyéb elméletek ismertetésétől eltekintünk, ugyanis egyelőre számszerű mérések e folyamatokkal kapcsolatban nem léteznek, ezek hiányában pedig a spekulációk jobbra csak különféle becsléseken alapulnak.

5. ábra. Az alacsony magasságú, vékony rétegfelhők környékén észlelt tipikus függőleges elektromos töltéseloszlás és térerősség vázlata; részletek a szövegben ([1] nyomán).



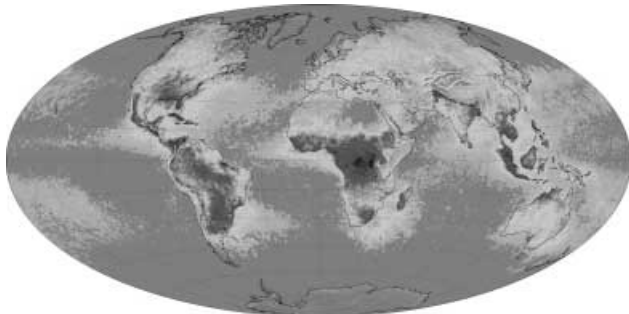
Kapcsolat a villámokkal

Az 5. ábra arra mindenképpen jó, hogy segítsen kihangsúlyozni a felhők körüli elektromos töltésmegosztás általános jelenlétét. A rendszeren kifejezett zivatarfelhőkben, amelyek akár a troposzféra felső határát (10–11 km) is eléri, a töltések erősen inhomogén eloszlásának mindenki által ismert következménye az intenzív villámtevékenység. E felhőkben sokkal nagyobb elektromos télerősséértékek, és nem ritkán 6–8 váltakozó előjelű töltött réteg fölépülése a jellemző [10]. A villámjelenségek tanulmányozása is szép múlttal rendelkezik, az egyre modernebb mérőeszközök és kísérletileg létrehozott légköri kisülések segítségével egyre több részletet sikerült megmagyarázni. Itt most nem célunk a villámok fölépülési folyamatainak és különböző tulajdonságainak taglalása, egyetlen kivételtől eltekintve.

Laboratóriumi körülmények között viszonylag egyszerű meghatározni, hogy az átlagos összetételű levegőben az elektromos átütési feszültség, azaz a spontán ívkisülés létrehozásához szükséges kritikus elektromos télerősség nagysága a felszíni nyomáson közel 3000 kV/m (lásd [10], 3. fejezet). Ezzel szemben több tucatnyi ballonos mérés során, amelyekkel sikerült a télerősség magasságfüggését eléggé pontosan meghatározni aktív zivatarfelhők belsejében, nemigen találtak 150 kV/m-nél nagyobb csúcserősségeket (a valaha mért abszolút maximum 400 kV/m körüli volt). Jogosan merül föl a kérdés, hogy akkor mi indítja el a kisülési folyamatot?

Természetesen itt sincs hiány a tetszetős magyarázatokban, de mielőtt ezekre fordulna a figyelmünk, ejtsünk néhány szót a villámok észleléséről. Érdemes megnézni az Országos Meteorológiai Szolgálat honlapján látható villámtérképet (<http://www.met.hu/kepek/index.php?id=blhh>). Ha szerencsénk van, akkor igazán látványosan rajzolódnak ki a Kárpát-medence térségében az előző fél óra heves zivatargócai. Aki ennél nagyobb területre kíváncsi, bátran látogasson el a <http://wwln.net> címre, ahol nagy meglepetésben lehet része: szemmel követheti a földgolyó teljes területén zajló villámaktivitást! A rövidítés a Villám Lokalizációs Világhálózat (angolul: *World Wide Lightning Location Network*, WWLLN) szerveződésre

6. ábra. A globális villámgyakoriság földrajzi eloszlása, ahol a szürkességi szint arányos a villámkisülések sűrűségével. Afrika közepén, például a fekete foltok 50 villám/km²/év értékhez tartoznak, az amerikai kontinenseken pedig a csúcserősség 30 villám/km²/év körül alakul (<http://visibleearth.nasa.gov/>).

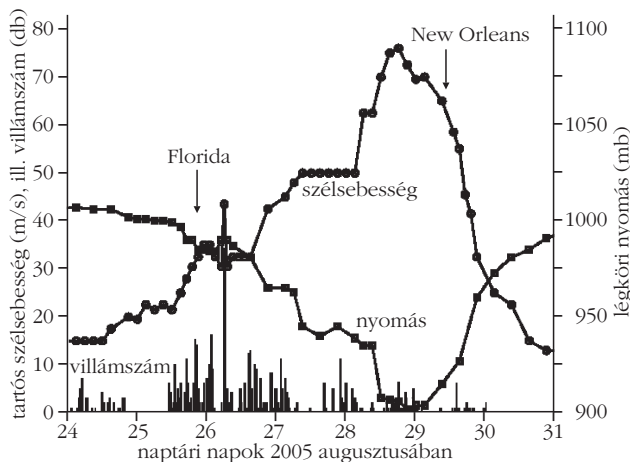
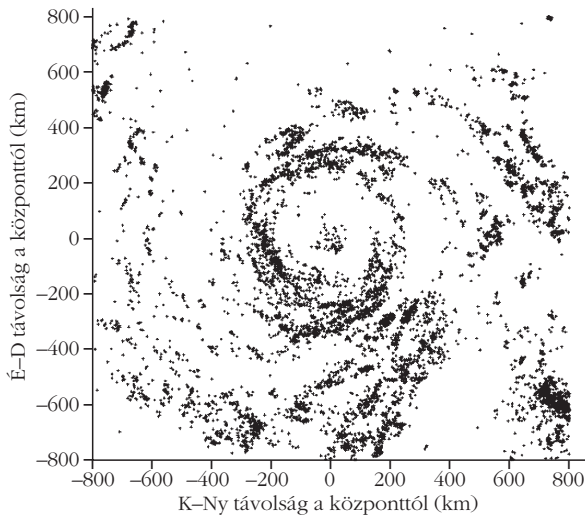


utal, amely a (cikk írásának időpontjában) 40 önkéntes mérőállomás adatai alapján határozza meg a villámkisülések helyét, méghozzá pár kilométeres pontossággal, és körülbelül 4% globális hatásfokkal. A budapesti mérőpontot az ELTE TTK Űrkutató Csoportja üzemelteti (<http://sas2.elte.hu>).

A távolsági villámlokalizáció elve tulajdonképpen nem bonyolult. A kisülések jelentős amplitúdójú elektromágneses zavarjeleket sugároznak ki az alacsony rádiófrekvenciás sávban is (1–25 kHz). Ezek speciális tulajdonsága, hogy a földfelszín és az ionoszféra közti „üregrezonátorban” csekély csillapodásuk miatt nagyon nagy távolságra jutnak el, akár a teljes Földet megkerülhetik. Már egy egyszerű rádióvevő is alkalmas a villámok által gerjesztett impulzussorozatok vételére. Ha van legalább 4, nagy pontossággal szinkronizált, nagy távolságban elhelyezkedő vevőnk, akkor a jelek beérkezési idejének különbségeiből egy nem túl bonyolult algoritmus segítségével meghatározható a villámforrás helye (3 állomás nem elegendő, az előbb említett, Földet megkerülő jelterjedés miatt). Ehhez persze ismerni kell a rádiójel terjedési sebességét, a csillapodás mértékét, be kell azonosítani az ugyanazon eseményhez tartozó impulzusokat, és egy sor más részletre is figyelni kell. Nem véletlen, hogy a WWLLN adatbázisba csak azok a villámkisülések kerülnek rögzítésre, melyeket legalább 5 állomás párhuzamos észlelése alapján lehetett azonosítani.

Egy ilyen hálózattal el lehet készíteni például a 6. ábrán látható térképet, amely a villámlás gyakoriság-eloszlását ábrázolja egy év adatai alapján. Még egy felületen szemrevételezés is elég egy sor következtetés levonásához. Például jól látszik, hogy a villámok keletkezéséhez legjobb helyek az egyenlítői övezetben, a kontinensek fölött találhatók. Ez persze megfelel a várakozásainknak, mert a jelentős zivatarokat eredményező „szupercellák” fölépüléséhez erős hőmérsékleti konvekció szükséges, erre pedig a feltételek leginkább az erősen besugárzott szárazföldek fölött adóttak. A felhőkhöz elegendő vízpára is szükséges, ezért érthető az afrikai kontinens fölötti erős aszimmetria. Az igazán érdekes észlelések persze nem a globális átlagokkal kapcsolatosak, hanem kihasználják a hálózat nagy időbeli és térbeli felbontóképességét.

Egy példát mutat erre a 7. ábra, amely a nevezetes Katrina hurrikán körzetében illusztrálja a térbeli pontosságot (ennek alapján könnyen magunk elé képzelhetjük a jellegzetes műholdas felhőképeket). A 7. ábra alsó grafikonján látszik, hogy érdekes módon a villámaktivitás maximuma nem esik egybe a hurrikán legerősebb fázisával, amikor a szélesség maximális a középponti nyomáseséssel együtt. Egy későbbi tanulmányban 58 hurrikán közelében elemezték a villámaktivitást a WWLLN adatai alapján, és azt találták, hogy hasonlóan a 7. ábra adataihoz, a villámtevékenység maximális intenzitása a vihar legerősebb fázisánál közel 30 órával korábban tapasztalható [12]. Erre a szerzők még csak spekuláció szintjén sem próbáltak meg magyarázatot találni, ehhez valószínűleg sokkal több részlet ismerete lesz szükséges. Ugyanakkor nem tár-



7. ábra. A WWLLN hálózattal lokalizált villámcsapáshelyek 2005. augusztus 28-án (felül), és a villámcsapásszámok időbeli fejlődése az átlagos szélsőséeggel és a középponti nyomással együtt (alul). A Katrina hurrikán kétszeri földet érését nyilak jelzik ([11] nyomán).

gyaltak egy másik érdekességet sem, ami pedig már az adatok alapján szembeötlő.

A Saffir–Simpson-skálán az elemzett 58 hurrikán mindegyike a legerősebb, 4-es és 5-ös kategóriájú trópusi vihar volt. Az azonos kategóriába eső vihartölcsérek egymáshoz nagyon hasonló szerkezetűek, mozgásuk pályája sem sokban különbözik egy-egy forrásvidék körzetében (például az atlanti viharok nagy része a Mexikói-öblöt átszelve kanyarodik észak-keleti irányba). Azt gondolhatnánk, hogy a hasonló felhőstruktúra, hasonló áramlási rendszer stb. miatt a villámtevékenység sem sokban különbözik, márpedig a megfigyelések ezt nem támasztják alá. A maximális villámgyakoriság akár két nagyságrendben is eltérhet, az óránkénti néhány tucattól a közel kétezer kisülésig terjedő tartományban [11, 12]. Ennek vajon mi lehet a magyarázata?

Itt kanyarodnánk vissza nyitó kérdésünkre, amely a villámkisülés eredetére vonatkozott. A komolyabb mérések elkezdéséig az általános elképzelés szerint a villámok is csak „szokásos” kisülések voltak, legföljebb nagyobbak annál, mint amelyeket a laboratóriumban tudnak gyártani. A már említett térerősség-probléma mellé azonban újak is fől sorakoztak: például Moore és

munkatársai észlelése, amely szerint a villámlással egy időben nagyenergiájú Röntgen- és gamma-sugárzás is föllép [13]. Mivel ehhez még a legnagyobb kisülések energiája sem elegendő, rögtön adódott a kozmikus részecskék hatásának ötlete: ha feltételezzük, hogy töltött kozmikus részecskék segítségével jön létre a villámok ionizált csatornája, akkor ez megmagyarázza a térerősség-problémát is, a villámláskor észlelt nagyenergiás sugárzással együtt. Innen pedig kézenfekvő, hogy megnézzük a globális villámaktivitás és kozmikus részecskefluxus esetleges kapcsolatát.

A villámok távérzékelő hálózatai csak az utóbbi években épültek föl, ezért nincsenek még olyan hosszú adatsorok, amiket egy napciklussal össze lehetne vetni. Vannak ugyan hosszabb idejű műholdas megfigyelések, például a LIS (angolul: *Lightning Imaging Sensor*), aminek hátránya, hogy a műszer egy adott hely fölött naponta csak pár percig tartózkodik, 55 napot kell várni, hogy ugyanakkor nézzen ugyanarra a $670 \times 670 \text{ km}^2$ nagyságú területre (<http://trmm.gsfc.nasa.gov>).

Szerencsére vannak a kozmikus részecskefluxusnak olyan rövid idejű, nagy amplitúdójú kilengései, amelyek esélyt adhatnak a korrelációk kimutatására. Ilyenekre jó példa az úgynevezett *Forbush*-esemény, vagy a Naptól érkező protonzárók esete. Az előbbi nagyerejű napkitörések után lép föl, amikor a napszél plazmájának mágneses tere a kozmikus részecskék egy jó részét „kisöpri” a Föld közeléből. Ennek mérhető hatása, hogy mind a légkörön kívüli proton- és elektronfluxus, mind pedig a földfelszínre érkező másodlagos neutronfluxus jelentősen csökken néhány napos időtartamra. A protonzáró is hasonló okokra vezethető vissza, csak éppen jelentős nagyságú, impulzusszerű fluxusnövekedéssel jár. Ez is a napkitörések során kirepülő plazmából származik, annak legnagyobb energiájú komponense alkotja, amely képes áttörni a Föld mágneses terét.

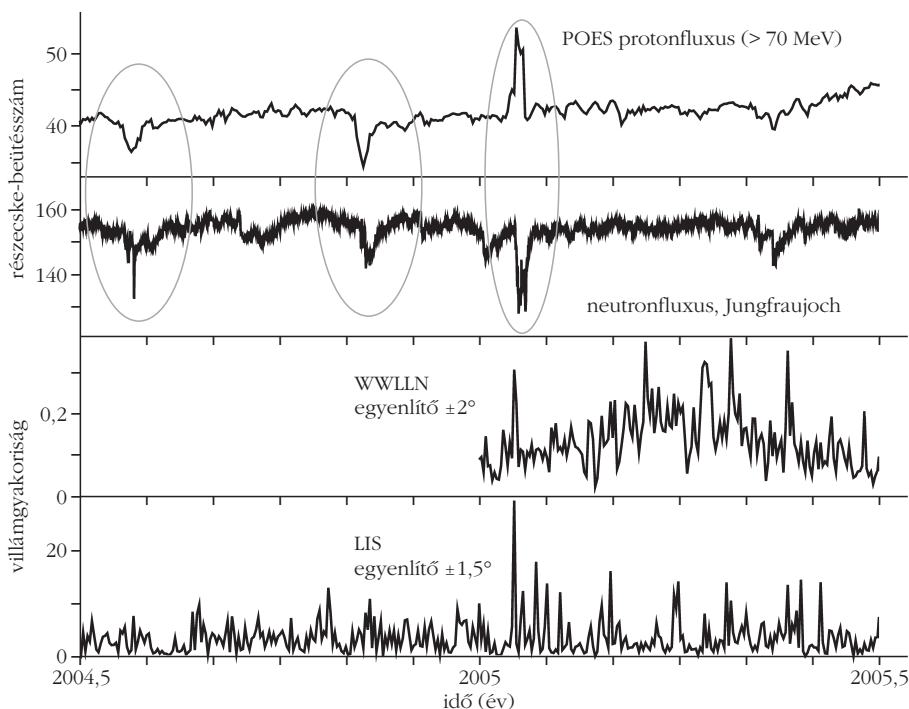
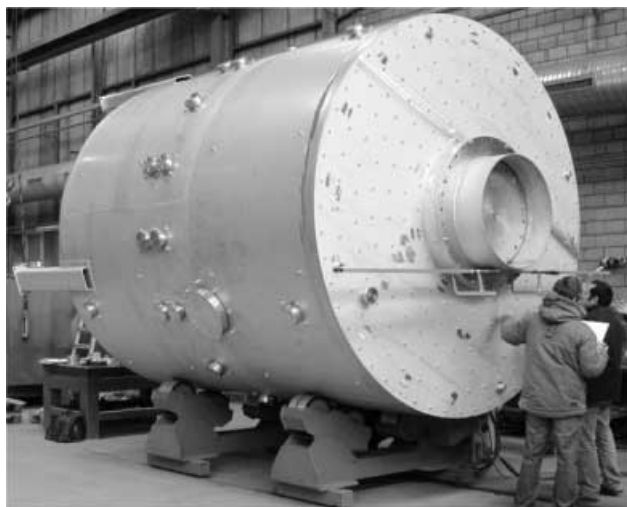
Más csoportokhoz hasonlóan, nekünk sem sikerült kimutatnunk statisztikailag szignifikáns korrelációt a villámtevékenység intenzitása és a kozmikus részecskefluxus alkalmanként bekövetkező kilengései között. A 8. ábra egy tipikus negatív eredményt illusztrál. Legfölül az egyik POES műhold (angolul: *Polar Orbiting Environmental Satellites*, <http://www.swpc.noaa.gov>) egyik protondetektorának idősora látható, amely 700–800 km magasságban méri a Föld felé érkező részecskefluxust több energiasávban. Alatta a kiterjedt földi neutrondetektor hálózat egyik svájci állomásának adatai láthatóak. Mindkettőn kitűnően látszik két „tisza” Forbush-esemény, illetve a 2005. január 15-i protonzáró (ami egy Forbush-minimum közepén következett be). Ha ezt összehasonlítjuk két villámadatsorral (8. ábra, alul), akkor láthatjuk, hogy nemigen figyelhető meg bármiféle korreláció. (A legelső idősor legnagyobb „tuskéje” a protonzáró előtt következett be!) Sok egyéb negatív kimenetelű kísérlet után be kellett látnunk, hogy a rendelkezésünkre álló adatokkal semmiféle korreláció sem mutatható ki a kozmikus részecskefluxusának ingadozása, illetve különböző helyi vagy a globális villámtevékenység között.

A végső válasz: CLOUD?

Számos próbálkozás ellenére a kozmikus részecske – felhő, illetve kozmikus részecske – vilám hipotézisek egyikét sem sikerült ez idáig meggyőzően bizonyítani a hozzáférhető adatok alapján. Minden hiányosság és pontatlanság ellenére biztosan kijelenthető, hogy ha létezik is ilyen kapcsolat, akkor az fölöttébb gyenge, alig kimutatható. Az elméletek támogatóiból álló (fogyatkozó) tábor élcsapata minden bizonnyal Genfben található, ahol teljes gőzzel folyik a végső választ megadni kívánó projekt előkészítése.

E projekt, a CLOUD (a betűszó magyarul „felhő”, a teljes elnevezés angolul *Cosmics Leaving Outdoor Droplets*, lefordíthatatlan), a tervek szerint 2010–2011 környékén tisztáznia fogja a sok nyitott kérdést, méghozzá igen alapos kísérletek sorozatával. A berendezés alapja egy nagyméretű aeroszol tartály (9. ábra), amiben a fizikai paraméterek és kémiai összetevők rendkívül pontosan kontrollálhatók, továbbá az elérhető nyomás- és hőmérséklet-tartomány lefedi a Föld minden éghajlati területét az egyenlítőtől a sarkokig. A berendezés a Nemzetközi Részecskefizikai Kutatóközpont (CERN) Genf melletti alagútjában kerül fölállításra, amelyben a nagy gyorsítóból kicsatolt mellékágon keresztül kontrollált fluxussal érkezik a „kozmosz” részecskék zápora. A néhány éve elkezdett előzetes kísérletek legfőbb tanulsága, hogy hihetetlen mértékben kell ügyelni a

9. ábra. A 3 m átmérőjű CLOUD kamra végső munkálatai 2009 márciusában. A kamra falán körben különféle műszerek csatlakozói és az észlelőablakok nyílásai láthatók ([14] nyomán).



8. ábra. Műholdon mért protonfluxus (legfölelül), a Jungfraujoch (Svájc) földi állomás neutronfluxusa (alatta), illetve egy WWLLN és LIS műholdas adatbázisból kinyert villámgyakoriság időfejlődése. Az első két ellipszis Forbush-eseményeket, a harmadik a Napból érkező 2005. január 15-i protonzáport jelöli, részletek a szövegben.

tisztaságra, mert igen csekély nyomgázzsennyeződések is reprodukálhatatlanságot okoznak.

Mivel is zárhatnánk e talán szokatlanul sok kérdő mondatot tartalmazó írást? Egyelőre szilárd végkövetkeztetés hiányában izgatottan várjuk az eredményeket.

Irodalom

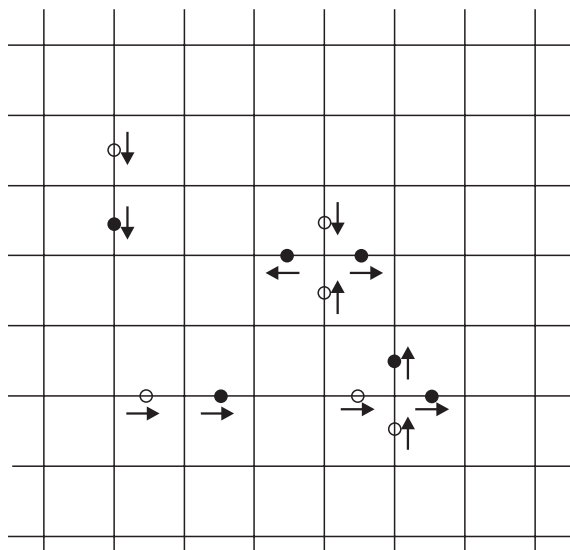
1. K. S. Carslaw, R. G. Harrison, J. Kirkby: Cosmic rays, clouds, and climate. *Science* 298 (2002) 1732–1737.
2. J. Lean, D. Rind: Climate forcing by changing solar radiation, *Journal of Climate* 11 (1998) 3069–3094.
3. N. D. Marsh, H. Svensmark: Low cloud properties influenced by cosmic rays. *Physical Review Letters* 85 (2000) 5004–5008.
4. L. I. Dorman: *Cosmic Rays in Magnetospheres of the Earth and other Planets*. Springer, New York, 2009.
5. Patkós A.: Részecskék az Univerzumban. *Fizikai Szemle* 57 (2007) 165.
6. A. W. Wolfendale, Király P.: Veszélyforrások és védőrendszerek kozmikus környezetünkben. *Fizikai Szemle* 49 (1999) 294.
7. T. Sloan, A. W. Wolfendale: Testing the proposed causal link between cosmic rays and cloud cover. *Environmental Research Letters* 3 (2008) 024001.
8. P. J. D. Mauas, E. Flamengo, A. P. Buccino: Solar forcing of the stream flow of a continental scale South American river. *Physical Review Letters* 101 (2008) 168501.
9. K. Carslaw: Cosmic rays, clouds and climate. *Nature* 460 (2009) 332–333.
10. H. D. Betz, U. Schumann, P. Laroche (szerk.): *Lightning: Principles, Instruments and Applications*. Springer, New York, 2008.
11. N. N. Solorzano, J. N. Thomas, R. H. Holzworth: Global studies of tropical cyclones using the World Wide Lightning Location network. In: *AMS 2008 meeting in New Orleans* (<http://wwlln.net/publications>)
12. C. Price, M. Asfur, Y. Yair: Maximum hurricane intensity preceded by increase in lightning frequency. *Nature Geoscience* 2 (2009) 329–332.
13. C. B. Moore, K. B. Eack, G. D. Aulich, W. Rison: Energetic radiation associated with lightning stepped-leaders. *Geophysical Research Letters* 28 (2001) 2141–2144.
14. J. Kirkby: 2008 Progress Report on PS215/CLOUD. CERN-SPSC-2009-015, 2008. <http://cdsweb.cern.ch/record/1172365>

1985. november 19-én a *Washington Post* címloldalon számolt be arról, hogy amerikai és francia kutatók egymással karöltve, egy új komputerizált módszert fejlesztettek ki gázok és folyadékok áramlásának modellezésére. A cikk nem kevesebbet állított, mint hogy a módszer segítségével egyszerű számítógépeken olyan számításokat lehet elvégezni, amelyek abban az időben csak szuperkomputereken voltak futtathatók, és amely felhasználásával az akkori amerikai csillagháborús tervek fejlesztési talán felgyorsíthatók. Bár azt határozottan állíthatjuk, hogy a fent említett módszer, amely a *rácsgáz módszer* névre hallgat, nem játszott meghatározó szerepet a hidegháború gyors lezárásában, az alapmódszer gyökereiből kifejlődő egyik vadhajtás, a *rács-Boltzmann módszer*, a fizika számos területén jelentős eredmények eléréséhez segítette a módszer alkalmazóit. Az alábbiakban ezt igyekszünk röviden bemutatni.

Bár az első rácsgáz módszer, amelyet folyadékdinamikai folyamatok modellezésére szántak francia fejlesztői a 70-es években, még komoly problémákkal küzdött, kétségtelenül lefektette az alapokat a további fejlesztésekhez. A módszer végtelenül egyszerű volt, így algoritmusának „receptje” néhány sorban összefoglalható.

Először is fektessünk egy szabályos négyszögrácsot arra a geometriai tartományra, amelyben a folyadék áramlását modellezni szeretnénk. A rácspontokat összekötő rácselemekhez rendeljünk véletlenszerűen részecskecsomagokat, vagyis egy rácselelen vagy van, vagy nincs részecskecsomag. A csomagokat minden egyes lépésben mozgassuk a rácson, a rács alapján kijelölt irányba. Ha két részecske „frontálisan” ütközne egy adott rácsponthoz, akkor és csak akkor irányuk változzon meg: távolodjanak az ütközési ponttól addigi irányukkal 90 fokot bezáró szögben (*1. ábra*).

1. ábra. Részecskék mozgása az első rácsgáz modellben. Az üres kör ütközés előtti, a teli kör ütközés utáni állapotot reprezentál.

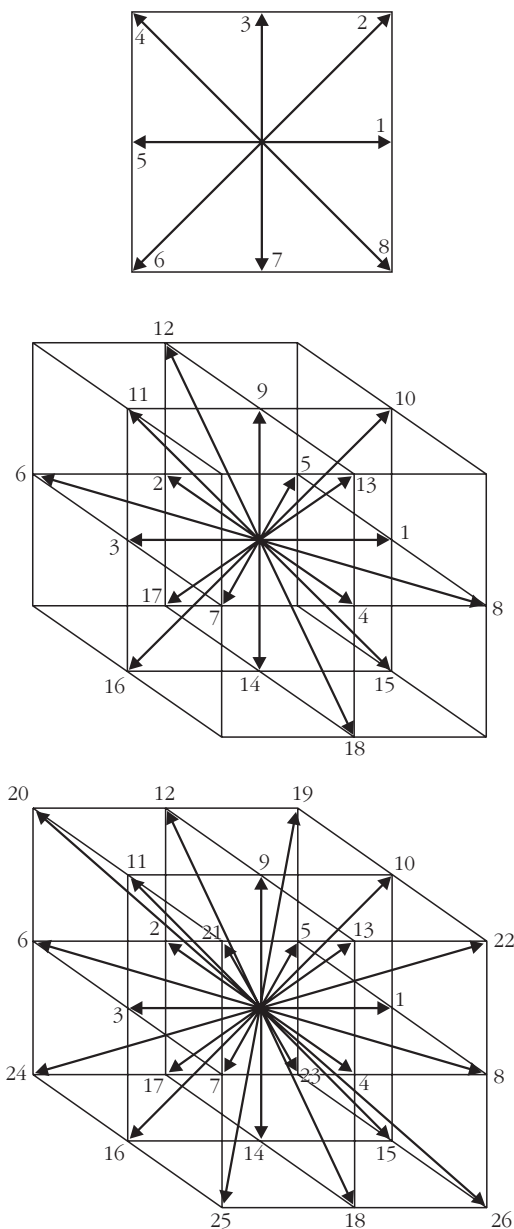


Nagyobb térrészeket figyelembe véve, és az abban található részecskék tömegét, impulzusát összegezve, makroszkopikus mennyiségeket származtathatunk, mint például a gáz tömege és impulzusa.

Mivel az nyilvánvaló, hogy a fent vázolt algoritmus lokálisan megőrzi a tömeget, impulzust és energiát, így ahhoz, hogy a módszert folyadékdinamikai számításokra tudjuk használni, a kérdés csupán az: mennyire tér el az algoritmus alapján származtatható makroszkopikus tömeg- és impulzusmegmaradási egyenlet a folyadékdinamikában jól bevált Navier–Stokes-egyenletektől. Ma már tudjuk a választ, miszerint az eltérés jelentős, és többek között a származtatás után kapott impulzusmegmaradási egyenlet feszültségtenzora nem izotróp. Emiatt a rács elhelyezkedése, és azon belül az, hogy a rácsvektorok milyen szöget zárnak be a kérdéses áramlási tartomány peremeivel – nem kívánatos módon – jelentősen befolyásolhatják a szimulációs eredményeket.

Több mint 10 évet kellett várni, amíg a fenti problémát francia és amerikai kutatók megoldották, és a *Washington Post* beszámolhatott az áttörésről. A megoldás roppant egyszerű volt: a négyszögletes rács helyett hexagonálisat kellett alkalmazni. Ez a rács már rendelkezik megfelelő mértékű forgatási invarianciával, és így a módszer fejlesztése, valamint alkalmazása a folyadékdinamikai problémák megoldására szárnyra kapott. Érdekességgéppen megemlíthetjük, hogy a forgatási invariancia és az alkalmazható rácsok kérdésével a Mathematica programcsomag alapjait akkortájt lefektető *Stephen Wolfram* is igen intenzíven foglalkozott. És bár Wolfram a rácsgáz módszerre, mint egyfajta sejtautomatára tekintett, egyik dolgozata révén vált nyilvánvalóvá, hogy mely rácsok felhasználásával lehet eljutni a kívánt hidrodinamikai egyenletekhez.

Ezt követően újabb és újabb modellek jelentek meg. A determinisztikus ütközési szabályokat kiegészítették véletlenszerűséget is alkalmazó sztochasztikus szabályokkal, amelyek természetesen továbbra is alkalmazták a két ökölszabályt: a tömeget és impulzust lokálisan meg kell őrizni minden ütközés során. Sztochasztikus szabályok bevezetésével csökkenteni tudták a módszer alkalmazása esetén megfigyelhető úgynevezett gyanús megmaradásokat, amelyek például bizonyos determinisztikus szabályok alkalmazása esetén az impulzus soronkénti, illetve oszloponkénti megmaradásában testesültek meg. A módszer egyszerűsége, bináris természete, abszolút stabilitása sokak számára mind a mai napig elég vonzerőt biztosít ahhoz, hogy továbbfejlesszék, alkalmazzák azt. Ugyanakkor az a tény, hogy a makroszkopikus mennyiségek származtatása során kapott zaj redukciójához nagyszámú részecske mozgását kell nyomon követni, szinte természetes úton vezetett a 80-as évek végén egy új módszer kifejlesztéséhez, a rács-Boltzmann módszerhez.



2. ábra. A rács-Boltzmann módszer esetén gyakran alkalmazott két- és háromdimenziós elemi rácsok.

A módszer alapötlete, hogy a részecskék szerepét vegyék át a rácsélekhez rendelt egyrészecske sűrűségfüggvények, az ütközési szabályok helyett pedig vezessünk be ütközési operátort, amely – akárcsak a szabályok – gondoskodik a tömeg és impulzus lokális megmaradásáról.

A módszer alkalmazása során tehát a sűrűségfüggvényeket a rácsél irányának megfelelően mozgatjuk egy lépésben egy rácséllal odébb, majd az ütközési operátornak és a pillanatnyi makroszkopikus állapotnak megfelelően az impulzust újra szétosztjuk. A makroszkopikus mennyiségek, mint például sűrűség és impulzus, a sűrűségfüggvények megfelelő momentumaiként számolhatók. Vagyis a rácsponthoz tartozó elemi térfogathoz rendelhető sűrűség egyszerűen a sűrűségfüggvények összege, míg az impulzus az adott térfogathoz rendelhető rácsélek irányának megfelelő

egységnyi sebességek és a hozzájuk tartozó sűrűségfüggvények szorzatának összege. Az alkalmazható rács természetesen ebben az esetben sem lehet tetzőleges. Két dimenzióban például, az impulzusegyenlet rotációs invarianciáját biztosítandó, leggyakrabban az úgynevezett kilencsebességes modellt alkalmazzuk, nyolc rácsélen mozgó és egy helyben maradó sűrűségfüggvénnyel. Három dimenzióban pedig a legjobban elterjedt megközelítések 19 és 27 sűrűségfüggvénnyel dolgoznak (2. ábra).

A fenti algoritmus röviden a rács-Boltzmann egyenlettel írható le:

$$f_i(\mathbf{x} + \mathbf{c}_i \Delta t, t + \Delta t) - f_i(\mathbf{x}, t) = \Omega_i(\mathbf{x}, t), \quad (1)$$

ahol f_i az i -edik rácsélhez rendelt sűrűségfüggvény, amely a \mathbf{c}_i rácsvektor irányában mozog egy adott lépés során, és amely az Ω_i ütközési operátor alkalmazásán keresztül lép kölcsönhatásba a többi sűrűségfüggvénnyel. $f(\mathbf{x}, \mathbf{c}, t) d\mathbf{x} d\mathbf{c}$ tulajdonképpen reprezentálja azon molekulák számát, amelyek a t -edik időpillanatban az \mathbf{x} pont $d\mathbf{x}$ környezetében vannak, és sebességük a \mathbf{c} és $\mathbf{c} + d\mathbf{c}$ sebességintervallumba esik. Az (1) egyenlet jobb oldalán található ütközési operátor legegyszerűbb alakja az ütközést, mint egy egyszerű relaxációs folyamatot írja le (Bhatnagar–Gross–Krook vagy BGK operátor):

$$\Omega_i(\mathbf{x}, t) = -\frac{1}{\tau} [f_i(\mathbf{x}, t) - f_i^{eq}(\mathbf{x}, t)], \quad (2)$$

amelynek során a sűrűségfüggvények mindegyike egy adott f_i^{eq} egyensúlyi állapot felé tart.¹ Az egyensúlyi állapot a Maxwell–Boltzmann-féle eloszlás sűrűségfüggvényének megfelelő, egy adott diszkrét sebesség környezetében sorfejtett alakja, másodrendig megtartva a sorfejtés során kapott tagokat. Így az függ a lokális ρ sűrűségtől és \mathbf{u} sebességtől, amelyek, mint említettük, a sűrűségfüggvények momentumaiként számolhatók:

$$\rho = \sum_i f_i(\mathbf{x}, t), \quad \rho \mathbf{u} = \sum_i \mathbf{c}_i f_i(\mathbf{x}, t). \quad (3)$$

Az ütközés során alkalmazott τ relaxációs paraméter határozza meg a modellezett folyadék viszkozitását. Megmutatható, hogy a rács-Boltzmann egyenletet (1) megoldva, a megfelelő momentumok (3) közelítik a közel összenyomhatatlan közegekre vonatkozó Navier–Stokes-egyenletek megoldását, amelyekben a nyomás az ideális gáz állapotegyenlete segítségével számolható. A megoldás hibái, akárcsak más numerikus megoldó módszerek esetén, a rács finomításával csökkenthetők.

Érdeemes megemlíteni, hogy a sűrűségfüggvények második momentumaként szintén származtathatjuk az adott rácsponthoz rendelhető e energiát:

$$\rho e = \sum_i \mathbf{c}_i^2 f_i(\mathbf{x}, t), \quad (4)$$

¹ A rács-Boltzmann módszer elnevezés helyett gyakran a rács-BGK elnevezést használjuk, amikor az ütközési operátort ilyen mértékben egyszerűsítjük.

és a megfelelő módszerrel a kapcsolódó energiamegmaradási egyenletet. Ahhoz azonban, hogy ez utóbbi a megfelelő alakú legyen, az egyensúlyi eloszlás sorfejtése során a tagokat negyedrendig kell megtartani. Vegyük észre: mivel a relaxációs folyamatot továbbra is egyetlen paraméterrel kontrollálhatjuk, így a BGK ütközési operátor alkalmazása esetén az impulzus- és energiaegyenletekben szereplő transzportegyütthatók (viszkozitás és hővezetési tényező) inherensen kapcsolódnak egymáshoz, megnehezítve, hogy a módszert kellő rugalmassággal alkalmazzuk tetszőleges paramétertartományban. Éppen ezért olyan szituációkban, ahol az energiamegmaradás figyelembevétele is igény, például hőátadás modellezése, általában más megoldást alkalmazunk a probléma kezelésére. Egy lehetséges alternatíva, hogy az energiaegyenletet mint a tömeg- és impulzusegyenlethez csatolt *makroszkopikus* egyenletet oldjuk meg. Figyelembe vehetjük például, hogy az energia a folyadék sebességével terjed, és viszkozitás révén a kinetikus energia belső energiává alakul. Ugyanakkor nem várjuk el, hogy az energia mezoszkopikus szinten, tehát az eloszlásfüggvények szintjén is megmaradjon.

Bár a rács-Boltzmann módszer a rács-gáz módszerek alapjaiból fejlődött ki, viszonylag hamar felismerték, hogy a módszer tulajdonképpen a folytonos Boltzmann-egyenlet egy speciálisan diszkrétizált változatának is tekinthető. Mivel a sűrűségfüggvények mozgását egy rácsra korlátozzuk, továbbá egy lépés alatt azok csak egy rácstávolságnyi mozoghatnak, tulajdonképpen a sebességeteret diszkrétizáljuk. A tér és idő diszkrétizálását pedig magának a rácsnak és a diszkrét időlépéseknek alkalmazásával érjük el. Természetes tehát, hogy a fizika bizonyos területein, amelyeknél a Boltzmann-egyenlet alkalmazása sikerre vezetett, a rács-Boltzmann módszer szintén sikerrel kecsegtethet, mint a Boltzmann-egyenlet numerikus megoldó módszere. Éppen ezért az elmúlt húsz évben a módszert számos fizikai probléma megoldására sikerrel alkalmazták.

