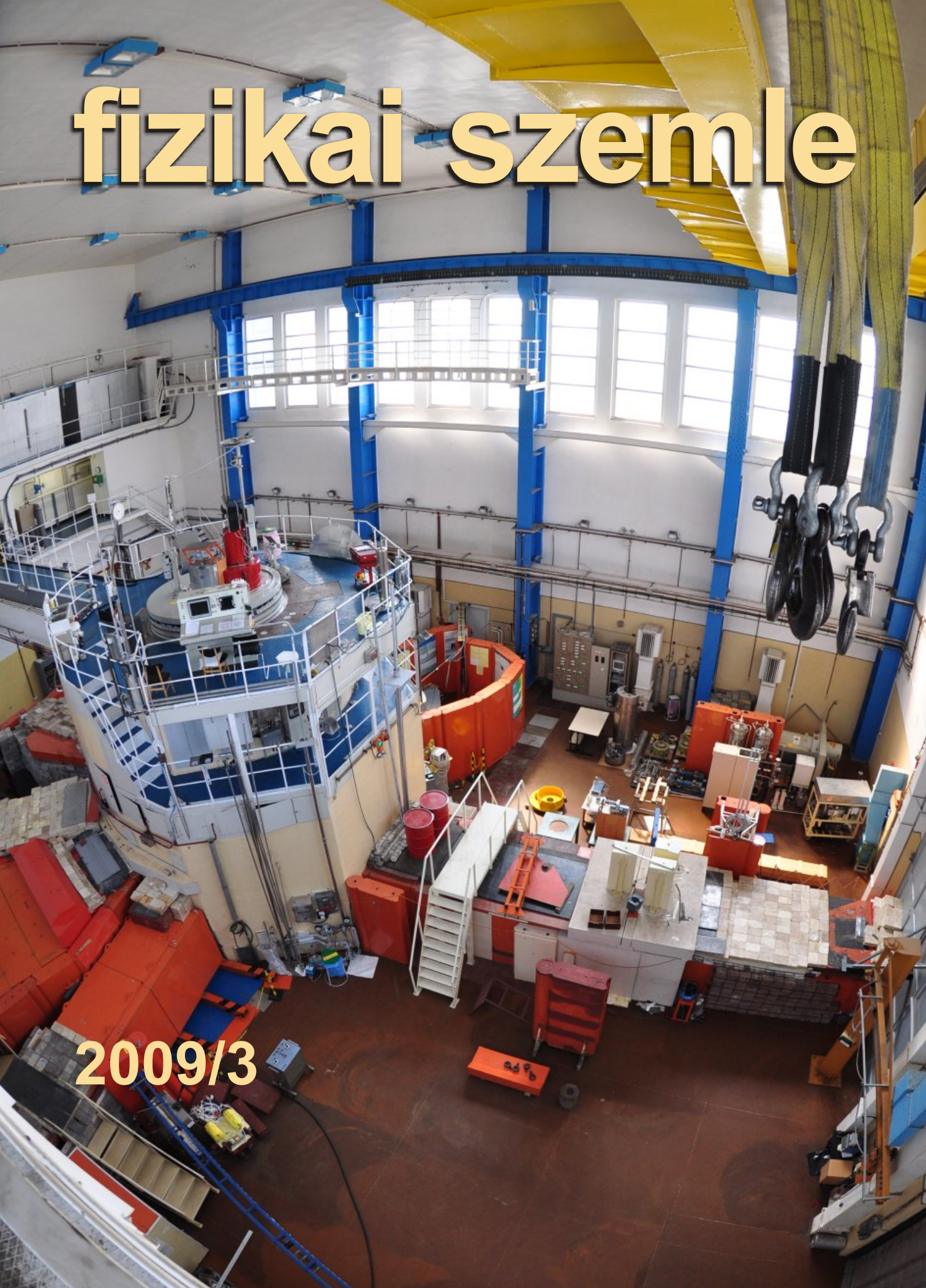


fizikai szemle



2009/3

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:

Az MTA Atomenergia Kutató
Intézetében működő, idén 50 éves
Budapesti Kutatóreaktor. A kép jobb
oldalán a hidegneutron-csatorna
látható. (Fotó: Kármán Tamás)

TARTALOM

<i>Pál Lénárd</i> : Ötven éve a KFKI-ban	81
<i>Somogyi Gábor, Trócsányi Zoltán</i> : Regularizáció és renormálás: példák a klasszikus fizikából	88
<i>Laczik Bálint</i> : Szövevényes rajzolatok...	92
A FIZIKA TANÍTÁSA	
<i>Rárosi Ferenc, Papp Katalin</i> : Hertz-kísérletek videomagnóval?	98
<i>Sükösd Csaba</i> : Science on Stage 2008	101
A 2008. évi Eötvös-verseny ünnepélyes eredményhirdetése (<i>Gündischné Gajzágó Mária</i>)	103
<i>Radnóti Katalin, Pipek János</i> : A fizikatanítás eredményessége a közoktatásban	107
ÁLFIZIKAI SZEMLÉ	
A hatodik Budapesti Szkeptikus Konferencia (<i>Füstöss László</i>)	113
VÉLEMÉNYEK	
<i>Szondy György</i> : Gondolatok a fizika mibenlétéről	114
KÖNYVESPOLC	115
HÍREK – ESEMÉNYEK	116
ATOMOKTÓL A CSILLAGOKIG	
<i>Szabó György</i> : A tisztességes magatartás kialakulása: játékelméleti elemzés	118
<i>L. Pál</i> : Half a century in the Central Research Institute of Physics	
<i>G. Somogyi, Z. Trócsányi</i> : Regularization and renormalization – examples in classical physics	
<i>B. Laczik</i> : Methods and devices of drawing complex or special curves and patterns	
TEACHING PHYSICS	
<i>F. Rárosi, K. Papp</i> : Hertz's experiments using a videorecorder?	
<i>Cs. Sükösd</i> : Science on Stage 2008	
Solemn proclamation of the results achieved at the Eötvös Contest 2008 (<i>M. Gündischné-Gajzágó</i>)	
<i>K. Radnóti, J. Pipek</i> : The effectivity of the teaching physics in secondary schools	
PSEUDO-PHYSICAL REVIEW, OPINIONS	
BOOKS, EVENTS	
FROM ATOMS TO STARS	
<i>G. Szabó</i> : How does "fair behavior" come about? An analysis based on the theory of games	
<i>L. Pál</i> : Ein halbes Jahrhundert im Institut KFKI	
<i>G. Somogyi, Z. Trócsányi</i> : Regularisierung und Renormalisierung – Beispiele aus der klassischen Physik	
<i>B. Laczik</i> : Methoden und Geräte zum Zeichnen komplizierter oder besonderer Kurven und Muster	
PHYSIKUNTERRICHT	
<i>F. Rárosi, K. Papp</i> : Hertz'sche Experimente mit Videomagnó-Geräten?	
<i>Cs. Sükösd</i> : Science on Stage 2008	
Festliche Verkündigung der Ergebnisse am R. Eötvös-Wettbewerb 2008 (<i>M. Gündischné-Gajzágó</i>)	
<i>K. Radnóti, J. Pipek</i> : Was ist die in der Schule gelehrt Physik auf die Dauer wert?	
ZEITSCHRIFT FÜR PSEUDO-PHYSIK, MEINUNGSÄUSSERUNGEN	
BÜCHER, EREIGNISSE	
VON DEN ATOMEN BIS ZU DEN STERNEN	
<i>G. Szabó</i> : Wie kommt „ehrliches Verhalten“ zu Stande? Eine Analyse unter Anwendung der Theorie der Spiele	
<i>Л. Пал</i> : Половина столетия в Институте КFKI	
<i>Г. Шомодьи, З. Троцани</i> : Регуляризация и ренормировка: примеры из классической физики	
<i>Б. Лацик</i> : Методы и приборы нарисования сложных и особых фигур	
ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ	
<i>Ф. Рароши, К. Пани</i> : Опыт Герца – приборами техники видео-магнитофонов?	
<i>Ч. Шюккэнд</i> : Science on Stage – наука на сцене	
Торжественное объявление итогов конкурса им. Этвеша 2008 г. (<i>М. Гюндишн-Гайзаго</i>)	
<i>К. Радноти, Я. Пипек</i> : Эффективность обучения физике в рамках всеобщего образования	
ОБЗОРЫ ИЗ ОБЛАСТЕЙ ПСЕВДО-ФИЗИКИ, ЛИЧНЫЕ МНЕНИЯ	
КНИГИ, ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ	
ОТ АТОМОВ ДО ЗВЕЗД	
<i>Л. Сабо</i> : Как же формируется «честное поведение» – анализ на основе теории игр	

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 őrünk meg és nem küldünk vissza. A szerzőknek tiszteletpéldányt küldünk.

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

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

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

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

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LIX. évfolyam

3. szám

2009. március

ÖTVEN ÉVE A KFKI-BAN

Pál Lénárd
Budapest

Késő este 1959 márciusában

Egyre gyorsabban kattogtak a detektorláncok számlálói, *Szívós Karcsi*¹ a huszonharmadik kazettát tartotta a zónában, félig behelyezett állapotban. Tudtuk, hogy itt a pillanat. Mindnyájan *Sztolero*² néztünk. Bólintott, és mint aki megállapítja, hogy kisütött a Nap, közölte: *a rendszer enyhén szuperkritikus*. Kérte az operátort, hogy eressze le a biztonságvédelmi rudakat. 1959. március 25-ét mutatott a naptár, és 21 óra 59 percet a vezénylő órája. Magyarországon, Csillebércen, a Magyar Tudományos Akadémia Központi Fizikai Kutató Intézetében (KFKI) megvalósult az első, önmagát fenntartó neutron-láncreakció, csaknem 17 évvel az után, hogy a Chicagói Egyetemen, a Stagg Field-i footballstadion egyik lelátója alatt működni kezdett *Szilárd Leó* „atommáglyája”.

Nem szeretem az ünnepélyes évfordulókat, amikor csak jót és szépet illik írni vagy mondani. A megtörtént eseményeket nem lehet megmásítani, nem lehet meg-nem-történekké varázsolni. Most, 2009-ben, ha őszintén idézzük a

múltban történeteket, azt kell mondanunk, hogy 50 évvel ezelőtt a KFKI-ban valami nagyon fontos és hasznos dolog valósult meg, amely jelentős fellendülést hozott a hazai természet- és mérnöktudományok fejlődésében.

Emlékezem, de tudom, hogy „mélységesen mély a múltnak kútja”, könnyű elsüllyedni benne. Igyekszem „fennmaradni” a tények rideg világában, de nem ígérem, hogy „objektív” leszek. Tény, hogy 1955-ben

1. ábra. Így nézett ki, amikor „megszületett”



¹ Szívós Károly a KFKI munkatársa, később az ERŐTERV vezetője.

² G. A. Sztolero szovjet fizikus, aki segítette a „reaktorindításban”.

kaptam azt a feladatot, hogy irányítsam a KFKI-ban felépítendő kutatóreaktor létesítésének, majdani tudományos és gyakorlati hasznosításának munkálatait. Tény, hogy felejthetetlen élmény számomra 1959. március 25-én este az a pillanat, amikor a reaktor működni kezdett (*1. ábra*), de nem tagadhatom, hogy most, fél évszázaddal később azt tartom csodának, hogy írhatok a múltrol, mert még élek azok közül, akik akkor velem dolgoztak, és akik „bátrak voltak”, és „mertek”.

Mit írjak a régi időkről? Gondolom, tisztelt olvasóim nem munkabeszámolót várnak. Írok halványuló, töredező emlékeimről, amelyekből talán előcsillan szándékaink és cselekvéseink logikája. Természetesen minden visszaemlékezés szubjektív és pontatlan. Ez is az. Kérem, nézzék el nekem, ha a megélt múlt ereje sarkítja írásomat.

Régi történet

A történet, amelynek látszólagos kezdete 1959 márciusában volt, tulajdonképpen 1955-ben – vagy talán még korábban – kezdődött. Mindenesetre 1955 tavaszán lehetett érezni, hogy a két szuperhatalom szembenállásában az enyhülés halvány jelei mutatkoznak. Elhatározták ugyanis, hogy az ENSZ égisze alatt – Genfben – reprezentatív atomenergia konferenciát tartanak a nukleáris energia békés célú felhasználásának elősegítése érdekében, s nyilvánosságra hozzák az úgynevezett „atomtitkok” egy részét. Abban is megállapodtak, hogy nukleáris eszközökkel (reaktorral, gyorsítóval) nem rendelkező országoknak lehetővé teszik ilyen eszközök megvásárlását, hogy elkezdjék ezekben az országokban is a nukleáris energia békés célú hasznosítását szolgáló munka. Így 1955 tavaszán a szovjet kormány is felajánlotta a magyar kormánynak, hogy vásárolhat tudományos kutatási célokra atomreaktor és ciklotron, s egyben meghívta a magyar szakembereket, hogy tekintsék meg a berendezéseket, és állapodjanak meg az illetékes szovjet szervekkel a tennivalókban.

A magyar kormánynak abban az időben nem volt olyan intézménye, amely javaslatot tehetett volna a kiutazó delegáció tagjaira, valamint a tárgyalásokon követendő elvekre. Az történt, hogy *Gerő Ernő* miniszterelnök-helyettes döntött, hogy kik utazzanak, azt azonban nem tudom, hogy számára ki tett javaslatot. A delegációt *Incze Jenő*³ külkereskedelmi miniszter vezette. A küldöttség tagja volt *Jánossy Lajos*, *Simonyi Károly* és én is. A szovjet tárgyaló csoportot *V. Sz. Jemeljanov*, a szovjet Atomenergia Bizottság elnöke vezette. Részletes tájékoztatást kaptunk a felajánlott berendezésekről, és sok kutatóintézetben jártunk. Láttunk működő ciklotron, reaktort, Cserenkov-sugárzást, „forró-kamrákat”, manipulátorokat, nagy és bonyolult készülékeket. Mindez mély benyomást tett

ránk. A „nagy tudomány” műhelyei jelentősen különböztek attól, amit mi a saját kutató laboratóriumainkban megszoktunk.

A magyar delegáció fizikus tagjai egyetértettek abban, hogy figyelembe véve a magyar szellemi kapacitást, nekünk most elegendő csak a kutatóreaktor megvásárolni. Ez meglepetést keltett a szovjet tárgyaló csoportban. Emlékszem, hogy *Incze Jenő* miniszter telefonon felhívta *Gerő Ernőt*, és megkérdezte, elfogadhatja-e a fizikusok álláspontját. *Gerőnek* az volt a kérdése, hogy atomeróműhöz kell-e ciklotron. Miután azt válaszoltuk, hogy ciklotron magfizikai kutatásokhoz és nem atomeróműhöz kell, *Gerő* hozzájárult ahhoz, hogy a szovjet ajánlat egészével szemben mi annak csak a kutatóreaktorra vonatkozó részét fogadjuk el. Egy jobb minőségű ciklotron megvásárlására később kerülhetett sor, és azt – nagyon helyesen – már nem a KFKI-ba, hanem Debrecenben, az ATOMKI-ba telepítették.

A szovjet tárgyaló csoport fizikusai elfogadták érveinket, és az 1955 júniusában aláírt államközi egyezményben már csak a kutatóreaktorra vonatkozó tételek szerepeltek. Látogatásunk érdekes epizódja volt, hogy az egyik tárgyalás végén megkérdeztük *Jemeljanov* professzort, kaphatnánk-e kis mennyiségű U-235-öt és U-233-at hasadási kamrák készítéséhez. Azt válaszolta, hogy gondolkodni fog kérésünkön. Nagy meglepetésünkre, elutazásunk napján átadott egy kis dobozt, amelyben – az akkori idők előírásai szerint csomagolva – benne volt néhány gramm a kért izotópokból. Természetesen, az izotópokat a KFKI-ban – az előírásoknak megfelelően – nyilvántartásba vettük. (Korán elhunyt, kedves munkatársam, *Nagy László*, aki a maghasadás fizikájával foglalkozott, ezeknek a „zsebben szállított” izotópoknak a felhasználásával készített jól működő hasadási kamrákat.)

Hazatérésünk után nagy lendülettel kezdtünk hozzá az előttünk álló feladatok megoldásához. *Simonyi* professzor azt javasolta, hogy írjunk *A reaktorfizika és reaktortechnika alapjairól* egy tankönyvet. *Bozóky Lászlót*, *Faragó Pétert* és engem kért fel egy-egy fejezet megírására. A könyv még 1955-ben elkészült, és 1956 elején a Mérnöki Továbbképző Intézet kiadványaként meg is jelent.

Mivel az Országos Atomenergia Bizottság csak 1955 decemberében alakult meg, egy ideig még fontos kérdések kezelésében is nagyfokú koordinátlanság volt tapasztalható. Ez alatt az idő alatt igen értékes segítséget kaptam *Sebestyén Jánostól*, aki akkor a nehézipari miniszter energiaügyekkel foglalkozó helyettese volt. Többek között energiaipari (erőművi) tapasztalatokkal rendelkező, kiváló mérnököket javasolt a kutatóreaktorral kapcsolatos beruházási és majdani üzemeltetési feladatok ellátására. Így került a KFKI-ba *Gyimesi Zoltán*, *Verle Győző*, *Szivós Károly* és még többen mások. (A reaktorüzem első főmérnöke *Verle Győző* lett, *Gyimesi Zoltán* pedig a reaktorfizikai és reaktortechnikai kutatások irányításában jeleskedett.) Hozzákezdtem a fizikus és kémikus munkatársak kiválasztásához is. *Jánossy* professzor egyetértésével először az ő tanítvá-

³ A továbbiakban személynevekhez általában nem fűzök megjegyzéseket.

nyait, Nagy Lászlót, *Kiss Dezsőt*, *Ádám Andrást* kértem fel egy-egy tudományos program megszervezésére és irányítására. A Műszaki Egyetemről a röntgen-szerkezetvizsgálatokban járatos *Szabó Pált* sikerült megnyernem. A radiokémiai kutatások vezetését a stabil izotópok kémiáját jól ismerő *Kiss István* vállalta. Sok év távlatából úgy látom, hogy nagyszerű, kreatív munkatársak szegődtek mellém, akik nélkül aligha bontakozott volna ki a reaktor neutronjait hasznosító, eredményes kutatómunka oly gyors tempóban, mint ahogyan ez megtörtént.

Külön meg kell említenem azt a sokoldalú támogatást, amelyet szervezeti, államigazgatási kérdésekben *Szabó Ferenc*től, a Minisztertanácsi Hivatal munkatársától⁴ kaptam, akinek hatáskörébe tartozott – többek között – a hazai tudományos kutatások inspekciója, és aki 1955 decemberében az Országos Atomenergia Bizottság titkára lett.

Közeledett az ENSZ égisze alatt megrendezésre kerülő nemzetközi atomenergia konferencia ideje, és még nem lévén Atomenergia Bizottság, feltehetően a minisztertanács hagyta jóvá a magyar delegáció személyi összetételét. A delegáció vezetőjének Sebestyén Jánost nevezték ki. Tagja volt a küldöttségnek: Jánosy Lajos, Simonyi Károly, Szabó Ferenc és én is. A konferencián elhangzó orosz és amerikai előadások meggyőzően mutatták azt a triviális igazságot, hogy a „hatáskeresztszettek” ugyanazok az Egyesült Államokban és a Szovjetunióban is. Számomra külön nagy élményt jelentett, hogy *Wigner Jenő* professzor meghívott egy „magán-ebédre” az egyik kellemes, genfi vendéglőbe, és részletesen érdeklődött, hogyan élünk mi most Budapesten. Reaktorfizikáról is beszélgettünk. Kérdeztem a véleményét, érdemes-e a neutron láncreakciók sztochasztikus viselkedését tanulmányozni. Bátorító szavai jelentős szerepet játszottak abban, hogy később ezen a területen sikerült maradandó eredményeket elérnem.

Az előtörténethez hozzátartozik az is, hogy 1955 augusztusában a minisztertanács döntést hozott a KFKI Kísérleti Atomreaktor Osztályának (röviden: KAR) létrehozásáról, és az MTA elnöke engem bízott meg az osztály vezetésével. 1955 decemberében a kormány létrehozta az Országos Atomenergia Bizottságot (OAB) is, amelynek elnöke *Hidas István* miniszterelnök-helyettes lett. Emlékeim szerint ez a Bizottság testületként nem működött. Az OAB létrehozását kimondó minisztertanácsi határozat egyben intézkedett arról is, hogy a Központi Fizikai Kutató Intézet felett, amelynek természetesen része volt a KAR, 1956. január 1-jétől a felügyeletet az Országos Atomenergia Bizottság a Magyar Tudományos Akadémiával közösen lássa el. Erre a döntésre valószínűleg azért volt szükség, mert az MTA vezetése idegenkedett a kutatóreaktor létesítésével járó, speciális gazdasági és adminisztratív feladatok elvállalásától.

⁴ Szabó Ferenc 1957-től a KFKI munkatársaként dolgozott, koordinálta az atomenergia-kutatásokkal kapcsolatos feladatokat, majd 1978 és 1990 között a KFKI főigazgatója volt.