Bár a rács-Boltzmann módszer a rács-gáz módszerek alapjaiból fejlődött ki, viszonylag hamar felismerték, hogy a módszer tulajdonképpen a folytonos Boltzmann-egyenlet egy speciálisan diszkrétizált változatának is tekinthető. Mivel a sűrűségfüggvények mozgását egy rácsra korlátozzuk, továbbá egy lépés alatt azok csak egy rácstávolságnyi mozoghatnak, tulajdonképpen a sebességeteret diszkrétizáljuk. A tér és idő diszkrétizálását pedig magának a rácsnak és a diszkrét időlépéseknek alkalmazásával érjük el. Természetes tehát, hogy a fizika bizonyos területein, amelyeknél a Boltzmann-egyenlet alkalmazása sikerre vezetett, a rács-Boltzmann módszer szintén sikerrel kecsegtethet, mint a Boltzmann-egyenlet numerikus megoldó módszere. Éppen ezért az elmúlt húsz évben a módszert számos fizikai probléma megoldására sikerrel alkalmazták.



3. ábra. Falról leváló buborék rács-Boltzmann szimulációja.

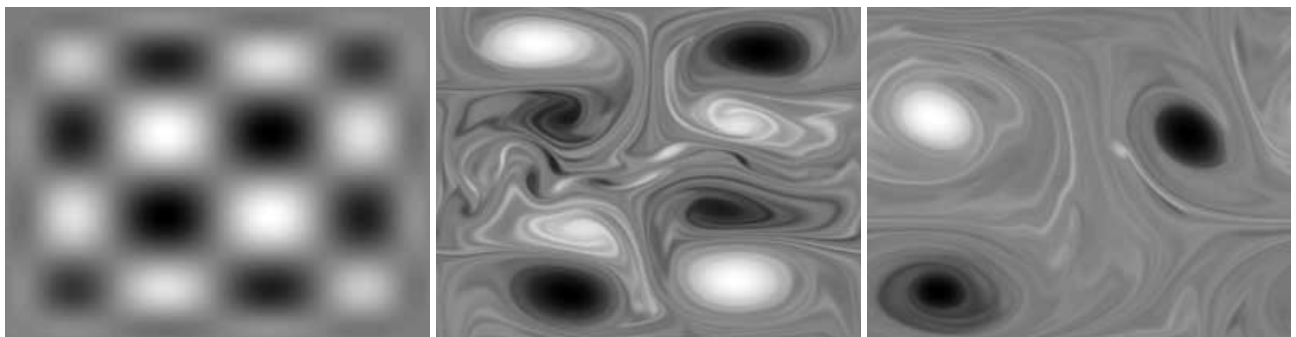
Véleményünk szerint egyik legígéretesebb alkalmazása a többfázisú (pl. víz és annak gőze) folyadék-dinamikai rendszerek modellezése, ahol más – jellemzően makroszkopikus – modellezési technikák rendre csődöt mondanak. Az alapmódszer többféleképpen kiterjeszhető kétfázisú rendszerek kezelésére, például vonzó és taszítóerőt modellezve a részecske-sűrűségfüggvények között. Ilyen erő alkalmazásával szinte tetszőleges – analitikusan leírható – állapotegyenlettel rendelkező folyadék modellezhető, és az abban előforduló fázisátalakulás tanulmányozható (3. ábra).

A módszer szintén vonzó tulajdonsága, hogy különböző peremfeltételek modellezése egyszerű technikák alkalmazásával megoldható. Példaként talán a csúszásmentes falak modellezését érdemes kiemelni, hiszen talán ez a leggyakrabban fellépő probléma folyadék-dinamikai számítások esetén. Csúszásmentes falak esetén a fal mellett a folyadéksebesség zérus, amely könnyedén modellezhető a rács-Boltzmann módszer esetén a visszapattanás-szabállyal. Ebben az esetben a falat elérő sűrűségfüggvényt egyszerűen visszafordítjuk, és a következő lépésben abba az irányba mozgatjuk, ahonnan érkezett. Így két időlépésre átlagolva garantáljuk a fal melletti zérus impulzus kialakulását, és jó közelítéssel csúszásmentes falat tudunk modellezni.

Kétfázisú rendszerek esetén a falak nedvesítése szintén könnyedén modellezhető, bevezetve egy, a fal és folyadék között fellépő vonzó-, illetve taszítóerőt.

Az eddig elmondottak alapján kiviláglik a módszer talán legnagyobb erénye, miszerint olyan fizikai folyamatok modellezése esetén, amelyeknél a makroszkopikus megközelítés alkalmazása nehézségekbe ütközik, a rács-Boltzmann módszer mezoszkopikus termé-

4. ábra. Kétdimenziós lecsengő turbulencia rács-Boltzmann szimulációja. Bal oldalon a kezdeti sebességmezőhöz tartozó örvényesség látható. Középen látszik, hogy a sebességgradiensek hatására hogyan válik a kezdeti közel diszkrét spektrumú sebességmező folytonos spektrumú mezővé, az energia és entrópia (az örvényesség négyzetének integrálja, nem tévesztendő össze az entrópiával) kaskád következtében. Jobb oldalon a végállapot felé közeledve fogy az örvények száma, míg végül két egymással szemben forgó örvény marad a rendszerben (itt nem mutatjuk).



szete segíthet innovatív, részecskeszemléleten alapuló megoldást találni. Másrésről, olyan problémák esetén, ahol eddig csak a makroszkopikus mennyiségek megfigyelésére nyílt lehetőségünk, a rács-Boltzmann módszer lehetőséget nyújt mezoszkopikus mennyiségek megfigyelésére. A rács-Boltzmann módszerrel turbulens áramlásokat modellezve például (4. ábra) nemcsak a hidrodinamikai sebesség és annak különböző korrelációi, de a sűrűségfüggvények maguk, azok egyensúlyi és nem-egyensúlyi része és a köztük megfigyelhető korrelációk is származtathatók, tanulmányozhatók. Reményeink szerint ez utóbbi tény segíthet olyan folyamatok mélyebb megértésében, amelyek esetén a tiszta makroszkopikus megközelítés eddig nem vezetett sikerre.

Végül, de nem utolsósorban, érdemes megemlíteni, hogy a módszernek ugyancsak nagy előnye az egyszerűsége. A 3. és 4. ábrán látható szimulációk például egy mindössze 400-500 soros számítógépprogrammal megvalósíthatók. A műveletek mindegyike lokális, így egy feladat megoldása párhuzamos számí-

tógép-architektúrán is gond nélkül kivitelezhető. Ráadásul a párhuzamosítás rendkívül effektív tud lenni. Számos gyakorlati esetben például lineáris gyorsulás érhető el, vagyis kétszer annyi gépen ugyanaz a feladat feleannyi idő alatt végezhető el. Ugyanakkor nem győzzük hangsúlyozni, hogy bár maga a módszer egyszerűen megvalósítható, a módszer mögött rejlő bizonyítás, amely segítségével a makroszkopikus egyenletekig eljuthatunk, közel sem tekinthető könnyen emészthetőnek. Éppen ezért gyakran találkozhatunk az irodalomban az alapmódszer olyan jellegű célirányos „megspékelésével”, amely bár első ránézésre fizikailag indokoltnak tűnik, egyszerű teszteken kiváló eredményeket produkál, mégis a módszer részletes analízisén elvérzik. Ennek ellenére úgy gondoljuk, hogy a módszer bemutatása helyet követel magának a fizika oktatásában is. Részecskeszemlélete gyors és könnyű befogadhatóságot, közelsége a Boltzmann-egyenlethez a statisztikus fizika alapvető fogalmainak gyakorlati alkalmazását, egyszerűsége a számítógépes kísérletezés lehetőségét biztosítja.

NEVEK ÉS HÍRNEVEK

Herzberg, Jahn, Renner, Teller és az elektron-rezgési kölcsönhatások

Hargittai Magdolna, Hargittai István

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Magyar Tudományok Akadémia

Teller Ede neve nagyon sok, a kémiában és a fizikában számon tartott „hatásban” szerepel. Példaként említhetők a BET-egyenlet, a Jahn–Teller-hatás és Renner–Teller-hatás, a Teller–Redlich-szabály, a Herzberg–Teller-hatás, vagy a Landau–Teller-modell. Teller hírneve mégsem elsősorban ennek köszönhető. Az ezekben a kifejezésekben vele társuló nevek viselői közül némelyikről sokat tudunk, másokról alig valamit. Teller a jelek szerint a BET (Brunauer–Emmet–Teller) egyenletet tartotta közülük a legjelentősebbnek, amire az is utal, hogy szerinte ezért az eredményéért kaphatott volna Nobel-díjat. A BET-egyenletet valóban sokan és sokat használják, de az eredeti megfogalmazásán kívül ennek az egyenletnek nem volt mozgalmas „élete”, noha még maga Teller is foglalkozott a továbbfejlesztésével. A Jahn–Teller-hatás [1] ezzel szemben az elmúlt évtizedek során nagyon sok további kutatásnak lett tárgya és kiindulópontja. Ezek közül a legjelentősebb a magashőmérsékletű szupravezetés felfedezése [2]. A hatás az elektron-rezgési (*vibronic*) kölcsönhatások közé tartozik, amelyek a korszerű molekulafizikában és szerkezeti kémiában egyre nagyobb szerepet játszanak. A Jahn–Teller-hatás mellett ide tartozik a Renner–Teller-hatás is. Feltűnő, hogy Teller ismertsége mellett *Jahn* és *Renner* mennyire ismeretlen maradt. Ezzel a rövid dolgozattal adózunk emléküknél.

A Jahn–Teller-hatás eredeti megfogalmazása szerint nemlineáris szimmetrikus elfajult elektronállapotú (vagyis elektronokkal csak részben betöltött pályákkal rendelkező) molekulák nem stabilak, és ezért szimmetrikus szerkezetük torzul. A torzulás megszünteti az elektronszerkezet elfajultságát és stabil – bár kevésbé szimmetrikus – szerkezet jön létre. Egyszerűbben megfogalmazva, az ilyen molekulákban nincs összhang az atommag-konfiguráció magas szimmetriája és az elektronsűrűség-eloszlás alacsonyabb szimmetriája között. Ez azt eredményezi, hogy az atommagok egy része elmozdul eredeti helyzetéből és olyan konfiguráció alakul ki, amelyben az atommag-konfiguráció és az elektronsűrűség-eloszlás szimmetriája már megfelel egymásnak. A molekula így alacsonyabb szimmetriájú lesz, mint amilyen szimmetriát várhatnánk pusztán a molekula szerkezeti képlete alapján.

A Jahn–Teller-hatás a molekula elektronszerkezete és rezgőmozgása közötti kapcsolatot fejezi ki, és ezért a jól ismert és széles körben érvényes Born–Oppenheimer-közelítés a Jahn–Teller-rendszerekre elveszti érvényességét. A Born–Oppenheimer-közelítés szerint a molekula elektronszerkezete és rezgőmozgása egymástól jól elkülöníthető annak köszönhetően, hogy az atommagok sokkal lassabban mozognak,

mint az elektronok. Az elektronszerkezet ebben a közelítésben úgy írható le, mintha rögzített atommagkonfigurációhoz tartozna [3].

Jahn–Teller-hatás csak akkor várható, ha az elfajult elektronszerkezet szimmetriája és annak a rezgésnek a szimmetriája, amely kimozdítja a molekula atomjait a nagyobb szimmetriájú állapotból, megfelel egymásnak. Lineáris molekulák azért képeznek kivételt a Jahn–Teller-hatás alól, mert ezekben nincs meg ez a megfelelés – például egy háromatomos AB_2 lineáris molekula kétszeresen elfajult hajlító rezgése lenne ilyen rezgőmozgás. A lineáris molekulák esetében is van azonban lehetőség arra, hogy a konfiguráció instabil legyen. Ezt az esetet írja le a Renner–Teller-hatás, amelyről szintén lesz szó az alábbiakban. Bár a Jahn–Teller-hatás a legismertebb elektron–rezgési kölcsönhatás, felfedezését időben megelőzte a Renner–Teller-hatás felismerése, és mindkettőt megelőzte Teller és *Gerhard Herzberg* idevonatkozó közös kutatási eredménye.

Teller és Herzberg, a későbbi Nobel-díjas spektroskopus, egy darmstadti konferencián ismerkedtek meg az 1930-as évek elején és akkor kezdték együttműködésüket. Herzberg akkoriban Darmstadtban dolgozott. Fél évszázaddal később Herzberg így emlékezett vissza közös munkájukra:

„Beszélgetéseinkből együttműködés alakult ki, ami közös dolgozatot eredményezett a többatomos molekulák elektronátmeneteinek rezgési szerkezetéről. A cikket kölcsönös látogatásaink során készítettük el; amikor én Göttingenbe mentem, vagy amikor Teller Darmstadtba látogatott. Szerepemet a bábaasszonyéhoz hasonlítanám: Telleré voltak az ötletek, amelyeket kísérleti eredményeink elmesélésével csalogattam elő belőle, és a cikk első piszkozatát én készítettem el, amit azután Teller kijavított. Tellernek kifogyhatatlan ötletei voltak ezen a területen (mint ahogy más területeken is), és mindig készen állt arra, hogy tudását megossza. A vele való közös munka számomra felejthetetlen élményt jelentett. Bár az ötletek mind tőle származtak, mégis ragaszkodott ahhoz, hogy a szerzők a cikkben ábécé-rendben szerepeljenek [4].”

A fent említett munkáról készült cikkük 1933-ban jelent meg, és az elektronmozgás és a rezgőmozgás elektronátmenetek során megvalósuló kapcsolatáról szól [5]; általában Herzberg–Teller-hatásként hivatkoznak rá. Herzberg és Teller ezen munkáját a Jahn–Teller-hatás előfutárának tekinthetjük. Időben ezt Renner 1934-ben közölt dolgozata követte, amely a széndioxid molekula első gerjesztett Π elektronállapotában fellépő elektron–rezgési kölcsönhatást írja le [6]. A szén-dioxid molekula alapállapota nem elfajult és a molekula, mint tudjuk, lineáris. Az első gerjesztett elektronállapota viszont elfajult. A fentiekben már utaltunk arra, hogy egy olyan molekulában, mint a CO_2 molekula, nincs megfelelés az elektronállapot szimmetriája és a molekulát behajlító rezgés szimmetriája között és ezért nem várható Jahn–Teller-hatás. Azonban az elektron–rezgési kölcsönhatásokat leíró

összefüggésnek lehetnek jelentősebb négyzetes (vagy esetleg még magasabb rendű) tagjai is, és ezek eredményezhetnek bizonyos mértékű hajlítást. A jelenséget Herzberg kezdeményezésére nevezték el Renner–Teller-hatásnak. Erre a hatásra az első kísérleti bizonyítékot csak Renner cikkének megjelenése után negyedszázaddal sikerült szolgáltatni, mégpedig az NH_2 gyök elektronszerkezetének elnyelési spektrumában [7]. Az NH_2 gyök egyik elektronja π pályán tartózkodik, és a Π elektronállapot az alapállapot, amely hajlított. A gerjesztett, nem-elfajult állapot a lineáris konfigurációjú.

Az 1930-as években Teller és a későbbi Nobel-díjas *Lev Landau* többször is beszélgetett a molekulák elektronszerkezte és rezgőmozgása közötti kapcsolatról. Teller szerint ebben a kérdésben komoly vitáik voltak, de hogy miben is álltak ezek a viták, sajnos nem teljesen egyértelmű. Az alábbiakban Teller idézzük:

„Göttingenben volt egy német diákom, R. Renner, aki cikket írt a lineáris szén-dioxid molekula elfajult elektronállapotairól. Feltételezte, hogy a gerjesztett elfajult állapotban a széndioxid lineáris.

Landauval 1934-ben együtt voltunk *Niels Bohr* intézetében Koppenhágában és sokat beszélünk erről a témáról. Landau nem értett egyet Renner következtetésével és a dolgozat nem tetszett neki. Azt mondta, hogy ha a molekula elfajult állapotban van, akkor szimmetriája sérül, és a molekula nem maradhat lineáris. Landaunak nem volt igaza és erről sikerült is meggyőződnöm. Ez volt valószínűleg az egyetlen eset, amikor nekem lett igazam egy Landauval folytatott vitában [8, 9].”

Ebben a leírásban zavaró, hogy Teller feltételezése szerint a szén-dioxid lineáris az elfajult gerjesztett állapotban, míg Renner dolgozata szerint a szerkezet hajlított. Amint arra a fentiekben már utaltunk, a torzulást az elektron–rezgési kölcsönhatást leíró összefüggés magasabb rendű tagjainak figyelembe vételével lehet értelmezni. Teller megjegyzése csak akkor érvényes, ha elhanyagoljuk a magasabb rendű tagokat. Ebben az esetben a szén-dioxid molekula lineáris lenne még elfajult elektronállapotban is. Renner dolgozatában a kétatomos molekulák példájával magyarázza meg a szimmetriaviszonyok és a mozgások összefüggését. A kétatomos molekulában a forgómozgás és nem a rezgőmozgás kapcsolódik össze az elektronmozgással: „Az okot a két atommagot összekötő vonal magas (hengeres) szimmetriájában kell keresni. Ez a szimmetria megmarad a rezgőmozgás során, ami megakadályozza a rezgési és az elektronmozgás összekapcsolódását [10].” Ugyanakkor, többatomos molekulák esetében a rezgés kapcsolódhat az elektronszerkezettel, és Renner itt idézi Teller és Herzberg cikkét [5]. Noha a CO_2 molekula alapállapotban (nem elfajult Σ állapot) lineáris, a gerjesztett Π állapotban már hajlítottnak várható a kölcsönhatás mátrixának jelentős négyzetes tagjai miatt (lásd feljebb).

Teller szavait többféleképpen is értelmezhetjük. Lehet, hogy Teller nem gondolt a Landauval folytatott



Rudolf Renner (1909–1991) az 1930-as évek elején, © Beate Bauer–Renner (Dorum, Németország), Renner menyének szívességéből.

vitában a négyzetes tagokra, ugyanakkor, ha Landau gondolt erre, nem fejtette ezt ki [11]. Az is lehet, hogy Landau valóban tévedett, mert nem gondolta végig a lineáris szerkezet „másságát”, de ezt Teller sem tartotta nagyon valószínűnek. Ahogy Teller mondta nekünk: „lehet, hogy Landaunak minden esetben igaza van, kivéve a lineáris molekulákat”. Természetesen az is lehetséges, hogy Teller évtizedekkel később már nem emlékezett pontosan a Landauval oly régen folytatott vitákra. Az viszont biztos, hogy Teller már londoni tartózkodása idején megkérte Hermann Jahnt, hogy vizsgálja meg, szisztematikusan „végigjárva” a különböző pontcsoportokat, a szimmetriatorzulás lehetőségét. Ez a munka vezetett közös cikkükhöz [1] és hosszú távon azokhoz az eredményekhez, amelyek ma Jahn–Teller-hatásként ismertek.

Rudolf Renner

A sziléziai Schweidnitzben született 1909-ben, amely akkor Németország része volt, ma Swidnica néven Lengyelországban található. Hannoverben tanult, majd 1929-től Göttingenben, ahol fizika doktorátust szerzett 1934-ben. Addigra témavezetője *Max Born* professzor és a Renner munkáját konzultánsként segítő Teller is eltávoztak Németországból az 1933-as náci hatalomátvételt követő zsidóellenes intézkedések következtében. Ez is oka lehetett annak, hogy Renner dolgozatán egyedüli szerzőként szerepel, de az is lehet, hogy Born is és Teller is azt tanácsolta volna neki, hogy egyedül legyen szerző.

A doktori cselekmény részeként Rennernek be kellett nyújtania egy önéletrajzot, amely 1933. november elseji dátummal megtalálható a Göttingeni Egyetem levéltárában. A kézzel írott önéletrajzban Renner meleg szavakkal köszöni meg Born támogatását és Teller segítségét [12]. Teller sokáig nem hallott Rennerről, mígnem 1980-ban levelet kapott tőle [13]. Renner leveléből megtudhatjuk, hogy a göttingeni fizika-program szétesésével Renner a doktorátus megszerzése után elvégzett egy tanárképzőt, de álláshoz nem jutott. Végül 1936-ban állást vállalt a Német Birodalmi Meteorológiai Szolgálatnál, és ott dolgozott a háború végéig. Közben megházasodott, felesége az alsó-szászországbeli Dorum város egyik gyógyszerészenek lánya volt. Feleségének két fiútestvére elesett a háborúban és így Renner lett apósa gyógyszerertárában az utód. Ehhez meg kellett szereznie a gyógyszerészi képesítést, és 1950-ben át is vette a gyógyszerertár vezetését. Felesége 1955-ben meghalt és Renner második felesége egy dorumi gyógyszerész lett. Harminc éves gyógyszerészi működés után ment nyugdíjba, 1980-ban.

Teller válaszlevelében kifejezte sajnálatát, hogy Renner nem folytatta fizikusi tevékenységét és azt is megírta, hogy Renner munkáját a Jahn–Teller-hatás előfutárának tekinti, „Ihre Dissertation war der Vorläufer des sogenannten 'Jahn–Teller Effekts' von dem immer noch viel gesprochen wird” [14]. Saját életét „meglehetősen aktívnak” nevezte, amely kifejezés enyhén szólva alulbecsülte a valóságot. Teller azt is megemlítette, hogy a fizika mellett a béke érdekében is fejt ki tevékenységet. Nincs tudomásunk arról, hogy ezen a levélváltáson kívül további kapcsolatuk lett volna egymással. Renner úgy élte le életét, hogy családjának sohasem beszélt a gyógyszerészi pályája előtti tudományos tevékenységéről [15]. 1991-ben halt meg.

Hermann A. Jahn

Teller és Jahn a Londoni Egyetemen dolgoztak együtt híressé vált dolgozatukon, amely a figyelmet az elektron–rezgési (*vibronic*) kölcsönhatásokra irányította. Teller számára London volt az utolsó európai állomás mielőtt az Egyesült Államokba távozott. Jahnról a legtöbbet abból a nekrológból tudhatunk meg, amelyet korábbi kollégája *P. T. Landsberg* publikált [16]. Az alábbi adatok részben ebből a nekrológból, részben Jahn gyermekeitől származnak.

Jahn német származású volt. Apja az 1890-es években hagyta el Németországot és telepedett le Angliában. Jahn 1907-ben született Colchesterben, Lincolnban nőtt fel, és alapfokozatát kémiában szerezte meg a Londoni Egyetemen 1928-ban. Mivel érdekelt a kvantummechanika, Lipcsében folytatta tanulmányait *Werner Heisenberg* és a holland matematikus *Bartel L. van der Waerden* irányításával. Doktori disszertációját 1935-ben védte meg és ezután visszatért Angliába. A Royal Institution munkatársa lett és a háború



Hermann A. Jahn (1907–1979) az 1930-as évek elején, © Michael Jahn és Margaret May (London), Jahn fiának és lányának szívesességéből.

alatt a Royal Aircraft Establishment munkatársaként vett részt védelmi célokot szolgáló kutatásokban. 1943-ban házasodott meg, felesége a Frankfurtból menekült zsidó tanítónő, *Karoline Schüller* lett. Jahn 1946-tól két évig a Birminghami Egyetem fizika tanszékén dolgozott *Rudolf Peierls* csoportjában. A Southamptoni Egyetem alkalmazott matematika professzorának 1949-ben nevezték ki és ott dolgozott nyugdíjba meneteléig, 1972-ig. 1979-ben halt meg.

Jahn és Teller közös munkájára akkor került sor, amikor Teller a Londoni Egyetem kémia intézetében dolgozott. Közös dolgozatukat a téma folytatásaként Jahn egyedül írt dolgozata követte. Jahn további munkákat is közölt a molekulaszervezet-kutatás, különösen a molekularezgések területén. Matematikai felkészültségét a röntgensugár szórás elméletének egyes vonatkozásaival kapcsolatban is kamatoztatta, valamint magfizikai témákban alkalmazta a csoportelméletet. A rezgések tanulmányozásával szerzett tapasztalata is közrejátszott abban, hogy háborús munkáit nagyobb szerkezetek, így repülőgépek rezgéseinek kutatásában végezte. Ez is okozhatta, hogy sohasem volt hajlandó repülőre szállni. Amikor a háború után állásinterjún vett részt Harwellben, ahol titkos kutatásokat is végeztek a brit atomprogram részeként, Jahn utalt német származására és kifejezte azt a reményét, hogy ez nem lesz akadálya alkalmazásának. A helyzet ironiája abban rejlik, hogy Harwell részéről az állásinterjút az a német származású *Klaus Fuchs* vezette, aki részt vett a Manhattan Tervben, és akit néhány évvel később, mint szovjet kémeket lepleztek le.

Jahn csendes és szerény ember volt, nagyon különbözött Tellertől. Intellektuális érdeklődése széleskörű volt, beleértve az európai irodalmat. Tanítványai mindig bizton számíthattak türelmes segítségére és biztatására.

Utóélet

Ma már nemcsak Jahn–Teller-hatásról, hanem hatásokról beszélünk. A Jahn–Teller-hatásokról monográfiákat jelentetnek meg, nemzetközi konferenciákon számolnak be az ezekre a hatásokra és alkalmazásukra vonatkozó legújabb eredményekről. A Jahn–Teller-hatás szolgált kiinduló pontul azokhoz a kutatásokhoz, amelyek a magashőmérsékletű szupravezetés felfedezéséhez vezettek. *J. G. Bednorz* és *K. A. Müller* az IBM svájci laboratóriumában 1986-ban tették a felfedezést és 1987-ben már Nobel-díjat kaptak érte. Ez volt a Nobel-díjak történetében az egyik leggyorsabb kitüntetés. A díjazottak bőséges elismeréssel illették a Jahn–Teller-hatást, és Nobel-előadásukban két szép ábrával is illusztrálták felfedezésük és a Jahn–Teller-hatás összefüggését [2].

Köszönetnyilvánítás

Molekulaszervezet-kutatásainkat az OTKA támogatásával végezzük (K60365 és T046183). Köszönettel tartozunk *Michael Jabn*nak és *Margaret May*-nek (London), Hermann Jahn fiának és lányának, Jahn fényképéért és ugyanígy *Beate Bauer-Renner*nek (Dorum, Németország), Rudolf Renner menyének, Renner fényképéért. Megköszönjük továbbá a Lipcsei Egyetem, a Göttingeni Egyetem, valamint a Stanford Egyetem Hoover Intézménye levéltárának és levéltárosainak szíves segítségüket a vonatkozó dokumentumok felkutatásában. Egyikünk (HD) külön is köszönetet mond az Alfred P. Sloan Alapítványnak (New York) azért a támogatásért, amelyet készülő *Judging Edward Teller: A Closer Look at One of the Most Influential Scientists of the Twentieth Century* című könyvéhez (Amherst, New York: Prometheus, 2010) szükséges kutatásaihoz nyújtott.

Irodalom

1. H. A. Jahn, E. Teller, *Proc. Roy. Soc. London A* 161 (1937) 220–235.
2. J. G. Bednorz, K. A. Müller: *Nobel Lectures Physics 1981–1990*. World Scientific, Singapore (1993) 424–457.
3. M. Born, R. Oppenheimer, *Annalen der Physik* 84 (1927) 457–484.
4. G. Herzberg: *Molecular Spectroscopy: A Personal History. Annual Review of Physical Chemistry* 36 (1985) 1655–1684; 1664.
5. G. Herzberg, E. Teller, *Z. Phys. Chem. (B)* 21 (1933) 410.
6. R. Renner, *Z. Phys.* 92 (1934) 172.
7. K. Dressler, D. A. Ramsay, *Phil. Trans. Roy. Soc. London* 251A (1959) 553–602.
8. I. Hargittai, M. Hargittai, *Struct. Chem.* 19 (2008) 181–184.
9. M. Hargittai, I. Hargittai: *Symmetry through the eyes of a chemist*. Third edition, Springer (2009) 305–306.
10. Lásd Renner dolgozatának angol nyelvű fordítását [6]: On the theory of interaction between electronic and nuclear motion for three-atomic, bar-shaped molecules. In *Quantum Chemistry: Classic scientific papers*. (Ed. H. Hettema) World Scientific, Singapore (2000) 61–62.
11. Erről bővebben, M. Hargittai, *Struct. Chem.* 20 (2009) 21–30.
12. R. Renner: *Lebenslauf des cand. phys.* Göttingen, 1. XI. 1933, az Universitätsarchiv Göttingen gyűjteményéből.
13. Rudolf Renner 1980. november 11-i levele Edward Tellerhez; Hoover Institution Archives, Stanford University.
14. Teller (dátum nélküli) levele Rudolf Rennerhez; Hoover Institution Archives, Stanford University.
15. Beate Bauer–Renner közlése, 2009. április 30.
16. P. T. Landsberg, *Bulletin of the London Mathematical Society* 12 (1980) 383–386.

A *Wikipédia* néhány soros ismertetéséből is kiderül, hogy *Gombás Pál* 1909. június 5-én született Selegszántón. Ez a születési hely azért érdekes, mert jelenleg Antau néven egy békés burgenlandi falu, aminek száz éve is csaknem kizárólag német és horvát anyanyelvű lakosai voltak. Ezért volt az, hogy Gombás, ha tehette, szívesen fordította a szót németre.

A Szabad Enciklopédiából ezen kívül annyi derül ki, hogy Kossuth-díjas akadémikus volt. akinek számos publikációja jelent meg *Az atom statisztikus elmélete és alkalmazásai* témakörben. Amennyiben erről a diszciplínáról nem hallott, az olvasók zöme számára bezárul a címszó ismertetése. Hogy ennél a szintnél tovább juthassunk, foglaljuk össze a tudnivalókat erről az időközben perifériára szorult területről.

A statisztikus atommodell

Az atomi rendszerek statisztikus elmélete egy a kvantummechanikai soktestprobléma közelítő módszerei közül. Pontossága számos gyakorlati esetben kielégítő, és az igen sok részecskéből álló rendszereknél is jól kezelhető marad.

A statisztikus elmélet alapja az a felismerés, hogy az atomi rendszerek – atomok, molekulák, kristályok – elektronjai abszolút zérus fokon vagy annak közvetlen környezetében levő, elektromos töltéssel bíró Fermi-gáznak tekinthetők. Az egyes elektronok az atommagok és a többi elektron elektrosztatikus potenciálterében mozognak úgy, hogy alapállapotú rendszer esetén a rendszer energiája a lehető legmélyebb legyen.

A *statisztikus elmélet* elnevezés mögött a kvantummechanikai soktestprobléma közelítő módszerei vannak, amelyek közös alapja a Thomas–Fermi-modell. A Thomas–Fermi-modellben a rendszer E energiáját kell előállítani a rendszer elektronsűrűségének funkcionálja formájában. Ezután az elektronsűrűség abból a feltételből állapítható meg, hogy a rendszer energiája a lehető legmélyebb legyen. A Thomas–Fermi-modell energiakifejezésének levezetése céljából feltételezzük, hogy a rendszer elektronjai az atommagok és az elektronok kiátlagolt elektrosztatikus potenciálterében mozognak. Ebben a közelítésben nem vesszük figyelembe a kicserélődési és korrelációs effektusokat.

Az egyes térfogatelemekben levő elektronokat abszolút zérus hőmérsékleten levő elektrongáznak tekintjük. A konstans potenciáltérben mozgó sok elektrontól álló elektrongáz kvantummechanikai vizsgálata alapján belátható, hogy a gáz kinetikus energiája az elektronsűrűség $5/3$ -ik hatványának integráljával arányos. Ennek alapján felírható az elektronrendszer teljes energiája, mint a mag és a többi elektron elektrosztatikus potenciális energiájának és a kinetikus energiának az összege.

Ennek az energiakifejezésnek a segítségével a vizsgált rendszer elektronsűrűségére egyszerűen kaphatunk közelítést. Ez a közelítés általában – a magokhoz igen közel eső és a magoktól igen távol fekvő térszerek kivételével – a hullámmechanikai úton számított elektronsűrűségeknek igen jó középértékét adja.

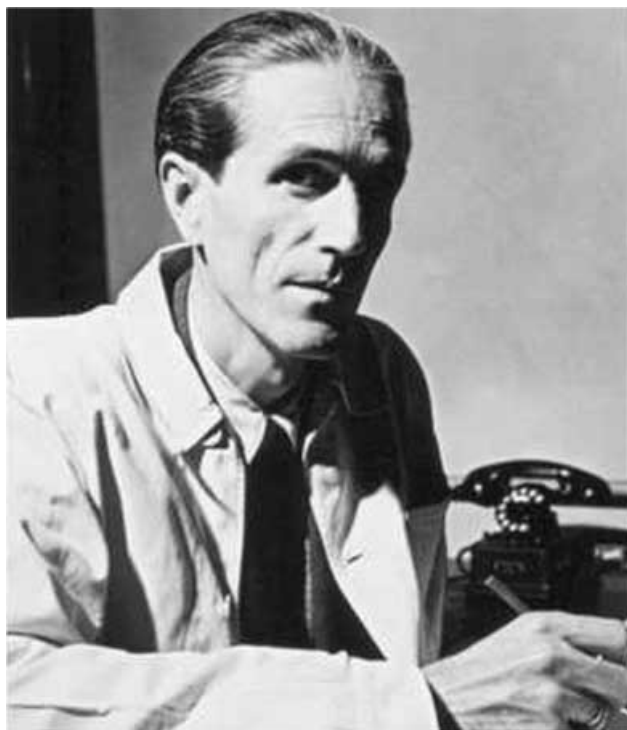
Az energiakifejezés bővíthető az elektronok kicserélődési és korrelációs energiájával is. Ehhez jelent segítséget a pszeudopotenciálok alkalmazása. A pszeudopotenciálok potenciálszerű kifejezések, amelyekkel az úgynevezett hullámmechanikai kicserélődési kölcsönhatást, a korrelációs kölcsönhatást és a Pauli-féle betöltési tilalmat igen leegyszerűsített módon, de mint a számítások eredményei mutatják, többnyire igen jó közelítésben helyettesíteni lehet. Vegyük sorra ezeket a pszeudopotenciálokat!

Annak következtében, hogy az atom teljes sajátfüggvénye az elektronok felcserélésével nyert megoldások lineáris kombinációja, az atom energiájában a klasszikus elméletben ismeretlen új tagok lépnek fel, amelyeket kicserélődési tagoknak nevezünk. Mivel az elektronok energiája általában a köztük fellépő kölcsönhatásból származik, beszélünk kicserélődési kölcsönhatásról, anélkül azonban, hogy ehhez bármilyen szemléletes képet fűznénk. Atomok valenciaelektronjaira vonatkozóan a statisztikus elmélet alapján még a 40-es évek elején sikerült kimutatni, hogy a kicserélődési kölcsönhatás potenciállal helyettesíthető, amely a valenciaelektronok nélküli elektronsűrűség köbgyökével arányos. Ezt úgy szemléltethetjük, hogy a párhuzamos spinű elektronok a kicserélődési kölcsönhatás következtében igyekeznek egymástól lehetőleg távol tartózkodni.

Ha az elektrosztatikus taszítást is figyelembe vesszük, akkor az elektronok e taszítás következményeként – függetlenül a spinek irányától – szintén igyekeznek egymástól lehetőleg távol elhelyezkedni. Tehát az elektronok a köztük működő elektrosztatikus taszítás következményeképpen sem mozognak egymástól függetlenül. Ezt nevezzük korrelációnak. A korreláció elsősorban antiparallel spinű elektronok között érezteti a hatását, parallel spinű elektronok esetében alig van szerepe, mert ott a kicserélődési kölcsönhatás dominál, amelyet a korreláció csak igen kis mértékben módosít. A korrelációs kölcsönhatást is helyettesíteni lehet közelítőleg pszeudopotenciállal.

A Pauli-féle betöltési tilalom teljesen betöltött kvantumállapotokra vonatkozik és elektronok esetében úgy szól, hogy két egymáshoz képest antiparallel spinű elektronnal betöltött kvantumállapotba (amely ebben az esetben teljesen betöltött kvantumállapotnak felel meg) még egy elektron nem léphet. Ki lehet mutatni, hogy a betöltési tilalmat taszító potenciállal lehet helyettesíteni.

E potenciálok alapján lehetségessé vált egy igen szemléletes és egyszerű fémelmélet kidolgozása,



amely az alkáli fémek és földalkáliák sok tulajdonságáról tisztán elméleti úton, empirikus vagy félempirikus paraméterek nélkül, tud számot adni.



Gombás Pál 1933-ban kapta meg matematika-fizika tanári diplomáját, és kezdettől nem élt a lehetőséggel, hogy gimnáziumban tanítson, hanem fizetés nélküli gyakornok lett a pesti tudományegyetem elméleti fizikai intézetében *Ortvy Rudolf* mellett. Maga választhatta a kutatási területet, és hogy a tudományos munkára fordított szabad időért mennyit képes éhezni. Munkájának eredményességét mutatja, hogy 1939 végéig külföldi folyóiratokban 19 cikke jelent meg, közülük 3 készült társszerzővel. A magyar nyelven megjelent írásokat is figyelembe véve 30 felett volt ekkor publikációinak száma, közöttük sokak által és gyakran idézett cikkek a statisztikus modell alapjairól és a pszeudopotenciálokról.

Ez a teljesítmény elegendő alap volt az éppen megüresedő szegedi elméleti fizikai tanszék elnyerésére. Külpolitikai okokból ez egy év múlva már kolozsvári professzorságot jelentett, majd újabb üresedés nyomán 1943-tól a budapesti Műegyetem fizika tanszékét.

A háború, majd az azt követő újjáépítés nem az elmélyült kutatómunka időszaka. Gombás Pál azonban sokat dolgozott és rendkívül eredményes volt. A nagy összefoglaló munka 1949-ben jelent meg Bécsben, a Springer kiadásában *Die statistische Theorie des Atoms und ihre Anwendungen* címmel, amit majd csak az orosz kiadás után, 1955-ben követt a magyar fordítás, *Az atom statisztikus elmélete és alkalmazásai*.

Mindeközben elismertsége sajátosan alakult. 1946-ban az MTA levelező, majd néhány hónappal később rendes tagja lett. Ennek ellenére a kommunista hatalomátvétel időszakában *Szent-Györgyi Albert* segítsé-

gével az Egyesült Államokba távozott. Itt azonban nem fogadták azzal a megkülönböztetett tisztelettel, mint amihez már hozzászokott, ezért rövidesen hazatért.

Az imperialistákban csalódott Gombás tehát 1948-ban hazajött, helyzetében megerősödve vezette tovább a műegyetemi tanszékét, a Tudományos Akadémián pedig a vezetőségbe választották; tíz éven keresztül volt az Akadémia alelnöke. Még abban az évben megkapta a Kossuth-díj arany fokozatát, majd két évvel később ismét, 1951-ben pedig a Magyar Népköztársaság Érdemrendjét. A hivatalos tudománypolitika végre önmagával elégedetten ismert el egy nagy tudóst nagy tudósnak.