Felkészülés

1956-ban a szovjet fél megkezdte a kutatóreaktor műszaki dokumentációjának a szállítását. A dokumentáció „szigorúan titkos” minősítéssel érkezett, és a leszállított, fénymásolással készült kötetek csaknem teljesen megtöltöttek egy nagy szobát. Előírás szerint gondoskodni kellett a dokumentáció állandó őrzéséről, amit a Belügyminisztérium fegyveres alkalmazottai láttak el. A szobába belépni, a tervrajzokat tanulmányozni csak külön engedéllyel lehetett. Ez a kezelésmód nagyon megnehezítette az iratok feldolgozását, a tervező, majd a kivitelező vállalat munkáját. Mai szemmel nézve nem is tudom, hogyan birkóztunk meg az értelmetlen titkosítással járó előírások megtartása mellett a tényleges műszaki feladatokkal.

A kutatóreaktorral kapcsolatos szerződésben benne volt, hogy a szovjet fél külön díjazás nélkül felkészíti a magyar mérnökök és fizikusok egy-egy csoportját a reaktor üzemeltetésére, illetve a reaktor neutronjaival végezhető kísérleti munka alapfogásaira.

Az üzemeltetésre kiválasztott, főként mérnökökből álló 10 fős csoport 1956 első felében megérkezett Moszkvába, és a „Gázgyárnak” nevezett reaktornál kezdte meg a munkát. A „Gázgyár” elnevezés abból az időből származott, amikor még a „biztonság” érdekében minden nukleáris létesítménynek, de még a sorozatban gyártott műszereknek is fedőnevet adtak. A kiképzés mind az elméleti, mind a gyakorlati területekre kiterjedt, és magas színvonalú volt. Többször meglátogattam a csoportot, és a kiképzéssel foglalkozó szakemberektől részletes információt kaptam arról, hogyan sajátítják el jövődő munkatársaim az üzemeltetés irányításához nélkülözhetetlen ismereteket. Mind a tíz szakember sikeresen letette a „nukleáris reaktoroperátor” vizsgát. (Talán nem felesleges felsorolni neveiket: *Ádám A.*, *Bronner G.*, *Gyimesi Z.*, *Haiman O.*, *Kollányi M.*, *Pallagi D.*, *Tóth M.*, *Vámos T.*, *Várkonyi L.*, *Verle Gy.* Közülük azonban csak Gyimesi Z., Pallagi D., Tóth M., Várkonyi L. és Verle Gy. vállalta, hogy a KFKI KAR munkatársaként részt vesz az üzemeltetés előkészítésében, majd az üzemeltetésben.)

1956 második felében utazott Moszkvába az a fizikus csoport, amelynek tagjai közül Ádám Andrástra, Kiss Dezsőre és Nagy Lászlóra emlékezem, és akiknek az volt feladatuk, hogy megtanulják, hogyan kell neutronfizikai kísérleteket csinálni. A Lomonoszov Egyetem Fizikai Fakultásán lényegében azokat a laboratóriumi gyakorlatokat végezték el, amelyeket – diplomamunkájuk elkészítése előtt – a magfizikára szakosodott, orosz diákoknak is el kellett végezniük. Sajnos, nagyberendezéseken (neutron diffraktométeren, repülésiidő-spektrométeren, háromtengelyű kristályspektrométeren stb.) fizikusaink nem szerezhettek tapasztalatokat. Többször meglátogattam őket, és kérdeztem a szovjet illetékeseket, hogy miért nem dolgozhatnak munkatársaim reaktor mellett nagyberendezéseken. Választ azonban nem kaptam.

1957-ben az egyik főfeladatommak azt tekintettem, hogy megkezdődjön a beruházás, amelynek „generál-

kivitelezője” az Erőmű Beruházási Vállalat (ERBE) volt. A másik főfeladatomban pedig nyilván az volt, hogy jól átgondolt terv alapján meginduljon a felkészülés a kutatómunkára.

Munkatársaimmal együtt számos programtervezetet dolgoztunk ki. Később estig tartó vitákban latolgattuk, melyik változat látszik jobbnak, ígéretesebbnek. Akkor ugyan még nem írta meg „Becket”-jét Jean Anouilh, de vitáink jellemzésére némi szarkazmussal idézhetném drámájának következő sorait: „De nekünk, Szentatya, nagy erőt ad, hogy nem tudjuk pontosan, mit akarunk. A szándékok mély bizonytalanságából bámulatos manőverezési szabadság születik.” Éreztem, hogy ezt a „szabadságot” arra kell felhasználnunk, hogy ahonnan csak lehet, szerezzük meg mások tapasztalatait. Megszerveztem egy látogatást Jugoszláviába, ahol akkor már működött kutatóreaktor. *Pavel Savic*, akivel a genfi atomenergia konferencián ismerkedtem meg, fogadott bennünket. *Savic* valamikor *Joliot-Curie* munkatársa volt, s az volt a nagy bánata, hogy nem ő fedezte fel a maghasadást. A látogatás eredményesnek bizonyult, sok korszerű berendezést, kitűnő műszereket láttunk, és megismerkedtünk a jugoszlávok irreálisan nagyra törő nukleáris programjával. Hazaérkezésünk után bizonyos körök kifogásolták látogatásunkat, amire én azt válaszoltam, hogy a reaktorfizika törvényei Jugoszláviában is ugyanazok, mint más országokban, és *Pavel Savic* sem akárki a fizikusok között.

Kezdett kialakulni, hogy mit akarunk, és ez azt eredményezte, hogy szándékaink bizonytalansága „elpárolgott”. Megállapodtunk abban, hogy a *magfizikai kutatásokban* a neutronokkal kiváltott reakciók közül a maghasadást és az $n-\gamma$ reakciót vizsgáljuk, a *kondenzált rendszerek kutatásában* pedig a szilárdtestek fázisátalakulásait és mágneses szerkezetváltozásait tanulmányozzuk. Egyértelmű volt, hogy meg kell indítani a *radioaktív izotópok* előállítását, és elő kell segíteni széleskörű felhasználásuk megalapozását. Fontos kérdésnek ítéltük a *radioaktív sugárzások kémiai hatásainak* kutatását. Az is természetesnek látszott, hogy hozzá kell kezdenünk a *reaktorfizikai kutatásokhoz*, ki kell dolgoznunk a szükséges kísérleti módszereket, fel kell készülnünk a kritikus rendszerek vizsgálatára, a reaktorok fizikai jellemzőinek megbízható mérésére. Tudtuk, hogy jelentős előrehaladást kell tennünk a *korszerű mérés technikában* általában, a *nukleáris elektronikában* pedig különösen. Nagy fontosságot tulajdonítottunk a *sugárvédelem* operatív megszervezésének. A felsorolást folytathatnám, de nem teszem. Csak annyit jegyzek meg, hogy programunkat 1957-ben ismertettem Szegeden, a Középiskolai Fizikatanári Ankét első, alakuló ülésén, és két szerzőtársammal együtt publikáltam a *Fizikai Szemle* 1958. évi 7. és a *Magyar Tudomány* 1958. évi 5. számában.

A reaktor neutronjait hasznosító tudományos kutatás már 1960-ban megindult, köszönhetően az idejekorán elkezdett előkészítő munkának. Hozzákezdtünk a reaktorfizikai kutatásokhoz is. A reaktor meg-

maradt fűtőelemeiből szubkritikus, majd kritikus rendszerek (ZR-program) épültek, amelyeken végzett méréseink nemzetközileg elismert eredményekre vezettek. Ezeket a rendszereken sajátították el fizikusaink, mérnökeink azokat az ismereteket, amelyek később nagyon hasznosaknak bizonyultak az atomerőművi programmal kapcsolatos feladatok megoldásában. A mérésekhez különféle magfizikai műszerek kellettek. A kezdeti időben, ameddig saját fejlesztésű műszerekkel nem rendelkezünk, az alpműszereket a Szovjetunióból szereztük be. Ezek a műszerek azonban normál kereskedelmi forgalomban nem voltak kaphatók, és még a neveikben is viselték a korábbi „titkosítás” következményeit. Szép fedőnevek voltak: „Oreh” (Dió), „Jáblokó” (Alma), „Szireny” (Orgona) stb. Az „Oreh”, azt hiszem, a nagyfeszültségű tápegység neve volt, a többire pontosan nem emlékszem.

1958 és 1960 között gyakran utaztam Moszkvába, hogy a szovjet Atomenergia Bizottság illetékeseinél elérjem, hogy megkapjuk ezeket a műszereket. Nem ismertem tárgyaló partnereim „rangját”, sokszor indulatosan érveltem, de nem vettek rossz néven. Sok műszer behozatalát sikerült elintéznem, még egy jól használható tömegspektrográfot is szállítottak a KFKI-ba. Ezek a műszerek általában nem voltak élvonalbeliek, a KFKI-ban pár év múlva sokkal korszerűbbeket tudtunk előállítani, de az elinduláshoz nélkülözhetetlenek voltak.

A gyors tempóban fejlődő reaktorfizikai és neutronfizikai kutatómunkához számítógépre is szükségünk volt, amelynek beszerzéséhez ugyancsak a szovjet Atomenergia Bizottság nyújtott támogatást. 1960-ban kezdte meg működését a KFKI-ban egy URAL-típusú, elektroncsöves számítógép, amelynek használata sok tapasztalattal szolgált. A mintegy 4000 db elektroncsövet tartalmazó gép, amely másodpercenként körülbelül 100 aritmetikai művelet elvégzésére volt képes, a kutatóreaktorhoz tartozó épület egyik nagy termébe került. Az elektroncsövek annyi hőt „termeltek”, hogy a terem fűtését télen sem kellett bekapcsolnunk, nyáron pedig hűtéséről kellett gondoskodnunk. Elkövettük azt a hibát, hogy a gépet időnként kikapcsoltuk. Tudhattuk volna, hogy sok elektroncsövet tartalmazó készüléket nem szabad kikapcsolni, mert a ki- és bekapcsolásnál áramcsúcsok jelennek meg, amelyek tönkreteszik az elektroncsöveket. A hibák felderítése mindig sok munkába került. Elrendeltem, hogy az üzemeltetők hétvégeken se kapcsolják ki a számítógépet. 1966-ban azután üzembe helyeztünk egy ICT 1905-típusú számítógépet, amely akkor az ország legnagyobb számítógépe volt.

Kezdeti eredmények

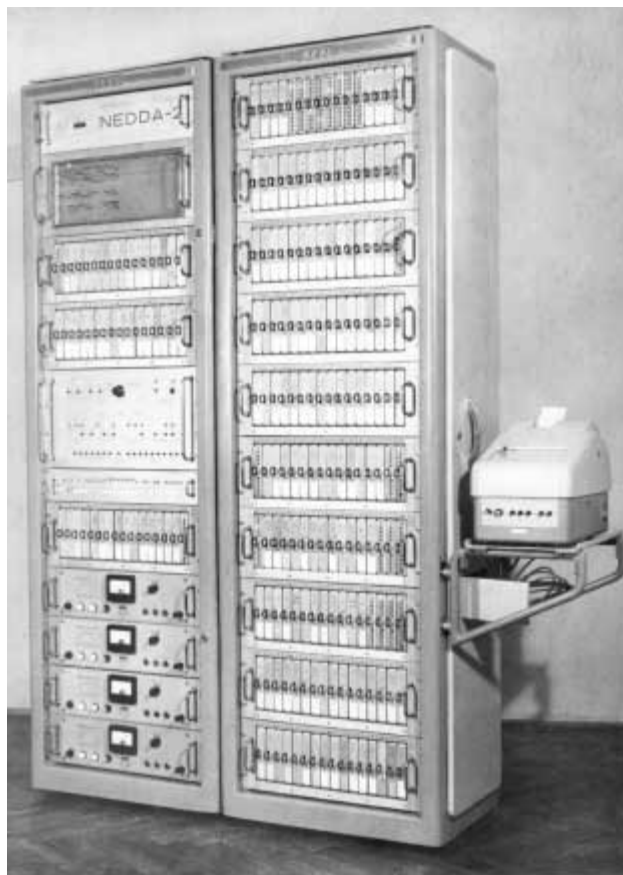
Most, ötven év elteltével, aligha vállalkozhatom arra, hogy sorra vegyem, mit, hogyan valósítottunk meg. Ezzel kapcsolatban csupán azt szeretném megjegyezni, hogy kiválasztott főirányaink helyeseknek bizonyultak; hozzájárultak ahhoz, hogy kialakuljon egy új

kutatási stílus, hogy a nukleáris energia békés célú hasznosítása hazánkban is számos területen elterjedjen. Megépültek a tervezett berendezések, amelyekkel értékes felismerések születtek a magfizika, a szilárdtestfizika és a nukleáris kémia területén. Megvalósult sokféle radioaktív izotóp előállítása az orvosi, ipari és mezőgazdasági szükségletek kielégítésére. Elterjedtek az aktivációs analitika módszerei. Értékes eredmények születtek a reaktorfizikai kutatások területén, amelyek megalapozták annak a nemzetközi kutatócsoportnak a működését, amely a víz-vizes-reaktorokat alkalmazó nukleáris erőművek tervezéséhez alapvetően fontos adatbázist hozott létre. Az elmúlt évtizedekben sok nemzetközi és hazai tudományos tanácskozáson számoltunk be munkáinkról és sikereinkről. Ezekről most nem kívánok írni, de egy, *Mezei Ferenc* nevéhez fűződő, kiemelkedő eredményről, az első „neutronspin-echó” kísérletről, meg kell emlékezni. 1972-ben jelent meg a „KFKI-72-44” jelű kiadvány, amelynek kivonatában Mezei azt írta: „A fenti kísérleti technika több új készülék, vagy kísérleti technika alapjait veti meg. [...] A módszer lehetővé teszi a neutron részecske egyes jellemzőinek nagyságrenddel pontosabb meghatározását is.” Ismeretes, hogy a Mezei-féle neutronspin-echó módszer világhíres lett, és sok laboratóriumban alkalmazzák.

Egy sajátos együttműködés

Amikor a KFKI kutatóreaktorával kapcsolatos régi emlékeimet idézem, elkerülhetetlennek érzem, hogy szóljak a Kurcsatov Intézettel kialakult kapcsolatokról, hiszen azok hatása számos területen meghatározó volt.

Az 1960-as évek első felében *A. P. Alexandrov*, a Kurcsatov Intézet igazgatója javasolta, hogy a Szovjetunió által szállított és installált VVRSz-típusú kutatóreaktorok üzemeltetési tapasztalatainak áttekintésére, továbbá a reaktorok felhasználásával végzett kutatások eredményeinek megbeszélésére – évente legalább egyszer – találkozzanak a különböző országok szakemberei. A reaktortípus főkonstruktorát, *G. A. Goncsarovot* bízta meg ezeknek a konferenciáknak a megszervezésével, amelyek az érdekelt országokban váltakozva kerültek megrendezésre. Egy ilyen konferencián találkoztam *M. Pevzner* kiváló fizikussal, aki a Kurcsatov Intézetben dolgozott, és mint megtudtam, korábban részt vett az úgynevezett „Urán Program”-ban is. (Urán Programnak nevezték a szovjet atombomba-programot.) Széleslátó körű, művelt, szabadgondolkodású kutató volt, aki beszélgetéseinkben szívesen idézte – a szovjet vezetés által nem kedvelt – *B. Paszternák* verseinek egy-egy sorát, különösen azt, amelyik a „hírnévre törekvőkről” szól. Amikor megismerkedett a KFKI-ban folyó neutronfizikai kutatásokkal, az alkalmazott mérési módszerekkel, felvetette, hogy építsünk közösen komplex mérőberendezéseket, például elsőként két, teljesen automatizált neutron-diffraktométert, egyet a



2. ábra. Vezérlő és adatkezelő berendezés (NEDDA) neutron-diffraktométerhez

KFKI, egyet pedig a Kurcsatov Intézet számára. A javaslat szerint a finommechanikai alkatrészeket a Kurcsatov Intézet, az elektronikus berendezéseket pedig a KFKI készítené el. *Szlávik Ferenc*, kitűnő elektromérnök munkatársam rögtön vállalta, hogy csoportjában megtervezi és elkészíti a vezérlő és adatkezelő berendezéseket, amelyeknek a „NEDDA” nevet adta (2. ábra). Nem írtunk alá semmiféle szerződést, a munka szóbeli megállapodás alapján indult el, és mindenki mindent a megbeszélte határidőre elvégzett. Pevzner elmesélte a közös programot *A. P. Alekszandrov*nak, a Kurcsatov Intézet igazgatójának, akinek tetszett vállalkozásunk.

Amikor már minkét intézetben működött a berendezés, meghívást kaptam a Kurcsatov Intézetbe a NEDDA ünnepélyes átadására. Jelen volt Alexandrov is. Ekkor ismerkedtünk meg. Meghívott dolgozószobájába, és jó kétórás beszélgetésben latolgattuk a két intézet közötti további együttműködés lehetőségeit. Egyetértettünk abban, hogy a KFKI és a Kurcsatov Intézet között az együttműködést ne engedjük besorolni az úgynevezett sokoldalú nemzetközi együttműködések általános kereteibe, hanem tekintsük azt teljesen különálló, kétoldalú munkakapcsolatnak. Felmerült az a javaslat, hogy a következő berendezés, amelyet közösen létrehozunk, legyen a háromtengelyű kristályspektrométer. A diffraktométer programhoz hasonló munkamegosztással, mindkét intézetben megépült a háromtengelyű kristályspektrométer.

Később, B. Szamojlov és N. Csernopljokov kérésére, Szlávik Ferenc és csoportja szupravezető szolenoidokhoz fejlesztett precíziós tápegységet. A KFKI-ban is működött ilyen szolenoid. Az ionimplantációs kutatásokhoz a Kurcsatov Intézet átadott egy robusztus ionimplantert, amelyet annak idején izotópok szétválasztására terveztek, és alkalmas volt arra, hogy felgyorsítsa az ionokat és a céltárgyba (pl. szilícium kristályba) „belője”. Ez az implanter, amelyért korszerű TPA-típusú kisszámítógépet adtunk, kezdetben nagy segítséget jelentett Gyulai Józsefnek és csoportjának az ionimplantációs kutatásokban.

Tapasztalataink azt mutatták, hogy nem a hivatalos szervek által jóváhagyott dokumentumokban rögzített megállapodások az eredményesek, hanem azok, amelyekben a személyes kapcsolatokra épülő, kölcsönös tudományos és műszaki érdekek a meghatározóak.

A KFKI kisszámítógépei és mérőberendezései megterveztek a Kurcsatov Intézet fúziós kutatással foglalkozó szakembereinek is, és megrendelték legnagyobb TOKAMAK berendezésük teljes számítógépes vezérlését. A KFKI Sándory Mihály által vezetett intézete sikerrel teljesítette a megrendelést. Alexandrov javasolta, hogy létesüljön a KFKI-ban is egy kisméretű TOKAMAK, plazmadiagnosztikai célokra, a mérési módszerek kipróbálására és fejlesztésére. Én ezt helyes kezdeményezésnek tekintettem. A TOKAMAK berendezést a Kurcsatov Intézet leszállította, és üzembe helyezte. Sok értékes eredmény született. Kár, hogy 1990 után leszerelték, és a kutatásokat megszüntették.

Nagyon hiányos lenne ez a visszapillantás, ha nem írnék azokról a reaktorfizikai kutatásokról, amelyeket – a KFKI eszközeire és tapasztalataira alapozva – egy nemzetközi kutatócsoport végzett a VVER-típusú atomerőművek fizikájának jobb megismerése érdekében. A csoport, amelyet Ideiglenes Nemzetközi Kutatókollektívának neveztek, 1972 és 1990 között működött. A tevékenység jelentős része a KFKI ZR-6 jelű kritikus rendszerén végzett mérésekre összpontosult, a másik fontos területe pedig a reaktorszámítások fejlesztése és kísérleti ellenőrzése, validálása volt. A mérési programban Szatmáry Zoltán és Gadó János játszották a legfontosabb szerepet. A kollektíva által létrehozott adatbázis bekerült a szakmai körökben nagyra értékelt *International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments* OECD NEA-NSC kiadványba. Azt hiszem, nem túlzok, amikor azt állítom, hogy ez a kollektíva azért működhetett a KFKI-ban, mert kiemelkedő volt a reaktorfizikai kutatások színvonala és biztonsága, mert a KFKI fejlett mérés-technikai kultúrával rendelkezett, és nem utolsósorban pedig azért, mert létrehozását A. P. Alexandrov, a Kurcsatov Intézet igazgatója támogatta.

Ha most valaki azt kérdezné, hogy az együttműködésből melyik félnek, a KFKI-nak vagy a Kurcsatov Intézetnek volt-e nagyobb haszna, akkor azt válaszolnám, hogy mindkettőnek. Ilyen kérdés azonban az együttműködés során soha sem merült fel, mindkét intézet kutatói elégedettek voltak, és örültek a közösen elért eredményeknek.



3. ábra. Petroszjánc, a szovjet Atomenergia Bizottság elnöke megtekintte a ZR-6 kritikus rendszert. (Jobbról-balra: Erdey-Grúz, Gyimesi, Petroszjánc, Pál és a munkatársak.)

Emlékek és a jövőndő

A múlt emlékeinek felidézése arra készítet, hogy befejezésül röviden elmondjam kiforrotlan gondolataimat a nehezen megjósolható nukleáris jövőről. Jól tudom, hogy hazánkban megváltozott a társadalmi rendszer: ma Magyarországon piacgazdaság, azaz kapitalizmus van. Ebből következik, hogy a tudományos kutatás és a műszaki fejlesztés feladatait elsősorban a profitnövelés érdekei határozzák meg. Az új, fundamentális ismeretek megszerzésének, a társadalom egészét szolgáló, és csak hosszú távon eredményt hozó kutatásoknak a támogatottsága nagymértékben csökkent, a rövid távon hasznot ígérő innovációk pedig nem eléggé hatékonyak. Ennek az állapotnak lesznek káros következményei, amelyekről már sokan sokat írtak. Én most csak a nukleáris energia hasznosításával kapcsolatos néhány kérdéstről szeretnék beszélni.

Triviális kijelentés, hogy energiára az élet minden területén szükség van, s talán az is, hogy a távlati hatásokkal számoló piacgazdaságnak sem mindegy, hogyan elégíti ki a növekvő energiaszükségleteket. Nem vitatható, hogy a megújuló energiaforrások hasznosítása, az energiefelhasználás hatékonyságának növelése fontos feladat, de le kell számolnunk azzal a hamis illúzióval, hogy ezen az úton eljuthatunk a megoldáshoz. Aki azt hiszi, hogy a nap- és szélenergia, a geotermikus energia, valamint a biomassza hasznosításával elérhetjük, hogy hazánkban már nem kell nagy erőművet építeni, az naiv ábrándokat kerget.

Úgy látszik, egyre több országban kezdik felismerni, hogy az emberiség nem mondhat le a nukleáris energia hasznosításáról. A csernobili katasztrófa után olyan hisztériakeltés vette kezdetét, hogy a megfélemlített, hozzá nem értő emberek jelentős többsége szembefordult a nukleáris energia mindenféle alkalmazásával. (Azt azért érdemesnek tartom megjegyez-

ni, hogy a gyógyászatban használt, sokszor életmentő, nukleáris technikák alkalmazását általában ma sem utasítják el az emberek.) Fontos feladat újból megszerezni a társadalom többségének támogatását a nukleáris energia felhasználásához. Az ezt szolgáló munkát már a középiskolákban, vagy talán még korábban el kell kezdeni. Új módszerekkel kell felkelteni a tanulók érdeklődését a műszaki és természettudományok, s köztük a nukleáris technika iránt. Jelentős változást eredményezhetnek a különféle ifjúsági kutatócsoportok, amelyekben a tanulók – megfelelő tanári irányítással – önálló kutatómunkájukkal sajátíthatják el a természettudományos gondolkodást. Meg kellene mutatni, legalább a középiskolásoknak, hogy a nukleáris energia „tiszt”; mivel alkalmazása nem növeli a légkör széndioxid tartalmát, segít fékezni a felmelegedés folyamatát, és hogy hosszú távon is biztonsággal lehet kezelni a működtetés során keletkező radioaktív anyagokat.

A nukleáris energia társadalmi elfogadtatása érdekében is fel kell lépni azok ellen a törekvések ellen, amelyek csökkenteni akarják a középiskolai képzésben a fizika szerepét. („Mellesleg” a mai életnek már nincs egyetlen olyan területe sem, amely ne a fizika terén elért eredményeknek köszönhetné létezését.) Amikor a fizika fontossága mellett érvelek, ezzel a műszaki tudás jelentőségét is hangsúlyozom. Kreatív mérnökök, új értéket termelő szakmunkások hiányában nem gyarapodhat az ország. A fizika és általában a mérnöki tudományok megkövetelik a pontos fogalmazást, segítik a kifogástalan szövegértést. Nem a fizika rovására, hanem éppen a fizika tanításával lehet orvosolni az e téren tapasztalható hiányosságokat.

Érdekléte kellene tenni a médiaipar felelős vezetőit is abban, hogy jóval több figyelmet fordítsanak a műszaki és természettudományok népszerűsítésére. El kellene érni, hogy a műsorvezetők – az áltudományos szenzációhajhászás helyett – objektív és érdekes tájékoztatást adjanak a lakosságnak a nukleáris technika társadalmi és gazdasági fontosságáról. Sok munkára lesz még szükség ahhoz, hogy a társadalom többsége ismét elfogadja, hogy az energiaszükségletek várható növekedését nukleáris energiával lehet és kell kielégíteni.

Több országban tapasztalható, hogy a gazdasági élet meghatározó tényezői újból érdeklődést mutatnak a nagy biztonságú, megnövelt hatásfokú nukleáris reaktorokkal megvalósítható atomerőművek iránt. Magam is úgy vélem, hogy a nagy hőmérsékleten működő, és hidrogén előállítására is alkalmas reaktor-típusoké lesz a jövő. A hidrogén üzemanyagot használó járművek valóban nem szennyeznek a levegőt. Ilyen járművet már 1979-ben láttam a híres hannoveri vásáron. A Volkswagen mutatta be azt a hidrogénnel hajtott gépkocsit, amelynek akciórádiusza már akkor 100 km volt.

A nukleáris energia hasznosításához való visszatérésnek – természetesen – csak akkor van értelme, ha az erre felkészült országokban gyors ütemben folytatják az új generációs tenyésztő-reaktorok technológiai

fejlesztését. Ezeknek a reaktoroknak a működtetése azonban nemcsak lokális, hanem igen jelentős, globális biztonsági kérdéseket is felvet, amelyek megválaszolását a politikai érdekek nehezítik.

Hazánkban van kellő műszaki és tudományos háttér a nukleáris energetika azon területeinek kiemelkedő szinten történő kutatásához, amelyek megfelelnek az ország gazdasági adottságainak. Gondot jelent azonban, hogy a kutatóknak és az iparban dolgozó nukleáris mérnököknek viszonylag magas az átlagéletkora. Több fiatal mérnök, fizikus képzésére van szükség.

A nukleáris energia hasznosításával, általában a veszélyt jelentő nagyberendezések működtetésével kapcsolatban az egyik legfontosabb feladat a biztonság további növelése. A számítástechnika és a kísérleti berendezések mai fejlettsége sok új lehetőséget kínál a biztonsági analízis módszereinek fejlesztésére. Ma már szinte mindent még megbízhatóbbá lehet tenni, mert megvan az a megfizethető technikai háttér, amelyre ehhez szükség van.

A nukleáris energia biztonságos hasznosítása megköveteli a gazdasági és politikai érdekektől független, szigorú ellenőrző tevékenységet. Fontos, hogy az ezt ellátó hatóság az államigazgatási struktúrában feladatainak megfelelő helyet foglaljon el, és ne kerüljön függő viszonyba olyan szervekkel, amelyeket ellenőriznie kell.

Befejezés helyett

Ma sokat beszélnek a „tudásalapú” társadalomról, de a konkrét munkát elképesztően bonyolult és visszélésekre is alkalmas bürokrácia nehezíti. Az ország gazdasági felemelkedése érdekében – éppen most, a recesszió idején – a legkorszerűbb technikák és technológiák elsajátítására és alkalmazására kell az erőforrásokat koncentrálni. Ehhez pedig szükség van profitot közvetlenül nem „termelő” alapkutatásokra. Nem igaz az a mostanában gyakran hangoztatott állítás, hogy egy kis országnak nem szabad alapkutatásokra pénzt költenie. Ha egy országban elsorvad az alapkutatás, akkor nem lesznek olyan szakemberek, akik képesek felismerni, hogy mi az, amit át kell venni, mi az, amit alkalmazni kell. Ha nincs olyan szakembergárda, amely rendelkezik megfelelő kutatási tapasztalatokkal, akkor az új módszerek alkalmazása lassan és nagy hibákkal valósul meg. Szükség volna olyan fórumra, amely gondos mérlegelés alapján képes meghatározni az állami intervenciók irányait. Ennek a fórumnak a tagjait nem politikusokból, hanem hozzáértő szakemberekből kellene kiválasztani. Tudom, hogy az érdekek mai zűrzavarában ez csaknem teljességgel lehetetlen kívánság, de

„Csak akkor születtek nagy dolgok,
Ha bátrak voltak, akik mertek
S ha százszor tudtak bátrak lenni,
Százszor bátrak és viharverték.”

(*Ady Endre*)

REGULARIZÁCIÓ ÉS RENORMÁLÁS: PÉLDÁK A KLASSZIKUS FIZIKÁBÓL

Somogyi Gábor, Zürichi Egyetem

Trócsányi Zoltán, Debreceni Egyetem és MTA ATOMKI

A részecskefizika Standard Modellje mértékelmélet. A tömören megfogalmazható elv azonban hamar meglehetősen bonyolult matematikai kifejezésekké dagad, amint a mértékelmélet mozgásegyenleteit megpróbáljuk kifejezni és fizikailag mérhető mennyiségeket próbálunk kiszámítani. Ráadásul a mozgásegyenletek csak a részecskék közötti kölcsönhatások elhagyásával tudjuk egzaktul megoldani. A kölcsönhatások figyelembevétele csak közelítőleg lehetséges. A nehézségeket fokozza, hogy a számítások során egyszer csak divergens integrálok jelennek meg, és az egész eljárás hirtelen értelmetlennek tűnik. Mielőtt továbblépnénk, a divergens integrálokat *regularizálni* kell, azaz végessé kell őket tenni. Ezután a divergens integráloktól meg kell szabadulni, amit *renormálásnak* nevezünk. Végül a regularizáció eltávolítható, és visszamarad a fizikai eredmény.

Az elmondott lépések matematikai bűvészkedésnek tűnhetnek, olyan érzést keltenek, mintha a regularizáció és a renormálás csupán arra lenne jó, hogy azt az eredményt kapjuk, amit szeretnénk. Sokak számára az egész eljárás matematikai szempontból elfogadhatatlannak látszik, aminek részben talán az az oka, hogy a kvantumtérelmélet bonyolult matematikai formalizmusa mögött nehéz kibogarászni, hogy mi a perturbatív renormálás lényege.¹ Alább két klasszikus fizikai példa segítségével szeretnénk megmutatni, hogy

- egyrészt a renormálásra nem a végtelenek eltávolítása miatt van szükség, hanem azért, mert a Lagrange-függvény nyelvén megfogalmazott elméletben szereplő paramétereknek így adhatunk fizikai jelentést;
- másrészt, a regularizáció csupán ahhoz szükséges, hogy fizikai jelentéssel nem rendelkező, végtelenek adódó számolási részeredményeket következetes módon értelmessé (végessé) tegyük.

Perturbatív renormálás

A perturbatív renormálás alap gondolatát nagyon egyszerű példán szemléltetjük. Tekintsük egy m tömegű lineáris és köbös erőtvény hatásának kitett részecske egydimenziós mozgását, azaz egy anharmonikus oszcillátort! A mozgásegyenlet közismert:

$$m \ddot{x} + m \omega_0^2 x + \frac{1}{3!} g x^3 = 0. \quad (1)$$

¹ A renormálásnak több fajtája van, e cikkben csak a perturbatív renormálásról írunk. Példánk egyben a perturbációs számítás lényegét is bemutatja.

Bár a további megfontolásainkhoz a mozgásegyenlet elegendő, a kvantumtérelmélettel történő kapcsolat hangsúlyozása érdekében felírjuk a Lagrange-függvényt is:

$$L = E_m - E_p, \quad \text{ahol} \quad E_m = \frac{1}{2} m \dot{x}^2$$

a részecske mozgási energiája,

$$E_p(x) = \frac{1}{2} m \omega_0^2 x^2 + \frac{1}{4!} g x^4 \quad (2)$$

pedig a potenciális energiája, amely láthatóan vonzó potenciálgödört jelent (feltételezzük, hogy $g > 0$), az egyensúlyi hely $x = 0$ -ban van. Amennyiben a részecske E teljes energiája nullánál nagyobb, akkor az az $x = \pm A(E)$ fordulópontok által kijelölt tartományon belül rezgőmozgást végez. A fordulópontokban $E_m = 0$, tehát helyük az $E_p(A) = E$ egyenletből könnyen meghatározható.

Használjunk most g szerinti perturbációs számítást a mozgásegyenlet megoldásához, ami azt jelenti, hogy az $x(t)$ megoldást az

$$x(t) = \sum_{i=0}^{\infty} g^i x^{(i)}(t)$$

sorfejtés alakjában keressük. Példánkban feltételezzük, hogy $g \ll m \omega_0^2$, ezért a vezető rendű tag, $x^{(0)}(t)$, mellett csak az első perturbatív korrekciót vesszük figyelembe,

$$x(t) \approx x^{(0)}(t) + g x^{(1)}(t). \quad (3)$$

Az elhagyott további tagok legalább g^2 rendűek.

A perturbatív megoldást a mozgásegyenletbe helyettesítve, g különböző hatványai együtthatóinak külön-külön nullának kell lenni. Ez g -ben első rendig az alábbi két egyenletet szolgáltatja

$$\ddot{x}^{(0)} + \omega_0^2 x^{(0)} = 0, \quad (4)$$

$$\ddot{x}^{(1)} + \omega_0^2 x^{(1)} = -\frac{1}{6m} (x^{(0)})^3 \quad (5)$$

amelyekből $x^{(0)}(t)$ és $x^{(1)}(t)$ meghatározható. A határozottság kedvéért tekintsük azt a kezdeti feltételt, amikor $t = 0$ -ban fordulópontban van a részecske, $x(0) = A$, $\dot{x}(0) = 0$! A vezető rendű megoldás a harmonikus oszcillátor jól ismert mozgásegyenletét elégíti ki és a megadott kezdeti feltétel esetén

$$x^{(0)}(t) = A \cos(\omega_0 t). \quad (6)$$

Ennek ismeretében meghatározhatjuk az első perturba-

tív korrekciót, $x^{(1)}(t)$ -t, ami az (5) egyenlet $x^{(1)}(t) = 0$, $\dot{x}^{(1)}(t) = 0$ kezdeti feltétel melletti megoldását jelenti,

$$x^{(1)}(t) = -\frac{A^3}{192 m \omega_0^2} \times \left[\cos(\omega_0 t) - \cos(3\omega_0 t) + 12\omega_0 t \sin(\omega_0 t) \right]. \quad (7)$$

A (6–7) egyenletek matematikai értelemben helyes megoldásai a (4–5) mozgásegyenleteknek, fizikailag azonban mégsem lehetnek helyesek, ugyanis $x^{(1)}(t)$ -ben a szinuszos tag együtthatója az idővel arányosan nő. Így egyszerűen csak $x(t)$ nagyobbá válik a fordulópontbeli A értéknél, a mozgás nem korlátos. Vajon hol hibáztunk? A felületes válasz az lehetne, hogy a perturbációszámítás idővel leromlik, csupán kis t -re használható.

Érdekes azonban jobban megvizsgálni a megoldást. A perturbálatlan ($g = 0$) potenciálban szereplő ω_0 paraméter természetesen a négyzetes potenciálban létrejövő harmonikus rezgés fizikai körfrekvenciája, azaz a rezgés tényleges periódusideje $T = 2\pi/\omega_0$. Ezzel szemben az anharmonikus esetben a perturbáció *módosítja* az oszcilláció tényleges periódusidejét, amely így valamely $T' \neq T$, vagyis a perturbált esetben ω_0 *nem a fizikai körfrekvencia*. Ezt nem vettük figyelembe a fenti megoldás során! (Arról van szó, hogy nem jó periódus szerint akartuk Fourier-sorba fejteni a megoldást.) A tanulság, hogy a végeredményt nem az eredeti Lagrange-függvényben szereplő paraméterekkel célszerű kifejezni, hanem a probléma *fizikai* paramétereivel. Ez a *renormálás* alap gondolata. Látjuk, hogy a renormálásnak alapvetően semmi köze ahhoz, hogy megjelennek-e divergens integrálok a számolás során.

Most lássuk, hogyan lehet a renormálás programját ténylegesen végrehajtani az anharmonikus oszcillátor esetén! Defináljuk a renormált körfrekvenciát, ω_R -t, az

$$\omega_0^2 = Z(g) \omega_R^2 \quad Z(g) = 1 + g Z_1 + O(g^2)$$

egyenlettel, ahol $Z(g)$ -t renormálási állandónak nevezünk, amelynek perturbációs sora eggyel kezdődik, hiszen a perturbálatlan esetben ω_0 a fizikai körfrekvencia. Az *eredeti* (2) potenciális energiát a renormált körfrekvenciával kifejezve

$$\begin{aligned} E_p &= \frac{1}{2} m Z \omega_R^2 x^2 + \frac{1}{4!} g x^4 \\ &= \frac{1}{2} m \omega_R^2 x^2 + \frac{1}{4!} g x^4 + \frac{1}{2} m (Z - 1) \omega_R^2 x^2 \end{aligned}$$

adódik. Látható, hogy visszakaptuk a kiindulási potenciális energiát egy $\omega_0 \rightarrow \omega_R$ csere erejéig, de ezen kívül megjelent egy új tag is, amelyet *renormálási ellentagnak* nevezünk. Ez a tag $(Z-1)$ -gyel, tehát g -vel arányos, ezért perturbációnak kell tekinteni! Ezt észben tartva, ismételjük meg a perturbatív számolást a renormált potenciális energiával. Az új mozgásegyenlet:

$$m \ddot{x} + m \omega_R^2 x + \frac{1}{3!} g x^3 + m (Z - 1) \omega_R^2 x = 0.$$

Behelyettesítve a (3) perturbatív megoldást, az

$$\begin{aligned} \ddot{x}^{(0)} + \omega_R^2 x^{(0)} &= 0, \\ \ddot{x}^{(1)} + \omega_R^2 x^{(1)} &= -\frac{1}{6m} (x^{(0)})^3 - Z_1 \omega_R^2 x^{(0)} \end{aligned}$$

egyenleteket kapjuk, míg a kezdeti feltétel változatlan. A renormált vezető rendű megoldás pontosan megegyezik az eredeti vezető rendű megoldással egy $\omega_0 \rightarrow \omega_R$ csere után:

$$x^{(0)}(t) = A \cos(\omega_R t). \quad (8)$$

A renormálás az első perturbatív korrekcióban két változást eredményez az eredeti (7) kifejezéshez képest: egyrészt ω_0 helyett mindenhol ω_R szerepel, másrészt az új, Z_1 -gyel arányos perturbáció miatt új tag jelenik meg,

$$\begin{aligned} x^{(1)}(t) &= -\frac{A^3}{192 m \omega_R^2} \times \\ &\times \left[\cos(\omega_R t) - \cos(3\omega_R t) + 12\omega_R t \sin(\omega_R t) \right] - \\ &- \frac{A}{2} Z_1 \omega_R t \sin(\omega_R t). \end{aligned}$$

Látjuk, hogy az ellentag pontosan megfelelő alakú ahhoz, hogy a renormálási állandó, Z_1 , helyes megválasztásával a megoldás nem fizikai, idővel növekvő részét kiejtsük! Ezzel a feltétellel a renormálási állandóra

$$Z_1 = -\frac{A^2}{8 m \omega_R^2}$$

adódik, amivel a renormált megoldás,

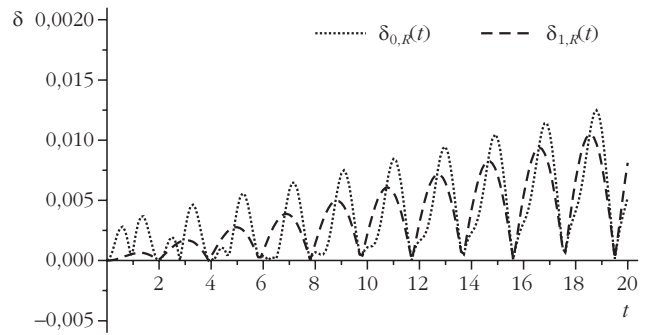
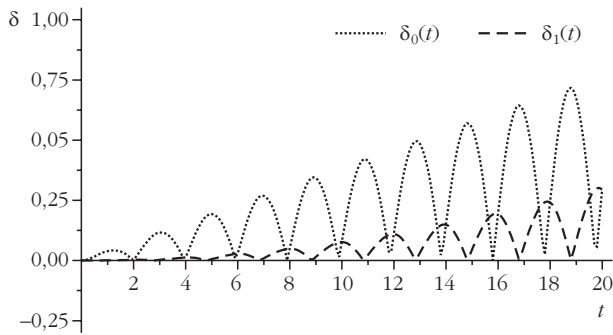
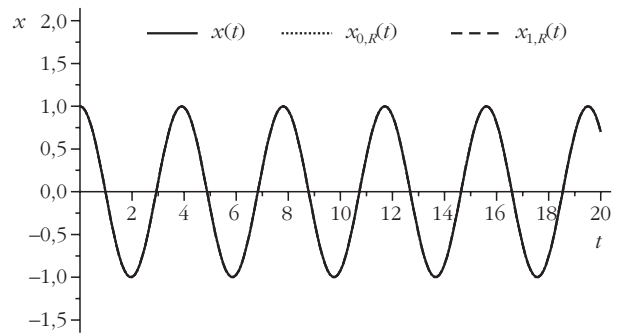
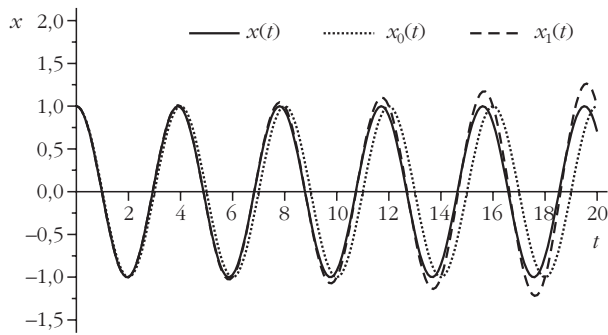
$$x^{(1)}(t) = -\frac{A^3}{192 m \omega_R^2} \left[\cos(\omega_R t) - \cos(3\omega_R t) \right] \quad (9)$$

már nem csak matematikai értelemben, hanem fizikailag is helyes (a perturbációszámítás adott rendjében).