Gombás mérnökhallgatóknak tanította a fizika alapjait, minden érdeklődőnek a statisztikus atomelméletet. Létrehozta az MTA Elméleti Fizikai Kutatócsoportját, aminek haláláig igazgatója maradt. A tudományos iskola is hozzájárult, hogy az ötvenes évek közepén Gombás tekintélye magasan állt. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat elnöki tiszte a szakma elismerése volt. 1956-ban tetőzött a nemzetközi megbecsülés a *Handbuch der Physik*ben megjelent 120 oldalas Gombás tanulmány, a *Statistische Behandlung des Atoms* hatására.

A pszeudopotenciálokról 1967-ben megjelent karcscú monográfiája is összefoglalás, de még inkább így van ez a társszerzőként jegyzett terjedelmes munkákkal, amelyekben a negyvenes években félretett előadás-vázlatok alapján állított össze majd kétezer oldal *Kisdi Dávid* arról, ami a fizikában nélkülözhetetlen, illetve az elméleti fizikában széles körben használható. Különösen sikeres közös vállalkozásnak bizonyult a *Bevezetés a hullámmechanikába és alkalmazásaiba*, ami már majdnem királyi útnak számít ehhez a sokak által tervbe vett, de kevesek által elért tartományhoz. A három nyelven négy kiadást megért könyv sikere az ebben a témában könyvtárryira növekedett kínálat-hoz képest is impozáns volt.

Az összefoglalást és a közkinccs-tételt szolgálta a szakfolyóiratokban évente megjelent két-három közleményével is. A statisztikus magmodell bemutató sorozat öt részben jelent meg; a statisztikus elmélet eredményeit és lehetőségeit összefoglaló cikket helyezett el a *Review of Modern Physics*ben, és ami legalább ennyire nevezetes, a *Fizikai Szemlé*ben. A pszeudopotenciálokról ugyancsak írt a szűkebb és tágabb szakmának, valamint a statisztikus modell teljesítőkéességét demonstrálta a héliumtól az uránig minden elemre elvégzett számítások közzétételével.

Eredményei és elismertsége ellenére 1971 májusában, 62 éves korában öngyilkos lett. Tettének oka ismeretlen – talán gyakori fejfájását érezte elviselhetetlennek. Csak remélhetjük, hogy helytálló *Marx György* következtetése, amelyre Gombás születésének 75. évfordulóján rendezett emlékülésen jutott: *Amikor eltávozott, befejezett művet hagyott hátra.*

Irodalom

1. Gombás Pál 1909–1971. A születésének 75. évfordulóján rendezett emlékülés előadásai. *Fizikai Szemle* 34 (1984) 443–457.
2. Füstöss László: Arcképvázlat Gombás Pálról. *Fizikai Szemle* 56 (2006) 127–131.

TERMOAKUSZTIKUS PROJEKTFELADAT RIJKE-CSŐ VIZSGÁLATÁRA

Beke Tamás
SZTE-TTIK Fizika Doktori Iskola

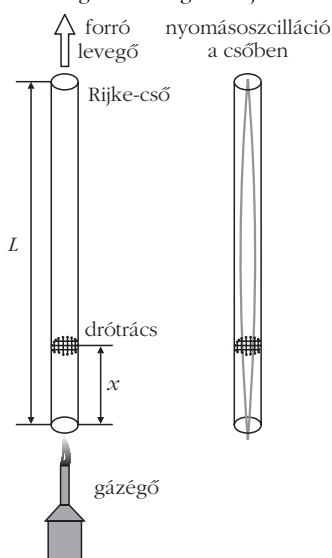
A cikkben Rijke-csővel végzett mérési, vizsgálati feladatot mutatok be. Célunk az volt, hogy a tanulók termoakusztikai ismereteinek bővítésén túl fejlődjön alkalmazott informatikai készségük és szokják a csapatmunkát.

A Rijke-cső

A Rijke-cső egy mindkét végén nyitott cső, amelynek belsejébe egy hőforrást helyeznek el. A hő forrása lehet gázláng vagy elektromos fűtés. Ha a cső függőleges helyzetben van és a hőforrás alul található, a cső erős hangot bocsáthat ki a hőforrás helyzetétől függően. A jelenséget *Petrus Leonardus Rijke* fedezte fel 1859-ben, ezért ezt a termoakusztikus jelenséget, amelynek során hő hatására hanghullám alakul ki az eszközben, Rijke-hanghatásnak nevezik.

A Rijke-cső a 19. században csak egy érdekes eszköznek számított; a 20. században a sugárhajtású repülőgépek és a rakéták megjelenésével változott a helyzet, mert az égés ezek hajtóművében nagyon nagy teljesítménysűrűségű. Ennek az energiának kis hányada is elegendő ahhoz, hogy a hajtómű belsejében hanghatást keltsen és tartson fenn, ami szintén termoakusztikus jelenség. Ez az akusztikus hullám nagyon erőteljes, és akár a hajtómű károsodásához is vezethet. A Rijke-cső azért került néhány évtizeddel ezelőtt újra a figyelem középpontjába, mert bizonyos értelemben jó és egyszerű modellje a sugárhajtású motoroknak és a rakéták hajtóműveinek [3].

1. ábra. Gázégővel melegített Rijke-cső vázlat



A Rijke hanghatás

A mindkét végén nyitott csőben akusztikus állóhullámok alakulhatnak ki: a gáz a cső minden részén váltakozva összenyomódik és kitágul, a gázcseppkék a csőben rezgőmozgást végeznek. Álló hanghullámok könnyen kelthetők a csőben valamilyen energiaforrás segítségével, például a cső egyik végénél (1. ábra).

Ha az energiaforrást kikapcsoljuk, a keltett hanghullám amplitúdója csökken, mivel súrlódás lép fel a cső falával, és az energia elveszik a cső nyitott végénél. Ezek szerint az energiaforrásnak nemcsak az a szerepe, hogy újabb hanghullámokat kelt, hanem a már meglévő hanghullámokat is fenntartja [1, 3].

A Rijke-cső megépítése

A mérésekhez a következő eszközökre van szükség (2. ábra):

- Rijke-csövek állványzattal (1 db alumínium- és 1 db rézcsövet, illetve egy üvegből készült csövet is használtunk, mert azon könnyű volt szemléltetni a drótkadály helyzetét).
 - Gázégő (szabályozható teljesítményű).
 - Drótrács (rács), amelyet a cső belsejébe helyezünk, ezt melegítjük a gázláng segítségével.
 - Hang rögzítésére és mérésére szolgáló eszköz (pl. egy mikrofon és számítógép hangkártyával).
 - Hőmérő, amely több száz °C hőmérsékleten is használható, a mérésekhez IR-380 típusú infravörös digitális hőmérőt használtunk.
 - A levegő áramoltatásához egy berendezés (pl. hajszárító vagy porszívó).
 - Hangintenzitás-mérő műszer. (A kvantitatív eredményekhez van szükség a műszerre, egyébként e nélkül is elvégezhetők a kísérletek.) A mérésekhez Voltcraft 322 Datalog típusú digitális zajszintmérőt használtunk; a műszert az SZTE-TTIK Kísérleti Fizikai Tanszékéről kaptuk kölcsön, amiért köszönetet mondunk.
- Ezen eszközök egy része (állvány, cső, gázégő, drótrács) minden iskolai fizikaszertárban megtalálható, más részük (mikrofon, számítógép hangkártyával, illetve porszívó) szintén megtalálhatók az oktatási intézményekben; ezek tehát nem kerülnek külön pénzbe. Szerencsére nem feltétlenül szükséges a felsorolt eszközök mindegyike, tulajdonképpen a mikrofon és a számítógép elegendő ahhoz, hogy relatív



2. ábra. Rijke-cső a mérőműszerekkel együtt



3. ábra. A tanulók méréseket végeznek a projektfeladat során

hangosságokat megállapítsunk. A mérések elvégzése nem igényel külön ráfordítást az iskolától, ez összhangban van a Rocard-jelentéssel [4].

A mérések során a következő összefüggésekre kerestünk választ:

- A cső hossza és a hőforrás helyzete hogyan befolyásolja a hang keletkezését?
- A hőteljesítmény változtatása miképpen befolyásolja a kibocsátott hang hosszát, illetve intenzitását?
- A rács hőmérsékletétől hogyan függ a cső által kibocsátott hang hossza és intenzitása?
- Ha a csőben külön légáramoltatás is van, akkor ez befolyásolja-e a hangkibocsátást?

Az iskolai projekt

Az iskolai projektek középpontjában általában valamilyen gyakorlati jellegű feladat – egy megoldandó probléma – áll. A megfelelően előkészített és kivitelezett projektfeladat megoldása közben a gyermekeknek épp azok a tulajdonságai, készségei, kompetenciái fejlődnek, amelyekre egész életükben szükségük van (tervezés, szervezés, kommunikáció, információ-feldolgozás, együttműködés, feladatok megosztása stb.).

Iskolai projektünkben önkéntes alapon vehettek részt a Nagyasszonyunk Katolikus Általános Iskola és Gimnázium tanulói. A méréseket délutánonként végeztük fizika szakkör-foglalkozásokon; 3–6 tanuló dolgozott minden csoportban (3. ábra).

A mérések során 3 különböző Rijke-csővel dolgoztunk; egy-egy tanulói csoport vizsgálta az egyes csövek viselkedését. Az eszközök egy részét (pl. zajsztímérő, digitális hőmérő) közösen használtuk. Ez külön szervezést igényelt. Ezen kívül arra is ügyelnünk kellett, hogy az egyik csapat Rijke-csővének hangja ne zavarja meg a másik csoport mérését. Ezért a munkánkat össze kellett hangolni, hiszen néhány eszközön osztoztunk, illetve egymás zavarása nélkül kellett dolgoznunk. Ezzel – mintegy mellékesen – a tanulók szervezőképességét is fejlesztettük, sőt a szociális kompetenciák (eszközök közös használata) is fejlődtek. (Amíg a projekt elején előfordult, hogy nem tudtak megegyezni, hogy ki mit használjon, addig ez a későbbiek folyamán gördülékenyen ment.) Minden mérést ötször megismételtünk és az átlagértékekkel számoltunk tovább, a kapott eredményeket számítógépen rögzítettük.

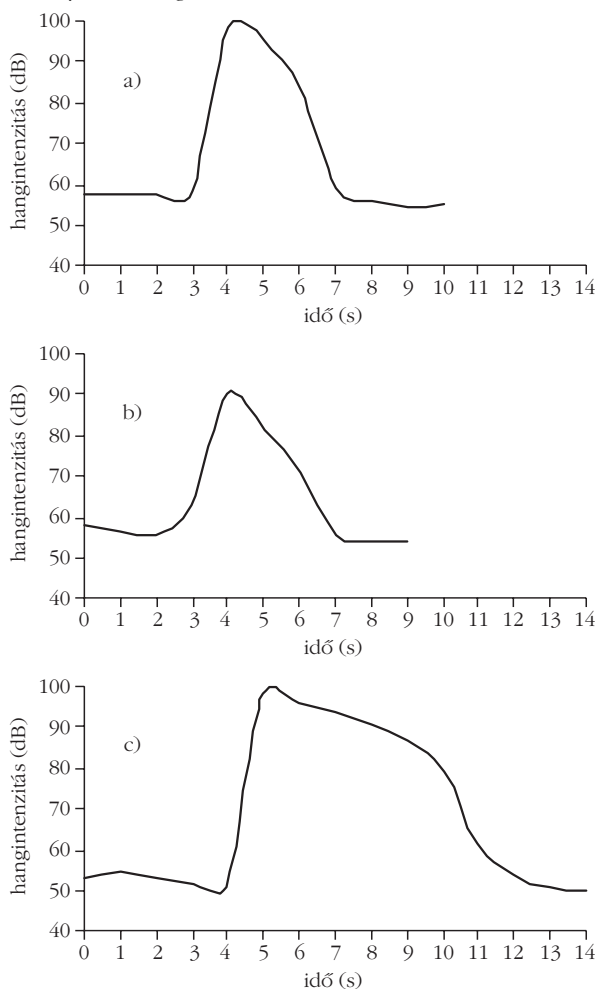
A mérés menete

Első lépésként a gázégők teljesítményét határoztuk meg; a teljesítmény mérését visszavezettük a hőmérsékletváltozás és az idő mérésére; meghatározott mennyiségű (ismert tömegű) és kezdőhőmérsékletű vizet melegítettünk a forráspont eléréséig, így a hőmérsékletváltozást könnyen kiszámolhattuk. A víz fajhőjének ismeretében kiszámítható a belső energia változása, de a határfokot nem ismertük, hiszen mele-

gedett a tárolóedény, a tartóállvány, a környező levegő is. Ezt úgy küszöböltük ki, hogy különbségi méréseket végeztünk.

Második lépésként a Rijke-csőbe helyezett rácsok átteresztőképességét határoztuk meg. Első ötletünk az volt, hogy a csőhöz egy porszívót kötünk, majd mérjük az adott idő alatt átáramlott levegő mennyiségét úgy, hogy a csőben benne van a rács, illetve úgy, hogy nincs rács a csőben. A két mérés aránya megadja a rács átteresztőképességét. Sajnos ez a módszer a gyakorlatban nem működött, ugyanis nem volt mérhető különbség a két eset között, ezért más módszert választottunk. A rácsokról digitális fényképet készítettünk szupermakro módban, majd megmértük egy üres négyzetrács méretét, megszámláltuk a cső belsejébe eső ilyen négyzetrácsok számát (a szélén lévő torzult négyzeteket félnek vettük), majd összesítettük a területeiket. Az összes üres terület és a cső belső keresztmetszetének hányadosa megadja a rács átteresztőképességét. Az általunk használt 3 különböző rács átteresztőképessége rendre 68%-nak, 78%-nak, illetve 85%-nak adódott. Mindhárom ráccsal végeztünk méréseket. Jelentősebb eltérést nem találtunk az

4. ábra. $x = L/4$ rácshelyzetnél a hang intenzitása az időtartam függvényében: (a) üvegcső, égőteljesítmény mintegy 300 W, (b) rézcső, égőteljesítmény körülbelül 340 W, (c) alumíniumcső, égőteljesítmény közelítőleg 430 W.



egyes esetekben. Sokkal inkább a rács anyaga számít; bár mindhárom rács acélból készült, a legsűrűbb rács bizonyult a legmegfelelőbbnek; mindenképpen célszerű valamilyen magas olvadáspontú rugalmas fémrácsot beszerezni.

A hőmérséklet mérése IR-380 típusú érintésmentes mérőműszerrel történt, amely a hőmérsékletet az objektum által az infravörös tartományban kisugárzott energia alapján határozza meg, az emisszió-fok figyelembe vételével.

Hangkibocsátás a gázégő teljesítményének függvényében

Ha a függőleges helyzetű csőben lévő rácsot gázlánggal kezdjük melegíteni, akkor rövid időn belül felforrósodik a rács. Ha ezután is folytatjuk a melegítést (azonos teljesítménnyel), akkor a rács hőmérséklete már nem nagyon emelkedik, legalábbis a mérési pontosságon belül ezt tapasztaltuk. Ha közben vizsgáljuk a Rijke-cső által kibocsátott hangot, akkor azt figyeltük meg, hogy a hangkibocsátás időtartamának jól érzékelhető maximuma van, méghozzá közelítőleg akkor lesz a leghosszabb a kibocsátott hang, amikor a rács a melegítés során eléri a hőmérsékleti plató kezdetét. További melegítésre rövidül a kibocsátott hang. Van tehát egy optimális időtartam, amíg célszerű melegíteni a rácsot. Ha a kísérlet közben a csővég hőmérsékletét is mérjük, akkor azt állapíthatjuk meg, hogy az fokozatosan növekszik, a cső anyagától, geometriai méretétől (közvetve a tömegétől), a melegítés intenzitásától, illetve a rácshelyzettől függően. Ezek után az idő függvényében ábrázoltuk a rács és a csővég hőmérsékletének különbségét, és azt kaptuk, hogy ennek a függvénynek maximuma van, méghozzá nagyjából azon a helyen, ahol a kibocsátott hang hosszának is. Azt mondhatjuk tehát, hogy a hangkibocsátás időtartama függ a rács és a csővég hőmérsékletének különbségétől.

Különböző égőteljesítmények esetén is vizsgáltuk a cső hangkibocsátását. Ebben az esetben a rács helyzete és átteresztőképessége nem változott. Minden fűtőteljesítmény és minden rácshelyzet esetén mértünk meghatározott időtartamú melegítés után. A keletkezett hang intenzitásának és hosszának időfüggésében is hasonlókat tapasztaltunk ahhoz, amit az előzőekben leírtam; azaz van egy optimális melegítési idő, ami után a kibocsátott hang időtartama és intenzitása már nem nő tovább. A rács helyzetét (x) tekintve a cső alsó végétől indultunk és minden méréssorozat után fokozatosan egyre feljebb helyeztük el a rácsot. A kibocsátott hang hossza és intenzitása is fokozatosan nőtt, amíg el nem értünk a csőhossz (L) negyedrészeinek közelébe. Az $x = L/4$ hely körül található mind a hangintenzitásnak, mind a hang időtartamának maximuma (4. ábra).

A cső negyedrészt elhagyva fokozatosan csökkentek a kibocsátott hang időtartamának és intenzitásának értékei. Érdekes, hogy nem szimmetrikus a cső első és

második negyedrészeének viselkedése. A második negyedben gyorsabban csökkentek a mért értékek, mint amennyire az első negyedben emelkedtek. A cső felének közelében eljutunk egy olyan ponthoz, ahol már nem bocsát ki hangot a cső. Hiába változtattuk a melegítés idejét, illetve teljesítményét, nem keletkezett hang a Rijke-csőben, ekkor a gáznyomás és a hőátadás ellentétes fázisban vannak egymáshoz képest [3].

Ha a hangkibocsátást a gázgő teljesítményének függvényében jellemezzük, akkor küszöbszerű viselkedést tapasztaltunk. Túlzottan kis teljesítmény esetén egyik cső sem szólalt meg. Próbálkoztunk gyertyalánggal, illetve borszeszgő lángjával megszólaltatni a csöveket, de ez nem sikerült; valószínűleg azért, mert nem tudták kellőképpen felmelegíteni a rácsot. Ha növeltük a gázgő teljesítményét, akkor már megszólaltak a csövek.

Az alumíniumcső körülbelül 150 W teljesítmény felett bocsátott ki hangot. A teljesítményt és a melegítés idejét külön-külön fokozatosan növelve eljutunk egy optimális ponthoz, ahol a leghosszabb ideig hallható a csőben keletkező hang. Ez a csőtől és a rács-helyzettől függően 300–500 W közötti teljesítményt jelent. Ha még tovább növelem a teljesítményt, akkor egy idő után nemcsak csökken a hang hossza, hanem teljesen megszűnik a hangkibocsátás. Ennek oka két dolog is lehet: egyfelől a nagy gázgő-teljesítmény maga után vonja a csőben áramló levegő sebességének növekedését, ami akadályozza a hanghullámok kialakulását, másrészt a túl nagy teljesítményű láng egyszerűen szétolvashatja a rácsot, ezáltal megszűnik a hangot keltő „energiapumpa”.

Vízszintes helyzetű cső

Ha a csövet vízszintes helyzetbe fordítjuk és így melegítjük a rácsot, akkor alapesetben (külön légáramoltatás nélkül) nem keletkezik hang, hiszen nincs a levegőnek természetes konvekciós áramlása, (kéményhatás), ezért nyomásfluktuáció sem alakul ki. Ekkor semmilyen rács-helyzet és semekkora égőteliesség esetén sem bocsát ki hangot a cső. Más a helyzet, ha külön légáramlást biztosítok a csőben, például egy porszívó segítségével. Ekkor már keletkezik hang, méghozzá nagyjából hasonlóan ahhoz, ahogy a cső függőleges helyzetben viselkedik.

A porszívó szívási teljesítményét úgy számítottuk ki, hogy felfújtunk egy nagyobb (kb. 50 literes) műanyag zacskót, majd rövid ideig kiszívtuk belőle a levegő egy részét. A szívási teljesítményt ($\Delta m/\Delta t$) a gáztörvényből kaptuk:

$$\Delta m = \frac{p \cdot M \cdot \Delta V}{R \cdot T},$$

ahol T a gáz abszolút hőmérsékletét, p a levegő nyomását, M a moláris tömegét, ΔV a levegő térfogatának megváltozását jelenti, R pedig az univerzális gázállandó. Feltételeztük, hogy a nyomás közel állandó, mivel csak kevés levegőt szívunk ki; azaz elég volt a zacskó

kő térfogatnak megváltozását mérni. (A nyomást 10^5 Pa-nak, a hőmérsékletet 293 K-nek vettük.) Ebből a porszívó szívási teljesítményére 0,9 g/s adódott.

Az $x = L/4$ helyzet közelében van a rács optimális helyzete, és az $x > L/2$ rács-helyzet esetén nem tapasztaltunk hangot. Sajnos a porszívó szívási teljesítményét nem tudtuk megfelelően szabályozni, ezért azt nem tudjuk megmondani, hogy mekkora minimális légáram-intenzitás esetén szólal meg a Rijke-cső, illetve mekkora az a maximális légáram-intenzitás aminél még keletkezik hang a csőben. Az biztos, hogy itt is van küszöbhatás. Ezt úgy tudtuk demonstrálni, hogy állandó értékű égőteliesség esetén a porszívó csövet távolabb vittük a Rijke-cső szájától, majd fokozatosan közelítettünk a porszívóval a Rijke-cső felé a kísérletek során, így a Rijke-csőben átáramló levegő mennyisége is fokozatosan növekedett. A cső kezdetben nem bocsátott ki hangot, de egy idő után már elegendő volt a légáram, és megszólalt a Rijke-cső.

Termoakusztikus oszcilláció

A termoakusztika szerint a hanghullám a hőterjedés során alakul ki a *szonikusan indukált hőmérsékleti gradiens* következtében. A gázmolekulák a cső hidegebb vége felé gyorsulnak, ezáltal a tubus fűtött végénél a relatív gáznyomás lecsökken, újabb gázrészecskék gyorsulnak a fűtött csővég felé, ahol feltöltik az alacsonyabb nyomású térfogatrészt. Itt a gáz újra felmelegszik, majd az egész folyamat kezdődik előlről. A gázmolekulák felgyorsulása és lelassulása az időben szinuszosan történik, végeredményül egy önfenntartó szinuszos longitudinális gáznyomás-oszcilláció jön létre. A Rijke-csőben keletkező állóhullámok esetén a kitérésnek duzzadóhelye van a cső mindkét végénél, azaz a cső hossza a hullámhossz felének egész számú többszöröse [2]:

$$L = \frac{\lambda}{2} \cdot n \text{ és } n = 1, 2, 3, \dots$$

A kialakuló hangrezgés f frekvenciája:

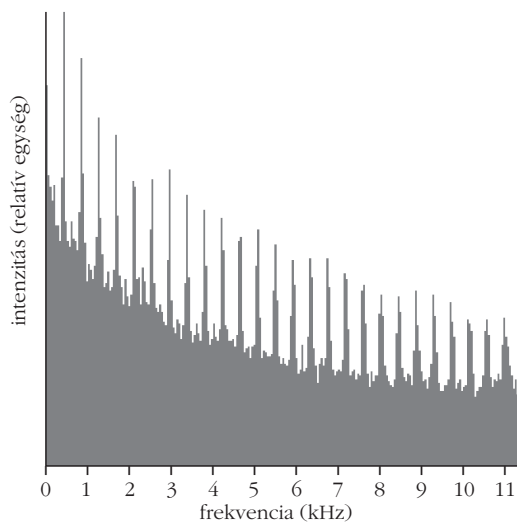
$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{2 \cdot L} \cdot n,$$

ahol n a harmonikusok száma ($n = 1$ -et nevezzük alapharmonikusnak), c a közegbeli hangsebesség.

Láthatjuk, hogy a frekvencia függ a harmonikusok számától, a közegbeli hangsebességtől és a cső hosszától. A tubus hosszának csökkenésével az alapharmonikus és a felharmonikusok hullámhosszai is csökkenek (állandó gázbeli hangsebesség esetén).

Valójában a hangsebesség nem állandó, mivel a hőmérséklet és a nyomás is folytonosan változik. A cső által kibocsátott hang frekvenciaspektrumát Audacity 1.3 Beta (freeware = szabadon letölthető) programmal vizsgáltuk (5. ábra).

Az üvegcső legerőteljesebben megszólaló frekvenciája 512 Hz, amely nem esik messze az „elméleti alapharmonikus” (460 Hz) frekvenciájától. A rézcső



5. ábra. A részecő által kibocsátott hang frekvenciaspektruma

esetén az alapharmonikus mért értéke 453 Hz, számított érték 329 Hz; az alumíniumcső esetén a mért frekvencia 232 Hz, a számított érték 228 Hz. Látható, hogy az alumíniumcsőnél nagyon jól közelít egymáshoz a mért és a számított alapharmonikus érték. A két kisebb cső esetén az eltérést valószínűleg az okozta, hogy ezek a csövek hamarabb felforrósodtak, ezért a hangsebesség jelentősen megváltozott.

Összegzés

A cikkben Rijke-csővel végzett termoakusztikus projektfeladat eredményeit mutattam be. A csővel végzett kísérleteket csoportmunkában, projektszerűen oldottuk meg. Alapvetően olcsó, minden iskolában megtalálható eszközöket használtunk, amelyek nem voltak meg a mi iskolánkban, kölcsönkértük, így ez nem okozott extra kiadásokat.

ÜSTÖKÖS AZ ASZTALON

– Hogyan „főzzünk” csillagászati demonstrációs eszközöket?

Kopasz Katalin, Papp Katalin, Szabó M. Gyula, Szalai Tamás
SZTE-TTIK Kísérleti Fizikai Tanszék

Az alábbi válogatás az 52. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét és Eszközbemutatón, Kaposváron tartott műhelyfoglalkozás alapján készült. Az ott bemutatott csillagászati demonstrációs eszközöket a bemutatóhelyük, tanítási alkalmazásuk szerint csoportosítottuk. A működő modellek, kísérletek társíthatók az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Csongrád Megyei Csoportja és az SZTE-TTIK Fizikus Tanszékcsoporthoz által szervezett iskolán kívüli tanulói aktivitásokhoz, bemutatókhoz, de iskolán belüli alkalmazásuk is lehetséges.

A tanulóknak nemcsak a termoakusztikai ismereteik bővültek, hanem a természettudományos gondolkodásuk, problémalátó és -megoldó képességük is fejlődött. A természettudományos kompetenciák mellett a szociális jellegű (team-foglalkozás, feladatelosztás, eszközök megosztása stb.) készségeik is fejlődtek, amit mindenképpen hasznosnak ítélek a jövő szempontjából. A gázzal melegített Rijke-cső vizsgálatát projektünk első lépcsőfokának tekinthetjük. A következő lépésben szeretnénk pontosabb adatokat kapni úgy, hogy építünk egy elektromosan fűtött Rijke-csővet.

A projektszemléletű oktatás új lehetőséget teremt az ismeretátadásban, a kísérletezésen alapuló tanulásban, valamint a csoportos tanulás módszereinek kialakításában. A kollégák számára bátran ajánlom, hogy próbálják ki ezeket, vagy szervezzenek hasonló termoakusztikai kísérleteket.

Köszönetnyilvánítás

Az írás a Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Karán Fizika PhD-program (*A közép- és a felsőfokú fizika oktatásának fejlesztésére irányuló kutatások*) keretében készült. Külön köszönetem szeretném kifejezni a témavezetőnek, Papp Katalin tanárnőnek, aki hasznos információkkal és adatokkal segített a cikk megírásában, illetve a hiányzó mérőműszerek beszerzésében.

Irodalom

1. B. Entezam, W. K. Van Moorhem, J. Majdalani: Two-dimensional numerical verification of the unsteady thermoacoustic field inside a Rijke-type pulse combustor. *Numerical Heat Transfer, Part A* 41 (2002) 245–262.
2. D. Fahey: Thermoacoustic Oscillations. *Wave Motion and Optics* (2006) Spring.
3. S. M. Sarpotdar, N. Ananthkrishnan, S. D. Sharma: The Rijke Tube – A Thermo-acoustic Device. *Resonance* (2003) January, 59–71.
4. Rocard jelentés: *Science Education NOW: A renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007.

Fizikátörténeti kiállítás a víztoronyban

A szegedi Szent István téren áll a 2006-ban felújított víztorony, az „Öreg hölgy”. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Csongrád Megyei Csoportjának köszönhetően a víztorony hetedik emeletén helyet kapott egy állandó kiállítás, amelynek anyagát a szegedi középiskolák és az egyetem szertáraitól származó, 100–120 éves kísérleti eszközök alkotják. A víztorony látogatói számára előzetes egyeztetés alapján lehetőség van rendhagyó fizikaórák tartására is, ahol az érdeklődők működés



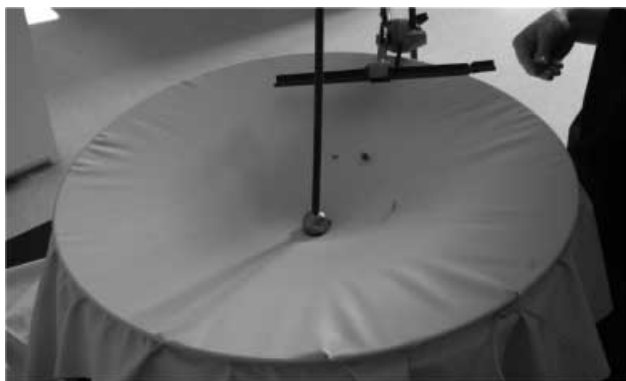
1. ábra. Tellúrium, és mindenki megérti, miért nincs minden hónapban napfogyatkozás.

közben is megismerhetik, milyen szemléltető eszközöket használtak régen a szegedi iskolákban.

A kiállítás sok-sok kincse között találunk egy tellúriumot is (1. ábra). Az eszköz körülbelül az 1920-as évekből származik, mint ahogyan azt a korabeli katalógus és leírás igazolja: „a Hold fényváltozását bemutató eszköz, a Nap reflektoros lámpával helyettesítve, a Föld a Holddal, forgató szerkezettel, a földgömb átmérője 12 cm”. (Erdélyi és Szabó, tudományos műszergyár, Budapest, 1929.)

Segítségével már abban az időben is bemutatható volt, hogy a Föld és a Hold keringési síkjai által bezárt szög miatt nincs minden hónapban napfogyatkozás.

3. ábra. Gravitációs mező gumilepedővel



2. ábra. Égi jelenségek az újszegedi Ligetben

Akadályverseny az újszegedi Ligetben

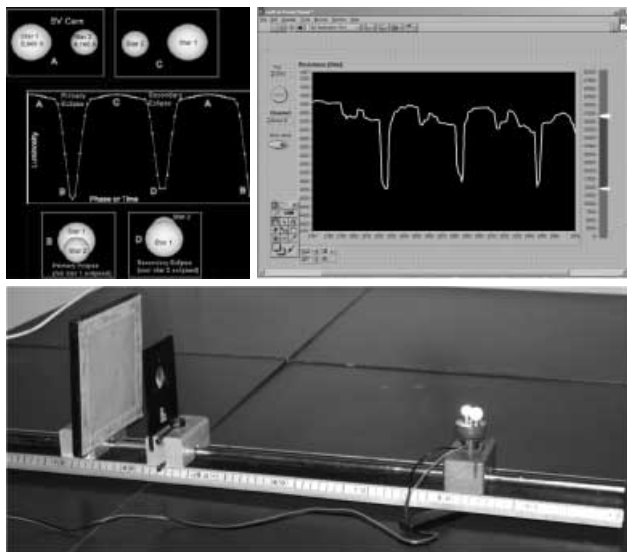
A *100 óra csillagászat* nemzetközi programsorozat keretében került megrendezésre az újszegedi Ligetben egy akadályverseny szegedi középiskolás diákok számára. A kitűzött feladatok között szerepelt modellalkotás is, amelynek során a versenyzőknek a Napot, a Földet és a Holdat szimbolizáló labdák segítségével kellett elmagyarázniuk, mi történik nap-, illetve holdfogyatkozások alkalmával (2. ábra). Egy másik állomáson a rendelkezésre álló golyókból kellett kiválasztaniuk a bolygók méretarányos megjelenítőit. Az akadályverseny teljes feladatsora elérhető a Szegedi Csillagvizsgáló honlapján: <http://astro.u-szeged.hu/ismeret/akadalyverseny/akadalyverseny2009.html>

Tudomány a Plázában? Igen!

A Tudomány Ünnepe alkalmából 2007 novemberében Szeged egyik bevásárlóközpontjában tartottunk kísérleti bemutatót. A színpadi előadás mellett vittünk olyan kísérleteket is, amelyeket asztaloknál ki is lehetett próbálni. Az egyik legkedveltebb eszköz a gravitációs mezőt egy gumilepedő (3. ábra) segítségével szemléltető modell volt. A *Fizikai Szemle* egy régebbi számában [2] is leírt eszközt szakmódszertani laboratóriumon régóta használjuk. Most az „utca embere” és sok-sok gyerek csodálkozott rá, hogyan alakul a csapágygolyók pályája, hogyan érvényesül a központi égitest gravitációs, illetve a keringő égitestek egymásra gyakorolt perturbáló hatása.

Kettőscsillagok, fotoellenállás és virtuális mérés technika

Érzékeny fotoellenállás segítségével nagyon kis fényerőváltozásokat is mérhetünk. Ha a fényintenzitás detektálásához a hagyományos mérőműszer (feszültségmérő) helyett virtuális műszert [3] alkalmazunk, akkor az intenzitásváltozás grafikonja közvetlenül kirajzolódik a képernyőn. A kísérleti elrendezés alapját az iskolai optikai pad szolgáltatja. Két különböző teljesítményű zseblámpaizzóból csúszóérintkezők se-



4. ábra. Kettőscsillagok, fotoellenállás és virtuális mérés technika

gítségével elkészíthetjük kettőscsillagok egy modelljét, majd a fényüket egy félig átlátszó ernyőre fókuszáljuk, s a mögé helyezett fotoellenállás segítségével olyan fénygörbéket vehetünk fel, amelyek a valóságos mérési eredményekhez hasonlítanak (4. ábra).

Rayleigh-szórás

2008-ban a *Karácsonyi Kísérletek* hagyományos rendezvényünkre is becsempészünk a csillagászatot.

Az egyik kísérlet a gyakori kérdést, „Miért kék az ég?” illusztrálta. A válasz: a Napból érkező fény „beleütközik” a levegő részecskéibe, és minden irányba szétoszóródik, ez a Rayleigh-féle fényszórás. A jelenséget megfigyelhetjük kolloid oldatokban, szappanos vízben is. Előidézhetjük a jelenséget úgy is, hogy egy üvegcádnyiban vízbe egy kevés tejet öntünk, és oldalról megvilágítjuk, akkor a kádban lévő folyadék lámpához közel eső része vörösnek, a túlsó oldalon kéknek látszik.

Konvekció

A konvekció során a hőátvitel anyagáramlás révén jön létre, gázok, illetve folyadékok részecskéinek mozgása során. A Nap felszínén is látható e jelenség nyomai. Ahhoz, hogy ezt csillagunkon megfigyelhessük, speciális naptávcsövekre van szükség. Ugyanakkor mindennapi tevékenységeink során is megfigyelhetünk konvekciós áramlásokat, ehhez elegendő egy csésze forró kakaó (5. ábra).

A kakaó konvekciós celláit a leáramló rétegeknél összetorlódó tejszín hálós szerkezete rajzolja ki. Ehhez forró kakaót kell készítenünk, lehetőleg zsíros tejből. Az instant kakaópor jobb, mert az kevésbé színezi a tejszírt. Az egyetlen zavaró tényező, a „habos” réteg megjelenése a tej tetején, miután hozzákevertük a kakaót. Ettől megszabadulhatunk szűrővel, vagy, egyszerűbb módon úgy, hogy a kész kakaó tetejét szűrőcsővel tech-



5. ábra. A kakaó és a Nap esete (avagy a nagy konvekció-akció)

nikával kissé leisszuk. Megfelelő előkészítés esetén a felkavarás után 1–2 perccel megjelennek a konvekciós cellák, amelyek szemmel láthatóan mozognak, fejlődnek: összeolvadnak, egyre nagyobbakká válnak. Pár perc múlva egyetlen feláramlási csővé alakul az egész bögre, ekkor eltűnik a mintázat, de újbóli keverés hatására újra megfigyelhető a jelenség.

Kicsit nehezebb, de kivitelezés szempontjából biztosabb megoldás, ha kakaó helyett parafinolajba kevert kevés alumíniumport használunk. Ekkor a cellák nagyságát a folyadék réteg vastagsága határozza meg, amit célszerű 3–5 mm-nek választani, így változatos ábrákat nyerünk. A melegítés villanyrezsóval megoldható.

Üstökös az asztalon

Az emberiség történelmében mindig kiemelkedő érdeklődés övezte egy-egy üstökös megjelenését. De tudjuk-e, hogy valójában mi is egy üstökös? Nem más,

6. ábra. Főzzünk üstökösöt!



mint egy jeges űrbeli szikladarab, mely a Nap közelébe érve erőteljesen szublimálni kezd, s ennek során alakul ki közismert szerkezete (mag, kóma, csóva).

Ha sikerül szárazjeget szereznünk, akkor a tanteremben is készíthetünk üstökösöt. Hozzávalók a főzéshez: porított szárazjég, jeges víz, homok és egy kis színezőanyag – utóbbival az üstökösökben előforduló szerves anyagot modellezhetjük. Az alkotóelemeket alaposan összekeverjük és összenyomkodjuk, például egy zacskóban; végül megkapjuk a magot jelképező „piszkos hógolyót”. Az elkészült üstökösöt egy vizes tálca alá helyezve, erősen megfújva (6. ábra) – tréfás utalást téve a napszél hatására –, a csóvához hasonló jelenség is lát-

ható lesz. (Ha nem szeretnénk csóvát előállítani, illetve nem áll rendelkezésre szárazjég, akkor *Nyerges Gyula* receptje szerint vaníliafagylalt és diódarabok segítségével is készíthetünk üstökösöt, amit a jól végzett munka jutalmaként el is fogyaszthatunk.)