Összefoglalva, a perturbációszámítás naiv alkalmazása nem fizikai tagok megjelenéséhez vezetett a perturbatív megoldásban, mert a végeredményt nem a probléma fizikai paramétereinek függvényében kaptuk meg, hanem közvetlenül az eredeti Lagrange-függvényben szereplő „csupas”, nem fizikai paraméterek függvényében. A renormálás fizikai tartalma pontosan az, hogy ezeket a csupas paramétereket fizikai paraméterekre cserélve a végeredményből eltűnnek a nem fizikai tagok.

Regularizáció

Nem csak a kvantumtérelméletben fordul elő, hogy a számolás során fizikai tartalommal nem bíró részeredményként matematikailag értelmetlen (végtelen) eredményt kapunk integrálok kiszámításakor. A továbbiakban erre mutatunk klasszikus fizikai példát.



1. ábra. Az ábra az (1) egyenlet $x(0) = 1$, $\dot{x}(0) = 0$ kezdeti feltétellel történő pontos (numerikus) $x(t)$ megoldását, illetve a perturbációs számítással kapott $x_0(t) = x^{(0)}(t)$ vezető rendű, és az első korrekciót tartalmazó $x_1(t) = x^{(0)}(t) + g x^{(1)}(t)$ megoldását szemlélteti. A paraméterek értékeit $m = 1$, $\omega_0 = \pi/2$ és $g = 1$ -nek választottuk. A bal oldali ábrán a perturbációs számítás naiv alkalmazásával kapott (6–7) megoldást, míg a jobb oldali ábrán a renormált (8–9) megoldást ábrázoltuk. Mindkét esetben feltüntettük az pontos és a perturbatív megoldások $\delta_i(t) = |x(t) - x_i(t)|$ különbségét is.

Határozzuk meg egy végtelen hosszú vonal menti egyenletes ρ lineáris sűrűségű töltéseloszlás körül kialakuló elektromos mezőt! A szokásos megoldás a Gauss-tételt, továbbá „szimmetriamegfontolásokat” használ. Az utóbbiakat nem szokás részletezni, és bár valóban teljesül, hogy az elektromos mező hengersizmetrikus és a töltésvonaltól sugárirányban kifelé mutat a vonalra merőleges síkban, a levezetés pontos végiggondolása nem egyszerű, továbbá megköveteli az elektrosztatikus tér örvénymentességének felhasználását is. Mindezek helyett lehet a „nyers erő” használni: határozzuk meg előbb egy vonal menti integrállással az elektrosztatikus potenciált, majd ebből deriválással a mezőt.

Legyen a koordináta-rendszerünk z -tengelye a töltésvonal mentén, és keressük a potenciált az $\mathbf{r} = (r, \phi = 0, z = 0)$ hengerkoordinátákkal jellemzett pontban. Ez a választás a hengersizmetria és a vonal menti eltolási szimmetria miatt nem jelent megszorítást. A $(0, 0, z)$ helyen található $dQ = \rho dz$ infinitezimális töltés potenciálja \mathbf{r} -ben

$$dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dQ}{\sqrt{r^2 + z^2}}.$$

A teljes töltéseloszlás potenciálja

$$V(r) = \frac{\rho}{4\pi\epsilon_0} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dz}{\sqrt{r^2 + z^2}} = \infty. \quad (10)$$

A potenciálnak közvetlen fizikai jelentése nincs, csupán a feszültségnek, azaz két pont közötti potenciál-

különbségnek. Az utóbbit megszorozva a töltés nagyságával megkapjuk azt a munkát, amelyet ez elektrosztatikus mező végezne a töltésen a két pont között. Elvileg tehát nem baj, hogy végtelent kaptunk eredményül. Gyakorlatilag azonban igen, ugyanis végtelenek különbségét, $[V(r_1) - V(r_2)]$ -t nem értelmezzük, hiszen bármennyi lehet. Nem nehéz ellenőrizni, hogy a (10) integrál skálainvariáns, $V(kr) = V(r)$, ami végképp zavarbaejtő, hiszen arra a következtetésre juthatunk, hogy a potenciál mindenütt ugyanakkora, ezért az elektromos mező nulla.

Mi a kiút? A végtelen integrált előbb *regularizálni* kell. Ennek egyszerű módja, hogy végtelen töltésvonal helyett $\pm L$ távolságra elnyúló, véges $2L$ hosszúságú töltésvonalat tekintünk. Ekkor az integrál értéke

$$\begin{aligned} V(r, L) &= \frac{\rho}{4\pi\epsilon_0} \int_{-L}^L \frac{dz}{\sqrt{r^2 + z^2}} = \\ &= \frac{\rho}{4\pi\epsilon_0} \frac{\sqrt{L^2 + r^2} + L}{\sqrt{L^2 + r^2} - L}. \end{aligned} \quad (11)$$

Ez az eredmény (i) véges, (ii) a fizikai r távolságon kívül az L regulátortól is függ (iii) és végtelenné válik, ha eltávolítjuk a regularizációt, $L \rightarrow \infty$. Ha a regularizált $V(r, L)$ függvényből a szokásos módon kiszámítjuk az elektromos mezőt, nagyságára

$$E(r, L) = -\frac{\partial V}{\partial r} = \frac{\rho}{2\pi\epsilon_0 r} \frac{L}{\sqrt{L^2 + r^2}} \quad (12)$$

adódik, és sugárirányban kifelé mutat a z -tengelyre merőlegesen. A (12) egyenletben már nyugodtan eltávolíthatjuk a regularizációt, a végeredmény véges,

$$E(r) = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{\rho}{2\pi\epsilon_0 r} \frac{L}{\sqrt{L^2 + r^2}} = \frac{\rho}{2\pi\epsilon_0 r}. \quad (13)$$

Kiszámítható a feszültség is:

$$\begin{aligned} V(r_2) - V(r_1) &= \lim_{L \rightarrow \infty} [V(r_2, L) - V(r_1, L)] = \\ &= \frac{\rho}{4\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_1^2}{r_2^2}. \end{aligned} \quad (14)$$

A (11) egyenletnek van még egy tulajdonsága: (iv) elveszett az eredeti z -menti eltolással szembeni szimmetria. Természetesen a fizikai tartalommal bíró mennyiségek már újra rendelkeznek az eredeti szimmetriával. Bár a vizsgált egyszerű problémában nincs nagy jelentősége, hogy a részeredmény nem volt eltolás-szimmetrikus, a részecskék kölcsönhatásait leíró mértékelméletek esetén a mértékszimmetria elvesztése még a részletszámolásokban is igen kellemetlen. Bonyolult számítások esetén ugyanis lényeges, hogy minél több ellenőrzési lehetőségünk legyen a közbeneső lépések esetén. A mértékszimmetria ellenőrzése igen erős kapaszkodót nyújt. Vajon létezik-e olyan regularizáció, amely megőrzi a szimmetriát?

A múlt század utolsó fizikai Nobel-díját *Gerard 't Hooft* és *Martinus Veltman* kapta a „részecskefizikai elektromos folyamatok kvantumfizikai alapjainak tisztázásáért”. Munkájukban döntő jelentőségű volt a dimenzióanalízis regularizáció (DR) használata, ugyanis ez a fajta regularizáció – más fajtákkal ellentétben – meghagyja a szimmetriákat (részecskefizikai elmélet esetén például a Lorentz- és mértékszimmetriát). A DR lényege, hogy a téridő dimenziószámát szabadon választható paraméterként kezeljük, azaz négy (három tér és egy idő) dimenzió helyett a számolásokat tetszőleges d dimenzióban végezzük. Lássuk, hogyan alkalmazható a DR az elektrosztatikai példánkban!

A (10) integrál egydimenziós; d dimenzióra történő általánosításához az integrálási mértéket d dimenzióban kell felírni,

$$dz \rightarrow d^d z = z^{d-1} dz d\Omega_d.$$

Itt az egyenlőség jobb oldalán polárkoordinátákban írtuk fel a mértéket (tehát itt $0 \leq z \leq \infty$), és $d\Omega_d$ a szögintegrálok mértéke d dimenzióban. Például $d\Omega_2 = d\phi$, $d\Omega_3 = \sin\theta d\theta d\phi$. Elvégezve az integrálást a teljes térszög felett megkapjuk a d -dimenziós hiperfelület nagyságát,

$$\Omega_d = \int d\Omega_d = \frac{2\pi^{d/2}}{\Gamma\left(\frac{d}{2}\right)}. \quad (15)$$

Az Euler-féle gamma-függvény értékét táblázatból kiolvassuk (például $\Gamma(1) = \Gamma(2) = 1$, $\Gamma(3/2) = \sqrt{\pi}/2$), Ω_2

$= 2\pi$ az egységsugarú kör kerülete, $\Omega_3 = 4\pi$ az egységsugarú gömb felülete, $\Omega_4 = 2\pi^2$ az egységsugarú négydimenziós gömb felülete, és így tovább. A (15) képlet azonban akár valós *tört* dimenzióban is érvényes.

Visszatérve a potenciált meghatározó (10) integrálhoz, ennek d dimenziós általánosítása:

$$V(r, d) = \frac{\rho}{4\pi\epsilon_0} \int_0^\infty d\Omega_d \left(\frac{z}{\mu}\right)^{d-1} \frac{dz}{\sqrt{r^2 + z^2}}. \quad (16)$$

Itt felfigyelhetünk a DR egy sajátosságára: az integrandusba beírtunk egy hosszúságdimenziójú μ tényezőt (megfelelő hatványon), hogy az integrál *fizikai dimenziója* változatlan maradjon. Az integrál kiszámításához felhasználva a szögintegrálra vonatkozó (15) eredményt (az integrandus nem függ a polárszögektől), a maradék egydimenziós integrál könnyen elvégezhető. A dimenziószámot célszerűen (és szokásosan) $d = 1 - 2\epsilon$ -ként paraméterezzük, így a regularizáció megszüntetését az $\epsilon \rightarrow 0$ határátmenet jelenti. Az eredmény,

$$\begin{aligned} V(r, d) &= \frac{\rho}{4\pi\epsilon_0} \Gamma\left(\frac{1-d}{2}\right) \left(\sqrt{\pi} \frac{r}{\mu}\right)^{d-1} = \\ &= \frac{\rho}{4\pi\epsilon_0} \pi^{-\epsilon} \Gamma(\epsilon) \left(\frac{\mu^2}{r^2}\right)^\epsilon \end{aligned} \quad (17)$$

a következő tulajdonságokkal rendelkezik: (i) véges, (ii) függ a dimenzió nélküli regularizációs paramétertől, ϵ -tól, (iii) függ a hosszúságdimenziójú segédparamétertől, μ -tól, (iv) értelmetlenné válik akár az $\epsilon \rightarrow 0$, akár a $\mu \rightarrow 0$ határesetben (a gamma-függvény a nullában nincs értelmezve), (v) a levágásos regularizációval ellentétben, a DR megőrzi az eltolási szimmetriát, hiszen a (16) integrál értékét a $z \rightarrow z+c$ változótranszformáció nem változtatja meg.

A potenciál ismeretében a szokásos módon ki tudjuk számolni az elektromos mezőt,

$$E(r, d) = \frac{\rho}{4\pi\epsilon_0 r} 2\epsilon \pi^{-\epsilon} \Gamma(\epsilon) \left(\frac{\mu^2}{r^2}\right)^\epsilon,$$

és a feszültséget ϵ -szerinti sorfejtés alakjában. Ehhez felhasználjuk a gamma-függvény sorfejtését:

$$\Gamma(\epsilon) = \frac{1}{\epsilon} - \gamma_E + O(\epsilon),$$

tehát $\lim_{\epsilon \rightarrow 0} \epsilon \Gamma(\epsilon) = 1$. Az elektromos mező négydimenziós értékére a (13) egyenletben kapott véges eredmény, míg a feszültségre a (14) egyenletben kapott eredmény adódik. Megnyugtató, hogy a fizikai mennyiségek függetlenek az alkalmazott regularizációtól. Továbbá az is látszik, hogy a bevezetett μ segédskálától sem függenek, amit egyenlet nyelvén is megfogalmazhatunk:

$$\mu \frac{\partial E(r)}{\partial \mu} = 0, \quad \mu \frac{\partial \Delta V(r)}{\partial \mu} = 0.$$

E két egyenletet renormálási csoport egyenleteknek nevezik. Nagy jelentőségük van, de ennek bemutatása már túlmutat e cikk keretein.

A potenciál köztudott módon csak egy additív állandó erejéig van meghatározva. A d -dimenziós (17) eredmény

$$V(r, \epsilon) = \frac{\rho}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{\epsilon} - \gamma_E + \ln\pi + \ln\frac{\mu^2}{r^2} + O(\epsilon) \right]$$

sorfejtéséhez szabadon hozzáadhatunk r -től független mennyiséget. E szabadságot kihasználva a potenciál végessé tehető bármely dimenzióban, amihez a minimális levonás

$$\frac{\rho}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\epsilon},$$

de levonhatjuk akár a

$$\frac{\rho}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{\epsilon} - \gamma_E + \ln\pi \right]$$

mennyiséget is (módosított minimális levonás).

A maradékból nyugodtan eltávolíthatjuk a regularizációt az eredmény véges marad:

$$V(r) = \frac{\rho}{4\pi\epsilon_0} \ln\frac{\mu^2}{r^2}.$$

A renormálható kvantumtérelméletekben az ilyen levonás megfogalmazható az elmélet paramétereinek az anharmonikus oszcillátor példáján megmutatott renormálásával. A különbség mindössze annyi, hogy a $Z(g, \epsilon)$ renormálási állandó függ ϵ -től is, mégpedig $1/\epsilon$ pólust is tartalmaz. Azonban a renormált Lagrange-függvényből számolt fizikai eredmények már végesek az $\epsilon \rightarrow 0$ határesetben (a perturbációs számítás adott rendjében).

Éppen negyedszázada hallottam (T.Z.) először a perturbatív renormálásról az egyetemi kvantum-elektrodinamika előadáson. Az érthetetlennek tűnő gondolatok készletét arra, hogy hosszú és kemény erőfeszítéssel megpróbáljam alaposabban megismerni a kvantumtérelméletet. Úgy gondoljuk, hogy az itt mutatott példák tankönyvekbe illenek, és a mai egyetemi hallgatók számára könnyen érthetővé teszik a valójában egyszerű alap gondolatot.

Kutatásunkat az OTKA (K-60432) támogatta.

SZÖVEVÉNYES RAJZOLATOK...

Laczik Bálint

BME Gyártástudomány és -technológia Tanszék

A megismerés módszere a megfigyelés – alaposan pedig csak az ismétlődő jelenségek figyelhetők meg. Az egymást követő világos és sötét napszakok, a holdfázisok, az évszakok, a csillagvilág éjszakánként újra és újra felsejlő csodái ösztönözhatték régvolt emberőseinket a világról alkotott első elképzeléseik kialakítására.

A tudomány immár az atomfizika elenyészően rövid idejű részecske élettartamaitól a Világegyetem tízmilliárd években mért időparamétereig a legkülönbözőbb ismétlődési idejű jelenségeket vizsgálja.

A 19. század kutatói különösen sokat foglalkoztak a mechanikus és villamos rendszerekben fellépő, periodikus mozgásokkal, lengésekkel, rezgésekkel. A műszaki alkalmazásokban már jóval korábban megjelentek az úgynevezett alternáló szerkezetek. Az Országos Műszaki Múzeum könyvtárának értékes relikviái *Jacob Leupold* (1674–1727) *Theatrum Machinarium* című, 1720–39 között kiadott könyvsorozatának kötetei. A korabeli műszaki ismereteket összefoglaló, hatalmas, gazdagon illusztrált fóliánsok megannyi ötletes szerkezetet mutatnak be. Például az *1. ábracsoport* hiányos fogazatú pálcsás fogaskerekeit folyamatosan egy irányba forgatva, a velük kapcsolódó fogasléc vagy pörgőpárok szakaszosan egyik, majd az ellentétes értelemben mozognak attól függően, hogy a meghajtó kerék fogai melyik oldalon lévő

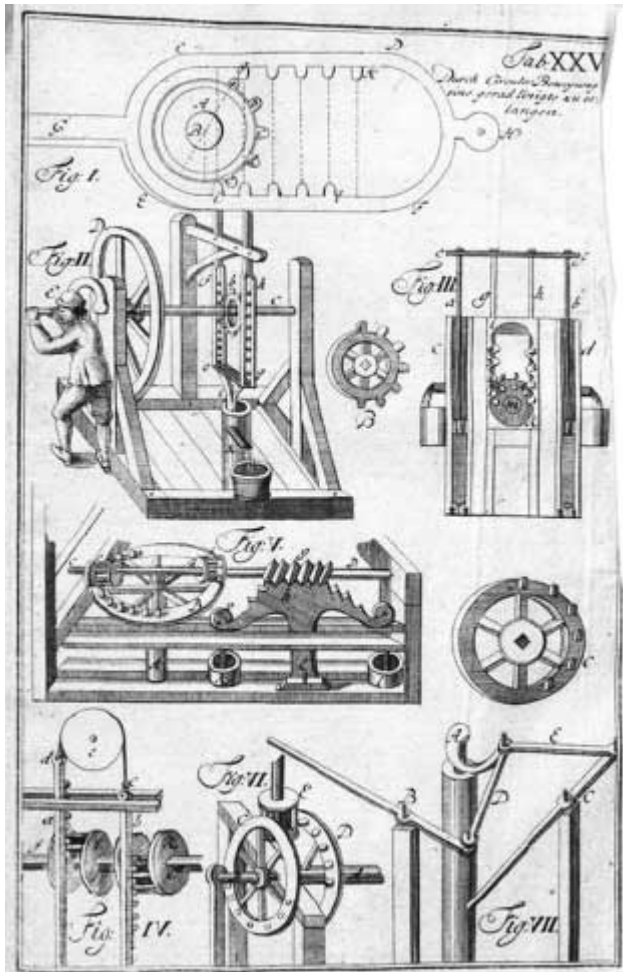
elem fogaival kapcsolódnak. A későbbi századok során a periodikus működésű szerkezetek megannyi, érdekes változata készült el.

A legegyszerűbb harmonikus mozgás elemi trigonometrikus függvényekkel írható le. Az egységnyi sugarú kör polárvektorát egységnyi fordulatszámmal forgatva a sugár függőleges és vízszintes vetületei a közismert szinusz és koszinusz függvényt állítják elő (lásd *2. ábra*).

A csillapítatlan, ideális fonálinga kis ϕ szögkitérésű lengései jól közelíthetők a T periódusidejű harmonikus lengő mozgással (lásd *3.a ábra*).

Az S jelű súlypontján kívül rögzített, a felfüggesztési pont körül lengő merev test a fizikai inga (*3.b ábra*). Kis ϕ határkitérésekhez tartozó T lengésidejének közelítő formulája a fonálingáéhoz hasonló, egyszerű összefüggés.

Lényegesen bonyolultabb a kettős fonálinga (*3.c ábra*), még inkább a kettős fizikai inga, például a meghúzott harang és a benne lévő harangnyelv viselkedése. A kölni dóm legendás nagyharangjánál egy egészen különös jelenség lépett fel: a mozgásba hozott harang néma maradt – a véletlenül adódott, ropant különleges méret- és tömegviszonyok okán ugyanis a harangtest és a nyelv lengéseinek periódusideje megegyezett, a haranggal együtt mozgó nyelv tehát nem verődött a harangtesthez (lásd *3.d ábra*).