Irodalom

1. SZTE Kísérleti Fizikai Tanszék, Módszertani Csoport <http://titan.physx.u-szeged.hu/~modszertan>
2. S. Tóth L.: Néhány demonstrációs eszköz a csillagászat tanításához. *Fizikai Szemle* 27/6 (1977) 219.
3. Kopasz K., Gingl Z., Makra P., Papp K.: A virtuális mérés technika kísérleti lehetőségei a közoktatásban. *Fizikai Szemle* 58/7–8 (2008) 267.
4. <http://astro.u-szeged.hu>

MINDEN, AMI ELLENÁLLÁS

Jendrék Miklós

Boronkay György Műszaki Középskola és Gimnázium, Vác

Az eredményes középiskolai fizikatanításban egyre fontosabb szerep jut a kísérletek bemutatásának, elvégzésének, elvégeztetésének. Ezt nemcsak a tantárgy iránti érdeklődés csökkenése indokolja. Általánosnak mondható a tanulók tapasztalatának szinte teljes hiánya. Ugyanakkor kevés a jó megfigyelő, illetve elemző képességgel rendelkező diák. Egy jelenség akármilyen szép is, gyakran láthatatlan marad, ha nem hívjuk fel rá embertársaink figyelmét. Ezért nem elég hivatkozni egy jelenségre, tapasztalatra, eszközre, hanem – lehetőség szerint – be is kell azt mutatni, akármilyen egyszerű is legyen az. Évek óta olyan kísérletek bemutatásával foglalkozom, amelyek egyszerű, hétköznapi eszközök felhasználásával könnyen összeállíthatók, vagy az „egyszer kell csak elkészíteni” kategóriába sorolhatók. A kísérletek, egyszerűségük ellenére, rengeteg kiaknázatlan lehetőséget rejtenek magukban, amelyeket csak akkor tudunk kihasználni, ha magunk próbáljuk meg saját eszközeink segítségével azokat reprodukálni.

Az 52. Országos Középsiskolai Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató az elektromos ellenállás fogalmával kapcsolatos, többnyire könnyen megismételhető, egyszerűen elvégezhető kísérletek bemutatására vállalkoztam.

Az ellenállás az elektromos jelenségek témakörében különös helyet foglal el. Lehet hasznos, ha fogyasztóról van szó, vagy nemkívánatos, ha az energia szállításáról. Az ohmos ellenállás jól felismerhető hőhatása alapján.

Az áram hőhatása

Az első kísérlet egy spirálalakú fűtőszál izzítása (1. ábra). Egyszerű, klasszikus kísérlet, sok tanulsággal:

1. A huzal felizzásáig bizonyos idő telik el. Ez az idő az izzításhoz szükséges áramerősségtől, valamint a fűtőszál egyensúly után beállt hőmérsékletétől függ.

2. Hevítés közben jól megfigyelhető a hőtágulás jelensége.

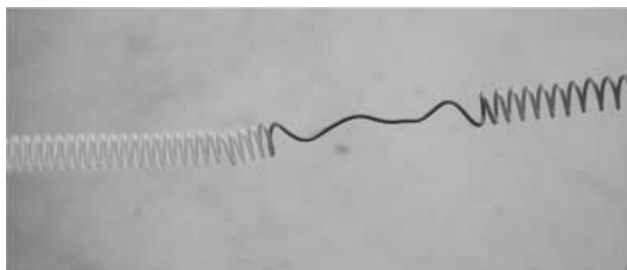
3. A fűtőszál nem egyformán izzik: ahol sűrűbbek a menetek, ott magasabb a hőmérséklet.

4. Az izzás mértéke légáramlással (fújással) jelentősen csökkenthető. Így szemléltethető a hűtési célokat szolgáló ventilátor alkalmazása: projektor, írásvetítő, processzor stb.

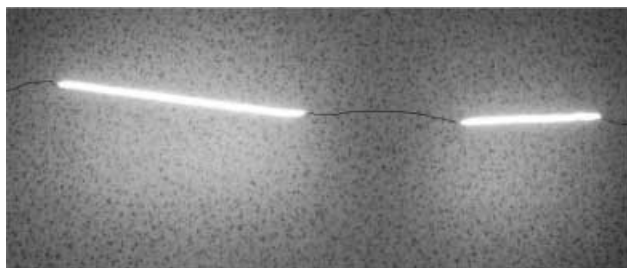
5. Az áram korlátozására előtét-ellenállásként hajszárítót használtam, ami ugyan nem gazdaságos (és még zajos is), de kisebb és könnyebb, mint egy transzformátor.

Figyelem!

A hálózati feszültséggel végzett kísérletek az úgynevezett „sohase ismételd meg” kategóriába tartoznak. Aki mégis szeretné elvégezni, tudnia kell, ehhez nem bátorság, hanem szakmai felkészültség, valamint a balesetvédelmi előírások szigorú betartása szükséges. Amennyiben a kísérlet nem végezhető el törpefeszültséggel, illetve leválasztó transzformátorral, feltétlenül ajánlott egy tapasztalt szakember (fizikatanár) felügyelete, irányítása. Gondoskodni kell a száraz, jól szigetelő padlózatról (gumialátétről) csakúgy, mint a megfelelő szigetelésű lábbeliről. A kísérletek elvégzése nagy körültekintést igényel. Ügyelni kell arra, hogy elvégzésük során nehegy megérintsünk földelt fémtárgyakat: fűtőtestet, vízcsapot stb. A használt műszerek megfelelő paramétereiről (pl. belső ellenállás), valamint helyesen megválasztott mérés határról minden esetben külön meg kell győződnünk. Balesetmentes kísérletezést kívánok!



1. ábra. Az áram hőhatása



2. ábra. Különböző fajlagos ellenállású huzalok izzítása

6. Ha rövidere zárjuk az izzó spirál egy szakaszát, annak izzása azonnal megszűnik, a huzal többi része még jobban felizzik, miközben a megnőtt árammal arányosan megnő a hajszáritó ventilátormotorjának fordulatszáma.

A következő kísérletben sorosan kapcsolt, különböző fajlagos ellenállású huzalok viselkedését vizsgáljuk (2. ábra). A kísérlet amelltt, hogy látványos, rendkívül tanulságos: a konstantán huzalszakaszok egyszerre kezdenek el izzani, tehát a töltéshordozók az elektromos mező hatására egyszerre indulnak el az áramkör minden pontjában. A rézhuzaldarabokat akár meg is érinthetjük, nem égetjük meg a kezünket.

A fizikában (még) kevésbé jártas, de érdeklődő tanulók szokták feltenni a kérdést, hogy vajon hogyan tudja az áram, hogy hol a fogyasztó, hol kell kifejtenie a megfelelő (pl. hő) hatást? Erre a következő – szintén klasszikus, de nagyon szép – kísérlet ad választ. Egy 12 voltos gépkocsi fényszóróégőt nagy fajlagos ellenállású huzalok közbeiktatásával üzemelte-

3. ábra. Melyik a „fogyasztó”?



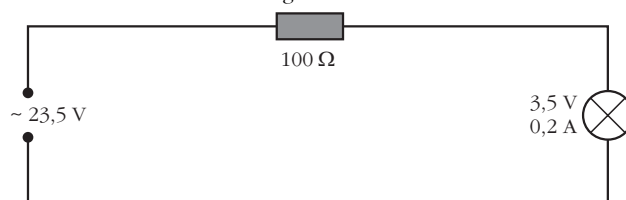
tünk (3. ábra). Áramkorlátozásra itt is kiválóan alkalmas az előző kísérletben is használt hajszáritó. Jól látható, hogy a vezetők is ugyanolyan intenzíven izzanak, mint az égő volfrámszála. Tehát, nem tudja az áram, hol a fogyasztó. Nekünk kell a megfelelő ellenállású vezetők alkalmazásával gondoskodni arról, hogy az energia túlnyomó része a fogyasztóba jusson.

Hogyan csökkenthető a veszteség?

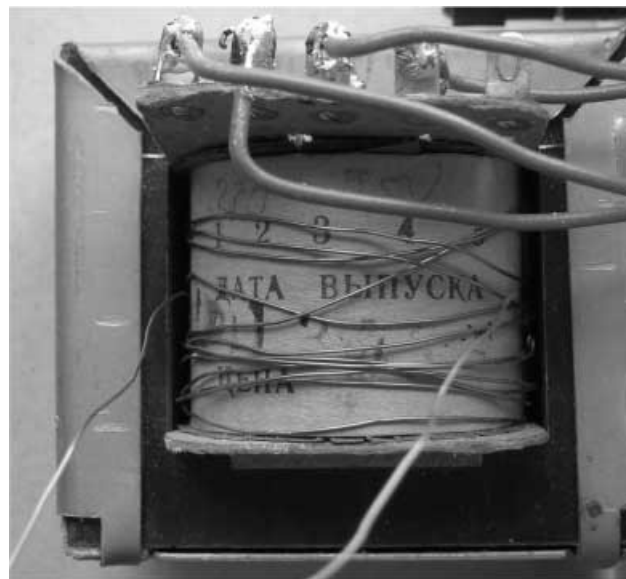
Amennyiben rendelkezésünkre áll a megfelelő feszültségű energiaforrás, szükségtelemmé válik az előtét-ellenállás használata. Viszont az összekötő vezetékek ellenállása akkor is jelen van, ami ugyanúgy előtét-ellenállásként viselkedik. Még kis fajlagos ellenállású, de hosszú huzalok alkalmazása esetén is jelentős veszteség léphet fel, amelynek csökkentésére használják a magasfeszültségű távvezetéseket. A veszteségek ily módon történő csökkentésének lehetőségét vizsgáljuk meg egy konkrét példán. Legyen 100 ohm a veszteséget jelképező távvezeték ellenállása. Kapcsoljuk sorba egy 3,5 V, 0,2 A zseblámpaégővel. Ahhoz, hogy az izzó teljes fényel világítson, a sorosan kapcsolt áramkörti elemekre 23,5 V feszültséget kell kötni (4. ábra). Ilyenkor a veszteséges teljesítmény: $P = I^2 R_{veszt} = 4 \text{ W}$, a hatásfok: $\eta = R_p / R_{összes} = 15\%$.

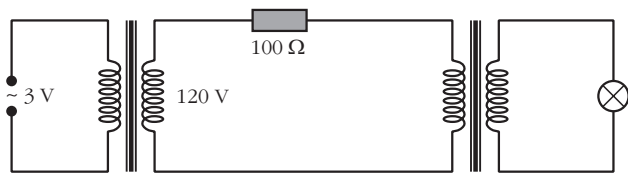
A távvezeték kialakításához szükségünk van két – erre a célra alkalmas – transzformátorra. Taneszközöket gyártó cégek katalógusaiban is megtalálhatók a

4. ábra. Feszültségosztás előtét-ellenállással

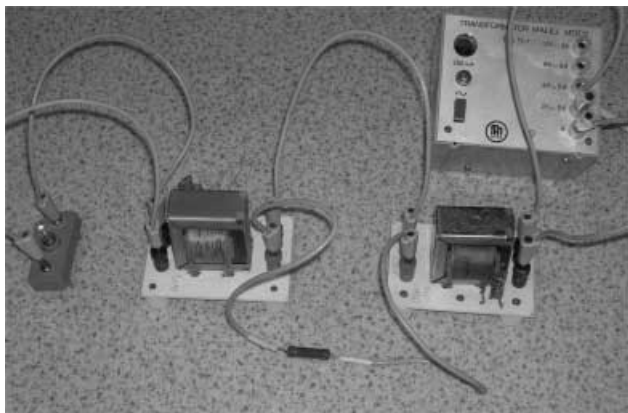


5. ábra. A távvezeték egyik transzformátora





6. ábra. A távvezeték kapcsolási rajza



7. ábra. Az összeállított távvezeték

távvezeték megépítéséhez szükséges alkatrészek, amelyek ára több tízezer forint. Ennél lényegesen olcsóbb, a gyári eszköz paramétereit biztosító megoldást választottam.

Régi tv-készülékekből szereltem ki a függőleges eltérítő egység végerősítő fokozat transzformátorait. Az eszközök paramétereit a következőképpen határoztam meg: a meglévő tekercsre a vasmag megbontása, szétszedése nélkül, vékony rézhuzalból még tíz menetet csévéltem (5. ábra). A nagyobb menetszámú (primer) tekercsre 100 V-ot kapcsolva, az utólag készített tekercsen 0,5 V feszültséget mértem. Tehát, 20 menetre jut 1 volt, 2000-re 100. Így, a primer tekercs 2000 menetes. A szekunder tekercsen mért feszültségéből kiderült, hogy az 55 menetes. A 6. ábra szerinti kapcsolásban az előző kísérletben szereplő zseblámpaéglőt használhatjuk. Az egyik transzformátorral a 3 V-os feszültséget feltranszformáljuk, mintegy 120 V-ra. Az áramerősség 200 mA-ról körülbelül 5 mA-re, a veszteséges teljesítmény 4 W-ról 2,5 mW-ra csökken. (A teljesítmények aránya 1600!) Ilyen veszteségnél a 120 V-ból 2,5 V esik a veszteséges ellenálláson. Ez a 2%-os csökkenés gyakorlatilag észrevétlen marad. A másik transzformátor szekunder tekercsére kapcsolt izzó teljes fényvel világít. A „veszteséges” ellenállás rövidre zárása sem vált ki szemmel látható fényerősség-változást. Az összeállított távvezetékrendszer a 7. ábrán látható. Természetesen a távvezeték megépítéséhez kiválóan alkalmasak az iskolai transzformátorok vagy csengőreduktorok is.

Hány wattos a 100-as égő?

Első hallásra értelmetlennek tűnik a kérdés, hiszen rá van írva a fogyasztóra. A gyártók, forgalmazók nem feltételezik, hogy a vásárló nem az előírt fe-



8. ábra. 40 és 60 W-os izzók soros kapcsolásban

szültségre kapcsolja terméküket, habár a hálózati feszültség nagysága is – az esetek túlnyomó többségében – eltér a 230 V-tól, ami eleve azt eredményezi, hogy a tényleges teljesítmény eltér a névlegestől. Érdekes tapasztalatokat gyűjthetünk, ha a különböző égők nemcsak párhuzamos, hanem soros (8. ábra), illetve vegyes kapcsolását vizsgáljuk. Még érdekesebb, ha különböző feszültségre méretezett izzókat használunk.

Vizsgáljuk meg egy 40 W-os, 230 V-ra méretezett izzó meg egy 3,5 V, 0,2 A feliratú zseblámpaizzó soros kapcsolásának lehetőségét (9. ábra). Végezzük el a számításokat. A 40 W-os égő ellenállása:

$$P = \frac{U^2}{R} \Rightarrow R = \frac{U^2}{P} = 1322,5 \Omega.$$

A rajta átfolyó áramerősség:

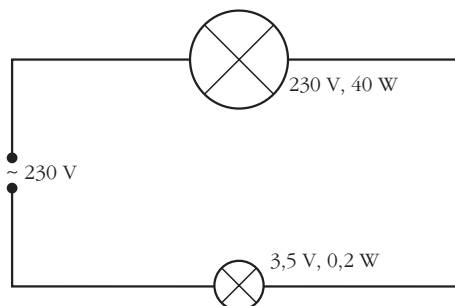
$$P = I^2 R \Rightarrow I = \sqrt{\frac{P}{R}} = 0,17 < 0,2 \text{ A.}$$

Ugyanakkor, a 40 W-os égő hideg ellenállása $R = 97 \Omega$. Bekapcsoláskor az áramerősség:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230}{97} = 2,37 \text{ A!}$$

Ez több mint tízszerese a megengedettnek! A kapcsolat (9. ábra) mégis működik a törpeégő károsodása nélkül. A várttal ellentétben, a 40 W-os égő izzik fel előbb, ezzel megvédve a kistermetű rokonát a kiégéstől (10. ábra). A kísérlet paradoxon jellege abból fakad, hogy a kisebbet önkéntelenül „gyengébbnek” képzeljük. Pedig az eddig elvégzett kísérletek is iga-

9. ábra. Fog működni?



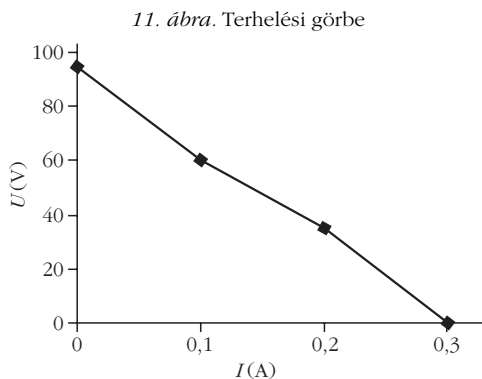


10. ábra. Működik!

zolják, hogy a magasabb üzemi hőmérsékletű izzószál melegszik fel előbb. A 40 W-os teljesítménnyel üzemelő hálózati izzó hőmérséklete körülbelül 3000 °C, a zseblámpaégőé 1400 °C körüli. Ezért a 40 W-os égőnél alakul ki előbb a felvett elektromos és a leadott sugárzási teljesítmény egyensúlya. A folyamat a közegellenállási erő fékező hatására hasonlít, azzal a különbséggel, hogy a kisugárzott energia nem négyzetesen, hanem a hőmérséklet negyedik hatványával arányos (Stefan–Boltzmann-törvény).

Néhány kísérlet transzformátorral

Az $N_1 = 1600$, $N_2 = 400$ menetes transzformátor primer (nagyobb menetszámú) tekercsét kapcsoljuk 25 V-ra, a másikat kössük egy 3,5 V-os, 0,3 A-es zseblámpaizzóhoz. A terheletlen transzformátor szekunder tekercsén 6 V körüli feszültséget mérünk. Égővel terhelve, annak optimális izzását figyelhetjük meg. Most cseréljük fel a két tekercset. A 400 menetre jut



25 V, az 1600-ra közel 100 V. Ha rákapcsoljuk erre a tekercsre a zseblámpaizzókat, az – meglepetésünkre – nem megy tönkre, hanem az előző kapcsolásban tapasztaltakhoz hasonlóan világít. A magyarázat a nagy „belső” ellenállásban keresendő. A terhelési görbéből (11. ábra) jól látható, hogy a maximális áramerősség még rövidzár esetén sem haladja meg a 0,31 amperet. Az üresjárási feszültség nagyságának ismeretében:

$$I_{\max} = \frac{U_0}{R_b} \Rightarrow R_b = \frac{U_0}{I_{\max}} = 306 \, \Omega.$$

A fogyasztó ellenállása:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3,5}{0,3} = 11,7 \, \Omega \ll R_b,$$

A maximálisan leadható teljesítményt az illesztés felteléből kaphatjuk meg. Ilyenkor

$$R = R_b = 306 \, \Omega, \quad P = P_{\max}, \quad P_m = \frac{U_0^2}{4R_b} \approx 7,4 \, \text{W}.$$

A fogyasztó teljesítménye:

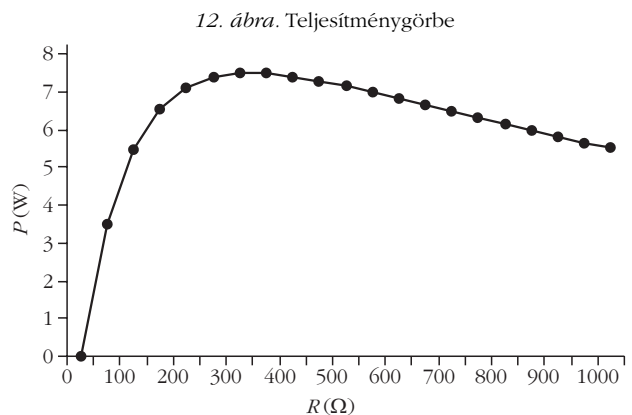
$$P = UI = 3,5 \cdot 0,3 \approx 1 \, \text{W} < P_m.$$

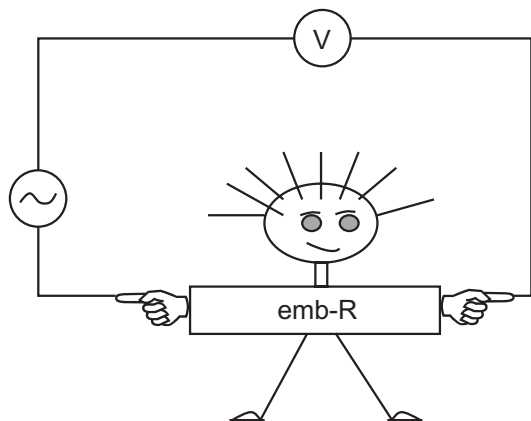
Az izzóval azonos teljesítményt adna le a generátor, ha

$$R_2 = \frac{R_b^2}{R_1} = 8 \, \text{k}\Omega$$

ellenállással terhelnénk. Ha rendelkezésünkre állna ekkora ellenállású izzólámpa, az a zseblámpaizzóval azonos teljesítménnyel, ugyanúgy világítana. Viszont, a két esetben lényeges különbség lenne a hatásfokban: $\eta_1 = 4\%$; $\eta_2 = 96\%$.

A teljesítménygörbe (12. ábra) 0 és 6 W közötti szakasza közel lineárisnak tekinthető. Ezért, ha 14,5 V-os sorba kötött égőket kapcsolunk a szekunder tekercsre, gyakorlatilag azonos fényerővel világítanak az égők n számától függetlenül ($n = 1, 2, 3, 4$ vagy 5). Az áramerősség alig függ a terheléstől. Adott kapcsolás lehetővé teszi a transzformátor áramgenerátor üzemmódban történő működését.





13. ábra. Mennyire vagyunk jó vezetők?

Lehet még belőlünk is jó vezetők?

Scienta est potentia, azaz a tudás hatalom. Ez az iskolánk és egyben az utolsó kísérlet jelmondata. Bizonyos tudás birtokában biztonságosan el tudunk végezni veszélyesnek tűnő kísérleteket is. A hálózati feszültség fázisvezetékének felismeréséhez fázisceruza-t használunk, amiben hagyományosan $1\text{ M}\Omega$ ellenállással sorba kapcsolt kis glimmlámpa található. Használatakor az emberen mikroamper nagyságú áramok folynak. Fázisceruza helyett a fázisvezetékre kössük rá a megfelelő méréshatárra beállított, nagy belső ellenállású voltmérő egyik kivezetését. A másikat nyugodtan megfoghatjuk, sőt most akár egy zárt áramkört is létrehozhatunk úgy, hogy a szabad kezünkkel megérintjük a nullás vezetékét (13. ábra). Átfolyik rajtunk az áram, miközben a nagy belső ellenállású voltmérő a hálózati feszültséghez közeli értéket mutat. A felületes megfigyelő számára úgy tűnik, mintha bennünket illetve meg a műszer által mutatott érték. Az általam használt digitális voltmérő belső ellenállása a fázisceruza ellenállásának közel tízszerese volt. Ahogy a bemutató során már többször is előfordult, így most is egy előtét-ellenállás alkalmazásáról van szó, aminek köszönhetően annyira kicsi áram folyik a körben, hogy azt akár a nyelvünkön is átengedhetjük (14. ábra), semmit sem fogunk belőle érezni. A hálózati és a rajtunk eső feszültség ismeretében feszültségosztásból kiszámíthatjuk saját ellenállásunkat. Összevethetjük a kapott ered-



14. ábra. Nyelvünkkel zárjuk az áramkört...

ményt az ohmmérővel lemerített értékkel. Megállapíthatjuk, hogy mennyire vagyunk jó vagy rossz vezetők.



Az 52. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét és Eszközbemutatón műhelyfoglalkozás keretében az elektromos ellenállás fogalmával kapcsolatos, könnyen megismételhető, egyszerűen elvégezhető kísérleteket bemutatására vállalkoztam.

Az ohmos ellenállás vizsgálatára legalkalmasabbak a különböző feszültségre, teljesítményre méretezett izzólámpák. Segítségükkel mérőműszerek alkalmazása nélkül is jól követhetők a különböző kapcsolások okozta változások.

Szinte mindegyik kísérletben található egy-két előtét-ellenállás, ami lehetőséget kínál az áramgenerátorokban rejlő lehetőségek megismeréséhez.

Végül, megfelelő feltételeket biztosításával, érdekes tapasztalatokra tehetünk szert saját ellenállásunk vizsgálatára terén.



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



HOGYAN KÉSZÍTETTEM TÖLTÉSMEGKÜLÖNBÖZTETŐ ELEKTROSKÓPOT?

Fizika előadáson láttam egy elektronikus elektroszkópot, amelyet érdekességként mutattak be a kísérletek között. Nekem nagyon tetszett, és szerettem volna egyet otthon csinálni, de a kapcsolási rajzot senki sem ismerte. Mindjárt előadás után nekiálltam gondolkodni rajta, hogy mit is kellene csinálnom.

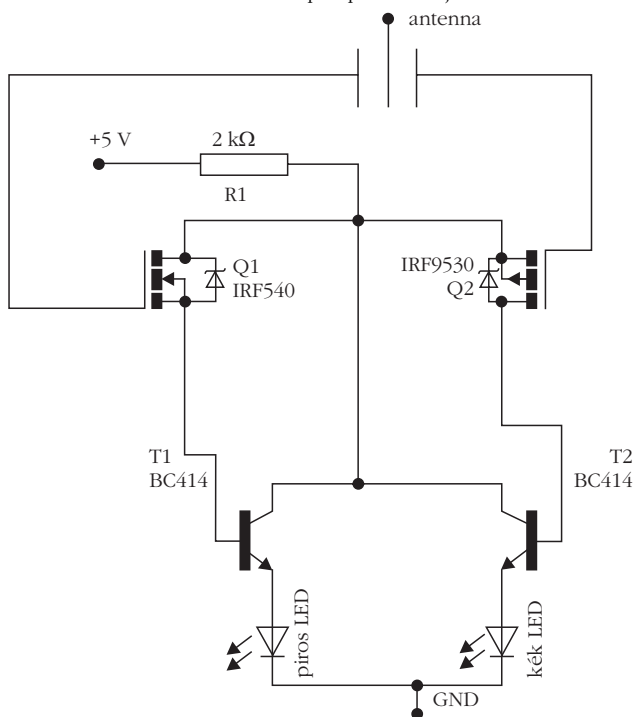
Annyit lehetett tudni róla, hogy van benne két FET. Az ELTE Apáczai Csere János Gyakorlógimnáziumába jártam matematika-fizika tagozatra, és itt tanultunk a FET-ekről is. A FET egy térvezérlésű tranzisztor. Három lábát szokták kivezetni – ezek a source, drain és gate névre hallgatnak. A source belül még egy helyre le van kötve, hogy töltéseket biztosítson.

A gate egy szigetelővel el van választva a rendszertől, és ha töltés van rajta a source-hoz képest, akkor magához vonz töltéseket, amiből a szigetelő túoldalán kialakul a vezető csatorna a source és a drain között. A gate-re vigyázni kell, mert a szigetelő nagyon vékony és könnyen át lehet ütni, ha közvetlenül kap elektrosztatikus töltéseket. (Van olyan FET is, ami megszünteti a csatornát, de én nem ilyet használtam most.) A FET lehet n- vagy p-csatornás, az előbbi a pozitív töltésre érzékeny, az utóbbi pedig a negatív töltésre. Ez a működés pontosan az, ami nekem kell az elektromos tér érzékeléséhez, a kétféle FET pedig megkülönbözteti a töltést. Analóg kapcsolóelemként működik a FET, ezért ha egy LED-et vezérek vele, a fényereje fogja mutatni a térerősséget. A kétféle érzé-

kelőből készített egységeket párhuzamosan kötve lesz két LED-em, egy piros és egy kék, ami a megfelelő elektromos térben változó fényerővel fog világítani. A két gate persze nem összeköthető, mert resetnél nem tudnám mind a kettőt egyszerre olyan töltésre hozni, hogy mind a két LED elaludjon, vagy világítson maximális fényerővel. Köztes állapotba tudnám állítani, de akkor meg nem lenne olyan megbízható, mert nincs két egyforma félvezetőelem, tehát semmi sem garantálná az egyforma fényerőt.

Nagyjából ennyit tudtam, és innen kezdődött a kísérletezés. A gyakorlatban most először volt szükségem FET-re, tranzisztorokból már építettem ehhez hasonló áramköröket is, de ez nem segített a típus kitalálásában. Itt a szerencsére bíztam magam, mert akármilyen FET-et sikerül vennem, valahogyan fog reagálni. A nyitófeszültségnek kell mindössze 3 V alatt lenni, hogy elemről könnyen tudjam használni, úgyhogy rábíztam a választást az eladóra, és szerencsém is volt. Egy IRF9530N és egy IRF540 típusú FET-et kaptam, ami 100 V-ot és 25 A-t kibír, tehát nagyon túl van méretezve, de jól működik. Ezekkel kezdtem kísérletezni. Még a 12. születésnapomra kaptam egy Clementoni Electronic Project Lab nevű játékot (ehhez volt egy leírás is, amit már rég elvesztettem, de nagyon egyszerű áramkörök voltak benne, és ekkor ismerkedtem meg a tranzisztorokkal, diódákkal). Ez tulajdonképpen egy papírlap néhány rugóval, amelyek elektronikus alkatrészek lábaihoz vannak kötve, és alájuk be lehet szorítani a vezetőkeket. Ezt a játékot kotortam elő egy dobozból és ezzel próbáltam ki a FET-et, amit vettem. Néhány próba után kiderült, hogy a legszebben akkor működik, ha egy tranzisztorral még erősítek a jelen és így vezérem a LED-et. Amikor mind a két egység működött külön-külön, akkor fogtam egy kartonpapírt, és ebbe fűztem bele az alkatrészekre forrasztott vezetőkeket. Összecsavartam, amit össze akartam kötni, és cellulusszal szigeteltem, így egy könnyen módosítható áramkört kaptam. Még a két gate-et kellett valahova raknom. Ezekre egy-egy alufólia-gombóc került antennának, és úgy helyeztem el őket, hogy közéjük tudjak rakni még egy gombócot, amire majd töltést tudok fölvinni, azonban nincs fémes kapcsolatban a gate-ekkel, így nem is teszi tönkre őket. Gyakorlatilag egy „háromrétegű kondenzátor” középső fegyverzete lett az antenna. Végül az összes alkatrészt gyurma ragasztóval leragasztottam a papírra. Amikor kipróbáltam persze nem akart reagálni a pozitív töltésre, holott nem volt kontakthiba. Nem volt üvegrudam, amivel biztos kísérletet tudtam volna csinálni, úgyhogy egy bakelitruddal szedegtettem le a negatív töltést, a kezemmel összekötöttem a gate-et az elem pozitív sarkával. (Az üvegpoharak természetesen ott voltak a konyhában, de előbb oldódott meg a probléma, mint-

Az elektroszkóp kapcsolási rajza



hogy elmenjek értük.) Amikor külön próbáltam ki ezt az áramkörreszletet, akkor 4,5 V-ot kapott, most pedig csak 3 V-ot. Az n-csatornás FET-nek 3 V környékén volt a nyitófeszültsége. Amikor ez is megoldódott, elkezdtem kísérletezni azzal, hogy mikor mutatja a legszebb jelet. Ha mindkét gate 0 V-on volt a source-hoz képest, akkor mutatott valamit, de nem olyan szé-

pen, mint amikor az elem segítségével töltöttem fel a kondenzátor mindkét gate-hez tartozó fegyverzetét. Ekkor persze a LED-ek elhalványultak a töltés közelségére és így erősödő elektromos tér hatására, de a megfelelő maradt égve.

Czétényi Benjámin
BME informatikus hallgató

52. KÖZÉPISKOLAI FIZIKATANÁRI ANKÉT ÉS ESZKÖZBEMUTATÓ

Az 52. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét és Eszközbemutatót (a továbbiakban: ankét) Kaposváron tartottuk meg 2009. április 15–18. napokon. A szervezéssel és a lebonyolítással kapcsolatos tevékenységünkről, a tapasztalatokról az alábbiakban tájékoztatjuk a *Fizikai Szemle* tisztelt olvasóit.

Az ankét előtt

Az elmúlt évek tapasztalatainak és az 51., Békéscsabán megrendezett ankéton megfogalmazottak felhasználásával kezdtük meg az újabb ankét szervezését. Témának *A csillagászat nemzetközi éve 2009* jelmondatot választottuk. Helyszínként Kaposvár mellett döntöttünk, ahol 1987-ben a 30. ankétot tartottuk, és csillagászzal kapcsolatos kérdéseket vitattunk meg.

Most alapvetően megváltozott helyzettel kellett számolnunk. Ugyanis az Eötvös Loránd Fizikai Társulat (a továbbiakban: társulat) Somogy megyei területi Csoportja támogatására nem számíthattunk; ez a Csoport évek óta „életképtelen”. Szerencsére olyan szervezőtársakra, a Társulat Csillagászati Szakcsoportjára, a Magyar Csillagászati Egyesületre, az MTA Pécsi Területi Bizottsága Fizikai és Csillagászati Szakbizottságára találtunk, akik a téma feldolgozásában aktívan közreműködhetek. Mellettük bizakodhattunk a Kaposvár Megyei Jogú Város (a továbbiakban: város) Önkormányzatának támogatásában is. Még nagyobb örömünkre *Kolláth Zoltán*, az MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézete tudományos tanácsadójának személyében egy olyan segítőtársra találtunk, aki témabeli jártassága és a helyszín sokoldalú ismerete révén biztos támasznak ígérkezett. Természetesen a Társulat Középiskolai Oktatási Szakcsoportjának (a továbbiakban: szakcsoport) vezetősége (a továbbiakban: vezetőség) és Titkársága osztozott a sokrétű munkában.

A beszámolóban előforduló pontatlanságokért a vezetőség vállalja a felelősséget. Az ankéton Csiszár Imre fotózott. Képeit rendelkezésünkre bocsátotta. A szerkesztési munkálatokban *Szabó Zsolt* fizikus (Debrecen) segédkezett.

Különbéle okok miatt az ankét időtartamát egy nappal csökkentettük. Hogy az ankét a 30 órás akkreditált pedagógus-továbbképzés feltételeinek megfelelőhessen, elég feszes időbeosztást kellett összeállítanunk.

A városi iskolai és kollégiumi adottságai miatt az ankét résztvevőit a Hotel Kaposban (a továbbiakban: szálloda) szállásoltuk el. A szálloda városközponti elhelyezése mellett azzal az előnnyel is rendelkezett, hogy épületében le lehetett bonyolítani a napi háromszori étkezést, tágas előadójában és helyiségeiben pedig meg lehetett tartani az előadásokat, valamint az eszközbemutatókat.

A műhelyfoglalkozásoknak a szállodától rövid sétával megközelíthető Táncsics Mihály Gimnázium adott helyet.

A szervezés időszakában a vezetőség néhány tagja több esetben elutazott a városba azért, hogy a lehetőségeket megtekintse és a feltételeket megvitassa. A teljes vezetőség azonban csak a budapesti ülésein elhangzott tájékoztatók alapján képzelhette el a helyszínt.

Az ankéton

1. nap, szerda

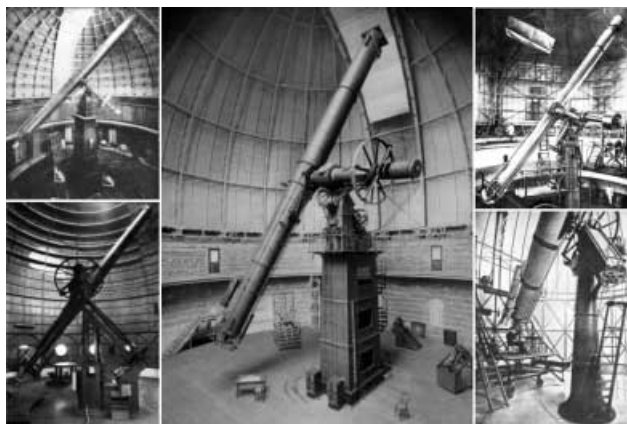
A regisztráció a szállodában 9 órakor kezdődött. Így a jelentkezett 147 fizikatanár időben elfoglalhatta szállását és elfogyaszthatta ebédjét.

Vonatkésések miatt a plenáris ülés csak néhány perccel 14 óra után kezdődhetett. Üléselnök: *Pákó Gyula* (a vezetőség elnöke) volt. A megnyitó Elnökségében foglalt helyet *Brassói Sándor* főosztályvezető-helyettes (Oktatási és Kulturális Minisztérium), *Kádár György* főtárgyvezető (társulat), *Kolláth Zoltán* és *Pákó Gyula*.

A vezetőség elnöke üdvözölte az ankéton megjelenőket és felkérte főtárgyvezetőinket az ankét megnyitására.

Kádár György elsősorban az ankétokat, mint a tanárok továbbképzésének napjainkban szinte egyetlen lehetőségét, a választott téma aktualitását és a nagyon jól megválasztott körülményeket említve köszöntötte a népes hallgatóságot.

Kolláth Zoltán a fizikatanárok *A csillagászat nemzetközi éve 2009* mottóval kapcsolatos felelősségére



19. századi távcsövek (Balázs Lajos előadásából)

hívta fel a figyelmet. Úgy vélte, hogy a két szakcsoport (a Középiskolai és a Csillagászati) a szervezés időszakában mindent megtett egy sikeres ankét megrendezése érdekében.

Ezután a díjak átadására került sor. A társulat elnöksége a Mikola-díjat *Härtlein Károly* tanszéki mérnöknek (BME Fizikai Intézet) ítélte oda. Az emberi és szakmai kapcsolatokból adódó személyes elemeket is tartalmazó indoklást *Kopcsa József* (a vezetőség tagja) állította össze és *Zsúdel László* (a vezetőség titkára) olvasta fel. A díjat Kádár György és Pákó Gyula adta át.

A *Marx György* alapította Vándorplakettet egy éven át *Dézsai Zoltánné* őrizte. Ő azt most alapos indoklással *Dudics Pál* vezetőtanárnak (DE Kossuth Lajos Gyakorlógimnáziuma, Debrecen) adta tovább.

Rövid szünet után az előzetesen elkészített programnak megfelelően előadásokkal kezdődött az ankét szakmai munkája.

Brassói Sándor (OKM) a természettudományi tantárgyak, azok között a fizika jelenlegi helyzetéről, a minisztérium elképzeléseiről, jövőbeni terveiről tájékoztatta a hallgatóságot.

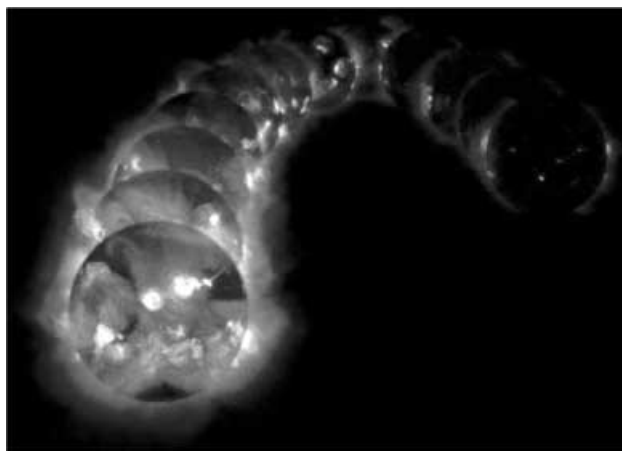
Balázs Lajos (MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézete, Budapest) *A távcső négy évszázada: Galileitől napjainkig* című előadásában jól érzékelhetően számolt be arról a hatalmas fejlődésről, amelyet a távcső születésnapjától napjainkig megélt.

Érdi Bálint (ELTE TTK Csillagászati Tanszék, Budapest) *Bolygómozgások más csillagok körül* című előadásában egyebek között ismertette a bolygókeresés közkeletű módszereit, az exobolygók tulajdonságait és a főbb kutatási területeket.

A *Fórum* vendége Brassói Sándor volt. Bevezetőt Pákó Gyula mondott. Ebben válaszolt a szakcsoport az OKM terveiben szereplő integrált tantárgy oktatásával és a szükséges kerettantervek elkészítésével kapcsolatos tevékenységét.

Hosszabban *Mester András* (a vezetőség tagja), Kádár György és *Härtlein Károly* szólott hozzá a felvetett problémákhoz.

A plenáris ülés utáni állófogadás nem érte el a célját; szervezetlensége miatt a megjelentek elégedetlenek voltak.



A Nap röntgenfényben a 11 éves ciklus alatt (Oláh Katalin előadásából)

2. nap, csütörtök

Mester András elnökletével kezdődött a csütörtöki munka. *Nyerges Gyula* (Zsigmondy Vilmos Gimnázium és Informatikai Szakközépiskola, Dorog) és *Szattmáry Károly* (SzTE TTK Kísérleti Fizikai Tanszék, Szeged) *Csillagászat a fizikaórán – Egyszerű mérések, segédanyagok* című előadásukban nappali és éjszakai megfigyelésekkel megvalósított mérésekről (pl. a Nap delelési magassága), valamint a fényszennyyezéssel kapcsolatos kérdésekről tájékoztattak bennünket.

Hegedűs Tibor (Bács-Kiskun Megyei Önkormányzat Csillagvizsgáló Intézete) *Érdekes optikai jelenségek a csillagászatban* című előadásában a bolygóléggörök létével kapcsolatos refrakciós, szóródási és szcintillációs jelenségeket taglalta először a Föld, majd a Naprendszer, a csillagközi tér és az extragalaktikus tér eseteiben.

Oláh Katalin (MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézete, Budapest) *Napaktivitás és klímaváltozás* című előadásában először a napfoltok kialakulásának feltételeiről beszélt, majd a klímaváltozás okait elemezte.

Kádár György (MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet, Budapest) *Mágneses terek a csillagközi térben* című előadásában a mágnességgel összefüggésben lévő alapvető csillagászat-fizikai kérdéseket elemezte.

Az előadásokat követően az eszközbemutató megnyitására került sor. Örvedetesen növekedett a bemutatók száma: a 11 jelentkezett közül a következő 9 jelent meg: a 3 D Taneszközgyártó Kft. reklám céllal; *Márky-Zay János* (Hódmezővásárhely): *Folyadék-mechanikai kísérletek és egyebek*; Meló-Diák Taneszközc centrum Kft. reklám céllal; *Mészáros Sándor* (Budapest): *Robot bemutatás, Tüzelőanyag-cellás kísérlet, Radioaktivitás*; *Nagy László* (Budapest): *Interaktív tábla VII-vel, Digitális tananyag*; *Nyerges Gyula* (Esztergom): *Csillagászati kísérletek*; *Oppelt József* (Kecskeméti Planetárium), *Piláth Károly* (Budapest), Zátónyi Sándor (Békéscsaba): *Galilei-távcső modellje, Gázok színeképe*.



Márky-Zay János bemutatója



Eszközbemutatón

A résztvevők ezután megtekintették az eszközbemutatókat.

A délutáni program keretében a műhelyvezetők tarthatták meg foglalkozásaikat. Összesen 24-en jelentkeztek azon műhelyek vezetésére, amelyeknek rövid összefoglalóját a meghívó mellékletként mindenki megkapta. Ezen a napon a következő műhelyeket tartották meg:

Csiszár Imre (Szeged): Mi mindent mérhetünk egy vonalzóval a hosszúságon kívül? (Néhány érdekes gyakorlat bemutatása)

Döményné Ságodi Ibolya (Szekszárd): Halodömping – tünetények a nappali égbolton 2009. február 12-én
Elblinger Ferenc (Szekszárd): A kis szende, avagy atomfizika a vad tananyagok közt

Farkas Zsuzsanna (Szeged): Szerethetővé tettük-e a fizikát?

Gündischné Gajzágó Mária (Hatvan): Tallózás Bolyai Farkas kéziratos hagyatékában

Hegedűs János (Pécs) – Jaloveczki József (Baja) – Hömöstrei Mihály (Budapest): Nem-lineáris jelenségek tanítása és Dimenzióanalízis a gimnáziumban
Jendrék Miklós (Vác): Minden, ami ellenállás

Kabály Enikő (Debrecen) és Cseh Gyopárka (Kolozsvár): Társasjátékok, kártyajátékok alkalmazása a

Sándor bácsi és eszközei



humán érdeklődésű tanulók oktatásában és Naprendszerünk kézzelfoghatóan

Mester András (Miskolc), Pázmándi Tamás (Budapest), Szántó Péter (Budapest): A jövő nukleáris szakemberei? Beszámoló a Nukleáris Szaktáborok tapasztalatairól

Oláhné Téglási Ilona (Eger): A környezeti radioaktivitás megjelenése a középiskolai tananyagban

Szakmány Tibor (Szeged): CCD a zsebben

Szalai Tamás (Szeged): Közelebb hozni a csillagokat

Vető Balázs (Budapest) és Nagy Péter (Kecskemét): A „Gravity Probe B” kísérlet és Kvantitatív problémamegoldás Minkowski-diagramon

Vörös Alpár (Kolozsvár, Budapest) és Cseh Gyopárka (Kolozsvár): Tehetséggondozás és diákkutatási témák a környezetfizika területén

Este sem maradtunk izgalmas program nélkül, a vacsorát követően Hártelein Károly kísérlet-bemutatóját tekinthették meg az érdeklődők.

3. nap, péntek

A 3. napon *Farkas László* (a vezetőség tagja) látta el az üléseknél tisztét.

Sükösd Csaba (BME Nukleáris Technika Tanszék, Budapest) *Neutron a őszrobbanásban* című előadásában azokra a fontos megfigyelésekre hívta fel a figyelmet, amelyek megmagyarázzák a neutron szerepét az őszrobbanásban.

Kolláth Zoltán Csillagos égbolt park a Zselicben című előadásával a vacsora utáni kirándulást készítette elő.

Horváth Dezső (MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet, Budapest és ATOMKI, Debrecen) *A CERN óriási részecskegyorsítója és kísérletei* című előadásában a részecskék és kölcsönhatások, a CERN és gyorsító részterületek ismertetésével jutott el a Nagy Hadronütköztetőhöz.

Ebéd előtt az érdeklődők a város nevezetességeivel ismerkedhettek egy kétórás városnézés keretében. A látóval kapcsolatban a csoportot *Zetz József* tanár igen alaposan és szakszerűen tájékoztatta.

A délutáni programban az alábbi műhelyfoglalkozásokat tekinthették meg az ankét résztvevői:

Csordás Éva és *Farkas László* (Keszthely): *Interaktív fizika – Új lehetőségek a fizika tanításában*

Góczy Ildikó (Budapest): *Folyadék mágneses előállítás és tulajdonságai*

Honyek Gyula (Budapest): *Szálkák és szíporok közel negyven év fizikatanítási tapasztalataiból*

Jarosievitz Beáta (Budapest): *A diákok természettudományos műveltségének gondozása és fejlesztése hazai és nemzetközi projektekkel*

Jarosievitz Zoltán (Budapest): *Morzsa az Elektrotechnikai Múzeumból*

Kopasz Katalin (Szeged): *Üstökös az asztalon, avagy hogyan főzzünk csillagászati demonstrációs eszközöket*

Kovács Kálmán (Budapest): *Kvantumok az elemi fizikában*

Nagy Anett (Szeged): *Leonardo nyomában – kísérletek egyszerű eszközökkel*

Az időjárás kegyeibe fogadott bennünket és így a vacsorával egybekötött kirándulás keretében megismerkedhettünk a zselici Csillagos égbolt parkkal.

4. nap, szombat

Az utolsó napi programunkat a kaposvári Városháza impozáns Dísztermében bonyolítottuk le. Először *Oláh Lajosné* alpolgármester köszöntötte a résztvevőket. Megjelent *Stickel Péter* igazgató (Kaposvár Önkormányzata Oktatási, Kulturális és Sport Igazgatósága) is. Az üléselnök *Zsúdel László* volt.

Trócsányi Zoltán (DE TTK Kísérleti Fizikai Tanszék, Debrecen) *Sötét anyag a Világegyetemben és a laboratóriumban* címmel tartott előadásával napjaink egyik gyakran felmerülő problémájáról tájékoztatott bennünket.

Sükösd Csaba *A négy kölcsönhatás és a csillagok* című előadásával a kölcsönhatások világot egységbe formáló szerepéről győzte meg a hallgatóságát.

Az ankét zárását megelőzően *Kolláth Zoltán* azokból a képekből vetített, amelyek az éjszakai sétán készültek.

Az ankét zárásakor az elnökségben helyet foglalt *Sükösd Csaba* (a társulat alelnöke), *Pákó Gyula* (a vezetőség elnöke), *Farkas László* (a vezetőség tagja, az eszközbemutatókat bíráló Bizottság elnöke) és *Ujvári Sándor* (a vezetőség tagja, a műhelyfoglalkozásokat bíráló Bizottság elnöke).

Farkas László az eszközbemutatók számának növekedését, igen magas színvonalát és az ankét résztvevőinek aktív érdeklődését hangoztatva ismertette a Bizottság döntését:

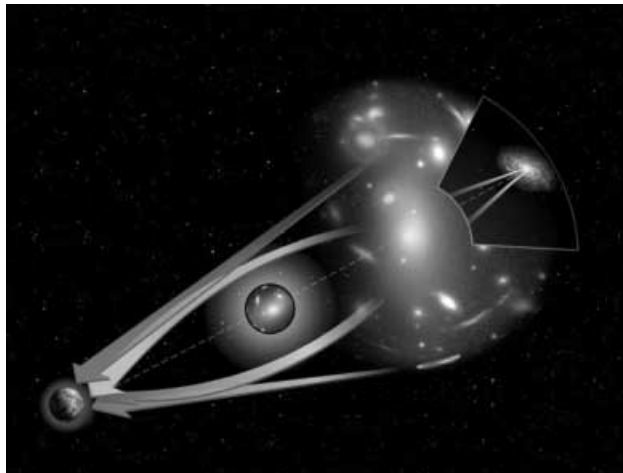
I. díjas: *Piláth Károly* (Budapest)

II. díjas: *Márky-Zay János* (Hódmezővásárhely)

III. díjas: *Nyerges Gyula* (Esztergom) és *Zátonyi Sándor* (Békéscsaba).

A többi 5 bemutató dicséret oklevelet kapott.

Ujvári Sándor röviden értékelte a 24 műhelyfoglalkozást. Véleménye szerint az igényelt technikai esz-



Galaxishalmaz gravitációs lencsehatása (Trócsányi Zoltán előadásából)

közöket sikerült biztosítani, az időrendet be tudtuk tartani, és a feldolgozott témák időszerűek, a tanítás gyakorlatában felhasználhatók voltak. A bizottság döntése alapján

I. díjas: *Csiszár Imre* (Szeged) és *Nagy Anett* (Szeged),

II. díjas: *Jarosievitz Zoltán* (Budapest) és *Jendrék Miklós* (Vác),

III. díjas: *Elblinger Ferenc* (Szekszárd) és *Honyek Gyula* (Budapest).

A további 18 műhelyes elismerő oklevelet kapott.

Egyben megköszönte a műhelyfoglalkozások lebonyolításában nélkülözhetetlen segítséget nyújtó kaposvári kollégák, *Drankovics József* (szervező), *Guethné Nyári Éva*, *Hegedűs József*, *Hunka Gáborné*, *Reöthy Ferenc* (igazgató), *Szabó József*, *Tóthné Berzsán Gabriella* munkáját.

Pákó Gyula összefoglaló értékelésében kitért azok munkájára is, akik hozzájárultak a sikeres ankét megszervezéséhez és lebonyolításához. Kiemelten emlékezett meg *Kolláth Zoltán* tevékenységéről. Megállapította, hogy a két szakcsoport együttműködése követendő példát jelent a jövőre nézve.

Megköszönte a város támogatását és a *Táncsics Mihály Gimnázium* segítségét. Személy szerint a következőket említette meg:

Gazder József (a FORNETTI cég kereskedelmi vezérigazgatója), *Bálint János* (a technikai háttér zavaratlan működése), a helyi szervezők/segítők közül: *Gadár László*, *Drankovics József* és *Hegedűs József* (*Táncsics Mihály Gimnázium* tanárai) *Guethné Nyári Éva* (váratlan akadályok elhárítása), *Frányó Zsolt* (az Oktatási Iroda vezetője), a vezetőség minden egyes tagja és *Nagy Zsigmondné*, *Margó* (ügyvezető titkár).

Elárulta a jövő évi ankét helyszínét is: várhatóan *Miskolc* immár harmadik (!) alkalommal fogadja a fizikatanárokat.

Sükösd Csaba (a társulat alelnöke) zárta be az ankétot azzal az észrevétellel, hogy a hosszú és akadályoktól sem mentes szervezőmunka eredményeként egy olyan rendezvény végére értünk, amely szakmai feltöltődést jelent a résztvevők számára.

Az ankét után

Az ankét zárása után szinte azonnal az előadásokat (egy kivétellel) Mester András felvitte a honlapunkra. Ezzel is segítettük azok hasznosíthatóságát.

A vezetőség a véleménykérő lapok és a beküldött dolgozatok áttanulmányozása után – még az 53. ankét szervezésének megkezdése előtt – röviden értékelte az ankétot. Jövőbeni munkájának alapjaként elfogadta a résztvevők észrevételeinek többségét. Ezek közül néhányat megemlítettünk.

Jó volt a témaválasztás, és az, hogy egyes részterületek elismert művelőit sikerült előadónak megnyerni.

Az előadók jól felkészültek. Közülük Sükösd Csaba előadásait tartották a legjobbnak. Ugyancsak kiválóak voltak Balázs Lajos, Oláh Katalin és Trócsányi Zoltán előadásai.

A körülmények kiemelkedően jók voltak. Nagy előnyt jelentett, hogy gyakorlatilag egy helyen volt minden.

Most nem volt gond a jelenléti ív aláírásával.

A szállás kiemelkedő színvonalú volt, és az ankét végére a templom éjjeli hangjelzéseit meg lehetett szokni. Az étkezéssel kapcsolatban egyetlen negatív vélemény sem hangzott el.

A kissé feszített időbeosztás ellenére igen jó hangulatú rendezvény volt.

Az elküldött dolgozatok színvonalával és kivitelével elégedettek lehetünk.

Feltétlenül javítani kell a jelentkezők tájékoztatásán; a *Fizikai Szemlé*ben elhelyezett információ nem jut el mindenkihez.

A műhelyfoglalkozások rövid összefoglalóihoz hasonlót kellene mellékelni az előadásokról és az eszközbemutatókról is.

Az erőltetett fórum nem érte el a kitűzött célt. Nem lenne szabad megengedni, hogy az igényelt program a minisztériumi vendég/küldött és a társulat tisztségviselőinek a párbeszéde legyen.

A csillagtúra megítélése szélsőséges volt.

Hiányolták az üzem/intézmény-látogatást.

Hiányolták a természeti jelenségek (pl. éghajlat) okainak vizsgálatát.

Az eszközbemutatóra szánt helyiségek nem feleltek meg a célnak, zsúfoltságot okoztak. Nem szabad, hogy a bemutató lebonyolítása másodlagos szempont legyen.

Közönségdíjat kellene kiírni az előadók számára és azt az ankéton át kellene adni.

Valahogyan emelni kellene a műhelyfoglalkozások és eszközbemutatók díjainak nagyságát.

A fogadás méltatlan volt a sikeres ankéhoz.

A következő ankét témájaként épületfizikát(!), mechanikát és modern fizikát javasoltak a résztvevők.

Csak néhány elismerő/elmarasztaló észrevételt említettünk ki a számos megállapítás közül. „Súlyuk”-tól függetlenül mindegyiket fontosnak tartjuk, és a következő miskolci ankét szervezésekor tekintetbe vesszük azokat.

A vezetőség megbízásából:

Kopcsa József

A FIZIKA OKTV HARMADIK FORDULÓJA A MÁSODIK KATEGÓRIA RÉSZÉRE – 2009

Vannay László, Fülöp Ferenc, Máthé József, Nagy Tamás

BME, Fizikai Intézet, Kísérleti Fizika Tanszék

A fizika Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny – a 2007/2008-as tanévtől kezdődően – két csoportban (kategóriában) kerül megrendezésre. A diákok hovatartozása a versenykiírás szerint: „Az I. kategóriába azok a középiskolai tanulók, akik nem tartoznak a II. kategóriába. A II. kategóriába azok a gimnáziumi tanulók, akik a 9. évfolyamtól kezdődően – az egyes tanévek heti óraszámát összeadva – a versenyben való részvétel tanévének heti óraszámával bezárólag összesen heti 8, vagy annál több órában tanulják a fizikát bizonyítványban feltüntetett tantárgyként.”

Mind a két csoport részére három fordulóból áll a verseny. Az első két forduló során elméleti problémákat kell megoldaniuk a versenyzőknek, míg a harmadik fordulóban mérési feladatokkal kell megbirkózniuk. A harmadik fordulóban az első két forduló legjobbjai mérik össze tudásukat.

A verseny értékelése a második (a II. kategóriánál maximum 60 pont) és a harmadik (a II. kategóriánál maximum 40 pont) fordulóban szerzett pontok összegzésével történik.

A BME Fizikai Intézet a II. kategória versenyének harmadik – döntő – fordulóját rendezte. A versenyen 30 diák vett részt, két 15 fős csoportban. Az egyik csoport délelőtt, 8-tól 12 óráig, a másik 13-tól 17 óráig dolgozott, egymástól függően elválasztott mérőhelyeken. A mérőhelyeket kisorsoltuk a versenyzők között.

Cikkünkben először bemutatjuk a verseny kezdetekor kiadott írásos anyagot, utána vázoljuk a kitűzött feladatok megoldásának módját, majd beszámolunk az értékelés során szerzett tapasztalatokról, a versenyzők eredményeiről, és végül köszönetet mondunk mindazoknak, akik közreműködtek a verseny előkészítésében vagy lebonyolításában.

A versenyzők részére kiadott írásos anyag

Kondenzátor kapacitásának meghatározása

A feladat

1. Határozza meg egy kondenzátor (C_x) kapacitásának értékét, a kapacitásmérés számos módszere közül az alábbiak alkalmazásával:

- egy rezonancia módszerrel (maximum 10 pont);
- egy ismert és az ismeretlen kapacitás összekapcsolásával (maximum 10 pont);
- kisülési folyamatok vizsgálatával (maximum 15 pont).

Készítsen mérési jegyzőkönyvet az alábbiak szerint:

- Rajzolja fel az egyes módszereknél alkalmazott áramkörök kapcsolási rajzát.

- Részletesen ismertesse az alkalmazott mérés egyes lépéseit, a lépések sorrendjét, mérési eredményeit és a mérési eredmények feldolgozásának módszerét, grafikonjait, számításait, és a módszerrel kapcsolatos észrevételeit.

2. Mérési adatai felhasználásával határozza meg a feladat megoldásakor feszültségmérésre használandó műszer belső ellenállását (maximum 5 pont).

A feladat megoldásához rendelkezésre álló eszközök

1. Hanggenerátor (változtatható frekvenciájú, váltoáramú tápegység). HAMEG gyártmányú, HM 8030-5 típusú jelgenerátor.

2. Egyenáramú tápegység. HAMEG gyártmányú, HM 8040-2 típusú hármas tápegység.

3. Digitális multiméter. HAMEG gyártmányú, HM 8011-3 típusú.

4. Stopperóra (1/100 s-os felbontással).

5. 8 db banándugós csatlakozó zsinór.

6. Csatlakozó vezeték a hanggenerátorhoz.

7. A kapcsolások összeállításához szükséges elemeket tartalmazó műanyag doboz, amely a következő elemeket tartalmazza:

- C_x az ismeretlen kapacitású kondenzátor (átvezetési ellenállása $> 10^5 \text{ M}\Omega$);

- 1 db ismert kapacitású kondenzátor (átvezetési ellenállása $> 10^5 \text{ M}\Omega$);

- 1 db ismeretlen önindukciós együtthatójú tekercs (L_x);

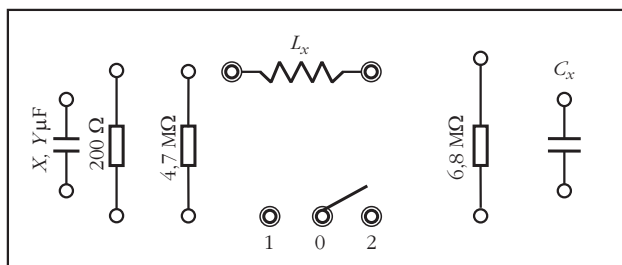
- 1 db egy áramkörös, kétállású kapcsoló;

- 1 db 200 Ω -os 1%-os ellenállás;

- 1 db 4,7 $\text{M}\Omega$ -os 1%-os ellenállás;

- 1 db 6,8 $\text{M}\Omega$ -os 1%-os ellenállás.

1. ábra. A műanyag dobozban elhelyezett kapcsolási elemek.



8. Vázlat, amely megadja az egyes elemek helyét a dobozban, valamint az ismert kapacitás értékét. Az áramkörök összeállítása az elemek végein lévő banánhüvelyek és a csatlakozó zsinórok felhasználásával lehetséges.

9. A mérési adatok feldolgozásához milliméterpapír.

10. A műszerek használatával kapcsolatos ismertető a mérőhelyen megtalálható.

További információk

A verseny időtartama 4 óra.

Az elkészített jegyzőkönyve minden lapján, az első oldal jobb felső sarkában tüntesse fel a mérőhely számát, valamint azt, hogy a délelőtti (De.), vagy a délutáni (Du.) csoportban mért. Egyéb azonosításra alkalmas adatot (név, iskola stb.) ne tüntessen fel!

Ha a kiadott eszközök kezelésével kapcsolatban problémái vannak, vagy az eszközök működésénél rendellenességet tapasztal, forduljon a felügyelő tanárokhoz.

A méréseket körültekintően végezze.

A tápegységeket csak az áramkör összeállítása és gondos ellenőrzése után csatlakoztassa a vizsgált kapcsolásra.

Tartsa be az általános balesetvédelmi szabályokat.

Vigyázzon saját maga és a kiadott eszközök épségére.

Eredményes versenyzést kívánunk.

Megjegyzés: ha a műanyag doboz a benne lévő kapcsoló irányából nézzük, az „ismert” kondenzátor a bal szélén helyezkedett el, kapacitásának értékét – amely mérőhelyenként eltért – a vázlaton megadtuk.

A feladat megoldása

Kapacitásmérés rezonanciámódszerrel

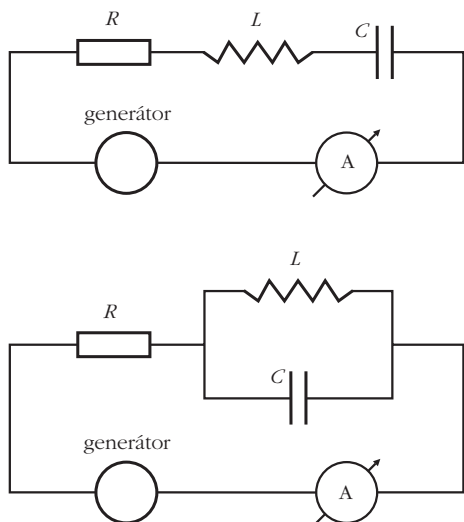
Ha sorba kapcsolunk R ohmos ellenállást, C kapacitású kondenzátort és L önindukciós együtthatójú tekercset, soros rezgőkört kapunk. Ha a soros rezgőkörre, f frekvenciájú, $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ körfrekvenciájú szinuszos feszültséget kapcsolunk, az elemeken átfolyó I áram értéke:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}}$$

Az áram láthatóan a frekvencia függvénye. Maximális értékét az f_0 rezonanciafrekvenciánál veszi fel, amikor:

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \quad (1)$$

Abban az esetben, ha a tekercset és a kondenzátort párhuzamosan kapcsoljuk, párhuzamos rezgőkört kapunk, melynél a frekvencia változtatásával, rezonanciafrekvenciánál áramminimumot tapasztalunk. A



2. ábra. A méréshez összeállított áramkörök vázlata. Soros rezgőkörnél (föül) rezonancián árammaximum, míg párhuzamos rezgőkörnél (alul) rezonancián áramminimum észlelhető.

párhuzamos rezgőkörnél is az (1) egyenlet adja meg a rezonanciafrekvencia és a kapcsolási elemek jellemzői közötti kapcsolatot.

Megállapíthatjuk, hogy a rezonanciamódszerek egyaránt alkalmasak kapacitás, és önindukciós együttható mérésére. Ha kapacitást (C_x) szeretnénk mérni a rezgőkör összeállítása után (2. ábra), a feszültségforrás frekvenciájának változtatásával megkeressük az f_x rezonanciafrekvenciát, és ha ismerjük az alkalmazott tekercs L önindukciós együtthatóját, az (1) összefüggés felhasználásával meghatározhatjuk a keresett kapacitás értékét.

Ha, mint esetünkben, nem ismerjük a tekercs önindukciós együtthatóját, egy ismert C_0 kapacitású kondenzátor segítségével, rezonanciamódszerrel megmérhetjük az ismeretlent. A rezonanciafrekvenciát ebben az esetben jelöljük f_0 -val.

A feladat megoldható a rendelkezésre álló tekercs önindukciós együtthatójának meghatározása nélkül is, hiszen az ismert és az ismeretlen kapacitású kondenzátorokkal mért rezonanciafrekvenciákkal a kapacitások aránya:

$$\left(\frac{f_0}{f_x}\right)^2 = \frac{C_x}{C_0}. \quad (2)$$

Az ismert kapacitások értéke mérőhelyenként 4,57 és 4,72 μF között változott. A tekercsek önindukciós együtthatója, pedig 1,26 és 1,59 H közötti értéket vett fel. A hanggenerátor frekvenciáját 0,1 Hz-enként lehetett változtatni, így a rezonanciafrekvencia a rezonanciagörbe felvétele nélkül is jól meghatározható volt.

Egy soros rezgőkör ismert és ismeretlen kondenzátorral mért rezonanciagörbét mutatja a 3. ábra. Az ismert 4,57 μF kapacitású kondenzátorral 58,15 Hz-nél, míg az ismeretlen kondenzátorral 40,40 Hz-nél található a rezonanciafrekvencia, így a (2) egyenlet felhasználásával a keresett C_x kapacitás értéke 9,47 μF .

Kapacitásmérés egy ismert és az ismeretlen kapacitás összekapcsolásával

A feladat kiírásakor arra gondoltunk, hogy ha adott U_1 feszültségre feltöltött ismeretlen C_x kapacitású kondenzátort összekapcsolunk egy ismert, kisütött C_2 kapacitással, a kialakuló közös U_2 feszültséget megmérve, a töltésmegmaradás elvét figyelembe véve, meghatározható a keresett kapacitás. A vonatkozó összefüggés:

$$Q = U_1 \cdot C_x = U_2 (C_x + C_2). \quad (3)$$

Ennél a megoldásnál a feszültséget mérő műszer belső ellenállásán keresztül történő kisülés miatt problematikus az összekapcsolás pillanatában kialakuló közös feszültség értékének meghatározása. A két összekapcsolt kondenzátor feszültségmérő műszeren keresztül történő kisülési folyamatának vizsgálata ad lehetőséget ennek a feszültségnek a meghatározására.

Ha egy feltöltött kondenzátor ellenálláson keresztül sül ki, a feszültség időbeli változása az alábbi összefüggés szerint alakul:

$$u(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}, \quad (4)$$

ahol C a kondenzátor kapacitása, R az ellenállás értéke, t az idő, és U_0 a $t = 0$ időponthoz tartozó feszültség.

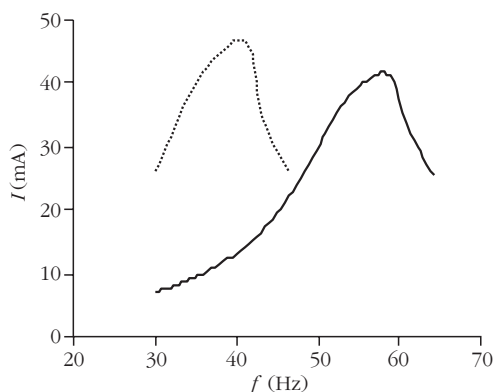
A (4) kifejezés – voltban kifejezett értékének – természetes alapú logaritmusát egy egyenes egyenletét adja:

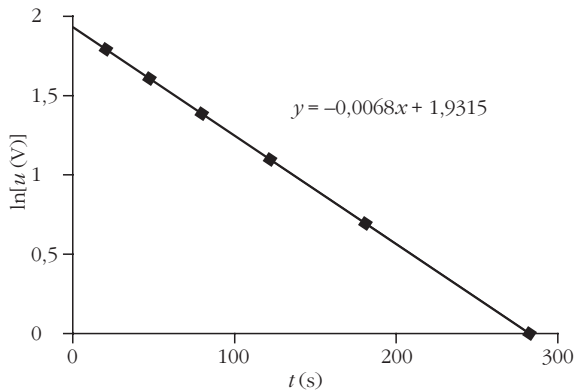
$$\ln u = \ln U_0 - \frac{t}{R \cdot C}. \quad (5)$$

Az egyenes $t = 0$ ponthoz tartozó tengelymetszete a kiinduló feszültség logaritmusát adja.

Az elmondottaknak megfelelően a vizsgált kapacitást 10 V-ra feltöltöttük, majd összekapcsoltuk az ismert kapacitású kondenzátorral és felvettük a feszültség-idő függvényt. A mért feszültségértékek logaritmusát ábrázolva az idő függvényében a mérési pontokra egyenest illesztettünk (4. ábra). A mérési pontok igen jól illeszkedtek a felvett egyenesre.

3. ábra. Soros rezgőkör árama a frekvencia függvényében. A rezonancia az ismeretlen kondenzátorral 40,40 Hz-nél, míg a 4,57 μF értékű ismerttel 58,15 Hz-nél található.





4. ábra. A kondenzátor kisülésének időbeli lefutása.

Az egyenes egyenletéből: $\ln U_0 = 1,9315$ és ebből U_0 értéke 6,8998, azaz 6,9 V.

A (3) egyenletből:

$$C_x = \frac{U_2}{U_1 - U_2} \cdot C_2.$$

$C_2 = 4,57 \mu\text{F}$ értékkel számolva $C_x = 10,17 \mu\text{F}$.

Az általunk várt, és fent leírt módszert csak néhányan alkalmazták. Legtöbben azt a megoldást választották, hogy az ismert és az ismeretlen kondenzátort sorba kötve kapcsolták egy egyenfeszültségű tápegységre, és a kondenzátorokon mért feszültségek összehasonlításával oldották meg a feladatot.

Többen választották azt a megoldást, hogy a kondenzátorokat sorba, vagy párhuzamosan kapcsolva, áram- és feszültségméréssel, Ohm-törvény alapján impedanciát mértek.

Természetesen minden jó megoldást elfogadtunk.

Kapacitásmérés a kisülési folyamatok vizsgálatával

Mint korábban leírtuk, a feltöltött kondenzátor ellenálláson keresztül történő kisülésekor a kondenzátor feszültsége a (4) összefüggés szerint változik. A kondenzátor feszültségének természetes alapú logaritmusát az (5) egyenlet szerint egy egyenes egyenletét adja. Tehát a mérési pontokra egyenest illesztve, annak meredeksége: $-1/(R \cdot C)$.

Az elmondottak alapján, ha a vizsgált C_x kapacitású kondenzátort U_0 feszültségre feltöltjük, majd a feszültségmérő R_x belső ellenállásán keresztül kisütjük, a feszültség logaritmusának idő függvényeként kapott egyenes meredeksége:

$$m_1 = \frac{1}{R_x \cdot C_x}.$$

Abban az esetben, ha az előbbi mérést megismételjük, de a kondenzátort a feszültségmérővel párhuzamosan kötött, ismert R_0 ellenálláson keresztül sütjük ki, a mérőpontokra illesztett egyenes meredeksége:

$$m_2 = -\frac{R_0 + R_x}{R_0 \cdot R_x \cdot C_x}$$

lesz. A két meredekségre kapott kifejezésből meghatározható a vizsgált kapacitás és a feszültségmérő belső ellenállásának értéke:

$$C_x = \frac{1}{(m_1 - m_2) \cdot R_0},$$

$$R_x = \frac{R_0 \cdot (m_2 - m_1)}{m_1}. \quad (6)$$

Az ismeretlen kapacitású feltöltött kondenzátort a feszültségmérő belső ellenállásán kisütve mértük a kondenzátor feszültségét az idő függvényében. Az eredményeket felhasználva kaptuk az 5. ábra a egyenesét.

A b egyeneshez tartozó mérési pontoknak megfelelő feszültségértékeket akkor kaptuk, amikor a feltöltött kondenzátort a feszültségmérővel párhuzamosan kapcsolt $11,5 \text{ M}\Omega$ -os ellenálláson keresztül sütöttük ki.

A (6) összefüggésekből, a mérési pontokra illesztett egyenesek egyenletéből kapott meredekségek felhasználásával $C_x = 9,99 \mu\text{F}$ és $R_x = 10,11 \text{ M}\Omega$. (A voltmérő gépkönyve $10 \text{ M}\Omega$ -nak adta meg a műszer belső ellenállását.)

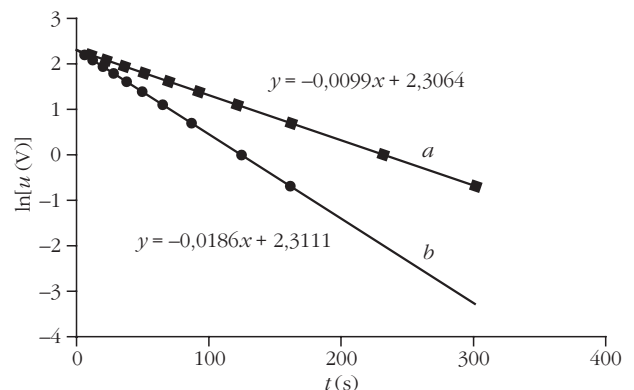
A kisütés előtt a kondenzátort 10 V-ra töltöttük fel ($\ln 10 = 2,3025$), a mérési pontokra illesztett egyenesek 10,04, illetve 10,08 V-nál metszik az y tengelyt. A kisütés kezdetén, amikor a feszültség gyorsabban változik, a rövid idők mérési pontossága kisebb, mint a hosszabb időké. Javíthatunk volna az eljárás pontosságán, ha nem vesszük figyelembe a mért rövidebb időket.

A leírt eljárásnál gyorsabban lehet a feladatot megoldani, ha csak egy olyan időpontot vizsgálunk, amikor a kisülő kondenzátor feszültsége a kiindulási érték adott hányadát éri el, például a felét, vagy e -ed részét. A legegyszerűbb az utóbbi eset.

Jelöljük t_1 -gyel és t_2 -vel azt az időt, amely idő alatt a kiindulási feszültség az e -ed részét éri el a feszültségmérőn, illetve a feszültségmérőn és a vele párhuzamosan kapcsolt ellenálláson keresztül kisütve. A (4) egyenletből (a korábbi jelöléseket alkalmazva):

$$t_1 = C_x \cdot R_x \quad \text{és} \quad t_2 = C_x \cdot \frac{R_x \cdot R_0}{R_x + R_0}. \quad (7)$$

5. ábra. Az ismeretlen kapacitású kondenzátor kisülése a feszültségmérő belső ellenállásán – a egyenes – és a feszültségmérővel párhuzamosan kapcsolt $11,5 \text{ M}\Omega$ -os ellenálláson – b egyenes.



A fenti két egyenletről a két ismeretlen meghatározható.

A feladat 2. pontjában a voltmérő belső ellenállásának meghatározását kértük. Ez valójában nem jelentett újabb mérési feladatot, hiszen a kisülési folyamat vizsgálatával megválaszolható a kérdés.

Megjegyezzük, hogy nagy ellenállások mérésére szokták alkalmazni a módszert.

A feszültségmérő belső ellenállásának meghatározása

Azzal a megfogalmazással, hogy „mérési adatai felhasználásával határozza meg a feladat megoldásakor feszültségmérésre használandó műszer belső ellenállását”, arra utaltunk, hogy nem kell külön méréseket végezni a belső ellenállás meghatározásához. Ahogy azt leírtuk, a kisülési folyamat vizsgálatánál kapott adatokból ez a kérdés is megválaszolható. A műszer belső ellenállását a várt módon csak egy-két versenyző határozta meg.