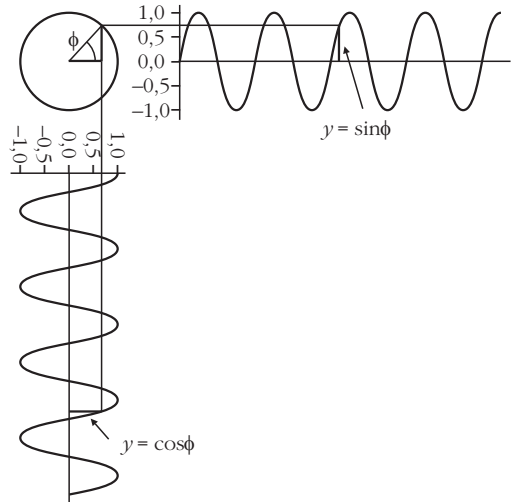
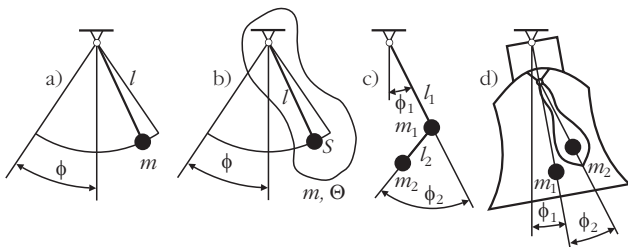


1. ábra. Jacob Leupold *Theatrum Machinarium* című könyvsorozatának egyik lapja

Az – elvileg végtelenül vékony és hajlékony – fonálon függő m tömeggel modellezett, csillapítatlan fonálinga és az m tömegű, a forgástengelyére számított Θ tehetetlenségi nyomatékú fizikai inga periódusidőit csak közelítőleg egyeznek meg az elemi fizika tanított összefüggésekkel. Alaposabban vizsgálva a problémát kiderül, hogy az ingák lengésidei függenek a maximális kitérés szögétől. A kitérések növekedésével a valós és az egyszerűsített modellhez tartozó lengésidek egyre inkább eltérnek.

Az időmérés fejlődésének korszaknyitó mozzanata volt az elvileg pontos ingaóra 17. század végi megalkotása. *Christiaan Huygens* (1629–1695) órájában az ingarúd egy hajlékony lemezzel kapcsolódott a felfüggesztéshez. A lemezt két oldalról egy-egy, ciklois alakra

3. ábra. Különböző ingák



2. ábra. A szinusz és koszinusz függvény előállítása

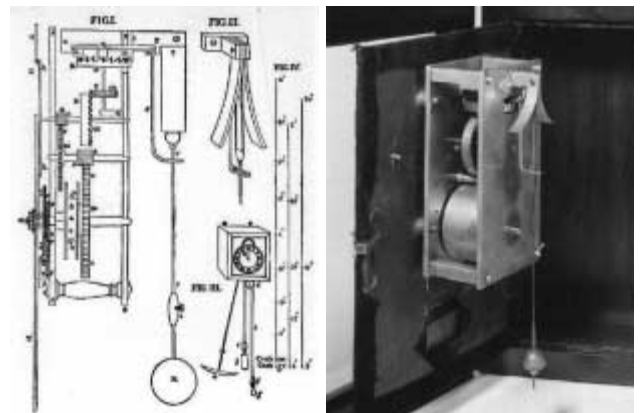
kiképzett terelő elem fogta közre. Az ingával együtt mozgó rugalmas lemez a terelő elemeknek ütközve azokra rásimult. A továbbblendülő inga tömegközéppontja így már nem az l sugarú köríven, hanem a terelő lemez alakjával megegyező ciklois pályán mozgott. Az ilyen kialakítású inga lengésideje elvileg állandó, függetlenül a maximális kitérés szögétől. A Huygens zseniális felfedezése után évszázadokkal később készített precíziós ingaórákban is ezt a megoldást alkalmazták. A ciklois ingaóra eredeti vázlatát és az első ingás szerkezetet a 4. ábra szemlélteti.

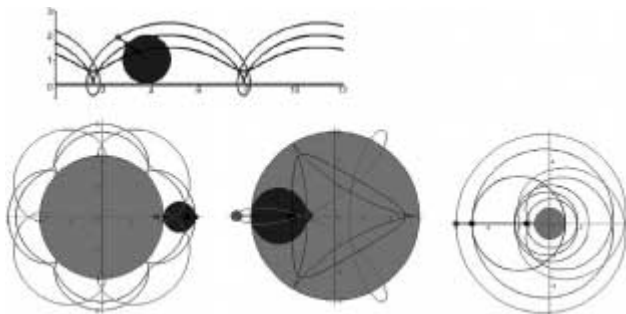
A 17–18. század matematikusai igen behatóan foglalkoztak a cikloisgörbékkel. A megannyi fizikai vonatkozásban is fontos görbecsalád elemei egy csúszás nélkül, tiszta gördüléssel mozgó körhöz rögzített pont pályái. Egyenesen gördítve a származtató kört, csúcsos, hurkolt és nyújtott közönséges ciklois görbék nyerünk. A származtató kört egy másik kör kerületén gördítve, hasonlóan csúcsos, hurkolt és nyújtott, úgynevezett epi-, hipo-, illetve periciklois-görbék adódnak. A cikloisok alapalakzatait az 5. ábracsoport mutatja be.

Az epi-, hipo-, illetve pericikloisok az álló kör középpontjához rögzített komplex koordináta-rendszerben a

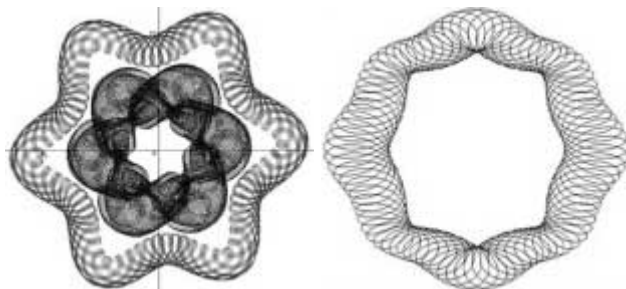
$$r = (a + b) e^{i\phi} + t e^{\frac{i(a-b)\phi}{b}} \quad (1)$$

4. ábra. Ciklois ingaóra eredeti vázlatja és a megvalósított szerkezet





5. ábra. Cikloisgörbék



6. ábra. Bonyolult cikloisgörbék

egyenlettel írhatók le, ahol a az álló, b a mozgó kör sugara, t a leképező pont távolsága a mozgó kör középpontjától, ϕ a mozgó kör elfordulását jellemző szögparaméter és i a képzetes egység. A cikloisgörbék különösen bonyolulttá tehetők az álló és a gördülő kör sugarainak alkalmas változtatásával (lásd 6. ábra).

A cikloidális származtatási elvet más görbékhez is alkalmazhatjuk. A mozgó kört például ellipszisen gördítve, a kör középpont és a leképező pont távolságát periodikusan változtatva a 6.b ábra alakzata adódik.

A Lissajous-görbék

Jules Antoine Lissajous (1822–1880) francia fizikus 1855-ben ismertette vibrációs mikroszkópiját (7. ábra). A készülék egyidejűleg két, egymásra merőleges irányban, különböző frekvenciával rezgetett tálcája egy igen különös jelenséget tett láthatóvá: a tálcában lévő homokrétteg felületén sajátos görbék jelentek meg.

Az egymásra merőleges (pl. az y és az x tengely irányú) rezgések eredője az

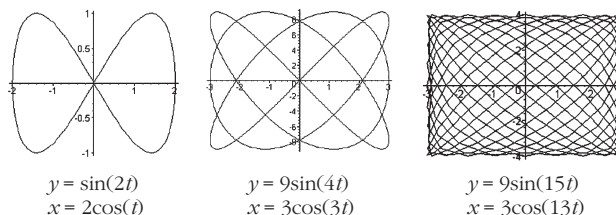
$$y = A \sin(k\omega t), \quad x = B \cos(m\omega t + \psi) \quad (2)$$

Lissajous-görbe. A görbék néhány egyszerűbb alakja a 8. ábráson látható.

A Lissajous-görbék számos fizikai jelenség magyarázatát adják. A korabeli oktatásban hamar megjelentek a Lissajous-alakzatok kísérleti előállításának szemléltető eszközei. A Blackburne-inga két, egymásra merőleges síkban lengő, kettős felfüggesztésű fonálinga (9.a ábra). Az egyes ingák lengésidejét felfüggesztő fonalaik hosszának változtatása biztosítja. Az alsó ingán lévő kis edényből kipergő homok vagy vékony tintasugár az alul elhelyezett lapon hoz létre Lissajous-görbéket.



7. ábra. Lissajous vibrációs mikroszkópja



8. ábra. Egyszerű Lissajous-görbék

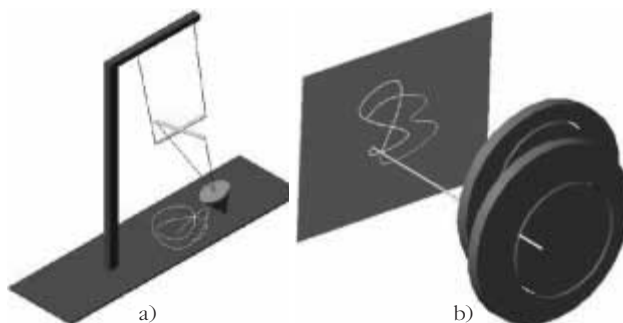
A tinta kiömlésével, avagy a homok eltömődésével a korabeli fizikatanároknak megannyi bosszúságot okozó, nehézkes szerkezet további, komoly, elvi hibája volt a lengések gyors csillapodása, a bizonytalanul megjelenő rajzolat vonalainak torzulása és összemosódása.

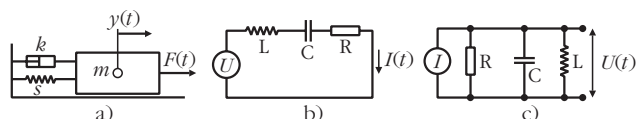
Látványosabb és szabatosabb eredményt adott a Pfaundler-féle optikai készülék (9.b ábra). E szerkezet fő eleme két, a fényt át nem eresztő festékekkel bevont, egymástól függetlenül forgatható üvegtárcsa. A tárcsákon egy-egy vékony, átlátszó, a forgástengelyekhez képest excentrikus, körgyűrű alakú csíkot alakítottak ki. A tárcsapárt forgatva és megvilágítva a fény csak a csíkok kereszteződésében tudott továbbhaladni. Elsötétített helyiségben kivetítve, vagy fényérzékeny fotóanyagot használva a Lissajous-görbék jobb megjelenítésére nyílt lehetőség. A fényképezés felfedezése után (a Pfaundler-készülék mozgó fénypontját hosszú expozíciós idővel rögzítve) készültek a 19. századi fizikakönyvek Lissajous-ábrái.

A mechanikai és villamos lengések analógiája

A kis kitérésű fonálinga mozgását harmonikusnak tekintve, a nagyon hosszú fonalakra függesztett Blackburne-szerkezet rajzolta alakzatok általános egyenlete elfogadható közelítéssel a (2) kifejezés. A Pfaundler-ké-

9. ábra. A Blackburne-inga és a Pfaundler-készülék





10. ábra. A mechanikai rezgések analógiái

szülék rajzolta fénycsíkok középvonalait elvileg pontosan jellemzi a Lissajous-görbék paraméteres formulája.

Az m tömegből, a k mértékű, sebességarányos csillapításból és az s állandójú, lineáris rugóból álló, $F(t)$ erővel gerjesztett mechanikai lengő rendszer vázlata a 10.a ábrán látható. Az L induktivitású tekercs, a C kapacitású kondenzátor és az R értékű ellenállásból összeállított, soros villamos kört a 10.b, ugyanezen elemek párhuzamos kapcsolását a 10.c ábra szemlélteti.

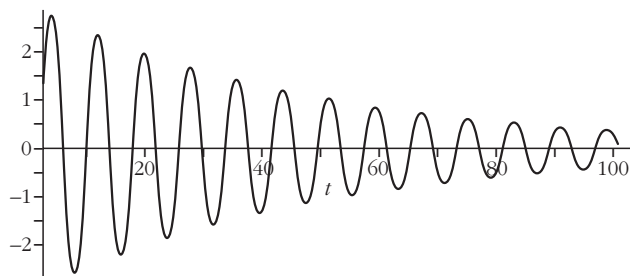
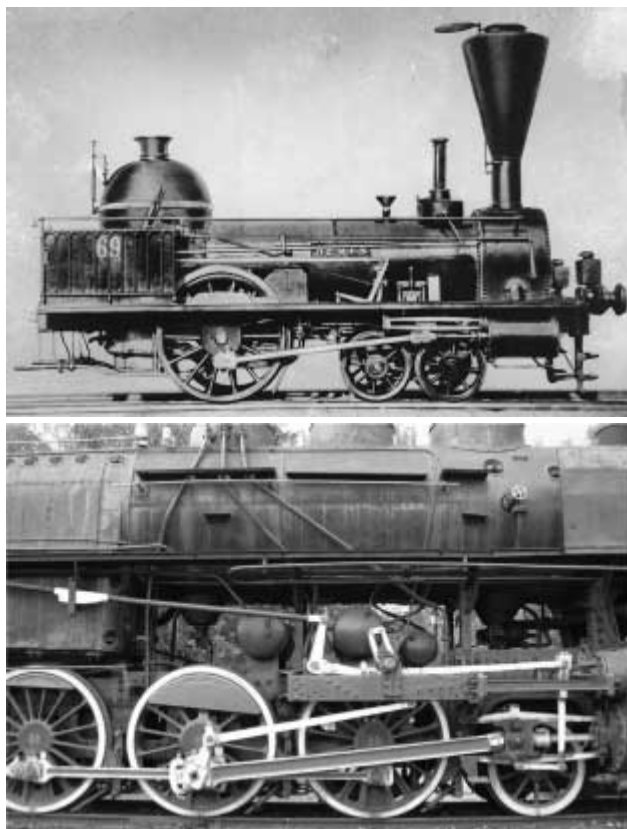
A 10.a ábrán látható szerkezetben a tömeg középpontjának időben változó elmozdulását $y(t)$ -vel jelölve, a mozgás differenciálegyenlete:

$$m \left(\frac{d^2}{dt^2} y(t) \right) + k \left(\frac{d}{dt} y(t) \right) + s y(t) = F(t).$$

A 10.b ábrán szereplő villamos körben az $U(t)$ feszültség hatására mozgó $Q(t)$ töltésmennyiség változását az

$$L \left(\frac{d^2}{dt^2} Q(t) \right) + R \left(\frac{d}{dt} Q(t) \right) + \frac{1}{C} Q(t) = U(t),$$

12. ábra. Gőzmozdonyok



11. ábra. Csillapuló rezgés

míg a 10.c ábra párhuzamos kapcsolásában az $I(t)$ áramerősség hatására kialakuló $\Phi(t)$ mágneses fluxus változását

$$\frac{1}{C} \left(\frac{d^2}{dt^2} \Phi(t) \right) + \frac{1}{R} \left(\frac{d}{dt} \Phi(t) \right) + \frac{1}{L} \Phi(t) = I(t)$$

differenciálegyenlet jellemzi. A három rendszer jellemzői között egyértelmű megfeleltetés létesíthető; a paraméterek alkalmas átalakításával a rendszerek differenciálegyenletei a közös

$$A \left(\frac{d^2}{dt^2} x(t) \right) + B \left(\frac{d}{dt} x(t) \right) + C x(t) = E(t) \quad (3)$$

alakra írhatók át. A fizikailag eltérő összeállítások tehát az elemi harmonikus oszcillátor különböző formái.

A (3) differenciálegyenletet például a

$$5 \left(\frac{d^2}{dt^2} x(t) \right) + 0,2 \left(\frac{d}{dt} x(t) \right) + 3 x(t) = 10 \sin(40 t)$$

alakban felírva, továbbá ha a $t = 0$ időpillanatban $x(t) = 0$, $\dot{x}(t) = 2$, a megoldást – a 0-hoz közelítő (csillapuló) lengés képét – a 11. ábra szemlélteti.

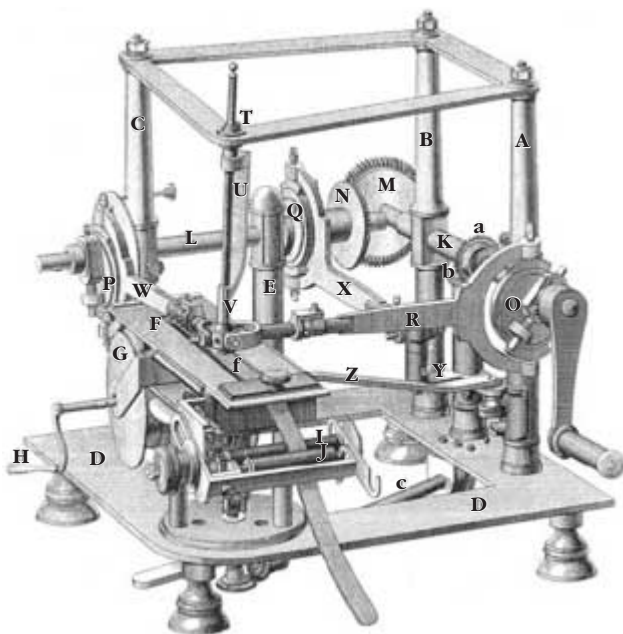
Jedlik rezgési készüléke

Jedlik Ányos (1800–1895) hosszú, alkotó élete során élénken érdeklődött a fizika új eredményei iránt. Tanári és kutató munkája mellett sokirányú más tevékenységet is folytatott. Kevésbé ismert tény, hogy az első magyar vasút indításának műszaki előkészítéséből is részt vállalt.

Az első, a Pest és Vác közötti vonalon üzembeállított gőzmozdonyok¹ kazánjainak vizsgálatában közreműködését több dokumentum tanúsítja. Az 1845. szeptember 2-án az egyetemnek írott felkérő levél szerint:

„A központi Vasút Igazgatóságának esedezésére megengedtetvén, hogy azon pálya használatára Seraingbul Cockerill és Társai (Belgium) erőműgyárából

¹ A korabeli szóhasználat egyaránt említett mozdonyt és mozgonyt. Ballagi Mórnak az 1860-as végén megjelent nagy szótára már különbséget tesz a két szerkezet között: a mozdony az önjáró, míg a mozgony a helyhez kötött gőzgépet jelentette. Az 1840-es években azonban a két szót vegyesen használták.



13. ábra. Jedlik-féle „rezgési készülék”

érkezett 4 mozgonyok úgymint Pest Buda Debrecen és Poson kazánjai nyilvános vizsgálat alá vételéhez a közigazgatás részéről is szakértők hozzájáruljanak és evégből a klyi [királyi] Egyetem részéről a Természet és eróműtan rendes tanítója Jedlik Antal [elírás!] kebelbeli építési Igazgatóság részéről pedig Igazgató Segéd Keczkés [nevét Kecskésként írja alá] Károly a tapasztalatandókról közös Jelentést teendő, rendeltetvén ki ettől.”

Az elvégzett mozdonyvizsgálatok fennmaradt hivatalos jegyzőkönyvei mellett Jedlik Ányos pénztárkönyvének bejegyzései is tanúskodnak az eseményekről. Jedlik tehát igen közelről, behatóan ismerte a korabeli csúcstechnikának számító gőzmozdony szerkezeteket. A mozdony gépezete a gőzhenger dugattyújának mozgását közvetíti a sínen futó, hajtó kerekre. Jedlik nagyszerű műszaki érzékének és e tárgybeli tájékozottságának eredménye egyértelműen felfedezhető azokban a szerkezetekben, amelyeket a periodikus mozgások sajátosságainak demonstrálására készített.

A 12. ábra felső képe az első magyar gőzmozdonyok egyikét, míg az alsó a 20. században épített legendás 424-es gőzmozdony gépezetét szemlélteti.

A jellegzetes, csuklókkal, kulisszákkal és excenterekkel kialakított karos mechanizmus és az Országos Műszaki Múzeumban őrzött, Jedlik-féle „rezgési készülék” konstrukciós hasonlóságai szembeszökők. A 13. ábrán bemutatott készüléket a Magyar Orvosok és Természetvizsgálók 1876-os, Máramarosszigeten rendezett nagygyűlésén ismertette. (A szép, pontos ábrák az előadás 1878-ban megjelent nyomtatott anyagából származnak.)

Az Ottmár János budapesti mechanikus műhelyében gyártott szerkezetet a jobb oldali, kézi forgattyúkar hozza mozgásba. A karral összekapcsolt *K* tengelyen az *O* jelű excenter és az *a* kúpfogaskerék találha-

tó. A forgattyú tengelyén lévő, *M* jelű kúpfogaskerék az *N* kúpfogaskerékkal kapcsolódva működteti a hátsó *L* tengelyt, illetve a tengelyen lévő *Q* (középső) és *P* (bal oldali) excentereket.

Az *O* excenter a *R* kar, a *P* excenter a *W* kar közvetítésével mozgatja az *U* jelű függőleges rudat. A rúd a készülék felső keretéhez a *T* gömbcsuklóval kapcsolódik, alsó végén a *V* jelű kardáncsukló található. Az excenterek működése során az *R* és a *W* karok kardáncsuklóhoz kapcsolódó végpontjai jó közelítéssel egymásra merőleges, harmonikus mozgásokat végeznek. A kardáncsukló által mozgatott *U* rúdhoz kapcsolt rajzoló elem közelítőleg két, egymásra merőleges tiszta mozgás eredőjét végzi. A rajzoló elem az *F* asztalon lévő *f* jelű szalagra tehát egy szabatos Lissajous-görbét rajzol.

A keletkező görbe *A*, *B* amplitúdói az excenterek sugarainak állításával szabályozhatók. A (2) egyenlet *k*, *m* paramétereit az *M*, *N* fogaskerek fogszámviszonyai, míg a ψ fázishelyzetet az excenterek – az *M*, *N* fogaskerek összekapcsolási helyzetétől függő – viszonylagos állása valósítja meg.