Néhányan úgy határozták meg a belső ellenállást, hogy adott egyfeszültségre egy nagy értékű, ismert R_0 ellenállással sorba kötve a voltmérőt, mérték a műszerre eső feszültséget. A tápegység U_0 feszültségének és a voltmérő U_V feszültségének különbsége az ismert ellenálláson eső U_R feszültség. A körben folyó áramra felírt egyenletről a műszer R_b belső ellenállása meghatározható:

$$I = \frac{U_R}{R_0} = \frac{U_0 - U_V}{R_0} = \frac{U_V}{R_b}. \quad (8)$$

A voltmérő belső ellenállásának nagyságrendjébe eső, nagy értékű ellenállás mellett a tápegység belső ellenállása elhanyagolható, a módszer alkalmazható.

A versennyel kapcsolatos tapasztalatok és az eredmények

A feladat összeállításakor úgy gondoltuk, hogy a rezonanciámódszerek valamelyikét – valószínűleg a soros rezgőkört – mindegyik versenyző alkalmazni fogja. Meglepetéssel tapasztaltuk, hogy a versenyzőknek majdnem fele egyik módszert sem alkalmazta. Tehát a feladatnak ezt a részét nem oldották meg.

Mint azt a *Kapacitásmérés egy ismert és az ismeretlen kapacitás összekapcsolásával* pontban leírtuk, a feltöltött és a feltöltetlen kondenzátor összekapcsolásával, az így kialakuló közös feszültség meghatározásával, majd a (3) összefüggés alkalmazásával csak néhányan (7 fő) oldották meg a feladatot. Közülük többen megemlítették a közös feszültség mérésénél tapasztalt nagy bizonytalanságot, amelynek csökkentésére a „gyorsan kell mérni” megoldást javasolták.

16 versenyző próbálta más módszerrel megoldani a feladatot, az általuk alkalmazott módszerekre már korábban utaltunk.

A kisülési folyamat vizsgálatával a versenyzőknek több mint a fele foglalkozott. Néhányan idő hiányában csak írtak a módszerről. 15-en méréseket is végeztek, és a mérési eredmények feldolgozásával is foglalkoztak. Sajnos közülük sokan megfeledkeztek a feszültségmérő belső ellenállásáról. Négyen oldották meg lényegében jól a feladatnak ezt a részét, közülük egy versenyző megoldása volt teljes értékű.

A versenyzők munkájának értékelésénél szembevetendő volt, a korábbi versenyekhez viszonyítva:

- az alacsony pontszámot elérték nagy száma (tizen – a megszerezhető 40 pontból – 10 pontnál kevesebbet kaptak);
- a lányok számának növekedése, és a lányok jó szereplése.

A második és a harmadik fordulón elért pontszámok összesítése után az élmezőnyben a sorrend az alábbiak szerint alakult:

1. *Balogh Máté* a budapesti Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium tanulója, felkészítője *Horváth Gábor*;

2. *Farkas Márton Bence* (Budapest, Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium, Horváth Gábor);

3. *Hegedűs Tamás László* (Miskolc, Földes Ferenc Gimnázium, *Héjj Márta* és *Kovács Benedek*);

4. *Deák Zsolt* (Szolnok, Verseyhy Ferenc Gimn.), 5. *Lovas Lia Izabella* (Pécs, Leőwey Klára Gimn.), 6. *Karsa Anita* (Budapest, Fazekas Mihály Főv. Gyak. Ált. Isk. és Gimn.), 7. *Aczél Gergely* (Pápa, Pápai Református Kollégium Gimnáziuma), 8. *Földes Imre* (Szolnok, Verseyhy Ferenc Gimn.), 9. *Mayer Jakab Balázs* (Szeged, SZTE Ságvári Endre Gyak. Gimn.), 10. *Almády Balázs* (Tata, Eötvös József Gimn. és Koll.), 11. *Pálovics Péter* (Zalaegerszeg, Zrínyi Miklós Gimn.), 12. *Trényi Róbert* (Szeged, Radnóti Miklós Gyak. Gimn.), 13. *Lászlóffy András* (Budapest, Piarista Gimn.), 14. *Szabó Dávid* (Budapest, Fazekas Mihály Főv. Gyak. Ált. Isk. és Gimn.), 15. *Horváth Dávid* (Miskolc, Herman Ottó Gimn.).

Köszönetnyilvánítás

A verseny lebonyolításához szükséges anyagi hátteret részben az Oktatási Hivatal biztosította. Ezt ezúton is köszönjük.

A verseny lebonyolításához szükséges eszközök kivitelezéséért *Horváth Bélának* és *Halász Tibornak*, a megfelelő körülmények megteremtéséért *Gál Bélának* és *Mezey Miklósnak* jár a köszönet. A feladat kitűzésével, a verseny lebonyolításával kapcsolatos hasznos tanácsaiért *Kálmán Péternek* és *Keszthelyi Tamásnak* mondunk köszönetet.

A versennyel kapcsolatos adminisztrációs és gazdasági ügyek intézéséért *Köves Endrénét* és *Gál Bélánét* illeti köszönet.

Elismerés és köszönet illeti mindazokat, (szülőket, tanárokat, barátokat stb.) akik segítettek a versenyzők munkáját és ezzel hozzájárultak a verseny sikeréhez.

EGY »NEM HIVATALOS« TANULMÁNYI VERSENY SIKERÉRŐL: A GALILEI ORSZÁGOS CSILLAGÁSZATI DIÁKVETÉLKEDŐ

Szatmáry Károly
Szegedi Tudományegyetem

A Csillagászat Nemzetközi Évében nagyon sok programot rendeznek országsszerte. Ezek egyike volt a középiskolások számára meghirdetett Galilei Országos Csillagászati Diákvetélkedő, amelyet a Szegedi Tudományegyetem TTK Kísérleti Fizikai Tanszéke és Csillagvizsgálója, a Bács-Kiskun Megyei Önkormányzat Csillagvizsgáló Intézete és a Pécsi Tudományegyetem Csillagászati Külső Tanszéke, valamint a Magyar Csillagászati Egyesület (<http://www.mcse.hu>) szervezett. Az előkészületek 2008 nyarán kezdődtek az ilyen vetélkedők megrendezésében tapasztalt és korábban is jól együttműködő két csillagász (*Hegedüs Tibor* és *Szatmáry Károly*) megbeszéléseivel. A verseny teljes lebonyolítását a bajai és a szegedi csillagászok vállalták. Az anyagi háttér biztosításához jól jött az Oktatási és Kulturális Minisztérium tehetséggondozó versenyek számára akkoriban kiírt pályázata, amelyen sikerült 550 ezer Ft-ot elnyernünk (ez végül a költségek mintegy felét fedezte, a szponzorok által felajánlott díjakon kívül).

Három, az interneten lebonyolítandó fordulót tervezünk, majd az ezeken legtöbb pontot elért 10 csapat számára szóbeli döntőt. A vetélkedő honlapja 2008 novemberében nyílt meg (<http://www.bajaobs.hu/galilei>, *Jäger Zoltán* munkája). A versenykiírás szerint három fős középiskolás csapatok jelentkezését vártuk. Végül 44 csapat nevezett, közöttük határon túli magyar középiskolások is voltak. Több résztvevőre számítottunk – lehet, hogy a meghirdetés nem sikerült jól, sokakhoz nem jutott el az információ.

Az első forduló 2008. november 17-én került kiírásra. December elsejéig lehetett beküldeni a megoldásokat és egyúttal a nevezéseket. A nevezési díj 1000 Ft/fő volt. Sokat vitatkoztunk erről, hogy legyen-e, nem csökkent-e a résztvevők számát, ugyanakkor növelheti a kitartásukat a fordulók során. Persze a befizetett összeg csak töredékét fedezte a költségeknek, és a döntős résztvevők mindegyike ennél jóval nagyobb értékű ellátást és ajándékot kapott.

A vetélkedő három fordulójának és a döntőnek a teljes anyaga (feladatok, megoldások, pontozási eredmények) megtalálható a már említett honlapon. Remélhetőleg segítséget jelent a kollégáknak iskolai vagy települési versenyek szervezéséhez.

Egy-egy forduló Word dokumentumként letölthető volt, ennek kitöltését, szerkesztését és csapatnév fel-



tüntetésével való visszaküldését kértük. Mindhárom forduló azonos szerkezetű volt, változatos feladatokat tartalmazott, és legfeljebb 100 pontot lehetett elérni:

– 2 adatbányászat (5–5 pont) – Itt olyan feladatot kaptak a diákok, amelyet az interneten való keresgé-léssel lehetett megoldani.

– 20 tesztkérdés (20×1 pont) – A feleletválasztós feladatoknál nehezítettünk (nem 3 válasz és csak 1 jó), 3-nál több válasz is volt, amelyek közül több is jó lehetett. Az 1 pont akkor járt, ha a jókat, de csakis a jó válaszokat jelölték meg (0,5 pontot is adtunk, bár ebben volt egy kis szubjektív ítélet is).

– 1 esszé (15 pont) – Egy témát kellett kifejtteni legfeljebb 2 oldalban; itt igyekeztünk olyan feladatot adni, amire készen nem, vagy csak sok helyről összeszedve találnak anyagot az interneten. Kértük a felhasznált források megjelölését is (meg kell szokniuk, hogy hivatkozzanak arra, amit felhasználnak).

– 2 számolási feladat (10–10 pont) – Aránylag kevés számolást, de mélyebb ismereteket igénylő problémákat kellett megoldani, s ez nem titkoltan a mezőny széthúzására is szolgált. A számolási feladatok beküldendő megoldásában a képleteket vagy szövegszerkesztővel lehetett elkészíteni, vagy az egész (jól olvasható) kéziratoldalt beszkenelték és ezt csatolták.

– 1 gyűjtési feladat (15 pont) – Gyűjtsenek olyan magyar dalszövegeket (népdalokat, modern dalokat), képeket művészeti alkotásokról, bélyegekről, pénzérmékről, papírpénzekről, amelyeknek csillagászati vagy űrkutatási vonatkozásai vannak. A képeket készíthetik saját maguk, szkennelhetik vagy letölthetik valahonnan az internetről. Kértük, hogy helyezzék el ezeket az interneten egy könyvtárban, és írják meg a címét. Az ilyen feladatokkal például a művészetet is szerető diákok kedvében jártunk, másrészt az interneten elérhető könyvtárak létrehozásában az informatikai ismereteiket szerettük volna fejleszteni.

– 1 gyakorlati feladat (20 pont) – I. forduló: egy csillag delelési magasságát kellett megmérniük saját készítésű(!) műszerrel, és ennek fényképét elküldeni. II. forduló: „Készítsék el méretarányosan a Nap és a Naprendszer bolygóinak kis méretű modelljét (pl. golyókból, labdákból)! Foglalják táblázatba az égitestek valódi és kicsinyített méretét és a Naptól való távolságukat ebben a méretarányban. Készítsenek digitális fényképe(ke)t az egymás mellé (persze nem távolságarányosan) helyezett égitestekről, megjelölve azok nevét (maximum 1024×768-as felbontásban), legalább az egyik csapattag legyen rajta a képe(ke)n!” III. forduló: „Keressenek a lakóhelyük maxi-

mum 50 km-es körzetében csillagászati vonatkozású helyeket (csillagvizsgálók, intézetek, planetáriumok, emlékhelyek, sírhelyek, szobrok, napórák, utcanevtáblák, cégtáblák stb.)! Készítsenek ezekről képeket, amelyeken legalább egy csapattag is rajta van. Helyezzék el ezeket az interneten egy könyvtárban, írják meg a címét!” Azért kértük egy csapattag szereplését a képeken, hogy maguk készítsék el, ne máshonnan töltsék le.

A Naprendszer-modellekről és a csillagászati motívumokat tartalmazó pénzekekről képalbumokat helyeztünk el a <http://astro.u-szeged.hu/ismeret/galilei/index.html> honlapon. A feladatok összeállítását, majd javítását ketten végezték. Igaz, hogy ez igen sok időt kívánt, de nem tartottuk célszerűnek nagyobb csapat bevonását az egységes pontozási módszer és az átláthatóság miatt. Az értékelést kifogásoló panasz nem érkezett, csak néhány észrevétel, amit figyelembe vettünk és megválaszoltunk. Természetesen még a következő forduló kiírása előtt közzétettük a verseny honlapján a részletes megoldásokat és a pontszámokat csapatonkénti és feladatonkénti bontásban. Utóbbinak különösen örültek a résztvevők, mert így ellenőrizhették teljesítményüket.

A döntőre 2009. április 24–25-én került sor Kecskeméten, a Katona József Megyei Könyvtár nagytermében. Az előzetes fordulókban legtöbb pontot elért 10 csapat közül 6 budapesti és 4 vidéki volt. Voltak szakcsoportok, amelyek tagjai nem azonos iskolából jöttek. Öröndetesen sok volt a lány (30 diákból 11; volt csak lányokból álló csapat is). A nyilvános döntő fővédnökségét és anyagi támogatását a Bács-Kiskun Megyei Önkormányzat elnöke, *Bányai Gábor* vállalta el. A megnyitón bevezető köszöntőt mondott *Oláh Katalin* csillagász, a Csillagászat Nemzetközi Éve hazai szervezőbizottságának elnöke. A szervezők a szakma nevében is felköszöntötték hazánk legidősebb csillagászt, az idén 90 éves *Guman Istvánt*, majd *Szabados Lászlónak* a távcsövek 400 éves fejlődéséről szóló előadását hallgathatták meg a jelenlévők. A közös ebéd után kezdődött meg a versengés, amelynek játékvezetője *Szalai Tamás* szegedi csillagász doktorandusz volt.

A zsűri elnöke *Szabados László* (MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézet, Budapest), tagjai: *Borkovits Tamás* (BKMÖ Csillagvizsgáló Intézet, Baja), *Kolláth Zoltán* (MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézet, Budapest, a Magyar Csillagászati Egyesület elnöke), *Kovács József* (ELTE Gothard Asztrofizikai Observatórium, Szombathely) és *Szatmáry Károly* (Szegedi Tudományegyetem, Csillagvizsgáló) voltak. Sokféle feladat szerepelt a döntőben, volt köztük például csillagászat-történeti és űrkutatási totó, képfelismerés, kiselőadás megtartása, számolási feladat, mozaikkép kitalálás, activity játék, villámkérdések. Mivel néha pontrablás is lehetséges volt, a játék során gyakran izgalmasan változott a sorrend. Az összesen 19 pontozott forduló különleges része a kétnapos vetélkedés esti programja volt: a bajai és szegedi szervezők, valamint a helyi, kecske-

méti rendezők minden csapat számára 1–1 távcsövet készítettek elő megfigyelési feladatok teljesítéséhez. De hiába állítottunk fel a Kecskeméti Planetárium mellett egész távcsőarzenált, sajnos borult volt az ég, még a Szaturnusz is csak néha látszott egy-egy felhőlyukban. Így pótprogramra került sor: a planetárium mesterséges égboltja alatt, a planetárium projektorral állított be egy sor érdekes feladatot *E. Kovács Zoltán* csillagász, az intézmény igazgatója.

A záróünnepségen egy újabb látványos szakmai előadást hallhattak a jelenlévők Kolláth Zoltántól *Az Univerzum hangjai – zenélő csillagok* címmel. Ezalatt a szervezők kitöltötték az okleveleket és előkészítették az ajándékokat. A fénypont a várva várt eredményhirdetés volt. Az első díjas a bajai Szent László ÁMK *Szputnyik104* nevű csapata lett, akik egy 13 cm-es átmérőjű tükrös távcsövet és három digitális fényképezőgépet vihettek haza az oklevelek mellett. A második a budapesti Polaris Csillagvizsgáló *Extremofilek382* nevű vegyes diákcsapata lett, ők három 8 cm-es lencsés távcsővel és egy digitális fényképezőgéppel gazdagodtak. A harmadik helyen szintén egy budapesti szakköri csapat végzett: a *Tunguzka908* tagjai ingyenes részvételt nyertek az MCSE idei nyári ágasvári ifjúsági táborába. Végül a negyedik helyre ismét egy vidéki társaság, a soproni Széchenyi Gimnázium *Skyw4lker911* nevű csapata került, kisebb tárgyjutalmakat kaptak. Az *Élet és Tudomány* által felajánlott különdíjat (1 éves előfizetést) *Kuslits Lukács* (Skyw4lker911, Sopron), a *Maróti Tamás* éremművész által felajánlott csillagászati érmesorozatot pedig *Hegyesi Béla István* (Tunguzka908, Budapest) kapta, mindketten kiemelkedő egyéni teljesítményükért. Minden résztvevő kapott egy-egy ajándéksomagot a Magyar Csillagászati Egyesülettől, benne néhány hasznos könyvvel, csillagtérképpel, DVD-filmmel és a *Meteor* folyóirattal egy számával. A Szegedi Tudományegyetem „Csillagászat Nemzetközi Éve” feliratú pólókat, a bajai Csillagvizsgáló Intézet a vetélkedő emlékmájával díszített sapkákat osztott szét.

Köszönet illet valamennyi támogatót és segítőt, továbbá a díjak felajánlóját (Castell Nova Kft., Sopron; Makszutov.hu, Kecskemét; Zeiss Technika Kft., Budaörs; AstroTech Kkt., Baja; Magyar Csillagászati Egyesület, Élet és Tudomány szerkesztősége). A szponzorok megnyerése, a helyszín és az ellátás biztosítása Hegedüs Tibor fáradhatatlan munkájának köszönhető.

A döntőt végig egyenes adásban közvetítette az Interneten az MCSE „Polaris TV” csapata, és a jövő számára felkerülnek az összevágott anyagok az archívumba is (<http://www.mcse.hu/multimedia>). A feladatok és a pontozási táblázatok, valamint a vetélkedőn készült fotók megtekinthetők, letölthetők a fentebb közölt honlapokon.

A résztvevő diákok, tanáraik, kísérőik elismerően nyilatkoztak a verseny szakmai színvonaláról, az objektív és elfogulatlan értékelésről, az ellátásról, az egész lebonyolításról. Sokat tanultak és jól érezték magukat – a szervezők célja pedig éppen ez volt.

FOGOLYDILEMMA ÉS TOJÁSHÉJ-CSONTIMPLANTÁTUM AZ MFA NYÁRI KUTATÓTÁBORÁBAN

A szereplők lehetséges stratégiáját sokszereplős környezetben vizsgáló fogolydilemma játékelméleti modellektől az emberi szervezet számára könnyen befogadható, tojáshéjból készülő implantátumok anyagának előállításáig számos „éles” tudományos témát kutathattak az a húsz 9–11. évfolyamos középiskolás diák, aki a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézetének (MTA MFA) június 22. és 26. között másodszor is sikerrel megrendezett nyári táborán vett részt.



Az utolsó júniusi hétfőig zárult egyhetes „tudóstábor” célja egyrészt az volt, hogy a tehetséges diákok ténylegesen átélhessék a kutatás szépségét és bonyolultságát, másfelől pedig az, hogy az akcióval a fiatalok érdeklődését általában is felkeltsék a tudományok iránt. Az utóbbi évtizedben hazánkban a tudás megbecsültsége és ezzel együtt a tanulók természettudományos érdeklődése folyamatosan csökken, ami már közeptávon forintban is kifejezhető gazdasági hátrányt jelent Magyarországnak.

„Intézetünk tudatában van annak, hogy érdeklődő fiatalok nélkül nem lehet világszínvonalú természettudományos kutatás Magyarországon, világszínvonalú természettudományos kutatás nélkül pedig gazdaságunk sem lesz versenyképes. Szerény eszközeinkkel ezért igyekszünk a diákok figyelmét a természettudomány értékeire, szépségeire irányítani.” – mutatott rá *Bársony István*, az MTA MFA igazgatója, aki szerint nagyon



élvezetes együttműködni a fiatalokkal, ugyanakkor a tábor megszervezése nem kevés anyagi és szellemi ráfordítást igényelt. A pályázaton kiválasztott 20 diák költségeit az intézet viselte, és több mint negyven munkatárs segítségére is szükség volt a feladatok ellátásához. Igazi kihívásnak bizonyult számukra ilyen rövid idő alatt egyszerűen és érthetően bevezetni a táborozókat a nanotechnológia vizsgálati eszközei, például az elektronmikroszkóp használatának rejtelmeibe. A kezdeményezésen idén először négy erdélyi fiatal is részt vehetett.

Az MTA MFA – amelyben olyan világszerte jegyzett kutatások és fejlesztések folynak, mint például a nanoelektronikai alapanyagként perspektivikus nanométeres grafénrétegek előállítása és vizsgálata, vagy a robottechnológiai tapintásérzékelés – jövőre is folytatni fogja a sikeres kezdeményezést.



ÉLT 65 ÉVET...

Requiem egy tanszékért

Hatvanöt év hosszú idő, de annál rövidebb, mint az eszméletem.

1944. április 27-én indult útjára a BME Kísérleti Fizika Tanszék. Talán meglepő, de pontosan emlékszem mi történt velem gyerekként Vásárhelyen aznap, amikor a Magyar Királyi József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem tanácsulése folyt, ahol – *Csonka Pál* dékán javaslatára – elhatározták, hogy a Mérnöki és Építészmérnöki Kar Kísérleti Fizika Tanszékének vezetésére „*dr. Gyulai Zoltán* kolozsvári ny.r. tanár hívassék meg”. Végiggondolva, hogy mi minden változott az életem során, el kell ismernem, hogy mindez a változás egy tanszékét, annak céljait, irányait, teljes környezetét is alapjában érintheti. Mielőtt elkezdtem ezt az írást, eltűnődtem, hogy ma már csak a tudománytörténezsékek jegyzik, hogy volt itt *Bay Zoltán*nak is tanszéke.¹

De azért szomorú vagyok.

Kísérleti Fizika Tanszék – induláskor a József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, azután az Építőipari Műszaki Egyetem, majd Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem, később a Budapesti Műszaki Egyetem, végül a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem keretei között működött.

Elnevezéseket átívelően a vezetői voltak: *Gyulai Zoltán*, az alapító, *Bodó Zalán*, *Mátrainé Zemplén Jolán*, *Kiss József*, *Bíró Gábor*, *Gyulai József*, *Jánossy András* – eddig tart a sor. Hozzájuk kell számítani *Vannay László* docenst, aki az utolsó, jó két évtizedben „ügyvezetőként” vitte a tanszék sok-sok ügyét.

A munkatársak neveivel kiegészítve – együtt egy egész korszak. Indult a gyönyörűen átlátszó, a fényt izgalmasan törő kristályokkal, majd bekapcsolódtak az itt-ott szürke kristályok is. Az alapító, Gyulai Zoltán volt a „gyönyörű” kristályok „kertésze”, növesztő va-

rázslója, az Európában első mesterséges kvarc egykristályoktól egészen a világ első „nanokristályainak” előállításáig.² Kiss József vitte tovább az alapító tematikáját, sajnos szomorúan rövid ideig. A „szürke” anyag sem akármilyen volt: ez a kristály a korszakunknak sokak szerint a névadója, a szilícium – Bodó Zalán és Gyulai József témájaként. Nagyszerű lézer-optikus iskola alakult ki itt *Bakos József* professzor indítása mellett. Végül, sok és nagy sikert hozott a magnágneses rezonancia metodikájának csúcsműködésben való meghonosítása Jánossy András által. A tanszék, Mátrainé Zemplén Jolán és Bíró Gábor vezetése idején a fizika- és a tudománytörténetnek fontos, talán legfontosabb hazai műhelye is volt.

Sokan érkeztek ide, sok fiatal indult el innen, sokan értek el nagy, nemzetközi sikereket. A lézeres iskolát kell mindenképpen megemlíteni: az egykori tanárságéd, *Krausz Ferenc* ma egy kvantumoptikai Max-Planck intézet igazgatója, *Juhász Tibor* pedig az amerikai lézeres cégén keresztül öregbítette a tanszék hírét.

Mikor 1988-ban az élére kerülhettem, BME-KFKI Közös Kísérleti Fizika Tanszékké változtattuk azzal a céllal, hogy összekapcsoljuk az oktatást és a kutatást. Különösen büszke pillanat volt a megalakuláskor, amikor először vette észre valaki és mondta ki, hogy „te az alapító nevének is megőrződ!” . Mikor az alapító emléktábláját avattuk az erdélyi Pipe unitárius templomának előcsarnokában, újra átéreztem a megőrzés felelősségét. Élénken láttam, szinte hallottam, amikor először mutatkoztam be neki 1958-ban, azt mondta: „Kollega Úr, figyelni fogom a karrierjét!” Aszerint igyekeztem...

Nem gondolva arra, hogy rekviemre kell készülni, *Hartmann Ervin* barátom, a Tanszék nagy időinek tanúja, éppen megírta a 65 éves tanszék történetét.

Hadd adjam át a szót neki, beszéljen ő – hátha kevésbé lesz emocionális.

Gyulai József

¹ Bay Zoltán Atomfizika tanszéke folyamatosan létezik, jelenleg a Fizikai Intézet részeként. A Kísérleti Fizika Tanszék nem gazdasági kényszer miatt szűnt meg, hanem szervezeti okokból. A tanszék oktató és kutatómunkája a Fizikai Intézet keretében folyik tovább a Kísérleti Fizika Tanszék hagyományainak szellemében. (A szerkesztő)

² Z. Gyulai: Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften von NaCl-Nadelkristallen. *Z. für Physik* 138 (1954) 317.

BME KÍSÉRLETI FIZIKAI TANSZÉK 65 ÉVE

Hartmann Ervin
MTA SZFKI

Kezdetek

A Magyar Királyi József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem tanácsulésének 1944. április 27-i jegyzőkönyve szerint: „*Dr. Csonka Pál*, a mérnöki és építészmérnöki kar dékánja bejelenti, hogy a kísérleti

fizikai tanszék betöltésének előkészítésére kiküldött bizottság javaslatát, illetőleg véleményes jelentését a mérnöki osztály, valamint a mérnöki és építészmérnöki kar is egyhangúlag elfogadta, és úgy határozott, hogy a tanszékre pályázat mellőzésével nyilvános rendes tanári minőségben *dr. Gyulai Zoltán* kolozsvári ny.r. tanár

hívassék meg, illetőleg terjesztessék fel kinevezésre. A dékán indítványozza a műegyetemi tanácsnak, hogy a kari határozathoz (1057-1944) járuljon hozzá. Az elnök a dékán indítványára elrendeli a titkos szavazást, majd megállapítja, hogy összesen 19 szavazat adatott be s ezek között 18 igen és 1 nem szavazat volt. A műegyetemi tanács tehát az indítványhoz szótöbbséggel hozzájárult és úgy határozott, hogy a kísérleti fizikai tanszéknek meghívás útján rendes tanári minőségben dr. Gyulai Zoltán kolozsvári ny.r. tanárral való betöltése iránt felterjesztést intéz a m. kir. vallás- és közoktatásügyi miniszterhez.”

Gyulai értesülve személyének az újonnan szervezett Kísérleti Fizikai Tanszékre történt meghívásáról, 1944. május 25-én Kolozsváron írásban nyilatkozik a meghívás elfogadásáról.

1944. szeptember 17-én családjával feljön Budapestre. Mint helyettes, a II. éves mérnökhallgatóknak előadja a kísérleti fizikát, a kinevezését a miniszteriumban azonban hiába várja, ezért 1945 tavaszán visszamegy Kolozsvárra, ahol a magyar Bolyai Tudományegyetem megszervezésében vesz részt. Budapesti műegyetemi tanárrá a V.K. miniszter 1946 nyarán 63395/1946. VI. ü.o. sz. alatt nevezte ki, s 99573/1946 VI. ü.o. szám alatt szabadságot biztosított számára kolozsvári ügyeinek elrendezésére [1]. A Kísérleti Fizikai Tanszéken 1945-ben tanársegéd *Mátrainé Zemplén Jolán* és *Boros János* [2], aki 1946–47-ben a Műegyetem Mérnöki és Építésmérnöki Karán a fizika tanszék teendőit, mint helyettes tanár látja el. Gyulai Zoltán műegyetemi állását Budapesten 1947. augusztus végén foglalta el. Lakása nem volt, így hónapokig családjával együtt a tanszéken lakott.

A Műegyetem metamorfózisai

A Műegyetemet az elmúlt hatvanöt évben többször átszervezték. Az Elnöki Tanács 1949. évi 15. rendelete alapján kapta a Budapesti Műszaki Egyetem nevet. 1952-ben a Mérnöki és az Építésmérnöki Kar önállósult, Építőipari Műszaki Egyetem néven. Az 1951-ben alapított Közlekedési Műszaki Egyetemet 1955-ben Közlekedési Üzem mérnöki Karként beleolvasztották az Építőipari Műszaki Egyetembe, létrehozva így módon az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetemet. Az a furcsa helyzet állt elő, hogy egy helyen, sokszor közös épületeket és laboratóriumokat használva működött két önálló, saját apparátussal rendelkező egyetem. Ez az állapot 1967-ben szűnt meg, amikor az Épí-

1. ábra. Az első „nanokristály”

Zeitschrift für Physik, Bd. 138, S. 317–321 (1954).

Festigkeits- und Plastizitätseigenschaften von NaCl-Nadelkristallen*.

Von

Z. GYULAI**.

Mit 8 Figuren im Text.

(Eingegangen am 17. Mai 1954.)

tőipari és Közlekedési Műszaki Egyetemet beolvasztották a Budapesti Műszaki Egyetembe. Az egyetem 2000. január elsejétől új nevet kapott: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. A Kísérleti Fizikai Tanszék 1949-től a Mérnök Karhoz tartozott, amelyet 1967-ben Építőmérnök Karrá kereszteltek át. A tanszék 1971-ben a többi műegyetemi fizikai tanszékkel együtt a Fizika Tanszékcsoporthoz tagja lett. Ebből képződött 1974-ben a Fizikai Intézet, amely a Műegyetem Központi Oktatási Egységek részéhez tartozott, ebből jött létre a Természet és Társadalomtudományi Kar 1987-ben, majd a Természettudományi Kar 1998-ban.

A tanszék létszáma

A különböző műegyetemi átalakulások ellenére a Kísérleti Fizikai Tanszék szépen fejlődött. Az 1949. március 5-i állapot szerint a mérnökkari Kísérleti Fizikai Intézetben csak öten vettek részt az oktatásban, de hamarosan nőni kezdett a tanszék létszáma. Többen jöttek jó nevű középiskolákból (például az idén 96 éves korában elhunyt *Szabó Piroska*), és egyre több frissen végzett fiatal is került a tanszékre. Közülük ki kell emelni *Domokos Gábort*, aki 1995-től az MTA külső tagja és a The Johns Hopkins University (Baltimore) emeritus professzora.

1961-ben Gyulai Zoltán mint egyetemi tanár nyugalmába vonult, de az Akadémiai Kutatócsoport munkáját továbbra is lendületesen irányította a Budafoki út 10/a lakóház üzlethelyiségeiből kialakított „odújából”, ahová 1962-ben a kutatócsoport egy részével leköltözött. A mindenkor tanszékvezető lett a formális helyettese; így 1962–1966 között *Bodó Zalán* (1920–1990), majd 1966-tól *Mátrainé Zemplén Jolán* (1911–1974). 1965-ben a tanszék létszáma 18 fő (egy egyetemi tanár, három docens, öt adjunktus, négy tanársegéd és öt segéderő); a kutatócsoportban egy akadémikuson kívül öt tudományos munkatárs és tizenhárom segéderő segítette a munkát. Emlékezetes a jó humorú Mátrainé bonmot-ja Gyulai Zoltán halála után: „Egy halott helyettese vagyok.” A kristálynövekedési akadémiai kutatócsoport átszervezés miatt 1975-ben levált a tanszékről, de közülük ketten címzetes docensként, illetve címzetes egyetemi tanárként több mint ötven éven keresztül folyamatosan részt vettek a tanszék oktató munkájában. Mátrainé mellett is kialakult néhány főből egy akadémiai kutatócsoport, amely 1995-ig működött a tanszéken. Mátrainé után *Kiss József* [3] kapott megbízást a tanszék vezetésére, akinek váratlan halálát követően 1975-től 1988-ig *Bíró Gábor* [4] vezette a tanszéket. 1989. január 12-én a BME rektora és a KFKI főigazgatója egyezményt írt alá: „A Budapesti Műszaki Egyetem és az MTA Központi Fizikai Kutató Intézete elhatározza, hogy a nevelő-, oktató- és kutató-munka lehetőségeinek kiszélesítése céljából a BME TTK Fizikai Intézetében működő kísérleti fizikai tanszékéből és KFKI Mikroelektronikai Kutató Intézete fizikai osztályából az illetékes főhatóságok (Művelődési Minisztérium, Magyar Tudományos Akadémia) jóváhagyásával létrehozza a

INVESTIGATION OF CONCENTRATION DISTRIBUTION AROUND CRYSTALS IN AQUEOUS SOLUTIONS

By
G. DOMOKOS* and L. MALIGSKÓ

INSTITUTE FOR EXPERIMENTAL PHYSICS, POLYTECHNICAL UNIVERSITY FOR THE BUILDING INDUSTRY,
BUDAPEST

(Presented by Z. Gyulai. — Received 8. I. 1959)

2. ábra. Domokos Gábor első cikkének fejléce

BME–KFKI kísérleti fizikai tanszéket.” A tanszék vezetője Gyulai József lett. Ő a tanszék vezetését 1998-ban átadta Jánossy Andrásnak, aki 2009 elejéig volt a tanszék élén. Jánossy András mellett is szerveződött egy kutatócsoport MTA–BME Kondenzált Anyagok Kutatócsoport néven. A tanszék irányításával 2009 elején Keszthelyi Tamást bízták meg. Ekkor a tanszéken egy egyetemi tanár, öt docens, két adjunktus, három tudományos főmunkatárs, két tanszéki mérnök, két doktorandusz és öt adminisztratív, illetve technikai munkatárs dolgozott.

Az elmúlt 65 évben 179-en dolgoztak a tanszéken. A tanszék oktatóinak és dolgozóinak névsorát évenkénti bontásban az egyetemi évkönyvek őrzik.

Az oktatómunka

Az első harminc évben a tanszék feladata három kar (mérnök, közlekedési és építés) hallgatóinak oktatása mind nappali, mind levelező, illetve esti tagozaton. Nemcsak előadások, hanem laboratóriumi gyakorlatok is voltak mindhárom karon, amelyeket példamegoldó gyakorlatok egészítettek ki. Az előadásokon mindig számos kísérlet bemutatására került sor. A nyolcvanas évek közepétől az angol, illetve francia nyelvű oktatásból is kivette részét a tanszék. Például a közlekedésmérnök kari angol nyelvű fizika oktatásban nagyobb volt az óraszám, mint a megfelelő magyar nyelvű oktatásnál. A 90-es évek elejétől meginduló mérnök-fizikus képzés tantervének és laboratóriumi gyakorlatának kialakításában is jelentős szerepet játszott a tanszék. Az előadások között olyan tárgyak is megjelentek, mint a kvantumoptika és a relati-

4. ábra. C. V. Raman Nobel-díjas Gyulai Zoltán, Mátrainé Zemplén Jolán és Szabó Piroska társaságában.



J. Phys. E: Sci. Instrum. 19 (1986). Printed in Great Britain

Microprocessor-based system for measurement of the characteristics of ultra-short laser pulses

F Krausz, T Juhasz, J S Bakos and Cs Kuti
Institute of Physics, Department of Experimental Physics,
Technical University of Budapest, 1521 Budapest, XI, Budafoki
ut 8, Hungary

3. ábra. Krausz Ferenc első cikkének fejléce

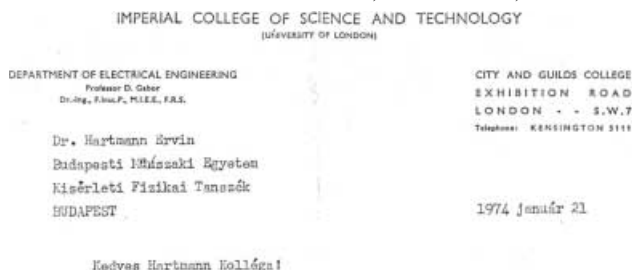
vitásemélet. Részt vett a tanszék továbbá az orvosbiológus mérnökképzésben és a műszaki menedzser képzésben. Az új évezredben a matematikus képzés fizika programjának egy része a tanszék oktatóira hárult. A környezetmérnök és az energetikai hallgatók oktatásáról sem szabad elfeledkezni. Mintegy tizenöt éve a tanszék rendezi a fizika OKTV fordulót.

Gyulai Zoltán *Kísérleti fizika* címmel kétkötetes tankönyvet írt 1952-ben. A könyvet többször is kiadták. Bodó Zalán a hatvanas évek közepén *Fizika* címmel 737 oldalas jegyzetet írt. Ugyancsak az ő részvételével jelent meg 1964-ben *Bevezetés a félvezetők fizikájába* 424 oldalas szakmérnöki jegyzet. Földmérő mérnökök számára *Fizika* jegyzet 1964-ben készült. Fizikai feladatgyűjteményt 1965-ben állítottak össze. A hatvanas évek második felében a közlekedésmérnöki karon bevezették a „tetőfizikát”, azaz a fizika nem mint alapozó tárgy az alsó évfolyamokon, hanem mint összegező tárgy a felső évfolyamokon szerepelt. Az új feladathoz Bíró Gábor vezetésével a tanszék dolgozói írtak jegyzeteket. A folytonos változások, valamint a mérnök-fizikus szak bevezetése újabb és újabb jegyzetek megírására ösztönözték a tanszék oktatóit. Volt olyan oktató, aki három évtized alatt tizenhét jegyzetet, illetve jegyzetrészletet írt. Manapság az oktatási anyag jó része az interneten található.

A kutatómunka

Gyulai Zoltán érdeklődési köre (1. ábra) hatott munkatársai kutatómunkájára is (2. ábra). Az ötvenes évek legelején kvarckristályok növesztésével foglalkoztak. Félvezető oxid, ferroelektromos, kettőstörő, optikailag aktív kristályok növesztése adott alapot a kristályok fizikai tulajdonságainak vizsgálatához. Az alkálifluoridok kutatása mintegy negyven éven keresztül folyt, hat kandidátusi disszertáció íródott ebben a témakör-

5. ábra. Gábor Dénes Nobel-díjas levelének fejléce



Photon assisted implantation (PAI)

L.P. Biró ^a, J. Gyulai ^{a,b}, H. Ryssel ^b, L. Frey ^b, T. Kormány ^a, N.M. Tuan ^c
and Z.E. Horváth ^a

^a Joint Chair for Exp. Phys. of TU Budapest and of KFKI Res. Inst. for Mat. Sci., P.O. Box 49, H-1521 Budapest, Hungary
^b Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Ionierete Schaltungen und Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente, Universität Erlangen–Nürnberg, Artilleriestraße 13, D-91052 Erlangen, Germany
^c Chair for Electronic Devices, Technical University Budapest, P.O. Box 91, H-1521 Budapest, Hungary

6. ábra. BME–KFKI közös tanszék egyik cikkének fejléce

ben. Az egyetem profiljából adódott, hogy bitumenek belső sűrűlődsével, portlandcementek kötési mechanizmusával, építőanyagok hővezető képességével, nyílászáró szerkezetek hőtani problémájával többen foglalkoztak. Ebből a témakörből is születtek disszertációk. Igen sikeres volt a kristályok alkalmazása a lézerfizikában. Ezt a területet *Bakos József* félállású egyetemi tanár vezette. Olyan neves emberek kerültek ki ebből a csoportból mint *Krausz Ferenc*, az MTA külső tagja, a Max-Planck-Institut für Quantenoptik vezetője (3. ábra). Jánossy András laboratóriumaiban nagy mágneses terekig működő, széles hőmérséklet-tartományt átfogó transzport és spektroszkópiai berendezéseket működtetnek a szilárdtestfizikai vizsgálatok számára [5]. A témák megfelelnek az EU 7. keretprogram prioritásainak. A tanszéknek mindig jó nemzetközi kapcsolatai voltak (4–7. ábrák).

A tanszéken elméleti kutatások is folytak a Madelung-konstans kiszámításától kezdve az alkálihalogenid kristályok rugalmassági állandóin át a lézerindukált magátmenetekig.

A tanszék vezetői közül többen mind egyetemi, mind országos, sőt nemzetközi szinten is vállaltak szakmai közéleti feladatot. Kiss József dékánhelyettesi, Biró Gábor rektorhelyettesi, Keszthelyi Tamás dékáni tiszteletet töltött be. Gyulai Zoltán és Gyulai József az ELFT

Magnetic-Field-Induced Low-Energy Spin Excitations in YBa₂Cu₃O₇ Measured by High Field Gd³⁺ Electron Spin Resonance

Tamas Felzer,¹ András Jánossy,^{1,2} Gábor Oszlányi,^{1,2} Ferenc Simon,¹ Bogdan Dobrowolski,³ Piotr W. Klamut,³ Minden Horváth,⁴ and Grant V.M. Williams⁵

¹Institute of Physics, Budapest University of Technology and Economics, P.O. Box 91, H-1521 Budapest, Hungary

²Research Institute for Solid State Physics, P.O. Box 49, H-1525 Budapest, Hungary

³Department of Physics, Northern Illinois University, De Kalb, Illinois 60115

⁴Grenoble High Magnetic Field Laboratory, CNRS and MPE-FRE RP 156, F-38042 Grenoble Cedex 9, France

⁵New Zealand Institute for Industrial Research, P.O. Box 13130, Lower Hut, New Zealand

(Received 13 February 2000)

7. ábra. Jánossy András szakmai iskolájának egyik publikációja

elnöki posztját töltötte be. Bodó Zalán a KöMaL fizikai rovatát szerkesztette. Gyulai Zoltánt a göttingeni Német Tudományos Akadémia levelező tagjává, Gyulai Józsefet az IUPAP alelnökévé választották. Munkájukat különböző díjakkal ismerték el. Gyulai Zoltánt Kossuth- és Állami-díjjal, Bodó Zalánt Kossuth-díjjal, Gyulai Józsefet Széchenyi- és Prima-díjjal, míg Jánossy Andrást Széchenyi-díjjal tüntették ki.

„Bízva bízzál!”

A műegyetemi Kísérleti Fizikai Tanszék töretlenül vészelte át az elmúlt 65 esztendő külső változásait. Reméljük, hogy a jövőben majd újra éled, hiszen a Műegyetem alapítása (1857) óta kísérleti fizikai tanszék (kisebb megszakítással) mindig működött [6, 7].

Irodalom

1. http://www.otka.hu/index.php?akt_menu=3746#top
2. Hartmann E., *Fizikai Szemle* 41 (1991) 93.
3. Hartmann E., *Fizikai Szemle* 26 (1976) 275.
4. Hartmann E., *Fizikai Szemle* 57 (2007) 162.
5. http://newton.phy.bme.hu/MTA-BME_Szilardtestek/
http://newton.phy.bme.hu/MTA-BME_Kondenzalt_anyagok/
http://dept.phy.bme.hu/MTA-BME_Elektrontranszport_kutatorcsoport/
6. Vargha M., *Fizikai Szemle* 45 (1995) 341.
7. Füstöss L., *Fizikai Szemle* 54 (2004) 415.

VÉLEMÉNYEK

GONDOLATOK AZ ISKOLAI ENERGIAFOGALOMHOZ

Hraskó Péter: Biztos-e, hogy az energia megmarad? című cikke (*Fizikai Szemle* 2009/4) indított írásra. Ebben az energia fogalmának több kapcsolata is felmerül, és mivel ez a közoktatást is érinti, érdekesnek tartom iskolai oldalról is megnézni. Véleményemmel és javaslataimmal a köztudatban élő fogalom átépítéséhez szeretnék hozzájárulni.

James Prescott Joule 1840-es években végzett kísérlete elérhető közelségbe hozta az energia fogalmának megértését. A század második felében elméleti szempontból is sikerült tisztázni a mechanikai és a hőtani

folyamatok energiával összefüggő kapcsolatát. Ennek alapjainál alig valamivel több kerül elő a közoktatásban: a relativitáselmélet említésekor a tömeggel hozzuk kapcsolatba az energiát, majd az atomi folyamatok ismertetésekor az elektronok állapota, állapotátmenete, később a nukleáris kölcsönhatás kapcsán merül fel.

Az, hogy az energia fogalma igen kusza működik a közgondolkodásban, ezek után nem meglepő. (Az energia fogalma, mint köznyelvi képződmény abban az értelemben működik, amennyiben változni képes, hat az emberek gondolkodására.) Úgy tűnik, hogy

javításra, fejlesztésre alig van esély. Két olyan momentumot látok, amelyen változtatni kellene ahhoz, hogy az energiafogalom használata korrektebbé váljék. Lazítani kellene az energia fogalmának a munkához való kapcsolásán, másrészt a hőenergia szavunkat le kellene cserélni a – már bevett – belső energia fogalmat takaró, jól használható elnevezésre. Sokéves tapasztalat mutatja, hogy a hőenergia fogalma bármennyire zavaró, sikeres túlélőnek tekinthető, amitől nem könnyű megszabadulni.

Történeti áttekintés

Az alábbiakban néhány gimnáziumi tankönyv szemlézésével próbálom meg érzékeltetni azt a problémát, amelyet az energiafogalom iskolai építése körül érzek.

A *Makai Lajos* nevével fémjelzett, hosszú időn át használt *Fizika a gimnáziumok II. osztálya számára* című könyvből idézem (a negyedik kiadás, 1976): „A testek munkavégző képességének jellemzésére alkalmas fizikai mennyiséget energiának nevezünk.” (210. oldal)

A *Dede Miklós és Isza Sándor* által írt *Fizika II.* (1982) című tankönyv az 1982/83-as tanévtől (a gimnáziumokban) engedélyezett, amely próbálkozik új felfogást bevezetni. Az apró betűs bevezető részből idézem: „A munka az energiaközlés egyik mértéke.” (157. oldal) Előtte a munkavégzés eredményeként értelmezi az állapot megváltozását, és az energiát az állapothoz köti. Később az energiát valamilyen megmaradási képzethez (rugalmas és rugalmatlan ütközés) és – természetesen – állapothoz köti. Mindez igen tiszteletre méltó próbálkozás!

Vermes Miklós Fizika II. (1986) című tankönyve az 1986/87-es tanévtől (a gimnáziumokban) engedélyezett, amely visszatér a régi fogalomhoz: „Energiának nevezük valamely test vagy szerkezet munkavégzésre való képességét.” (61. oldal)

Az eddigiek az 1978. évi tantervi reform történetét jellemzik a szemléletváltási kísérlet szempontjából. Ez figyelmeztet arra, hogy a szemléletet megváltoztatni igen nehéz! Megjegyzendő, hogy a szakközépiskolákban kisebb változások történtek ugyanebben az időszakban. A helyzet igazán színessé a 90-es években vált az iskolaszervezet megváltozásával.

A hat-, illetve nyolcosztályos gimnáziumok egységesebb szemléletének (egyik) jele volt a tankönyvek korosztályhoz (iskolai évfolyamhoz) kötése. Ebben a szellemben született *Zátonyi Sándor és ifj. Zátonyi Sándor* hatkötetes tankönyvsorozata. Az 1. kötet (a 7. osztály számára) írja: „A testek állapotváltoztató képességét energiának nevezük.” (Idézet a 4. kiadás, 1996, 86. oldaláról.) A 3. kötet (9. osztály) szerint: „Egy test vagy mező állapotváltoztató képességének mértékét energiának nevezük. ... Megjegyzés szerint egy testnek vagy mezőnek annyi energiája van, amennyi munkát végezni kellett ahhoz, hogy a test alapállapotból a megadott állapotba kerüljön.” (1. kiadás, 1995, 97. oldal.) Ez már igen komoly próbálkozás, amely az energiát mégis az állapothoz igyekszik kötni.

Ez utóbbi tankönyv „örökösének” tekinthető ifj. Zátonyi Sándor *Fizika 9.* című (1. kiadás, 2002) könyve, majd ennek azonos című átdolgozása (1. kiadás, 2009). Előbbiben a 127., utóbbiban a 143. oldalon találjuk ugyanezeket a mondatokat. Az eddig említett könyvek a Tankönyvkiadó, később a Nemzeti Tankönyvkiadó kiadványai.

Ugyancsak a Nemzeti Tankönyvkiadó kiadványa a Prizma-könyvek *Fizika 9.* című könyve (szerző: *Medgyes Sándorné*) szerint: „Két test kölcsönhatásakor mindkét test állapota megváltozik. A testek állapotváltoztató képességét energiának nevezük.” Itt a bevezető mondat átértelmezi a meghatározást, és később is a kölcsönhatásra, annak állapotváltozásban megnyilvánuló eredményére utal. A különböző energiafajtákat is állapotokhoz köti. (Meg kell jegyezni, hogy ez a könyv igen szűkszavú, kicsiny szöveges terjedelmű.)

A 90-es években több szereplő is megjelent a tankönyvpiacra, így a Mozaik Kiadó (többszerzős) *Fizika 7* című könyve a második, javított kiadásban (2004) így ír: „Azt a mennyiséget, amellyel megadjuk, hogy mekkora egy test változtatóképesége, energiának nevezük.” (88. oldal, a könyv már 1997-ben több díjat nyert.) A sorozat *Fizika 9* című kötete *Halász Tibor* munkája, amely korábbi tanulmányokra utalva (*Emlékeztető* címmel) ezt írja: „Az energia az anyagi rendszerek állapotára jellemző skalármennyiség, amely zárt rendszer esetén minden eddigi tapasztalat szerint bármely állapotváltozásnál állandó marad.” (6. kiadás, 2005, 124. oldal) Ez már komoly eredmény! Kár, hogy itt még a skalár fogalmával kevesen vannak tisztában, az viszont jó, hogy állapotváltozással is kapcsolatba kerül.

A Maxim Könyvkiadó *Út a tudásához* című sorozatában *Fizika 9* (szerzők: *Nagy Anett és Mező Tamás*) című könyvében ezt találjuk (161. oldal): „Mindenképpen a testek állapotának jellemzője az energia.” Ez a „családi beszélgetés” jelzésű szövegrészben jelenik meg. Később a „tanulhatóbbnak, számon kérhetőbbnek” tartott megfogalmazás már – leckeszerűen – így fogalmaz: „Az energia a testek, illetve a közöttük levő kölcsönhatások, fizikai mezők (erőterek) munkavégző, melegítő képességének mértéke. Előjeles skalár mennyiség.” Ebből azt emelném ki, hogy megpróbálja a régi fogalmat átértelmezni.

Végül meg kell jegyezni, hogy a belső energia fogalmának használata már több mint 30 éve korrekt. A termikus folyamatok során sem beszélnek a fizika tankönyvek hőenergiáról. Más tantárgyak esetén sajnos előfordul ilyen eset!

Javaslat

Szerintem megérett a helyzet arra, hogy az energiát egyértelműen állapotjellemzőként értelmezzük. Ez azért lehetséges, mert az anyagok, anyagi rendszerek, mezők állapotaihoz különféle energiafajták rendelkeznek; állapotváltozáskor legalább az történik, hogy az anyag, rendszer, mező egyik fajta energiája másik fajtává alakul.

A belső energia kifejezést fel kellene cserélnünk az egybeírt változattal, mert a jelzős szerkezetet nem érzi a közgondolkodás eléggé egy fogalomnak. Ez lehet az oka az egy szóba írt hőenergia szó ilyen sikeres túlélésének. A különírt változatot olyan esetekre kellene fenntartanunk, mint az ember, szervezet belső energiataraléka.

A változás szükségességét azzal lehetne indokolni, hogy a hő(mennyiség) az átadott energia mennyiségét megadó folyamatjellemző, hasonlóan a munkához. Ahogyan a „munkaenergia” szót nem érezzük értelmesebbnek az állapot és a folyamat összekeveredése miatt, ugyanúgy a hőenergia szó is nehezen értelmezhető.

Természetesen foglalkozni kell azzal, hogy mit szolgáltat a hőerőmű! Ha azt mondjuk, hogy hőt, akkor folyamatközpontúan gondolkodunk: a lakásunkba hő-

(mennyiség) kerül, amely a lakás belső energiáját növeli. Ha azt mondjuk, hogy a hőerőmű belső energiát szolgáltat, akkor állapotközpontúan gondolkodunk: az erőmű belső energiát termel (valamilyen anyag által tárolt energiát egy közvetítő anyag, közeg belső energiájává alakítja át), és ezt juttatja el a lakásunkba. Mindkét szemléletmód és a hozzá tartozó beszédmód korrekt.

Tudom, hogy a változás, a szemléletváltás lassú folyamat. Ennek ellenére most látok esélyt arra, hogy a fogalmakat a következő egy-két évtizedben sikerül átalakítani, mert az energiával kapcsolatos dolgokról a „hétköznapi” embernek egyre többet kell gondolkodnia. Ez már „zsebre megy”, a környezetünket érinti – napi kérdéssé vált.

Theisz György

KÖNYVESPOLC

Walter Isaacson: EINSTEIN

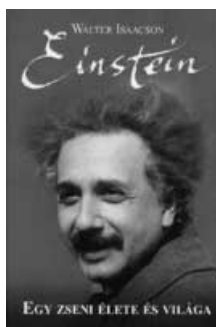
Alexandra 2009, 683 oldal, fordította Bujdosó István

Egy zseni élete és világa alcímet viselő majd 700 oldalas könyv, amiből 75 oldal jegyzet.

Szerzője *Walter Isaacson* irodalmat, filozófiát, történelmet tanult, szerkesztője volt a CNN-nek és a *Time* magazinnak, de az *Einstein* könyv előkészületeként áttanulmányozta egyebek közt a tenzorszámítást, és az előtanulmányi listának is számító 11 oldalnyi hivatkozásban számos kiváló, fizikáról szóló könyv található. Így azután a könyvet fizikusok is sóhajok és fintorok nélkül olvashatják, noha összesen egyetlen formula szerepel a hatszáz oldalon, egy tenzoregyenlet, ami a *Hilbert*tel való rivalizálás bemutatásához volt elengedhetetlen.

A nagy ismeretanyag, amire a szerző épít, és az elfogulatlanság, amivel a tényeket kezeli, lehetővé teszi, hogy a könyvet enciklopédiaként használhatjuk. Kevés utánagondolással megtaláljuk a megfelelő oldalakat és hamar választ kapunk kérdéseinkre.

Megtudhatjuk a könyvből, hogy Einsteinnek az iskolában nem volt a matematikával semmi gondja, meg a többi tantárggyal sem, sőt, kiemelkedően teljesített. Konfliktusokhoz szemtelenségként számon tartott önfejűsége vezetett, amit már fiatalon elvékonyított fogalmazott meg: „A tekintélybe vetett őrült hit az igazság legnagyobb ellensége.” Ez főleg egyetemi éveit okozott gondot, amikor állást keresett, és



volt tanárai mint renitens diákot nem ajánlották. Ebből vezeti le a szerző azt az állítását, hogy a végül (a budapesti születésű *Grossmann Marcell* segítségével) megszerzett szabadalmi ügyvivői állás inkább hasznára volt Einstein tudományos karrierjének mintsem kárára. „Ha felvették volna egy tanársegédi állásba... talán arra kényszeríthették volna, hogy a kitaposott ösvényen haladva meneteljen előre a megfelelő publikációkkal, és közben nagyon óvatosan bánjon az általánosan elfogadott elvek megkérdőjelezésével” – írja Isaacson.

Szerelmei, feleségei, gyermekei története levelek, naplók, visszaemlékezések alapján képezik az életrajz gerincét. Példaadó szeretőnek, férjnek, apának lenni nem egyszerű feladat, és különösen nem az a tudomány elkötelezettje számára. Ehhez adódott hozzá, illetve ennek egyik megjelenési formája volt Einstein spontán távolságtartása. „A szociális igazságosság és szociális kötelezettségek iránti szenvedélyes érzésem mindig szemben állott a tulajdonosággal, hogy sohasem éreztem szükségét az emberekhez vagy emberi közösségekhez való közvetlen csatlakozásnak...”

Természetesen ezt mások is látták, érzékelték. *Max Born* szerint „Bármennyire kedves is volt, szociálisan érzékeny, és bármennyire is szerette az emberiséget, mindig totális közönnyel viseltetett a környezete és a környezetében élő emberek iránt.”

Isaacson körültekintően írja le Einstein kapcsolatát Mileva Marič-csal, közös tanulóéveiket, hét évvel



Weizmann-nal (középen, Einstein mellett) 1921-es amerikai körútján.

megismerkedésük után házasságkötésüket: „Nos, házas ember lettem, és igazán kellemes életet élek a feleségemmel. Mindenről remekül gondoskodik, jól főz, és mindig vidám.” Ez a *mindig vidám* akkor sem volt igaz, később pedig a depresszióig romlott Mileva kedélyállapota. Ami pedig tevékeny részvételét illeti a relativitáselmélet megalkotásában, Isaacson szerint „Sem az egymáshoz, sem a barátaiknak írott levelek nem említenek egyetlen olyan, mégoly apró ötletet vagy kreatív koncepciót sem, amely a relativitáselmélet megalkotásában Maričtól származott volna.”

A könyv Einstein tudományos sikereivel párhuzamosan beszámol a házaspár elhidegüléséről, a második házasságig vezető új kapcsolat kialakulásáról, a gyerekek sorsáról.

A kezdő tudós lelkesedését a tudományos feladatok iránt még zavarják a megélhetési gondok, de szabadalmi hivatalnokként már az 1905-ös év eredményeiig juthat. Minderről kellő részletességgel értesülhetünk, majd a tudományon kívüli hivatali kötelezettségektől való megszabadulás nehézségeiről is. A zürichi egyetem döntéséről, hogy *tanári állást ajánl Einsteinnek – négy évvel azután, hogy forradalmasította a fizikát. Sajnálatos módon a státusszal járó fizetés kevesebb volt, mint amennyit a szabadalmi hivatalban keresett, ezért aztán Einstein udvariasan visszautasította az ajánlatot. A zürichi döntéshozók nagy nebezen megemelték a javasolt összeget, így végül Einstein elfogadta az állást.* „Na, most már én is hivatalosan a prostituáltak céhéhez tartozom” – lelkendezett egy kollegának.

Isaacson részletesen beszámol a berlini, majd az amerikai évek eseményeiről. Magyar szemnek feltűnő korlátot jelent a részletességben, hogy nem tesz említést *Lánczos Kornél*ról, aki 1929-ben volt Einstein munkatársa, és akinek a későbbiekben Einsteinhez írt félszáznál több levele ritkán maradt megválaszolatlan. A korlát nem véletlen, hiszen a könyv nem tudománytörténeti monográfia, hanem egy érdekes életpálya sok szempontú bemutatása.

A szempontok fejezetcímeket adnak és feltűnő nélkül illeszkednek az írás kronologikus menetébe. A *vándorló cionista* címet viselő fejezetben az 1920 körüli évek eseményeit foglalja össze. Einstein 1919-ben állt a cionizmus mellé, ekkor mondta: „Mint ember a nacionalizmus ellen vagyok, de mint zsidó mától a cionista törekvések támogatói közé tarto-

zom.” 1921-ben elkísérte *Chaim Weizmann*t pénzügyítő körútjára az Egyesült Államokba. Itt többnyire a relativitáselmélet fogadtatásáról faggatták, és Einstein elmondhatta, hogy a *tudomány* ellenérvek alapja az antiszemizmus.

Van a könyvben *Einstein és Isten* című fejezet is. Megismerjük itt Einstein panteisztikus álláspontját: „Látjuk, hogy a világegyetemben a dolgok csodálatosan el vannak rendezve, és hogy minden bizonyos törvényeknek engedelmeskedik, de csak nagyon keveset értünk ezekből a törvényekből.” Arra kérdésre, hogy hisz-e a halhatatlanságban, röviden válaszolt: „Nem. Nekem elég ez az élet.”

Ehhez az egy élethez viszont ragaszkodott, és már az első világháború kitörésekor aktív pacifistának mutatkozott. Einstein pacifizmusának fejlődéséről is számot ad Isaacson. 1928-ban elutasította a felkérést, hogy vegyen részt a Népszövetség leszerelési bizottságának ülésén, mert félmegoldások nem érdekelték: „Véleményem szerint teljesen felesleges a háborúzás szabályait vagy korlátozását előírni. A háború nem játék, ezért semmi értelme játékszabályokat felállítani. Ami ellen itt fel kell lépni, az maga a háború. A néptömegek a leghatékonyabban úgy harcolhatnak a háború intézménye ellen, ha egy olyan szervezetet hoznak létre, amely teljes mértékben elutasítja a katonai szolgálatot.”

Pacifizmusa 1933-ig tartott, és hat évvel későbbi szerepvállalása az atombombához vezető kutatások elindításánál háborús kezdeményezésként értékelhető. Isaacson nem mentegeti Einsteint, de részletesen leírja szerepét, amiben meghatározó volt, hogy „...egyesek úgy ítélték meg, hogy a tudós, aki az egész projekt elindításáért oly sokat tett, nagy biztonsági kockázatot jelentene, ha a részleteket is megismerné”. Mégis, a kezdeményező levél és az $E = mc^2$ formula szerzősége miatt a közvélemény az atombomba atyjának tekintette.

Isaacson részletesen foglalkozik Einstein politikai naivitásával. Véleményének kialakításánál valóban nem volt tekintettel a közvélemény-kutatások eredményére. A nukleáris fegyverkezés megoldására egy hatásos nemzetközi szervezet jól jött volna: „A három nagyhatalom – az Egyesült Államok, Nagy Britannia és a Szovjetunió azonnal állítsa fel a Világkormányt, ezután pedig fel kell kérniük a többi nemzetet is, hogy csatlakozzanak hozzájuk. A bomba titkát Washington át kell adja ennek az új szervezetnek.”

Nem csoda, hogy az amerikai hatóságok egyre nagyobb gyanakvással figyelték Einstein megmozdulásait. *McCarthy* rendszerét boszorkányüldözésként könyvelte el: „Az állampolgárok hűségét, különösen a köztisztviselők esetében, egy napról napra erősödő rendőri erő vizsgálja. És folyamatosan zaklatják a másképp gondolkodókat.”

De ahogy a könyvből kiderül, Einstein nem csupán elkönyvelt, tanácsokat is adott: „Őszintén szólva csak egy utat látok: az együttműködés Gandhi féle megtagadását. Minden olyan értelmiséginek, akit beidéznek, meg kellene tagadni a tanúvallomást.”

Nem tudott belehelyezkedni egy lojális amerikai állampolgár viselkedés- és gondolatrendszerébe: „Oppenheimernek nem kellene mást tennie, csak elmenni Washingtonba, megmondani azoknak a hivatalnokoknak, hogy mekkora marhák, aztán szépen hazamenni.”

Kiábrándultságát nem túl ritkán adott interjúi során is megfogalmazta: „Ha most lennék fiatal, és most kéne arról döntenem, hogy milyen életet akarok élni, eszembe sem jutna, hogy tudós vagy tanár legyek. Inkább lennék vízvezeték-szerelő vagy házaló ügynök abban a reményben, hogy így elérhetném a függetlenségnek azt a szerény fokát, ami ma még elérhető.”

Közvetlen hatásként a vízvezeték-szerelők szak szervezete tiszteletbeli taggá választotta.

Végeredményben Isaacson egy változatos, sokszínű képet tár elénk Einsteinról és a korról, az értelmezést pedig ránk, olvasókra bízta.

Többletként öntudatos tudósjelöltek számára egy házassági kaució formát is ajánl, ami Einstein és Mileva esetében bevált.

„A Nobel-díjjal járó pénzösszeg – amennyiben hajlandó vagy elválni és amennyiben nekem ítélik – teljes egészében a tied lesz.”

Füstöss László

MIT ADOTT AZ EMBERISÉGNEK A »NUKLEÁRIS KORSZAK«?

Érdekes és tanulságos összeállítást adott közre az Akadémiai Kiadó *Vértes Attila* szerkesztésében (*Szemelvények a nukleáris tudomány történetéből, Gondolkodók, gondolatok, eredmények*, szerk. Vértes Attila, Akadémiai Kiadó, Budapest 2009).

A kötet elején a szerkesztő ajánlásában két igen fontos tényre hívja fel a figyelmet: „A nukleáris tudomány meglehetősen népszerűtlen napjainkban, a »nukleáris« szó szinte már szitokszónak számít. Ez a közvélekedés persze érthető, ha a Hiroshima és Nagaszaki felett 1945. augusztus 6-án és 9-én felrobbant urán-, illetve plutóniumtöltetű atombombákra, vagy az 1986. április végén Csernobilban történt eseményekre gondolunk...”

A nukleáris tudományról kialakult negatív véleményekkel szemben az az igazság, hogy ez a tudományterület volt a 20. század természettudományának motorja. Ezt az állítást egyszerűen lehet bizonyítani, ha meggondoljuk, hogy a 20. században száz alkalommal adtak ki fizikai Nobel-díjat, és ugyanennyiszor kémiai, és a kétszáz alkalommal átadott fizikai és kémiai Nobel-díj között ötvenhét olyan elismerés volt, amelyet a nukleáris tudomány területén elért eredményért adtak.”

A „nukleáris tudomány” gyűjtőfogalom sokszínűségét 22 dolgozat illusztrálja, amelyek témája a hagyományos magfizikától a sugárkémia, forró-atom kémia és Mössbauer-spektroszkópián át az atomenergetikáig, részecskefizikáig, magfúziós kutatásokig, valamint a magsugárzások élettanától a radioaktív anyagok terápiás alkalmazásáig terjed.

A dolgozatok szerzői az egyes szakterületek neves hazai képviselői, akik között oroszlanrész jut Vértes Attilának, aki egymaga 7 cikket jegyez. A cikkek jellege különböző: vannak, amelyek egy-egy szakterület történetét tekintik át, mások kiemelkedő kutatóknak állítanak emléket (pl. *Hevesy György*, *Szilárd Leó*, *Otto Hahn*), vagy egy-egy témakörben a legújabb fejleményeket és eredményeket foglalják össze. E rövid recenzióban sajnos nincs mód valamennyi dolgozat részletes áttekintésére, ezért csak néhány érdekességet emelünk ki.

Schiller Róbert Otto Hahn-nak radiokémiai vizsgálatait követi nyomon cikkében (*Otto Hahn – egy „primitív” Nobel-díjas a radiokémia hajnalán*). Hahn-ról mindenkinek elsősorban a maghasadás felfedezése jut eszébe, azonban Schiller felhívja a figyelmet arra, hogy „Ma már ismerjük Hahn életének további folyását, kutatásainak későbbi eredményeit. Ezek mellett mintha eltörlődne az első évtized tevékenysége. A kortársak ezt természetesen másképp látják. Rutherford 1906-ban azt mondta róla, hogy »különleges orra van az új elemek felfedezéséhez«. A mezotórium felfedezéséért pedig már 1914-ben Nobel-díjra javasolták. Akkor nem kapta meg a díjat. Visszatekintve persze a bizottságnak volt igaza: az még csak körme volt az oroszlanrának.”

Radnóti Katalin és *Inzelt György* (*Bámulattal szemléljük a testek önsugárzását – az atomkorszak magyar úttörői*) áttekintése sok, ma már csak kevésbé ismert kutatóra és tényre hívja fel a figyelmet. *Lengyel Béla*, *Weszelszky Gyula*, *Grób Gyula*, *Götz Irén*, *Radó Erzsébet*, *Zemplén Győző* és mások munkássága meggyőzően mutatja, hogy a radioaktivitás kutatásában a kezdetektől fogva voltak jelen magyarok. Megtudhatjuk például, hogy *Walter Kaufmann* és *Marie Curie* vizsgálatainak eredményei, miszerint „a részecske (elektron) *m* tömege a sebesség növekedésével növekszik” magyar nyelven már azelőtt megjelentek, mielőtt *Einstein* levezette volna a relativisztikus tömegnövekedést híres cikkében (anélkül, hogy ismerte volna Kaufmann és Curie idevágó munkásságát)! Érdekesség továbbá, hogy rövid ideig a radioaktivitás tanulmányozásával foglalkozott *Plesch László* is, aki később Berlinben divatos orvos lett, *Marlene Dietrich* és más hírességek mellett olyan igazi „sztár” orvosa is volt, mint *Albert Einstein*!

Szatmáry Zoltán dolgozata (*Az atomenergia hasznosítása*) az atomreaktorok alkalmazása terén elért legújabb fejleményeket és irányzatokat ismerteti, és kitér a jövő atomerőműveivel kapcsolatos tervekre, a „negyedik generációs (innovatív) erőművekre” is.

Zoletnik Sándor a fúziós kutatások állását tekinti át (*A fúziós álom*), különös tekintettel az azokban való magyar részvételre. A részletekre is kiterjedő beszámolóból érdemes szó szerint idézni néhány fontos megállapítást: „Fúziós kutatások ma a legtöbb fejlett országban folynak. Az Euratom együttműködésnek köszönhetően az európai fúziós program meghatározó helyzetben van: Európában van a valaha épült legnagyobb fúziós berendezés, a JET (Joint European Thorus), itt épül a legnagyobb szupravezető sztellarátor, a Wedelstein 7-X és Európa fedezi az ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) költségvetésének felét. Ezek mellett a kiemelkedő kísérletek mellett Európában van még számos közepméretű tokamak-, szférikus tokamak- és sztellarátorkíséret...

Magyarországon a kilencvenes évek végén pénzhiányában gyakorlatilag leálltak a fúziós kutatások és a MT-1M tokamakberendezést leszerelték. 2000-ben azonban az Euratom programhoz csatlakozva újraindult a munka. Azóta a cél nem saját berendezések építése, hanem az európai fúziós program részeként plazmadiagnosztikai eljárások fejlesztése és különböző mérések, számolások folytatása ...

2005 óta óriási fejlődött a magyar fúziós program mérnöki háttere, ennek köszönhető, hogy kb. 10 magyar dolgozik az ITER különböző alkatrészeinek tervezésén, többek között a tríciumtermelő kazetta megvalósításán.”

Ugyan sokaknak ellenérzésük van mindennel szemben, ami „nukleáris”, az azonban nem tagadható, hogy az orvostudomány e tudományterület fejlődésének köszönhetően számos diagnosztikai és gyógyító eszköznek jutott birtokába. Ezekkel a fejleményekkel foglalkozik *Környei László*, *Sárándi István*, *Szilvási István* és *Tóth Gyula* cikke (*Radioaktív nyomjelzés az élő szervezetben: nukleáris medicina*), valamint *Zaránd Pál* áttekintése (*Fejezetek a radioaktív nuklidok terápiás alkalmazásából*), amelyek olyan fontos alkalmazásokról számolnak be, amelyenkről nemcsak a nagyközönség, de a fizikus-kémikus szakma sem tud sokat.

A cikkgyűjtemény áttekintéséhez a legalkalmasabb végszót Zaránd Pál fogalmazta meg: „A nukleáris tudomány története nem lenne teljes a radioaktív izotópok (sugár)terápiás alkalmazásainak ismertetése nélkül. Az izotópok alkalmazásának számos lehetősége van, és ezek az idők folyamán a kor technikai lehetőségei alapján változnak vagy akár teljesen el is tűnhetnek az orvostudomány eszköztárából.”

Mindent összevetve ez a kötet kiválóan alkalmas mind felsőoktatási segédkönyvnek, mind pedig a legjobb értelemben vett felsőfokú ismeretterjesztő műnek. Létrehozásáért dicséret illeti az Akadémiai Kiadót, az MTA Fizikai Tudományok és Kémiai Tudományok Osztályát, valamint a kiadás támogatóit.

Bencze Gyula

HÍREK – ESEMÉNYEK

PETER E. HODGSON

1928–2008

2008. december 8-án 80 éves korában elhunyt *Peter Edward Hodgson*, az Oxfordi Egyetem Nuclear Physics Laboratory elméleti magfizikai osztályának vezetője, a Corpus Christi College tagja, a nemzetközi hírű, kiváló elméleti magfizikus.

1928. november 17-én született Londonban. Felsőfokú tanulmányait Londonban végezte az Imperial College-ban, ahol 1948-ban szerzett diplomát. Pályáját kísérleti fizikusként kezdte *George Thomson* irányítása alatt, és az elsők között volt, akik azonosították a K^+ mezon három pionra való bomlását és meghatározták annak tömegét. Ezzel a munkával szerezte meg a doktori fokozatot 1951-ben.

A magfizikával *H. S. W. Massey* vezetése alatt a University College Londonban kezdett foglalkozni, ahol a neutronok szórását tanulmányozta α -részecskéken. Ez a munka felkeltette *Rudolf Peierls* és *Denys*

Wilkinson figyelmét, akik meghívták Oxfordba, ahol az egyetem Magfizikai Laboratóriumában hamarosan az Elméleti Magfizikai Osztály vezetője és a Corpus Christi College tagja lett, onnan is vonult nyugdíjba. Szakmai munkásságát több mint 300 tudományos publikáció és 11 könyv dokumentálja.

Peter Hodgson Oxfordban kezdett el foglalkozni a rugalmas szórás optikai modelljével, valamint az atommag-reakciók, köztük az úgynevezett direkt magreakciók elméletével. 1963-ban jelent meg az oxfordi Clarendon Press kiadásában *The Optical Model of Elastic Scattering* című monográfiája, amely a szakterület „bibliájává” lett, és nevét világszerte ismertté tette.

Hodgson professzor kapcsolatai a magyar magfizikusokkal 1964-ben kezdődtek, amikor Párizsban, az International Conference on Nuclear Physics meghívott

előadójaként előadásában felhívta a figyelmet *Zimányi József*nek és e sorok írójának munkájára az úgynevezett deuteron stripping reakciók újszerű elméleti tárgyalásáról még a cikk megjelenése előtt. A későbbiekben Helsinkiben, Koppenhágában, majd budapesti látogatása alkalmával hazánkban is elmélyítette szakmai kapcsolatait a magyar kutatókkal, köztük *Lovas István*nal, *Zimányi Józseffel* és *Bencze Gyulával*.

Berényi Dénes professzor oxfordi tanulmányútjának köszönhetően Hodgson professzor későbbi debreceni látogatása során kiváló szakmai kapcsolatokat alakított ki az MTA Atommagkutató Intézete kutatóival, köztük *Gyarmati Borbálával*, *Lovas Rezsővel* és *Vertse Tamással*. Ennek köszönhetően a már említettekén kívül több debreceni kutató is (pl. *Pál Károly*, *Lévai Géza*) töltött hosszabb időt Oxfordban, és elért eredményeikről több közös publikáció is született. Utoljára 1999-ban látogatott Debrecenbe, ahol *Globális felmelegedés és atomenergia*¹ címmel tartott meghívott előadást március 4-én a *The Future of Physics and Society* konferencián.

A magfizika mellett Hodgson professzort élénken foglalkoztatta a tudomány társadalmi hatása, a tudomány és társadalom, valamint a tudomány és vallás kapcsolata is. Aktív tagja volt az Atomtudósok Szövetségének (Atomic Scientists' Association), 1952–1959 között pedig az elnökségnek is tagja volt. Később a

¹ Az előadás megjelent a *Fizikai Szemlé*ben (49/6 (1999) 237), teljes szövege letölthető a folyóirat honlapjáról <http://www.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz9906/hodgson.html>

KOSÁLY GYÖRGY

1933–2009

Egy évvel ezelőtt megjelent utolsó munkája a biofizika területére esik, egy rendkívül eredményes, változatos elméleti fizikusi pálya befejezéséeként. Első munkahelyén, a KFKI Reaktorfizikai Főosztályán a neutrontranszport és a stochasztikus folyamatok elméleti kérdései mellett elsősorban a neutronlassítás elemi folyamatai érdekelték, a neutronok szóródása a már moderátorként alkalmazott vagy jövőbeni alkalmazásokra szóbajövő egyéb neutronlassító folyadékok molekuláin. Mind a stochasztikus folyamatok, mind a folyadékfizika témaköre végigkísérte kutatói pályáját.

A hatvanas évek elején megjelent első munkáiban a molekulákon való neutronszerzés kvantummechanikai tárgyalásában gyakran alkalmazott, de elméletileg kevésbé megalapozott „tömegtenzor” közelítés érvényességi feltételeit sikerült kidolgoznia, és ez az eredmény meghozta a nemzetközi elismerést. A következő néhány évben a molekulákból felépülő folyékony

Pax Romana Tudományos Titkárságának elnöke lett, és konzultánsként szolgált a Pápai Kulturális Tanácsnál (Pontificium Consilium de Cultura).

Halála előtt két könyvön is dolgozott, az egyik az energiával, a környezettel és a klímaváltozással foglalkozott, a másik *Galilei* munkásságát dolgozta fel. Az utóbbi remélhetően hamarosan megjelenik.