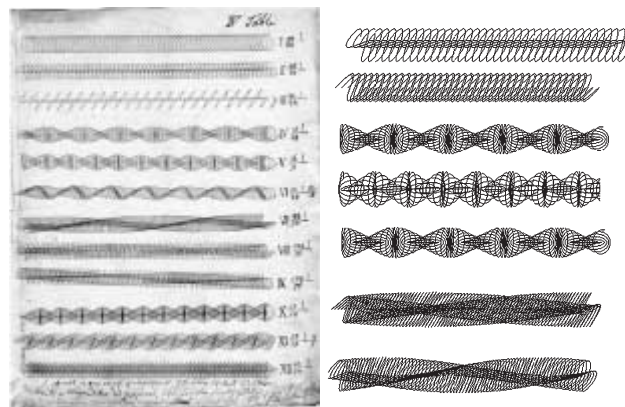
A *K* tengely *a* fogaskereke a függőleges tengelyű *b* kúpkeréket hajtja; ennek forgását egy további (a *D* jelű, alsó keret által takart) kúpfogaskerék pár közvetíti (a *D* keret nyílásában látható) *c* tengelyre. A *c* tengely végén lévő (a készülék bal oldali, elülső lába mögött látható) kúpkerék a vele kapcsolódó, függőleges tengelyű kúpfogaskereket forgatja. Az utóbbi hajtás a bal oldali, elülső láb fölött elhelyezett szalagtovábbító szerkezetet működteti.

Az *O* excenter a *X* jelű kart közelítő harmonikus mozgásba hozza. Az *X* kar az *Y* szögemelőn keresztül az *f* szalag haladási irányára merőleges irányú, periodikus mozgást biztosít.

A készülék valamennyi eleme szabatos kapcsolatban áll a forgattyúkkal. A készülék hajtókarját tehát tetszőlegesen hajtva a haladó és a haladási irányára merőleges rezgéseket végző szalag, valamint a Lissajous-görbét leíró rajzelem között egyértelmű, pontos kinematikai kapcsolat van.

A készülék különféle beállításával felvett, eredeti rezgési sávminták a 14.a ábrason láthatók.

14. ábra. A Jedlik-készülék által rajzolt és a matematikai programmal előállított alakzatok



Az egymásra merőleges rezgő mozgás kettős, a folyamatos haladó mozgás, valamint a harmadik, a haladás irányával ismert szöglet bezáró mozgás együttesének komplex egyenlete:

$$y_j = [A \sin(m_j t + \phi) + i B \sin(k_j t)] e^{i\alpha} + v t. \quad (4)$$

A Jedlik-féle beállítási paramétereket alkalmazva, a (4) egyenlet szerinti, s a Maple V. R 10 szimbolikus matematikai programmal előállított alakzatok igen jól egyeznek a Jedlik-készülék által rajzoltakkal (14.b ábra).

Guilloche-minták a bankjegyeken

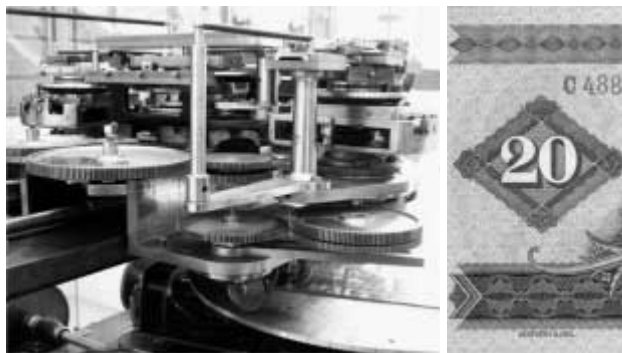
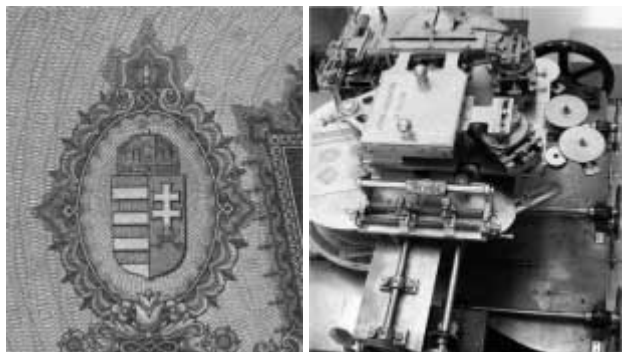
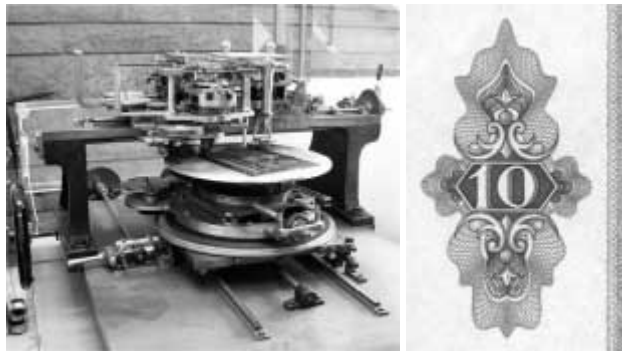
A cikloidális és Lissajous-görbék látványos, bonyolult szövevényességű alakzatai érdekes gyakorlati alkalmazást nyerne a Guilloche-technikában. A Guilloche-mintákhoz hasonló díszítő alakzatok már némely, az ókorban készült tárgyakon is felfedezhetők.

A 17. századtól kezdődően mind finomabb kidolgozású, gépi minták eleinte ékszerek, drága fegyverek, dísztárgyak felületeit ékesítették, majd a bankjegyeknél és más, hamisítás ellen védeni szándékozott nyomtatványoknál (bélyegek, részvények, kötvények) is jól használhatónak bizonyultak.

A Magyar Nemzeti Bank 1922-ben alapította a hazai Pénzjegynyomda Rt. jogelőd vállalatát; 1923–25 között épült a vállalatnak ma is otthont adó Markó utcai üzem. Az első világháború végére tökéletesen elértéktelenedő koronát felváltó pengő bankjegyeinek megtervezésében és gyártásában a vállalat szakemberei 1926–29 között igen komoly fejlesztést végeztek. A második világháború után bekövetkezett – a történelemben a legnagyobb – infláció a nyomdától minden korábbinál intenzívebb munkát követelt. A napról napra megjelenő, irreális címletű bankjegyek tömeggyártása után a forint megtervezése és előállítása 1946-ban kezdődött meg.

A Pénzjegynyomdában őrzött, védett műszaki emlék az egykori német Natherny cég gyártmánya, vélhetőleg az 1900-as évek elején készült, és sok évtizeden keresztül állította elő pengő, majd forint bankjegyeink, a békekölcsön jegyek, postabélyegek stb. nyomólemezein a biztonsági és díszítő mintázatokat. A tengelyek, hengeres és kúpos fogaskerekek, fogasléc, csiga- és csavarkerék hajtások, menetes orsók rendkívül bonyolult rendszere több, forgó és haladó mozgás alkalmasan egybehangolt összetételével állította elő a rézlemez vékony viaszrétegét karcoló tű pályáját (15. ábra).

A matematikailag szabatos, periodikus függvény-minták alakját és méreteit a gép megannyi beállítási lehetősége biztosította. A cserélhető fogaskerékkészlet különféle darabjait a megfelelő tengelyekre szerelve, a szabályozó csavarorsókat más-más értékekre beállítva az összetevő mozgások pályasugarai, haladó és forgási szögsebességei változtak. Ezzel a sáv- és rozettaminták formái és vonalsűrűségei módosultak. A mai kulcsmásoló gépekhez hasonló módon, egy mesterdarab letapintásával feliratokat is lehetett a rézlemezre vinni.



15. ábra. A Pénzjegynyomdában használt biztonsági és díszítő mintázatokat előállító rajzgép és a vele készült pénzjegyek részletei.

A gépen több hónapos munkával készült el egy nyomólemez: a „gilosminták” pontos alakját ugyanis nem lehet szabatosan előre megtervezni. A beállítási paraméterek igen kis módosításával a rajz alakja és méretei nagymértékben változnak. A sok évtizeden keresztül használt gépet két-három szakember ismerte és kezelte: ők szakmai titkaikat egy-egy tehetséges utód betanításával, nemzedékről nemzedékre adták tovább. Ma a Pénzjegynyomda régi gépén hajdan még dolgozó utolsó „gilosőr” (a gépet kezelő szakember) sem él már.

Rezgések egy másik világból...

1848-ban az amerikai Hydesville-ben a Fox nővérek felfedezték, hogy a ráhelyezett, összeérő kezükkel könnyedén érintett kis asztal – külső hatás nélkül – mozgásba jöhet. Az asztaltáncoltatás divatja mihamar elterjedt az egész civilizált világban; sőt a szellemvilág kopogó üzeneteinek megfejtésére különféle ravasz (pl. a táblajátékokhoz hasonló) segédeszközök is mihamar forgalomba kerültek.

Az „asztaljártatás” tudományos vizsgálata – talán elsőként – a magyar fővárosban történt meg. A *Pesti Napló* 1853. április 14-i és május 1-jei számában Jedlik Ányos, az egyetem természettani tanára színes ismertetést ad ilyen tárgyú kísérleteiről.

Tapasztalata szerint: „egy asztal, melyre a körülötte ülő személyek kezeit akképp helyezik, miként mind-egyik személy hüvelykjei egymással, balkezi kis ujjá a bal felül, a jobb kezi kis ujjá pedig a jobb felül ülő személy kis ujjával jól érintkezvén a kezek által körülbelül 1-2 óráig zárt láncolat képeztessék, önkényes mozgásba jő, mintha bűvös erők izgattatnék. Ezen csodálatra méltó tünemény előttem annál inkább hihetetlennek látszott, minél kevésbé lehete azt az eddig ismert természeti erők hatásából következtetni; de nemsokára alkalmam lőn e meglepő tünemény valódiságáról teljesen meggyőződnöm.”

Ugyanis: „...az angol kisasszonyok nevelő intézetében tartott delejes kísérleteim közben a n. fejedelem asszony által az említett tünemény mibenlétéről kérdezettvén ... javaslám, hogy a számos növendék kisasszonyok idősbjei közül néhányan vállalkoznának az említett meglepő tünemények előidézésére”.

Az első kísérlet oly jól sikerült, hogy „Az örvendő kisasszonyok mindaddig hagyták az asztalt kezeik alatt nyugtalanzkodni, míg annak (...) gyöngye lábai össze nem törtek”.

Másnap a vizsgálatot új asztallal és egy székkal megismételték. „Egy óra lefolyta után a kis asztal lassu mozgással önkényt oly helyzetet vőn, melyben hossza éjszaknyugot felé vala irányozva. Ebben a helyzetben azonban nem sokáig maradt; mert majd az egyik,

majd a másik oldalra dűledezett, majd egyik majd a másik végével ágaskodott, többnyire két lábon, de némelykor egy lábon is állott, mindenkor mintegy feldűlni törekedvén, s valóban többször fel is dűlt volna, ha a körülállók által fel nem tartatik vala; utóbb meglehetősen sebességű forgási mozgásba is jött. Mind-ezen mozgásokat egymás után váltogatván a teremben minden irányban kalandozott, értetődően nem magára hagyatva, hanem a felső felületét gyöngéden érintő kezek által képzett láncolat hatása alatt.”

A bizarr jelenségre hamarosan frappáns magyarázat is született: „...az emberek tagjai idegrendszerének izgékonyságához képest előbb vagy utóbb reszkető mozgást vesznek fel, ha folytonosan valamely kényelmetlen helyzetben tartatnak. Midőn a kezek reszketése már valamennyire növekedett, a láncolatot alakító kezeknek különirányú reszketései a rezgő testek rezgéseinek egymáshoz alkalmazkodási szabálya szerint lassanként összehangzókká, az az egyidősekké (és egyenirányuakká) lesznek, s mint ilyenek egy eredő erőt (vis resultans) állítanak elő, mely az asztal megmozdítására már elégséges... Ha a kezek reszketései aképp egyezkednek egymással, hogy mindannyian egy eredő erő létesítésére öszmunkálkodjanak, akkor az asztalnak ezen eredő irányában haladnia kell.”

Az okfejtést lakonikus szerkesztői kommentár zárja: „S e sorokkal bezárjuk ezuttal az asztaltáncz kérdését, arra kérvén tisztelt levelezőink s dolgozó társainkat, miszerint mindaddig, míg valamely felette fontos tapasztalás a jelen nézeteket megczáfolni nem képes-e tekintetben magukat további tudósításokkal fásztani ne méltóztassanak.”

A FIZIKA TANÍTÁSA

HERTZ-KÍSÉRLETEK VIDEOMAGNÓVAL?

Rárosi Ferenc, Papp Katalin
SZTE, Kísérleti Fizikai Tanszék

A rádiófrekvenciás tartományba eső elektromágneses hullámok terjedésének kísérleti tanulmányozása iskolai szituációban nagy kihívást jelent. A kísérleti bemutatáshoz szükségünk van egy adókészülékre, antennákra és egy vevőre. Az adókészülék hagyományosan erre a célra gyártott nagyfrekvenciás oszcillátor, a vevőkészülék hangolt rezgőkör. A kísérlet sikeréhez fontos a megbízható adókészülék, rendkívül kritikus tényező az antennák megválasztása és a vevő rezgőkör jó hangolása. Ezek az eszközök, különösen egy megbízható adókészülék sajnos kevés iskolában állnak rendelkezésre, így a kísérleti szemléltetés rendszerint elmarad, és az amúgy sem könnyű anyagrészt gyakran kísérlet nélkül, elméleti úton tárgyalják.

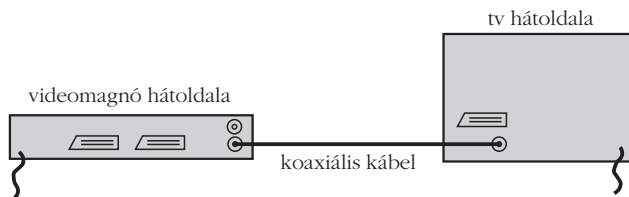
Vannak azonban környezetünkben olyan eszközök, amelyek segíthetnek a tananyagrészt szemléltet-

séhez. Például hétköznapi szórakoztatóelektronikai berendezésekkel könnyen készíthetünk megbízhatóan működő és látványos demonstrációs eszközt, megoldást jelenthet egy videomagnó és egy televíziókészülék alkalmazása.

Miért alkalmas a videomagnó adókészüléknek? (technikai feltételek)

Amikor egy televíziót és egy képmagnót csatlakoztatunk, az alábbi egyszerű elvárásaink vannak:

- Akármilyen televíziókn is van, a képmagnót össze lehessen vele kapcsolni.
- A képmagnó rendelkezzen önálló tunerrel (itt rögzítésre is alkalmas videomagnóról beszélünk, ezt a



1. ábra. Műsor lejátszása koaxiális kábelen keresztül

nemzetközi gyakorlat VCR rövidítéssel jelöli), így bármely beprogramozott adást képes legyen rögzíteni függetlenül attól, hogy mi a televízió milyen csatornát nézünk.

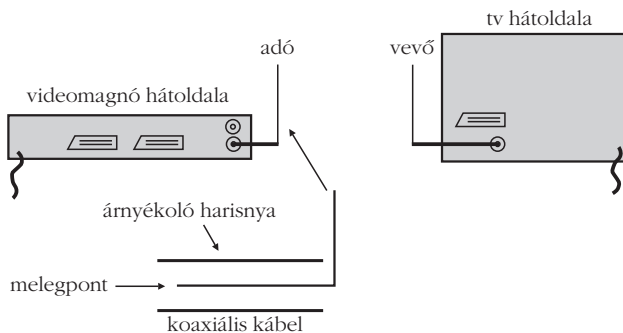
Ennek megfelelően a tv hátlapján található egy koaxiális antenna bemenet, a videomagnó hátlapján egy koaxiális bemenet és kimenet. Az antennát koaxiális kábelen keresztül a videomagnó koaxiális bemenetéhez kapcsoljuk, így a magnó tetszőleges beprogramozott adást képes rögzíteni, a kimeneten pedig minden bemenő jel megjelenik. Így tv-antenna bemenetét a videomagnó koaxiális kimenetéhez csatlakoztatva, a tv-n tetszőleges csatorna műsorát nézhetjük, függetlenül attól, hogy a videomagnóval készült-e és mely csatornáról készül felvétel. Ha egy kazettát szeretnénk lejátszani videomagnóval, akkor a videomagnó koaxiális kimenetén egy, a magnóra jellemző csatornán megjelenik az adás tulajdonképpen tv-adás formájában, ezt a tv-készülék úgy érzékeli, mint egy önálló televízióadót (adóként megkereshető a képmagnó jele és beprogramozható, mint akármelyik másik csatorna). Tehát kazetta lejátszásakor a videomagnó egy önálló tv-adóként működik, és ezt érzékeli a tv a koaxiális összekötő kábel segítségével, így teljesül az is, hogy bármilyen (pl. régi) tv-készüléken lejátszható a műsor. A képmagnó az UHF (Ultra High Frekvenci) sávban sugároz ki jeleket. (A kisugárzott videojel vivőfrekvenciáját az alábbi formulával kaphatjuk $f_v = 471,25 + 8(N-1)$ MHz, ahol N a csatorna számát jelöli, ami 21-től 69-ig változhat. A kisugárzott hangjel vivőfrekvenciája: $f_A = f_v + 5,5$ MHz.)

Megjegyzés: általában másfajta kábellel is összekötjük a tv-t és a videomagnót, a SCART-kábellel, ez kazetta lejátszásokor közvetlen összeköttetést és jobb minőséget biztosít. Ezt a kísérlet során nem használjuk, *ha csatlakoztatva van, akkor azt ki kell húzni!*

Hogyan járunk el?

Játsszunk le egy videofelvételt, a koaxiális kábelt *basználva* (1. ábra) a jel átviteléhez. Ha ezt a koaxiális kábelt elvágjuk, akkor megszűnik a galvanikus kapcsolat a videomagnó és a tv-készülék között, a lejátszott műsort természetesen nem láthatjuk a képernyőn.

Ha azonban az elvágott kábelekből adó- és vevőantennákat alakítunk ki, akkor az „adó” (videomagnó mint műsorforrás, oszcillátor és modulátor és az adóantenna) által kisugárzott elektromágneses hullámokat újra foghatjuk a tv-készülék segítségével. Az így



2. ábra. Antennák kialakítása

megvalósított összeköttetés a képmagnó kicsiny teljesítménye miatt csak néhány méteres távolságok áthidalására alkalmas.

Az *antennák kialakításához* egyszerű dipólantennákat használunk, az adó- és vevőantennák teljesen egyformák. Magából a kábelből is könnyen kialakíthatók közvetlenül, ha a koaxiális kábel külső köpenyét és az árnyékolását, valamint a belső szigetelő réteget kibontva szabaddá válik a melegpont (a középső vezető). Az így kibontott középső vezetőt derékszögben meghajlítva körülbelül 20–30 cm hosszúságú antennát alakítunk ki (2. és 3. ábra). Ideális érték a hullámhossz – lásd a frekvenciafeltételt: $f_v = 471,25 + 8(N-1)$ MHz, ahol N a csatorna számát jelöli, ami 21-től 69-ig változhat – negyede. *A gyakorlatban azt tapasztaltuk, hogy az antenna hossza nem kritikus paraméter!*

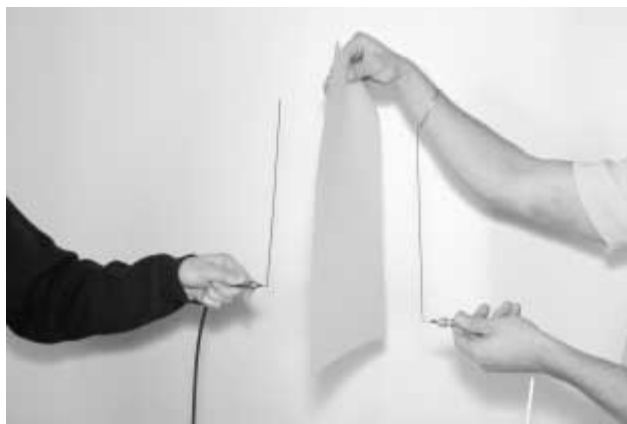
A kábel külső, árnyékoló vezetőharisnyájából esetleg kialakítható az antenna másik elektródája, de ez tapasztalataink szerint nem befolyásolja az átvitel minőségét. Ennek magyarázata az, hogy mindkét külső vezetőharisnya közelítőleg azonos potenciálon van.

Az elektromágneses hullámok felfogása a vevőantennával

Az így kialakított adó- és vevőantennákkal megvalósítható a rádiófrekvenciás összeköttetés; körülbelül fél méteres távolságon belül az antennákat párhuzamosan beállítva újra látható a képmagnón lejátszott műsor a tv-készüléken. (Az így átvitt műsor minősége – a tv képe és hangja – csak kicsit rosszabb, mint a közvetlen kábeles összeköttetés esetében.)

3. ábra. Gyakorlati megvalósítás





4. ábra. Papírlap az antennák között

Az elektromágneses hullámok áthaladása közegen

Az előbbi bekezdésben tárgyalt elrendezésben a két antenna közé szigetelő lapot (pl. kartonlapot) helyezve bemutatatható, hogy az elektromágneses hullámok képesek áthaladni a szigetelő falon (4. ábra). A két antenna közé fémlapot helyezve már megszűnik az átvitel.

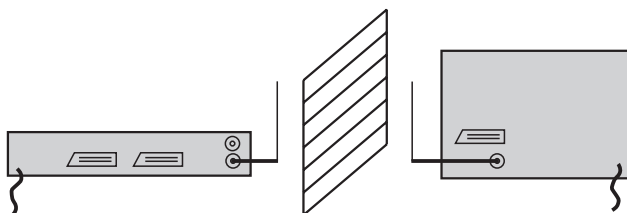
Az elektromágneses hullámok gyengülése

A kibocsátott sugárzás intenzitása a divergencia miatt a távolság négyzetével csökken. Azt, hogy a távolsággal csökken a sugárzás erőssége, jól mutatja, ha az antennákat egymástól távolítjuk, erősen romlik a vétel minősége. Fontos, hogy közben az antennák párhuzamosak legyenek.

A kibocsátott sugárzás polarizáltsága

A dipolantenna által kibocsátott sugárzás polarizált, az elektromos térerősségvektorok az antenna síkjába, a mágneses indukcióvektorok erre merőleges síkba esnek (ez kis távolságokban teljesül jó közelítéssel). Ha az adóval eredetileg párhuzamos vevőantennát lassan elfordítjuk, a vétel minősége folyamatosan romlik, és 90 fokalnál gyakorlatilag megszűnik a vétel, tovább forgatva folyamatos javulás tapasztalható 180 fokig (ekkor megint párhuzamosak az antennák), majd újra romlás és így tovább. Megállapítható tehát, hogy párhuzamos antennák esetén legjobb, merőleges antennaállás esetén pedig gyakorlatilag teljesen leromlik

6. ábra. Polarizáció



5. ábra. Az alkalmazott szűrő

a vétel. A vétel annál jobb (a vevő irányába eső térerősség vetülete annál nagyobb), minél kisebb az adó- és vevőantenna által bezárt hegyesszög.

Polarizációs szűrő készítése

Az 5. ábrán látható elrendezésű vezetőkeret ($d \approx 9$ cm) aránylag jó hatásfokú polarizációs szűrőként használható, egy ilyen rácsot az antennákkal párhuzamosan tartva (6. ábra) erősen leromlik a vétel minősége, továbbá két egymásra merőleges rácson már jelentős gyengülést szenvednek a kisugárzott elektromágneses hullámok.



További, a „hagyományos” URH-adóval bemutatatható kísérletek (pl. interferencia, irányfüggés vizsgálata) elvégzésével is próbálkozhatunk, de a detektálást, ami esetünkben a tv-képernyőjén látható adás minősége, megnehezíti a helyiségben a falakról történő visszaverődés következtében eleve kialakuló állóhullámok jelenléte.

A kísérleteket több és jelentősen különböző korú videomagnóval is elvégeztük és azt tapasztaltuk, hogy a magnó típusától és korától gyakorlatilag alig függ a tapasztalható jelenségek sorozata. Egyéb tényezők szerepe nagyobb lehet a videomagnó megválasztásánál, például a helyiségben levő nagy méretű fémtárgyak, fémből készült berendezések, korlátok stb. befolyásolhatják – némiképpen – a vételt.

Az elektromágneses hullámok tulajdonságainak tanulmányozása a fényhullámokkal megszokott, látványos kísérlet a fizika tanításában. A fentiekben ismertetett egyszerű módszerrel bővül a lehetőség: a látható fénytől eltérő hullámhosszúságú, a tanulók környezetében megtalálható mindennapos eszközökkel. Ez motiváció és szemléletformálás szempontjából is fontos lehet.

Irodalom

1. A. Iscra, M. T. Quaglini, G. Rossi: Introducing radio transmission with a simple experiment. *Science in School*, issue 3, winter 2006.
2. A. Iscra, G. Rossi, L. Bove: *How to make a simple radiotransmission by using a videorecorder and a TV-receiver* www.iscra.net/radio_educational/english/englishvcr.ppt

Az Európai Unió által támogatott oktatási fesztiválok sorozata 2000 novemberében kezdődött az első *Physics on Stage* (Fizika a színpadon) fesztivál megrendezésével, amelynek akkor a CERN (Genf) adott otthont. Három *Physics on Stage* fesztivál megrendezése után 2004 októberében már nemcsak a fizika oktatásával kapcsolatos tapasztalatcserére hívták a lelkes tanárokat, hanem a többi természettudomány képviselőit is bevonva szervezték meg az első *Science on Stage* (Természettudomány a színpadon) című nemzetközi természettudományos oktatási fesztivált.

2007 áprilisában Grenoble-ban *Janez Potocnik*, a tudományért és kutatásért felelős EU-biztos lehűtötte a lelkes résztvevők hangulatát, amikor bejelentette, hogy az EU a továbbiakban megszünteti a *Science on Stage* fesztiválok közvetlen támogatását. Ezért egy ideig úgy tűnt, hogy a sorozatnak vége szakad. A németek azonban fölvetették a kesztyűt, és elhatározták, hogy a saját nemzeti „válogatóversenyüket” – a *Science on Stage Deutschlandot* – próbaképpen kiterjesztik, és korlátozott számban meghívják rá európai tanárokat is. Sikerült német ipari cégektől szponzorokat is szerezniük, és így – bár a korábbi évekenél jóval szerényebb költségvetés mellett – 2008-ban is megrendezésre került a *Science on Stage* Berlinben, október 23. és 26. között. A jóval szerényebb költségvetés azt is jelentette, hogy sem a nemzeti válogatóversenyek nem kaptak külön finanszírozást, sem a résztvevők útiköltségét nem fizették. Azoknak a tanároknak azonban, akik a nemzeti válogatóversenyeken, és az azt követő nemzetközi zsűrizésen bejutottak a fesztiválra, a szállás- és étkezési költségeit most is állták a szervezők.

Magyarországi válogatóverseny

A magyarországi válogatóversenyt – a költségek minimalizálása érdekében – az Országos Középiskolai Fizikatanári Ankéttal párhuzamosan, Békéscsabán rendeztük meg 2008 tavaszán. A németek legfeljebb négy fő részvételét engedték meg országonként, így a jelentkezett hat kolléga közül a következő négyet választotta ki a magyar zsűri:

Márki-Zay János (fizika, Hódmezővásárhely)

Fodor Erika (kémia, Budapest)

Varga István (fizika, Ajak, általános iskola)

Szoboszlai Zoltán (fizika, Debrecen).

Ezek a kollégák vállalták azt is, hogy a nemzetközi zsűri pozitív döntése esetén saját költségen kiutazzanak Berlinbe. A kiválasztott kollégák anyagát – angolra fordítva – elküldtük Berlinbe, ahol a fesztivál nemzetközi zsűrije is értékelte őket. A benyújtott pályázatok magas színvonalát mutatja, hogy a nemzetközi zsűri mind a négyüket meghívta a fesztiválra!

Előkészületek

Az ősz folyamán a Kutató Tanárok Szövetségének elnöke – Fodor Erika – közbenjárt az MTA elnökénél, és ennek köszönhetően az MTA anyagi támogatást nyújtott a magyar részvételhez. Ezzel egyrészt professzionális minőségű posztereket és szórólapokat lehetett készíteni a kiállítási standok feldíszítéséhez, másrészt valamennyire mérsékelni lehetett a kiutazó tanárookra háruló anyagi terheket. Ezúton is szeretnénk köszönetet mondani az MTA-nak ezért a támogatásért.

A Science on Stage fesztivál

A fesztivált az Urania nevű kultúrközpontban rendezték meg, amelynek a funkciója talán leginkább a magyar TIT-hez hasonlítható. A fesztiválon több, mint 300 tanár és oktatási szakember vett részt 27 európai országból. Újdonság, hogy az európai országok mellett az idén Kanada is képviseltette magát.

A szervezők hat fő témát adtak meg:

- Gyakorlati kísérletek a jobb motiváció és megismerés érdekében.
- Természettudomány az óvodában és az általános iskolában.
- Interdiszciplináris oktatás.
- Önismeret szerepe az oktatási folyamatban.
- Vajon a nem-formális oktatási kezdeményezések mindig kedvező hatásúak?
- Magányos szórakoztató, vagy moderátor? Természettudományt oktató tanár a jövőben.

A hat témakör köré csoportosultak a bemutatott kísérletek és a fesztivál alatt tartott műhelyek is. A magyar delegáció az első tematikai csoporthoz tartozó gyakorlati eszközökkel, kísérletekkel szerepelt.

Márki-Zay János sok témát átfogó eszközökkel jelentkezett. Bemutatta az általa kifejlesztett szívószálas elektrosztatikai modellt, nagy sikert aratott papírral kapcsolatos kísérleteivel, megcsodálták a szilárdtestek (kristályos és amorf anyagok) azonos méretű buborékokkal megvalósított Bragg–Nye-féle szerkezeti modelljét, amellyel vakanciák, diszlokációk, szemcsehatárok is jól modellezhetők, valamint láthattunk olyan hullámkádat is, amelyben két, egymással nem keveredő, kissé különböző sűrűségű folyadék határfelületének viselkedését lehetett szépen demonstrálni.

Fodor Erika a többször díjat nyert kémiai kísérletező készletét hozta el, amellyel minimális anyagfelhasználás mellett, veszély nélkül, tanulókísérleti szinten végezhető el látványos, tanulságos és meglepő kémiai kísérletek.

Varga István nyomásváltozásokkal kapcsolatos kísérleteket hozott és mutatott be; időnként hangos robbanások hívták fel kísérleteire a figyelmet.

Szoboszlai Zoltán megmutatta, hogy egy olcsó webkamera hogyan használható fel alfa-részecskék detektálására. Csak egy apró, mindenki által könnyen elvégezhető átalakítás szükséges hozzá, és máris a számítógép képernyőjén látjuk az alfa-részecskék által okozott felvillanásokat. Valamennyi kísérlet jellegzetessége, hogy olcsó, egyszerű eszközökből megépíthető, és könnyen használható.

Az eredmények

A fesztivál október 26-án délelőtt a díjak odaítélésével ért véget. Mind a hat kategóriában adtak ki díjakat. Nagyon nagy örömünkre szolgál, hogy ismét született magyar siker: *Márki-Zay János megnyerte a legnépszerűbb kategória versenyét*, és elhozta a *Gyakorlati kísérletek a jobb motiváció és megismerés érdekében* című kategória díját, maga mögé utasítva a nálunk sokkal gazdagabb nemzetek sok-sok résztvevőjét (15 ország 72 kiállítóját). Márki-Zay János már 2002-ben is díjazott volt a *Physics on Stage* fesztiválon, akkor a három fődíj egyikét nyerte meg. Gratulálunk! Igazán jó érzés volt magyarnak lenni Berlinben! A fesztivál során nagy érdeklődés övezte a magyar standokat, s biztosak lehetünk benne, hogy a magyar kiállítók ötleteit a külföldi kollégák közül sokan át fogják venni, és használni fogják a mindennapi munkájuk során. Jó lenne, ha ezek az ötletek nemcsak külföldön, hanem itthon is elterjednének, és ezekre felfigyelnének az oktatási kormányzat illetékes szervei. Megfontolandónak tartanánk, ha egyes eszközöket felvennének a hivatalos taneszközlistára, hogy minél több iskola használhassa őket. Ekkor lenne igazán nagy hatása a kiváló magyar tanárok eszközfejlesztő és innovatív tevékenységének az ország természettudományos oktatására!



Álljon itt néhány gondolat a fesztiválon részt vett magyar fizikatanárok beszámolóiból is!

MÁRKI-ZAY JÁNOS: Első részvételem alkalmával, 2002-ben mindössze három fődíjat osztottak ki a 23 országból érkező 450 fizikatanár közönségsvázata alapján, s akkor én kaptam meg a második díjat 5000 euró pénzjutalommal. (Tudomásom szerint ennél nagyobb összeget magyar fizikatanár az utóbbi években nem kapott.) A 2003-as konferencián pedig mint előző díjnyertes vettem részt, ahol demonstrálnom kellett, hogy a korábbi jutalmat megfelelően használtam fel.

Tapasztalataim szerint a DVD-knek kisebb a jelentősége (azt a látogatók inkább szeretik magukkal vinni), az élőben bemutatott kísérletek népszerűek. Kiállításom sok érdeklődőt vonzott, ezért időm javarésze az előkészülettel és a bemutatással ment el. Ennek hátránya, hogy mások kiállításából nem sokat láttam.

A díj átadásakor a kiállításommal kapcsolatban az emelték ki, hogy sikeresen hidaltam át szívószálas kísérleteimmel a fizika és kémiai kísérletezés közötti nehéz akadályokat, illetve papírkísérleteimmel megmutattam a geometriai és a fizikai tulajdonságok közötti szoros összefüggéseket.



Márki-Zay János átveszi a díjat

Felhívnom a figyelmet arra, hogy Európa fejlettebb régióiban a természettudomány nemcsak az általános iskolákban, hanem már az óvodákban (Kindergarten) is szerepet kap, miközben mi itt Magyarországon mind az általános, mind a középfokú oktatásban jelentősen leszűkítettük a természettudományos tárgyak oktatását. Ha vissza akarunk kapaszkodni az európai élbolyba, akkor nagyobb figyelmet kell fordítanunk a természettudományokra!

FODOR ERIKA: Jó volt látni, hogy PISA-felmérés ide vagy oda, a természettudományt oktató magyar tanárok egy részének (én kb. az oktatók ötödét sorolom ide) módszertani kultúrája egyáltalán nem marad el a külföldi kollégáéktól, míg a tízedük ilyen jellegű teljesítménye talán meg is haladhatja azt. A megszokott, napi rutinból kitekintve rengeteg hasznos, a saját tanításomon belül megvalósítható, illetve továbbfejleszthető ötletet, módszert láttam.

Kanadától Németországig számos sikeres és nálunk is követendő megoldást láttunk arra, hogy a Siemens, a Bayer és egyéb *multicégek komoly pénzeket, még komolyabb – szakmai és pedagógiai szempontból is átgondolt – terveket dolgoznak, dolgoztatnak ki, és ezeket támogatják* a gyakorlatban, hogy a fiatalok érdeklődését a természettudományos kutatás irányába tereljék.

Megkeresik az általuk legjobbnak ítélt tanárokat, és *maguk kezdeményezik* a több iskolát, évfolyamot is érintő projektek részletes kidolgozását. Ezeket a programokat azután az ötlettől az óravázlatokig, taneszköz készletig, könyvig, munkafüzetig, DVD-ig, versenyekig, értékelésig támogatják.

Rájöttek, hogyha gyors és hatékony munkát, tanítást akarnak, akkor *közvetlenül* a tanárokhoz és a diákokhoz kell fordulniuk, és nem az oktatási kormányzathoz.

Egy másik megvalósult lehetőség (pl. Kanadában), hogy a multik saját üzemükön belül a közoktatási gyakorlattal is rendelkező, saját alkalmazásukban lévő kiváló tanárokkal *kutató tanlaborokat* hoznak létre, ahová évente rendszeresen érkeznek tanulócsoporthoz, hogy iskolai előkészítés után életkoruknak megfelelő témákban és mélységben, *komoly műszerekkel* méréseket, kutatásokat végezzenek. Szigorúan véve nem önálló kutatásról van szó, a különböző egymásután érkező csoportok többnyire ugyanazokból a feladatokból válogathatnak. A 16–18 évesek az intézetben folyó valódi kutatásokban is kaphatnak kisebb részfeladatokat.

A szponzoráló cégek saját érdeküknek megfelelően (mérnök, kutató utánpótlás) nagyon sok pénzt adnak, de pontosan és részleteiben nyomon követik, hogy a támogatás hogyan hasznosul. Ez nekem nagyon tetszik, hogy nem az iskolához, a taneszköz-forgalmazóhoz vagy valami ilyen alapítványhoz kerül a pénz, hanem egy általuk kezdeményezett és ellenőrzött programhoz. Nem múltbeli teljesítményekért adott díjakat szponzorálnak a bevételükhöz képest elenyésző összeggel, hanem a „jövőnek” adnak meghatározott célra horribilis összegeket. Ezt a szemléletet nem ártana itthon is terjeszteni.

SZOBOSZLAI ZOLTÁN: Meghatározó élményem volt a konferenciával kapcsolatban, hogy az itt megjelent résztvevők láthatóan nem sajnálták idejüket, hogy a természet törvényeit még inkább érthető formában vagy a korábbiakhoz képest váratlan nézőpontból mutassák be. Az eredményes munka nem maradt észrevétlen, kijártak az elismerő szavak a látogatóktól, külföldi kollégáiktól vagy más tudományok szakembereitől. Persze a célja nem ez volt a *Science on*

Stage-nek, de úgy vélem, ez is fontos része: egymás munkájának elismerése. Az igazi cél valójában a párbeszéd volt, egymás ismereteinek, ötleteinek a bővítése. Aki szemfüles volt akár egy egész félévre való új kísérlet ötleteivel térhetett haza. Egyszerű, könnyen elsajátítható kísérletek tucatjaival találkozhattunk kémiaiából, elektrosztatikából, hidrosztatikából, a légnymás, valamint az energiamegmaradás témaköréből. Mindemellett a szervezők különös gondot fordítottak arra, hogy a résztvevők új ötleteit, oktatási módszereit, illetve azt az új szellemi potenciált, amely Európa természettudományos oktatásában az elmúlt években felhalmozódott, szervezett workshopokban is megvitatják. Ezeknek a workshopoknak a hasznosságát bizonyítja, hogy az azonos hullámhosszon lévőek utána kis csoportokban önszervező módon gyűltek össze, hogy folytassák eszmecserejüket.

A *Science on Stage* jövője

A fesztiválon történt beszélgetések során nyilvánvalóvá vált, hogy központilag szervezett, az EU által ismét támogatott *Science on Stage*-re sajnos nem lehet számítani. A *Science on Stage* fesztiválok megszűnnek, hacsak egy-egy nemzeti szervezet fel nem karolja ezt a kezdeményezést – ahogy azt az idén a németek tették. A fesztivál ideje alatt erre senki sem vállalkozott. A fő kérdés természetesen a megfelelő finanszírozás és a szponzorok felkutatása. Ez a mai nehéz gazdasági körülmények között még kilátástalanabbnak látszik. A résztvevők nehéz szívvel úgy búcsúztak el egymástól, hogy nem mondhatták el: jövőre biztosan megint találkozunk!

A 2008. ÉVI EÖTVÖS-VERSENY ÜNNEPÉLYES EREDMÉNYHIRDETÉSE

A Matematikai és Fizikai Társulat 1916 őszén rendezte meg először a fizikai tanulóversenyét. 1949-től kezdve nevezik ezt az évente megrendezett fizikaversenyt Eötvös-versenynek. A 2008. évi tehát éppen a hatvanadik Eötvös Loránd Fizikaverseny volt.

A 2008-as Eötvös-verseny október 17-én zajlott le, az ünnepélyes eredményhirdetésre november 21-én délután 3 órakor került sor az ELTE TTK Északi épület alagsori Harmónia termében.

Az ünneplőbe öltözött versenyzők általában felkészítő tanáraik kíséretében érkeztek Budapestről és különböző vidéki városokból. Erre az ünnepi alkalomra régebbi versenyek díjazottjait is meghívták. Jelen volt több szakkört vezető tanár, KöMaL-munkatárs, az ELFT elnöke, a középiskolai szakcsoport vezetője és más érdeklődő.

Az ünnepi ülés első felében *Radnai Gyula*, a versenybizottság elnöke, a több éves hagyománynak megfelelően, kivetítette az 50, illetve 25 évvel előtti Eötvös-verseny feladatait, és bemutatta ezeknek a versenyeknek jelenlevő díjazottjait.

Az 50 évvel ezelőtti díjazottak közül *Kovács Béla* tudott eljönni, aki a sárospataki Rákóczi Gimnáziumban érettségizett, és a KLTE fizikus hallgatójaként 1958-ban III. díjat nyert. Kovács Béla elmondta, hogy a fizika szakról átment a mérnökre, és számítástechnika-informatikus mérnök lett. Így a fizika háttértudományként segítette munkáját (*1., 5. és 9. kép*).

A 25 évvel ezelőtti verseny nyertesei közül hárman voltak jelen az ünnepségen.

Az Esztergomban érettségizett *Árkossy Ottó* SOTE-hallgatóként nyert megosztott első díjat.



1. kép. Kovács Béla, aki az 1958. évi Eötvös-versenyen III. díjat nyert, majd számítástechnika-informatikus mérnök lett, emlékezik.



2. kép. A 25 évvel ezelőtti Eötvös-verseny 3 díjazottja: Fodor Gyula, Frei Zsolt és Árkossy Ottó, valamint Árkossy édesanyja. Fodor és Frei azóta is a fizikát műveli, Árkossy az orvostudományt, ami kissé szokatlan egy Eötvös-verseny nyertesétől.