2003-ban egy Varenában tartott meghívott előadásában a következőképpen szolt a tudományról: „A tudósok közötti baráti együttműködés a tudomány meghatározó összetevője. Létezett ugyan néhány magányos lángész, mint *Newton* és *Einstein*, a tudományos eredmények többségét azonban kutatócsoportok érik el, akik ugyanazon vagy hasonló problémákon együtt dolgoznak. Ennek kiemelkedő példái a múlt századból *Sommerfeld* Münchenben, *Bohr* Koppenhágában, *Rutherford* Cambridge-ben és *Fermi* Rómában. Ezek természetesen a tudomány csúcsteljesítményei, de mi, akik a hegycsúcsok lábánál dolgozunk, megpróbálhatjuk követni a példájukat. Bár nem hiszem, hogy azok a kollégák, akik Oxfordba jöttek, sokat tanultak tőlem, egymástól azonban annál többet, és ebből a kölcsönhatásból további együttműködések születtek, amelyek folytatódtak akkor is, amikor hazatértek.”

A fentiek is illusztrálják, hogy Peter Hodgsonban nemcsak egy kiemelkedő elméleti magfizikust veszítettünk el, hanem a magyar magfizika igaz barátját is, akinek jelentős szerepe van abban, hogy a hazai, különösképpen a debreceni elméleti magfizikai kutatást a nemzetközi szakmai körök jegyzik és elismerik.

Bencze Gyula

és szilárd anyag dinamikájának neutronszerzéssel történő vizsgálata foglalkoztatta, akkor már a KFKI Elméleti Szilárdtestfizikai Osztályán, norvég, lengyel, dubnai kísérleti csoportokkal való együttműködés keretében. Azután 1969-től ismét reaktorfizikai témákon dolgozott a KFKI-ban és a rokon svájci intézetben, Würenlingenben.

1979-ben Franciaországba, majd az Egyesült Államokba emigrált, és családjával Seattle-ben telepedett le, ahol rövidesen az University of Washington Mechanical Engineering tanszékén lett professzor. Ez teljesen új kutatási területet jelentett, többkomponensű folyadékok turbulens áramlásakor létrejövő keveredési folyamatok, reakciók, égési és biológiai folyamatok tanulmányozását. Emellett feladata volt a termodinamika és folyadékfizika elméletének oktatása. A matematikai fizika módszereinek alapos ismerete és kiváló kutatói intuíciója révén hamarosan ezen a területen is a nemzetközi élvonalba került.

A KFKI egykori reaktorfizikai, majd szilárdtestfizikai osztályán dolgozó kollégái, elméleti és kísérleti fizikusok számára egyaránt emlékezetesek maradnak *Kosály György* szemináriumi előadásai. A gázokon, folyadékokon és kristályos szilárd anyagokon való neutronszerzéses vizsgálatok elméletét a legegyszerűbb, konkrét modellrendszerek, a harmonikus oszcillátor vagy a kétatomos súlyzó-molekula példáján mutatta be, így sikerült a „teljesen általános”, de ennek megfelelően absztrakt formulák mondanivalóját világossá tennie, közel hoznia a többségükben kísérletezőkből álló hallgatósághoz is. Igaz, másoktól is mindenekelőtt a világos, egyértelmű kijelentéseket igényelte: „szóval azt mondd, hogy...” bevezetéssel gyakran fogalmazta meg minden jelenlévő számára érthetően egy előadó vagy vitapartner körülményesen kifejtett, vagy esetleg nem egészen megértett mondanivalóját. Eleven, világosságra törekvő, eredeti stílusú fizikus összejövetelek, téli iskolák, elméleti szemináriumok érdekes, vonzó színtartója volt.

Kosály a „számológép”, problémamegoldó kutatók köze tartozott, és bár szívesen hallgatta a „tisztán elméleti”

alapkérdésekről szóló, időnként filozófiai irányba eltolódó vitákat is, valójában a kvantumelmélet apparátusának konkrét alkalmazásai, magyarázatra váró kísérleti eredmények, vagy új információt ígérő, a jövőben megvalósítható mérések érdekelték. Az elméletileg kapott formulák numerikus kiértékelése mindig izgalmas feladatot jelentett a számára, sokszor estig kopogott az (akkor még létező, zajos, de már osztani is tudó) elektromos számológépen, egy-két évvel később pedig fiatalabb kollégáival hajnalig együtt ragasztotta az elszakadó lyukszalagokat a Nehézipari Minisztérium éppen akkortájt (talán 1962-ben) üzembe helyezett és akadémiai kutatásokra néhány éjszakára kölcsönadott „nyugati” számítógépén.

Fiatalabb kollégáit a kutatómunkában és az eredmények publikálásakor is egyenrangúnak tekintette, és bár munkája mellett családjá és széles baráti köre sok idejét lefoglalták, késő este, vasárnap, vagy akár szabadsága idején is bármikor szívesen vette, ha kollégái megkeresték és kérdésekkel vagy új ötletekkel zavarták.

Kosály György ez év június 8-án meghalt.

Solt György

AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

Tudománytallózó

Böngészhetővé és egyúttal mérhetőbbé teszi a magyarországi kutatók teljesítményét az Akadémia és több más tudományos szervezet nemrég beindított programja, a nyilvánosság számára is hozzáférhető Magyar Tudományos Művek Tára. A virtuális katalógus várhatóan 2010 januárjától lapozgatható. Az adatbázisban keresgélők összehasonlíthatják a tudományos műhelyek, például

egyetemek, kutatóintézetek teljesítményét, a publikációkat ugyanis nemcsak témák és kutatók, hanem intézetek és időszakok szerint is listázhatják majd. Ez megkönnyítheti a tudományra fordított – állami vagy magán-szektorból származó – pénzek elszámoltatását, de segítheti például a fiatal kutatók pályázatainak elbírálását is. Az új adattárról a HVG-ben olvasható részletes cikk.

Kitüntetések a nemzeti ünnepen

Az augusztus 20-i állami ünnep alkalmából, az MTA Székházában kitüntetések adott át augusztus 19-én *Pálinkás József*, az MTA elnöke. Az ünnepségen a kitüntetettek és hozzátartozóik mellett jelen voltak akadémikusok, tudományos osztályok elnökei, kutatóintézeti vezetők.

A Magyar Tudományos Akadémia elnökének előterjesztésére a Magyar Köztársaság elnöke a Magyar Köztársasági Érdemrend Tisztikeresztje kitüntetés adományozta

a különböző ionnyaláb-analitikai módszerekben megtestesülő kísérleti atom- és magfizikai eredmények nemzetközileg elismert interdiszciplináris alkalmazásáért, az akadémiai kutatóintézetek és az egyetemi oktató- és kutatómunka közötti szoros együttműködés megteremtése terén, több évtizeden keresztül

kifejtett kiemelkedő munkásságáért *Kiss Árpád Zoltánnak*, az MTA Atommagkutató Intézet tudományos tanácsadójának;

a fizikai kémia tudományterületén végzett kimagasló tevékenységéért, valamint szakmai életútjának elismeréséül *Rockenbauer Antalnak*, az MTA Kémiai Kutatóközpont Szerkezeti Kémiai Intézete tudományos tanácsadójának;

a nagyenergiájú kísérleti részecskefizika területén nemzetközileg elért eredményeiért, oktatói tevékenységéért, továbbá a kutatások során a műszaki/technikai fejlesztések nemzetközi elismertetésében és tudományos, valamint gazdasági haszonnal is járó alkalmazások fejlesztésében végzett munkájáért *Vesztergombi Györgynek*, az MTA KFKI RMKI Részecskefizikai Főosztály tudományos tanácsadójának, egyetemi tanárnak.

A Magyar Köztársaság elnöke a Magyar Köztársasági Érdemrend Lovagkeresztje kitüntetés adományozta

a légköri elektromos paraméterek és a rádióhullámok ionoszférikus-abszorpció mérésének kidolgozásáért, a légköri elektromos potenciálgradiens napi, éves és hosszúperiódusú változásainak elemzéséért, a légköri elektromos és extraterresztrikus paraméterek kapcsolatának vizsgálatáért, valamint a geomágneses utóhatás nap-földfizikai összefüggéseinek kutatásá-

ban elért eredményeiért *Márcz Ferenc*nek, az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet nyugalmazott tudományos főmunkatársának, senior kutatójának;

kiváló tudományos szervezői munkájáért, elsősorban az MTA Fizikai Tudományok Osztályának tudományos titkáráként végzett lelkiismeretes és eredményes tevékenységéért *Neményi Mártá*nak, az MTA Titkársága Fizikai Tudományok Osztály Titkársága osztályvezetőjének.

A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2009. évi Küldöttközgyűlése

Az Eötvös Társulat éves Küldöttközgyűlését 2009. május 23-án tartotta az ELTE Fizikus tömbjében.

A napirend előtti előadást *Frey Sándor*, a FÖMI Kozmikus Geodéziai Observatórium főtanácsosa tartotta *Kvazárok a távoli Világegyetemben* címmel. A csillagászat nemzetközi évében természetes volt a témaválasztás, az előadást követő kérdések pedig jól tükrözték a téma iránti széleskörű érdeklődést.

Elnöki megnyitó

Miután meggyőződött arról, hogy a küldöttközgyűlés határozatképes – a 95 küldöttből 59 megjelent – a Társulat elnöke megnyitotta a Küldöttközgyűlést.

Sólyom Jenő köszöntötte a küldötteket, a meghívottakat, az elnökséget, valamint a Társulat érdeklődő tagjait. Megemlékezett az Eötvös Loránd Fizikai Társulat jogelődje, a Magyar Fizikusok Egyesülete megalakulásának 60. évfordulójáról és külön üdvözölte az 1949 óta folyamatosan tag *Gergely Györgyöt*, *Haiman Ottót*, *Lukács Józsefet*, *Pál Lénárdot*, *Sasvári Kálmánt*, *Somogyi Antalt*, *Szamosi Gézát* és *Turi Istvánné Frank Zsuzsát*. A Társulat elnöke köszöntése befejezéseként kegyelettel emlékezett meg az alapítás óta elhunyt tagtársainkra.

Beszámolójában mondanivalója középpontjába állította, hogy a Társulat elnöksége az év folyamán foglalkozott a természettudományos oktatás helyzetével, az Oktatási és Kulturális Minisztérium felé előterjesztette ezzel kapcsolatos állásfoglalását. Az elnök ezen kívül részletesen beszélt egyes kiemelt témákról: a nemzetközi kapcsolatokon belül az EPS-ben végzett munkáról, a CERN-nel lebonyolított közös programokról; a hazai kapcsolatokon belül az MTA és az OKM központi szerepéről; a szakcsoportok tevékenységéről. A Társulat szervezései közül kiemelte *Teller Ede* születésének centenáriumi ünnepségeit (2008. január) és a *Marx György* emlékülést (2009. május, MTA).

A Szavazatszámoló bizottság felkérése

A második napirendi pontnak megfelelően a Közgyűlés egyhangúlag megszavazta a Szavazatszámoló Bi-

zottságot, a jegyzőkönyv vezetőjét és hitelesítőit, valamint a Mandátumvizsgáló Bizottság tagjait.

Főtitkári beszámoló

Ezt követően tartotta meg *Kádár György* főtitkári beszámolóját.

A Közgyűlés elé terjesztette a Társulat Közhasznú-sági jelentésének tartalmi beszámolóját, majd Gazdálkodási és számviteli beszámolóját, valamint a 2009. évi költségvetési tervet.

A tartalmi beszámolóban a közhasznú tevékenységek hivatalos csoportosítása szerint a következő témakörökben végzett társulati munkáról számolt be:

- tudományos tevékenység, kutatás;
- nevelés és oktatás, képességefejlesztés, ismeretterjesztés;
- kulturális tevékenység, kulturális örökség megővése, környezetvédelem;
- az euroatlanti integráció elősegítése.

Ennek keretében ismertette a Társulat szakcsoportjainak és területi csoportjainak a széleskörű, szakmai tekintetben kiemelkedően igényes rendezvényeit.

A főtitkári beszámolóhoz többen is hozzászóltak:

Nagy Dénes Lajos hangsúlyozta, hogy a Társulat kulturális tevékenysége lényegesen szélesebb körű annál, mint ami a beszámolóban elhangzott, a *Fizikai Szemle* kiadása, a tagság ismeretterjesztő tevékenysége és a felsorolt rendezvények lényegesen hozzájárulnak az ország természettudományos műveltségének, kulturális színvonalának fenntartásához. Kiigazítást tett a *KöMaL* tulajdonosi viszonyainak pontatlan felsorolására: az ELFT nem kiadó, hanem résztulajdonos.

Moróné Tapody Éva a területi csoportok rendezvényeinek felsorolását hiányosnak találta, példaként a beszámolóban nem említett Csongrád megyei csoport néhány rendezvényét sorolta fel. Indítványozta, hogy a területi csoportok beszámolóit alapján a helyi tevékenységek a közhasznúsági jelentésben részletesebben legyenek ismertetve.

Sükkösd Csaba a *Fizikai Szemle* negatív egyenlegét elfogadhatónak tartja, ugyanis itt a tagdíjak egy részét

is bevételnek, mintegy előfizetési díjnak kellene értelemzni, hiszen a *Fizikai Szemlét* minden fizető tag ingyen kapja. A számviteli elszámolási szabályok azonban nem engedik meg, hogy a tagdíjak bevételét ekként megosztva tartsuk nyilván.

Kádár György reagált Sükösd Csaba felszólalására, egyetértett az elmondottakkal és egyúttal mozgósításra hívta fel a résztvevőket, hogy írjanak cikkeket a *Szemlébe* és szakmai körükbe tartozó társaikat is erre biztassák, mert a lap kifogásolható késedelmes megjelenését a megjelentethető cikkek hiánya okozza.

Ádám Péter, a Felügyelő Bizottság elnöke, felolvasa a testület jelentését és elfogadásra javasolta a főtítkári beszámolót, a pénzügyi beszámolót és a 2009. évi költségvetési tervet.

Javaslat az Alapszabály módosítására

Az ötödik napirendi pont az Alapszabály módosítására vonatkozó javaslat volt. A változások – megszűnő áthúзва, új rész dőlt betűvel jelölve – az alábbiak:

11.§. (3) A szakcsoport taggyűlése négyévi időtartamra vezetőséget, továbbá elnököt és titkárt választ, akik a szakcsoport képviselőire jogosultak. A szakcsoport elnöke és titkára ugyanarra a funkcióra a közvetlenül következő négy éves ciklusra ~~nem választható meg egyszer újrválasztható~~. A szakcsoport taggyűlése a szakcsoport működésének részletes szabályozása érdekében Szervezeti és Működési Szabályzatot alkothat, amelynek rendelkezései azonban nem lehetnek ellentétesek a Társulat Alapszabályában és ügyrendjében foglaltakkal. A szakcsoport Szervezeti és Működési Szabályzatát a Társulat Elnöksége fogadja el.

13.§. (3) A Küldöttközgyűlés küldötteit a Társulat szakcsoportjai és területi csoportjai ~~választják meg~~ minden ~~második~~ tisztújító Küldöttközgyűlést megelőzően ~~a szakcsoportok és területi csoportok vezetőivel egy időben választják meg~~. A szakcsoportokat és területi csoportokat a 7.§ (1) bekezdése szerint értelmezett első 10 szavazati jogú tagjuk után egy, majd minden további 20 szavazati jogú tagjuk után egy-egy ~~küldöttet választanak küldött képviseli a Küldöttközgyűlésben~~. Az egyes szakcsoportokat és területi csoportokat az általuk ~~választható delegálható~~ küldöttek számáról a Társulat tagnyilvántartása alapján a Társulat titkársága a Küldöttközgyűlés előtt legalább 60 nappal értesíti. A küldöttek megbízatása ~~a következő tisztújító Küldöttközgyűlésig négy évre~~ szól. A feladatuk ellátásában akadályoztatott küldöttek helyett, vagy ha egy szakcsoport vagy területi csoport létszámának növekedése ezt indokoltá teszi, az érintett szakcsoport vagy területi csoport időközben is új küldötte(ke)t választhat.

27.§. (1) A jelen Alapszabályt a Társulat Küldöttközgyűlése a ~~2004. június 5-én 2008. május 31-én~~ elfogadott alapszabály módosításával ~~2008. május 31-én 2009. május 23-án~~ fogadta el és léptette életbe.

(2) A jelen Alapszabály hatálybalépésével a Társulat ~~2004. június 5-én 2008. május 31-én~~ elfogadott korábbi alapszabálya érvényét veszti.

Vita és szavazás

A hatodik napirendi pontban szereplő szavazásokat vita előzte meg, amelynek során:

Kádár György elmondta, hogy több cégnek küldött a Vezetőség szponzorálásra felkérő levelet, hogy a Társulat működését anyagilag támogassák.

Sükösd Csaba felszólalásában elmondta, hogy a cégek csak konkrét programokra, projektekre adnak támogatást, például Tanári Ankétára, így konkrét célok érdekében történő szponzorálásra kell összpontosítani.

Legeza Őrs indítványa szerint a *Fizikai Szemle* példányszámának csökkentésével költséget lehetne megtakarítani, és a lap elektronikus formában történő elérésére tett javaslatot, így azt minden tag a kívánsága szerinti formában érhetné el.

Füstöss László, a *Szemle* szerkesztője azt fejtegette, hogy nem lenne szerencsés a *Fizikai Szemle* kizárólag vagy elsősorban interneten történő megjelenítése.

Ádám Péter szerint, ha szűkülnek a lehetőségek, lehet, hogy kényszerűen elektronikus lesz a folyóirat. A példányszám csökkentésével azonban nem lineárisan csökkennek a költségek.

Gergely György felszólalásában azt említette, hogy a Társulatnak nagyon sok nyugdíjas tagja van, közülük nem mindenki számára lehetséges a lap elektronikus úton való olvasása.

Solymosi József egyetértett Sükösd Csabával és esetenkénti ad hoc bizottság létrehozására tett javaslatot, amelyik új konferenciák szervezésére keres lehetőségeket, például jelenleg a társadalmi érdeklődés középpontjába kerülő energetika körében. Kádár György megköszönte a javaslatokat, és jó ötletnek tartotta, hogy az elkövetkezendő időben konkrét dolgokra kell szponzori támogatást kérni.

Ezután Sólyom Jenő szavazásra bocsátotta a Felügyelő Bizottság beszámolójának elfogadását. A Közgyűlés a Felügyelő Bizottság jelentését egyhangúlag elfogadta.

A levezető elnök szavazásra bocsátotta a főtítkári beszámolóban, a közhasznúsági jelentés tartalmi és pénzügyi beszámoló részének és a 2009. évi költségvetésnek az elfogadását. A Közgyűlés a beszámolókat és a költségvetést 2 tartózkodás mellett elfogadta.

Kádár György ismertette, majd Sólyom Jenő szavazásra bocsátotta az Alapszabály módosítására tett javaslatot. A Közgyűlés az Alapszabály módosítását 1 tartózkodás mellett elfogadta.

A jelölőbizottság előterjesztése új tisztségviselők megválasztására

A hetedik napirendi pontnak megfelelően a Jelölő Bizottság előterjesztést tett új tisztségviselők megválasztására.

A Jelölő Bizottság elnöke: *Patkós András*, tagjai: *Krasznahorkai Attila*, *Kiss Gyula* és *Zsúdel László*.

Patkós András bevezetőben emlékeztetett arra, hogy az ELFT következő elnökének megválasztása a

2008. május 31-i Közgyűlésen megtörtént, a leköszönő elnök az alapszabály szerint automatikusan a Társulat alelnöke lesz. A jelen Közgyűlés időpontja után tehát két évig az Eötvös Loránd Fizikai Társulat elnöke *Horváth Zalán*, egyik alelnöke Solyom Jenő (egy évig).

Ezután Patkós András előterjesztette a Jelölő Bizottság javaslatait a további tisztségek jelöltjeire: főtitkári tisztségre Kádár György; alelnöki tisztségre (megválasztható 3 fő) *Kovách Ádám*, *Mester András*, Sükösd Csaba; főtitkár-helyettesi tisztségre (megválasztható 4 fő) *Csákány Antalné*, Móróné Tapody Éva, *Wojnarovich Ferenc*, *Juhász Nándor* és *Zagyvai Péter*.

A felsorolt jelöléseket a Közgyűlés az érintettek tartózkodása mellett elfogadta. További jelölésekre a lehetőséget a küldöttek nem használták ki, a szavazólapokra a felsorolt nevek kerültek azzal, hogy az öt főtitkár-helyettes jelölt közül legfeljebb négyre lehet érvényesen szavazni.

Solyom Jenő előterjesztette az Elnökség javaslatát az Eötvös Társulati Érem odaítélésére *Gyulai József*, az ELFT tiszteletbeli elnöke számára, és ismertette Gyulai József legfontosabb eredményeit, különös tekintettel Társulati szerepére és munkájára. Az Elnökség javaslatát a Közgyűlés szavazólapon, titkos szavazással fogadhatja el.

Választás

A nyolcadik naprendi pont maga a választás, a szavazólapok kitöltése volt.

A Szavazatszámlláló Bizottság elvégezte feladatát és ismertette a szavazás eredményét.

A leadott 59 érvényes szavazat alapján főtitkár Kádár György (55 szavazat); alelnökök Kovách Ádám

(59), Mester András (58), Sükösd Csaba (59); főtitkár-helyettesek Móróné Tapody Éva (54), Wojnarovich Ferenc (52), Csákány Antalné (49), Zagyvai Péter (43). Juhász Nándort 36 szavazattal nem választották meg. Eötvös Társulati érmet kapott Gyulai József 59 szavazattal.

A Társulat díjainak kiosztása

Kilencedik napirendi pontként került sor a Társulat szakmai díjainak kiosztására (a Díjbizottság javaslata és az Elnökség elfogadó szavazása alapján).

Faigel Gyula, a Díjbizottság elnöke ismertette a díjak odaítélésének indoklását és a Társulat elnökével átadták az elnyert díjakat. A díjazottak:

Dóra Balázs Novobátzky Károly-díj,

Földi Péter Gombás Pál-díj,

Kövér László Gyulai Zoltán-díj,

Palla Gergely Bródy Imre-díj,

Siklér Ferenc Jánossy Lajos-díj,

Vankó György Schmid Rezső-díj.

Dóra Balázs és Siklér Ferenc nem tudtak jelen lenni, így később vehetik át a díjat.

A Díjbizottság javaslatára a Társulat „a fizikai gondolkodás terjesztéséért” *Papp Katalinnak* ítélte a Prométheusz-díjat (a díjazott nem volt jelen).

Zárszó

Befejezésül Horváth Zalán, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat hivatalba lépő elnöke beköszöntő beszédében üdvözölte a Társulat Küldöttközgyűlését, megköszönte az 50 évnél régebben belépett és most megjelent társulati tagok részvételét, és a Közgyűlést berekesztette.

Az ELFT Vákuumfizikai, -technológiai és Alkalmazásai Szakcsoportja és a Magyar Vákuumtársaság 2009. II. félévi közös szemináriumai

2009. szeptember 29., kedd:

Baross Tétény és *Mészáros Botond* (KFKI-RMKI): Vákuumon belüli mozgató a fúziós berendezésekben.

2009. október 20., kedd:

Malicskó László (MTA SZFKI): A felületi dekorációk TEM technika 50 éves évfordulójára.

2009. november 17., kedd:

Lakatos Ákos és *Langer Gábor* (DE Szilárdtestfizikai Tanszék): Diffúziós folyamatok vizsgálata szekunder neutrális-rész tömeg-spektrometriával.

2009. december 8., kedd:

Dücső Csaba (Budasolar Kft.): Amorf szilícium nap-elem gyártósor fejlesztése a Budasolar Kft.-ben.

Lábadi Zoltán (MATA MFA): Napelem-technológiai kutatás-fejlesztés az MTA MFA-ban.

Az előadások az Eötvös Társulat székházában (Budapest, II. Fő utca 68.) a II. emeleti 222. szobában délután 2 órakor lesznek.

A szemináriumokra tagjait és minden érdeklődőt szeretettel vár a Szakcsoport és a Magyar Vákuumtársaság vezetősége.

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

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

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

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

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

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

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 780.- Ft + postaköltség.

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

HÍREK A NAGYVILÁGBÓL

Japán diplomata az Atomenergia Ügynökség élén

2009. július 2-án a bécsi székhelyű Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA) a japán *Yukiya Amanót* választotta meg következő elnökének. A 62 éves Amano megszerezte a 35 tagú igazgatótanács szavazatainak kétharmadát, legyőzve fő riválisát, a délafrikai *Abdul Samad Mintyt*, akit az atomfegyverrel nem rendelkező nemzetek favoritnak tekintettek.

Az IAEA az a nemzetközi testület, amelynek feladata a nukleáris leszerelési szerződés (Nuclear-nonproliferation treaty) betartását figyelemmel kísérni és megakadályozni az atomfegyverek elterjedését.

Amano ügyvéd képzettségű és kiterjedt gyakorlattal rendelkezik a lefegyverzés és az atomfegyverek elterjedésének témakörében. Amennyiben szeptemberben az Ügynökség 146 tagú Kongresszusa a kinevezést jóváhagyja, ő lesz *Mohamed El Baradei* utódja, aki 1997 óta vezeti a testületet és 2005-ben az IAEA-val együtt Béke Nobel-díjat kapott. Amano csendes, nyugodt stílusával feltehetően nem fog El Baradei nyomdokába lépni, akinek időnkénti heves kitörései gyakran kerültek a címlapokra.

(<http://www.nature.com>)

Uránt találtak a Holdon

Egy japán űrszonda új mérési adatai szerint van urán a Holdon. A kutatók szerint ez az első meggyőző bizonyíték arra, hogy Hold felszínén levő porrétegben jelen van a nehéz radioaktív elem. A felfedezést a 40. *Lunar and Planetary Conference* és az *International Workshop Advances in Cosmic Ray Science* közleményeiben jelentették be.

A felfedezés azt a lehetőséget is felveti, hogy a Holdon atomerőműveket lehet majd építeni, sőt ez az új bányászati lehetőség földi uránszükségletünk kielégítésénél is jól jöhet. A japán Kaguya űrszonda, amelyet 2007-ben bocsátottak fel, gamma-spektrométer segítségével detektálta az urán jelenlétét. A berendezés segítségével a tudósok feltérképezhetik a holdfelszín összetételét, kimutatva tórium, kálium,

oxigén, magnézium, szilícium, kalcium, titán és vas jelenlétét is.

Robert Reedy, az arizonai Tucson székhelyű Planetary Science Institute kutatója, a Kaguya kutatócsoport egyik tagja szerint: „Az uránra vonatkozó adatok már megvannak. Egyre több új elemet is detektálunk, méréseink ezenkívül a korábbi adatokat finomítják és megerősítik.” Az eredmények segítenek eldönteni, hogy a jövőbeli hold-kolóniák hová épüljenek, és mivel az embereknek szükségük lesz a holdi állomáson energiára, azt esetleg atomerőművek szolgáltathatják.

A hivatalosan SELENE (*Selenological and Engineering Explorer*) nevű Kaguya űrszonda küldetésének végén, június 10-én csapódott be a holdfelszínbe.

(<http://www.space.com>)

Röntgen-sugarakkal az Alzheimer-kór nyomában

Egy gyógyszer hatékonyságát úgy lehet a legjobban megbecsülni, ha leképezik azokat a változásokat, amelyeket az a páciens szöveteiben létrehoz. Az Alzheimer-kór esetében azonban ez igen nehéz feladat, mivel a szokásos leképező módszerek, mint például a mágneses rezonancia leképezés (MRI), nem képesek észlelni a mikron-méretű változásokat az agyban, amelyek a betegséggel kapcsolatban létrejönnek.

Mindazonáltal a Brookhaven Nemzeti Laboratórium (BNL) és a State University of New York, Stony Brook (SUNY) kutatói szerint ezek az apró elváltozások észlelhetők a komputer-tomográfia egy új változata, a diffrakcióval érzékenyített leképezés (diffraction-enhanced imaging) segítségével, sőt ez a technika alkalmas lehet az Alzheimer-kór korai diagnosztizálására is!

Az Alzheimer-kórnak, amely világszerte emberek tízmillióinak szellemi leépülésével jár, oka az agyban

bizonyos proteinben sűrű területek kialakulása. Ezek a „plakkok” egy béta-amiloid elnevezésű fehérjéből állnak, méretük pedig mindössze 5–200 mikron.

Az amerikai kutatócsoport egerek agyában sikerrel azonosított béta-amiloid plakkokat az új technikával, amelyet 1995-ben fejlesztettek ki. A plakkokat korábban ugyanezzel a technikával japán kutatók már megfigyelték 2006-ban, azonban nem élő agyszövetben, hanem metszetekben.

Az amerikai kutatók által alkalmazott „diffrakcióval érzékenyített leképezés” módszer a Brookhaven Nemzeti Laboratórium National Synchrotron Light Source (NSLS) sugárforrásának röntgen-nyalábját használta. A monokromatikus sugárnyaláb a mintán keresztülhalva szóródik és elhajlik különböző szögben a vizsgált szövet tulajdonságainak megfelelően. A szórt sugárzás szögeloszlásának különbségeit egy analizátorkristály erősíti fel. Egy bonyolult detek-

torrendszer segítségével azután háromdimenziós kép hozható létre a vizsgált szövetről.

Az új módszer nagyobb feloldóképessége abból adódik, hogy a röntgensugárzás intenzitása a hagyományos tomográfiával összehasonlítva három nagyságrenddel nagyobb. „Bár a diffrakcióval érzékenyített leképezés térbeli felbontása nem jobb mint a hagyományos tomográfiáé, a lágy szöveteknél jóval kontrasztosabb képet ad, azért a kisebb szerkezetek is láthatóvá válnak” – állítja *Dean Connor*, a BNL korábbi kutatója, aki nemrég ment át a North Carolina Egyetemre. Connor és társai 30 mikronnál kisebb méretű béta-amiloid plakkokat is azonosítottak, amelyek sűrűsége a környező szövetekéhez képest csak 2%-kal tért el.

Míg az MRI módszer szintén le tud képezni szöveteket, a térbeli felbontása jóval kisebb, általában 20–30 mikron. Az új módszerrel elméletileg akár 2 mikron felbontás is elérhető, bár ehhez jóval nagyobb sugárdózis szükséges, mint amit egy páciens el tud viselni.

Alessandro Olivo, a University College London komputer-tomográfia szakértője támogatja Connor és társai kutatásait, mivel a módszerük által elért felbontást semmilyen más módszer nem képes szolgáltatni. Mindazonáltal még sok nehézséget kell legyőzni, amíg a röntgensugarakat embereken végzett Alzheimer-kór szűrővizsgálatra lehet használni.

(<http://www.physicsworld.com>)

Az ITER fúziós kísérlet újabb három évet késik

A 6 milliárd eurós összköltségű ITER fúziós kísérlet, amelyet a franciaországi Cadarache-ban építenek, 2026-ig – három évvel a tervezett időpont utánig – nem fog beindulni az ITER vezető testülete által jóváhagyott terv szerint.

A japán Mitóban tartott ülésen az ITER tanács tagjai bejelentették, hogy a berendezés 2018-ban elkezdődik a tervezett kísérleteket, de deutérium-trícium (D-T) plazma létrehozásához szükséges alkatrészeket csak akkor szerelik be, ha a telepítés teljesen befejeződött. „A kockázat csökkentése céljából az ITER berendezés fő komponenseit össze kell szerelni és ki kell próbálni, mielőtt azokat a teljes berendezésbe installálják” – fogalmazza meg az állásfoglalás.

Az ITER berendezés a D-T plazmát olyan magas hőmérsékletre hevíti fel, hogy az abban jelenlévő atommagok a köztük levő Coulomb-taszítást legyőzve hélium-atommagokat és 14 MeV energiájú neutronokat hoznak létre. A neutronok energiáját aztán a fú-



ziós erőmű hővé alakítja át, amellyel gőzturbinák elektromos generátorokat működtetnek.

Az eredeti tervek szerint a kutatók csak 2023-ban kezdenék meg deutérium és trícium használatát, miután öt évig előbb hidrogénnel tesztelnék az ITER fő komponenseit. Mivel azonban egyes kritikus alkatrészek nem kerülnek azonnali beszerelésre, az első D-T plazma kísérletet 2026-ra, az eredeti időpontnál három évvel későbbre tervezik.

(<http://www.physicsworld.com>)

ОГЛАВЛЕНИЕ

И. Храшко: Об аксиомизации физики
И. Ванчо, Л. П. Биро, Г. И. Марк: Квантовой фэникс – динамика волновых групп в Интернете
И. Киш, И. Чабаи, Я. Лихтенбергер, И. Яноши: Космическое излучение, погода, климат – где же нам искать недостающее звено цепи?
Г. Хази: Метод сеток Больцмана
М. Харгитаи, И. Харгитаи: Герцберг, Ян, Реннер, Теллер – знаменитые имена исследователей и эффектов колебательных взаимодействий
Л. Фюиттёи: Столетие со дня рождения Пала Гомбаша

ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

Т. Бэж: Термоакустическая задача исследования трубок Рийке
К. Конас, К. Пати, М. Г. Сабо, Т. Салаи: Комета на столе – как «варить» демонстрационные приборы астрономии
М. Ендрек: Всё, что подобно сопротивлению

Самодельный электроскоп различающий знаки зарядов (*Б. Цемени*)
52 Собрание учителей физика средних школ и выставка демонстрационных приборов (*Й. Конча*)
Л. Ваиннаи, Ф. Фюлён, Й. Матэ, Т. Надь: Третий раунд конкурса учеников средних школ по физике
К. Сатмару: Об одном неофициальном, зато успешном конкурсе: Астрономический конкурс им. Галилеа
Летний исследовательский лагерь МФА
Й. Дьюлаи: Срок жизни – 65 лет. Реквием кафедры
Э. Хартман: 65 лет Кафедре Экспериментальной Физики в Будапештском Техн. Университете

ЛИЧНЫЕ МНЕНИЯ

Д. Тэис: О понятии энергии, как ему учат в средних школах

КНИГИ

ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:

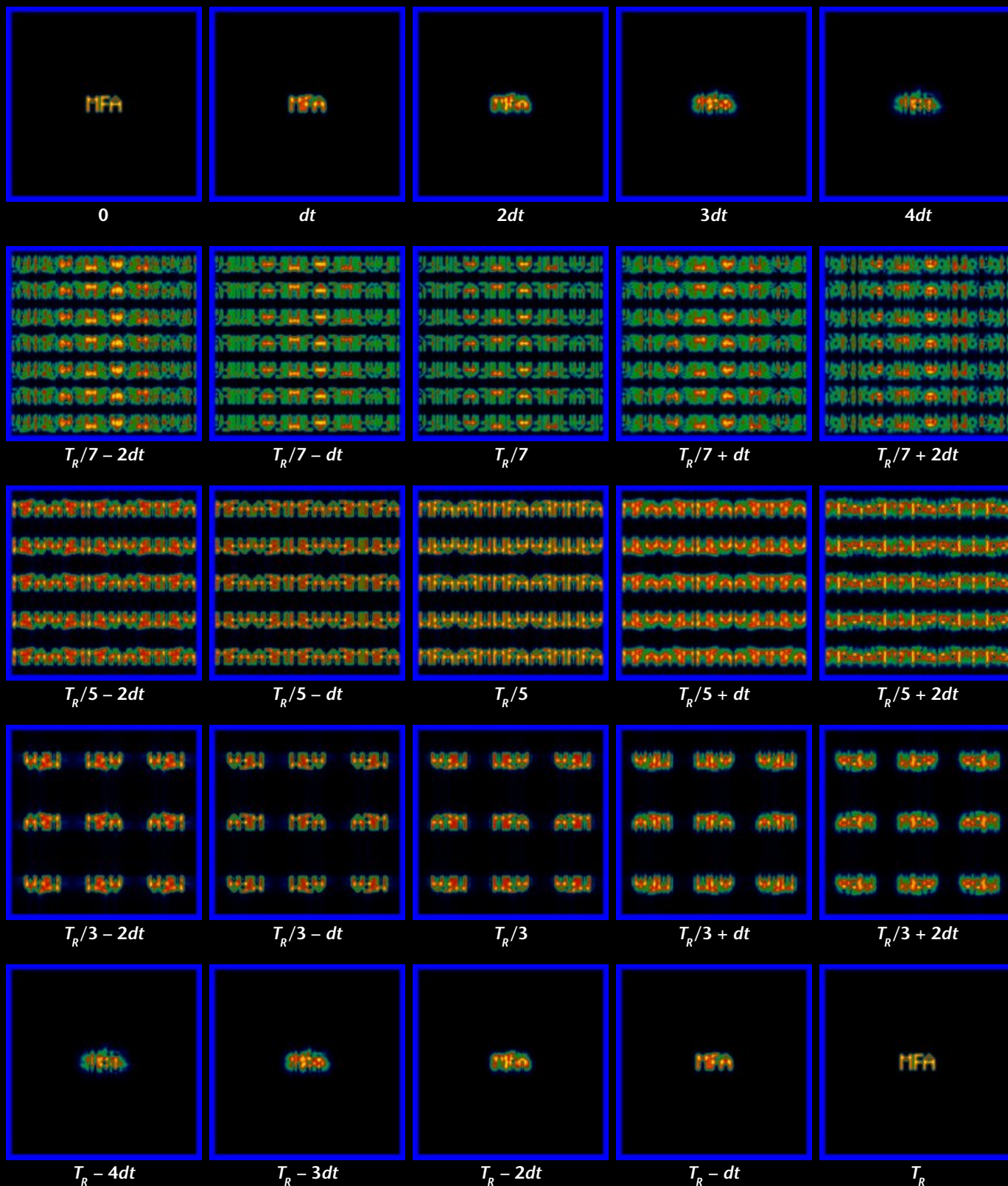


nka
Nemzeti Kulturális Alap

mvm
paksi atomerőmű

NCA
Nemzeti Civil Alaprogram





A kvantum főnix (quantum revival) jelenség. A $\psi_0(x,y)$ kezdőállapotot az M, F, A betűkből (a Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet rövidítése) alakítottuk ki, a $V(x,y)$ potenciál pedig egy 29 nm széles dobozpotenciál. A részábrákon a $\rho(x,y;t)$ megtalálási valószínűségrősséget ábrázoltuk színekkel (lásd a skálát jobbra), kiválasztott, jellegzetes időpillanatokra, amelyeket a többszörös és teljes újjászületések közelében választottunk. A teljes újjászületés ideje $T_R = 9,3$ ps. Mindegyik részábrát egyenként normáltuk. A kék négyzet a dobozpotenciált mutatja.