Egyetemi éveinek elején néha idegennek érezte magát az orvosin, ma nefrológus (vese-szakorvos).

Fodor Gyula a budapesti Móricz Zsigmond Gimnázium végzős diákjaként lett az 1983-as Eötvös-verseny II. díjazottja. A jó helyezést elérésében tanárán kívül édesapja is segítette. Elmondása szerint az Eötvös-verseny indította el fizikusi pályáját. Jelenleg a KFKI-ban dolgozik.

Frei Zsolt a pécsi Nagy Lajos Gimnáziumban érettségizett, az ELTE hallgatójaként nyerte el az 1983-as Eötvös-verseny megosztott III. díját. Azóta is a fizika elkötelezettje, Princetontban volt doktorandusz 4 éven át, jelenleg docens az Atomfizikai Tanszéken. A fiataloknak üzeni, hogy itthon, Magyarországon is érdemes kutatómunkával foglalkozni, és bízik benne, hogy ez egyre inkább így lesz.

Erdős László a budapesti Berzsenyi Gimnázium végzős diákjaként 1983-ban szintén első díjat nyert az Eötvös-versenyen. Jelenleg Münchenben él, matematikai fizikával foglalkozik, matematikusnak tartja magát. Erdős László levelét *Honyek Gyula* olvasta fel. A következőkben ebből a levélből idézünk:

„... Az Eötvös-verseny a magyar fizikaoktatás egyik legeredményesebb tradíciója, szinte unikum a világban. Hálás köszönet illeti a tanárokat és szervezőket, akik önzetlenül áldozzák idejüket és energiájukat a verseny, és persze a jövő fizikusgenerációja érdekében. ...

Radnai tanár úr megkért, mondjam el, szerintem *mi a titka a sikeres kutatóvá válásnak*.

... Hinni kell a fizika és matematika nagyszerűségében és fontosságában. Lehet, hogy nem nekünk sikerül felfedeznünk a Newton-törvényekhez vagy a kvantummechanikához hasonló fundamentális előrelépést, de a saját, esetleg erősen specializált területün-

kön újat alkothatunk. ... S eredményünk megmarad, nevünk alatt a közös tudáskincs része lesz. Még az Akropolisz is romokban áll már, nemhogy a számtalan kiváló görög mérnök, iparos, kereskedő stb. erőfeszítéseinek bármiféle látható nyoma maradt volna, de Eukleidész és Arkhimédész tételei, törvényei univerzális érvényűek, kortalanok. Hinni kell abban, hogy ehhez az épülethez akár csak egy kis téglával is hozzájárulni többet ér, mint minden más tevékenység, amelynek hatása időben korlátozott. ...

Talán sejtitek; az Eötvös-problémák és a valódi kutatási feladatok között nem bonyolultságban van az alapvető különbség, hanem abban, hogy az Eötvös-problémákról tudjátok, hogy megoldhatóak. ... Az igazi kihívást jelentő valódi kutatási feladatoknál a legnehezebb az, hogy nem tudjátok előre, kijöhet-e. ... Néhány probléma talán ki fog jönni, a sokadik próbálkozás után; a többség azonban soha. ... Az egyetlen vigasz, hogy a legnagyobb kutatóknak sem szokott sokszor kijönni. Esetleg többször mint másoknak, de az tuti, hogy elsőre nekik sem. ...

A meghatározó matematikai problémáknak legalább a fele így vagy úgy a fizikához kapcsolódik, és a legtöbbjüket valamilyen formában először fizikusok vetették fel.

A fizika azonban nem tagadhatja, hogy mindennapi munkaeszköze a matematika. Ezért, utolsó tanácsként azt mondanám még azoknak is, akik vérbeli fizikusnak készülnek, hogy a fizika mellett tanuljatok lehetőleg minél több matematikát. Jól fog jönni.”

Az ünnepség résztvevői érdeklődéssel hallgatták a régebbi díjazottak visszaemlékezéseit és a fiatalabb fizikusgenerációhoz szóló tanácsait. Ezután következett a 2008-as verseny feladatainak bemutatása és megoldásuk ismertetése.

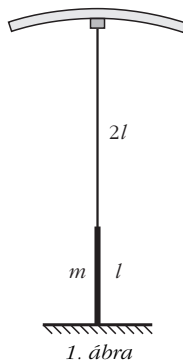


3. kép. Iván Dávid és tanára Németh László Fonyódról

A 2008. évi Eötvös-verseny feladatai

1. feladat

Egy cirkuszi egyensúlyozó művész egy hosszú függőleges rúdra akar felmászni. A rúd hossza l , tömege m . A produkció kezdetekor a rudat az egyik végéhez erősített, elhanyagolható súlyú rugalmas kötélen engedik le a cirkusz kupolájától. Amikor a rúd alja éppen a talajhoz ér, a kötélen $2l$ hosszú (1. ábra).



1. ábra

A kötélen nyújtatlan hossza l , megnyúlása közben jól követi a Hooke-törvényt.

a. Milyen magasra mászhat fel a rúdra az ugyancsak m tömegű artista anélkül, hogy a rúd függőleges egyensúlyi helyzete instabillá válna? (Az egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy az artista mérete l -hez képest elhanyagolható.)

b. A rúd fele magasságánál az artista kicsit kibillen, és a rúddal együtt oldalirányú lengésekbe kezd. Mek-

4. kép. Balogh Máté megjegyzést fűz a hőtani feladat megoldásához, mellette Karsa Anita.



kora a lengés T periódusideje? (A rúd alsó vége nem tud elmozdulni, de a rúd szabadon elfordulhat az alsó végpontja körül.)

2. feladat

Ugyanabból az anyagból készült, állandó fajhőjű három test hőmérséklete $13\text{ }^\circ\text{C}$, $27\text{ }^\circ\text{C}$ és $90\text{ }^\circ\text{C}$. A két melegebb test tömege egyenként fele a $13\text{ }^\circ\text{C}$ -os test tömegének. Megfelelő hőgépek és energiatároló eszközök közbeiktatásával, külső energia befektetése nélkül szeretnénk a $13\text{ }^\circ\text{C}$ -os testet minél jobban lehűteni.

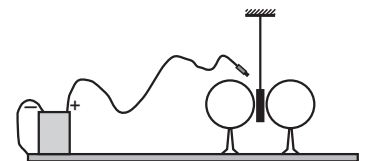
a. Hogyan kell eljárunk? (A testek csak hőfelvétel vagy hőleadás során változtathatják meg hőmérsékletüket, halmazállapot-változás nem történik, hőtágulásuk elhanyagolható.)

b. Mennyire hűlhet le az eredetileg $13\text{ }^\circ\text{C}$ -os test?

3. feladat

Egy fizikaszakkörön valaki demonstrálni szeretné, hogy ellentétes irányú elektromos térerősségvektorok leronthatják egymást. Elképzelése a következő. Szigetelő lábakon két egyforma fémgömböt állít egymás mellé és pontosan ugyanakkora potenciálra tölti fel őket. Ezután a kettejük közé középre belógatott próbatöltésre nem fog elektromos erő hatni.

A gyakorlati kivitelezéshez a kísérletező egy néhány száz V feszültségű telep egyik sarkát leföldeli, vagyis az asztallapra tett nagy fémtálcához csatlakoztatja – ezt tekinthetjük zérus potenciálú helynek –, a másik pólushoz csatlakozó banándugóval pedig először a bal oldali, utána a jobb oldali gömböt, majd végül a szigetelő szálon közéjük lógatott alufóliacsíkot érinti meg (2. ábra). Meglepődve tapasztalja, hogy az alufólia igenis kitér a függőleges irányból, elmozdul az egyik gömb felé.



2. ábra

• Mi lehet a kudarc magyarázata? (A levegő száraz, a lábak jól szigetelnek, a gömbök sokáig megtartják a rájuk vitt töltést.)

• Melyik gömb felé tér ki az alufólia?

• Hogyan lehetne a kudarcot elkerülni?

5. kép. Sólyom Jenő, Tichy Géza, Holics László és Kovács Béla





6. kép. A nyertesek: Almási Gábor Pécsről, Szolnoki Lénárd Debrecenből, mindketten első éves fizikushallgatók Budapesten. Szolnoki Lénárd 10. osztályos korától minden évben díjazott volt, először a negyedik alkalommal, idén lett első díjas.

Radnai Gyula kivetítette és részletesen elmagyarázta a mechanika, a hőtani majd az elektromosságtani feladat részletes megoldását, amit – különösen a versenyzők – feszült figyelemmel követtek. Kérdések és megjegyzések is elhangzottak (3–5. kép).

Kísérleti bemutató, a feladatok jellegéből adódóan, ebben az évben csak az elektrosztatikai feladathoz kapcsolódott. A fémgömbök potenciáljainak leolvasása meggyőzően szemléltette a feladatban leírt jelenséget és segítette annak magyarázatát. (A megoldás a *KöMaL* 2009. márciusi számában olvasható.)

Végül következett a verseny eredményének kihirdetése, a legizgalmasabb percek. Radnai Gyula fordított sorrendben szólította a legjobb tíz versenyzőt: előbb azokat, akik dicséretet kaptak, legvégül az I. díjasokat. Az okleveleket *Sólyom Jenő*, az ELFT elnöke adta át, Radnai Gyula terveikről kérdezte a jutalmazottakat.

8. kép. Radnai Gyula szóra bírja a II. díjas Lovas Liát. (Ritkán van lány az Eötvös-nyertesek között!)



7. kép. Sólyom Jenő az ELFT elnöke Balogh Máténak átadja az oklevelet. A háttérben az elektrosztatikai kísérlet kellékei: fémgömbök szigetelő állványon, voltmérők stb.

I. díjasok

1–2. *Almási Gábor*, az ELTE fizika szakos BSc hallgatója (Pécssett a Leőwey Klára Gimnáziumban végzett, tanárai: *Simon Péter*, *Kotek László*)

1–2. *Szolnoki Lénárd*, a BME fizika szakos BSc hallgatója (Debreceni Református Kollégium Dóczy Gimnáziuma, *Tófalusi Péter*)

II. díjasok

3–4. *Balogh Máté*, 12. osztályos tanuló, Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Gimnázium (*Horváth Gábor*)

3–4. *Lovas Lia Izabella* 12. osztályos tanuló, Leőwey Klára Gimnázium, Pécs (*Simon Péter*)

III. díjas:

5. *Farkas Márton*, 12. osztályos tanuló, Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Gimnázium (*Horváth Gábor*)

Dicséretet kaptak:

6. *Aczél Gergely* 12. osztályos tanuló, Református Kollégium Gimnáziuma, Pápa (*Somosi István*)

7. *Iván Dávid*, 12. osztályos tanuló, Mátyás Király Gimnázium, Fonyód (*Németh László*)

8. *Karsa Anita*, 12. osztályos tanuló, Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Gimnázium (*Horváth Gábor*)

9. *Szilágyi Zsombor*, ELTE fizika szakos BSc. hallgatója (Karinthy Frigyes Gimnázium, Budapest, *Szilágyi László*)

10. *Wang Daqian*, 11. osztályos tanuló, Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Gimnázium (*Horváth Gábor*)

Az első díjasok jutalma az Eötvös-verseny érem és a *Fizikai Szemle* egy éves előfizetése az ELFT részéről, valamint 20 ezer forint. A második díjasok 15, a harmadik díjas 10, a megdicséretes pedig 5 ezer forint pénzjutalomban részesültek. Minden jutalmazott ajándékba kapta még *Staar Gyula: Fizikusok az aranykorból* című könyvét.

A jutalmazottak felkészítő tanárai a Vincze és a Typotex kiadók standjain kiállított könyvek közül válogathattak.



9. kép. A 2008. évi Eötvös-verseny jutalmazottjai (a két dicséretet nyert diák kivételével) az 50 évvel korábban díjazott Kovács Bélával. Első sor: Almási Gábor, Kovács Béla, Szolnoki Lénárd, Lovas Lia; második sor: Iván Dávid, Szilágyi Zsombor, Farkas Márton, Aczél Gergely és Balogh Máté.

A versenybizottság elnöke zárszavában értékelte az idei versenyt, majd megemlítette, hogy több éve csökken a versenyen résztvevők száma és szűkösek a verseny megrendezéséhez szükséges anyagiak.

A verseny helyezetteinek jutalmazását és az eredményhirdetés lebonyolítását nagyban segítette a Matfund Alapítvány (Gutai László volt Eötvös-verseny nyertes és az Indotek Zrt. felajánlásából), valamint a Ramasoft Zrt.

A díjkiosztást állófogadás követte kötetlen beszélgetésekkel. Csoportkép készült a 2008. évi Eötvös-verseny győzteseivel.

Gündischné Gajzágó Mária
Hatvan

A FIZIKATANÍTÁS EREDMÉNYESSÉGE A KÖZOKTATÁSBAN

A 2008 szeptemberében a fizika BSc szakokra és a műszaki felsőoktatásba lépő hallgatók által írt fizika felmérés eredményeiről

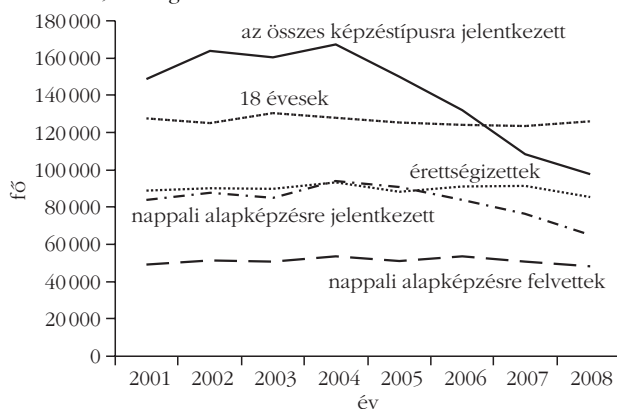
Radnóti Katalin, ELTE, Anyagfizikai Tanszék
Pipek János, BME, Elméleti Fizika Tanszék

A felsőoktatás műszaki és természettudományos képzési területein dolgozó oktatók között az utóbbi években olyan benyomás kezdett kialakulni, amely szerint a középiskolából érkező, frissen beiratkozott hallgatók tudása lényegesen elmarad a korábban megszokott szinttől a választott szakok alaptudományainak minősíthető fizika és matematika területén. A jelenség „magyarázataként” elterjedt az a vélekedés, hogy demográfiai okok és bizonyos kiábrándultság következtében a felsőoktatásba jelentkezők száma folyamatosan csökken, ezzel növekszik a gyengébb tudású hallgatók bejutásának esélye. Megvizsgáltuk, mennyire megalapozott ez a vélemény. Az 1. ábrán több évre visszamenőleg láthatjuk a felsőoktatásba jelentkezők és az oda felvett hallgatók számának alakulását az Országos Felsőoktatási Információs Központ adatai alapján [1], valamint a 18 éves korosztály [2], illetve az adott évben érettségizők demográfiai adatait is [3].

2004-től kezdve megfigyelhetjük az összes jelentkező, illetve azon belül a nappali alapképzésekre jelentkezők számának drámai visszaesését, valamint azt is, hogy ez a jelenség demográfiai indokokkal aligha magyarázható. A 18 éves korosztály és az érettségizettek számának ingadozási mértéke nem mérhe-

tő össze a jelentkezések csökkenésének nagyságával. Tagadhatatlan tehát, hogy a felsőoktatás merítési, válogatási lehetőségei valóban korlátozottá váltak, hiszen a nappali alapképzésre jelentkezők és az oda felvett hallgatók száma erősen közelít egymáshoz. Sokakban felmerült továbbá az is, hogy a felsőoktatási

1. ábra. A felvételi jelentkezések és a felvett hallgatók számának alakulása az elmúlt években. Párhuzamosan az érettségizettek és a 18 éves korosztály (pontosabban az adott év előtt 18 évvel élve születettek) demográfiai adatait is ábrázoltuk.



intézményekbe érkező hallgatók tudásszintjének általánosan tapasztalt visszaesését a szubjektív benyomásokon felül valamilyen objektíven mérhető formában is dokumentálni kellene.

A Magyar Rektori Konferencia Műszaki Tudományok Bizottsága 2008. júniusi ülésén döntést fogadott el a műszaki felsőoktatásba beiratkozó hallgatók felkészültségének felméréséről. Egy ilyen jellegű, több felsőoktatási intézményben is elvégzett, széleskörű vizsgálat alkalmas lehet arra, hogy az oktatási kormányzat figyelmét felhívja a közoktatásban lezajlott negatív jelenségek kezelésének elodázhatatlanságára. Különösen fontos ez az aktuális körülmények között, amikor az oktatáspolitikai deklarált céljai között szerepel a műszaki-természettudományos végzettségű szakemberek képzésének kiemelt támogatása, mivel az ezen a területen jelentkező piaci kereslet jóval meghaladja a jelenlegi diplomás kibocsátást. Ezen túl, az intézmények maguk is sokat nyerhetnek egy ilyen tájékozódó felmérésből, hiszen saját oktatási tevékenységük hatékonysága is nagyban múlik azon, hogy vajon egy feltételezett, de a valóságban hiányzó ismeretanyagra alapoznak-e, vagy pedig a realitásokat figyelembe véve próbálják a hallgatók tudásszintjét az elvárt felsőfokú szintre emelni.

Az elképzelés arra a tapasztalatra épített, amelyet az ELTE Természettudományi Karán a belépő hallgatókkal már harmadik éve megíratott úgynevezett *kritériumdolgozatok* kiértékelésével szereztek. A dolgozatok elkészítésének célja kettős volt. Részben kiválogatták azokat a hallgatókat, akik segítségre szorultak, másrészt kiválasztották azokat is, akik emelt szintű képzést igényeltek. A kritériumdolgozatok mintájára készült el az a *fizika* témakörű tesztlap, amelyet a 2008. őszi beiratkozások alkalmával több felsőoktatási intézmény első éves hallgatóival is megíratunk. A kérdések összeállításánál azt tartottuk szem előtt, hogy a felsőoktatás számára fontos, a sikeres előrehaladáshoz szükséges tudásanyag meglétét vizsgáljuk meg. Ebben ez a felmérés különbözik a más szempontrendszer alapján összeállított (pl. PISA) felmérések módszereitől. A dolgozat kifejezetten a középiskolából hozott, ott elsajátított ismereteket térképezte fel. A dolgozatokat a hallgatók a regisztrációs hét folyamán írták, tehát abban az időszakban, amikor a felsőoktatási intézmény még nem „avatkozott bele” a képzésükbe.

Mivel a felmérést országos szinten, több intézményre kiterjedően kívántuk elvégezni, ezért a logisztikai tapasztalatok hiánya miatt úgy döntöttünk, hogy a 2008-as beiratkozások során, kísérleti jelleggel, a fizika tárgyra szorítkozva íratunk tesztet, tekintve, hogy ennek bizonyos részleteit az ELTE TTK kritériumdolgozataiból már ismertük. A körülményeket különösen alkalmasaknak ítéltük erre, hiszen az Országos Köznevelési Tanács (OKNT) számára éppen ebben az időszakban folyt a természettudományos tantárgyak helyzetelemzése (fizika, kémia, biológia). Így az itt közölt vizsgálat ehhez a munkához is kapcsolódik. Jelenleg folyik a *matematika* és a *kémia* tantárgyak tudásanyagának méréséhez szükséges tesztek kidolgozása, és a széleskörű felmérések szervezése is.

A dolgozat felépítése

A dolgozatban feltett kérdésekkel, feladatokkal nagyon sok adatot szerettünk volna kapni a fizikai jellegű előzetes tudást feltételező szakokra jelentkező diákok tudásszintjéről. Természetesen voltak előzetes elképzeléseink, ezeknek megfelelően fogalmaztuk meg kérdéseinket.

A bevezető részben kérdéseket tettünk fel arra vonatkozóan, hogy a hallgató érettségizett-e, és milyen szinten fizikából, részt vett-e fizikaversenyeken, és milyen eredménnyel. Az ezekre adott válaszokból olyan következtetéseket szerettünk volna levonni, hogy a középiskolában elért eredmények milyen összefüggésben vannak a felsőoktatás szempontjai szerint mért tudásanyag szintjével.

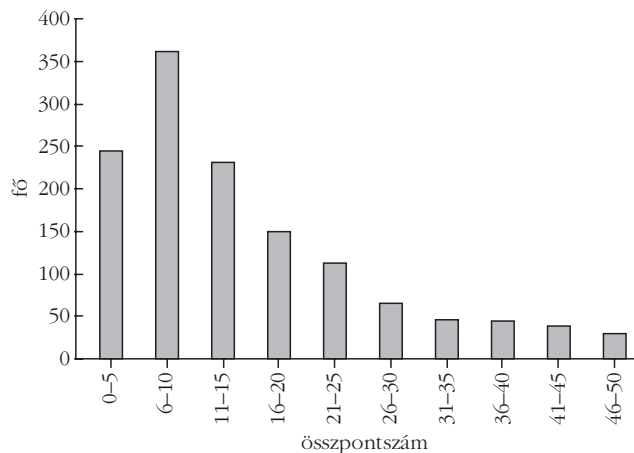
Fel akartuk mérni a diákok tájékozottságát a legfontosabb fizikai mennyiségek mértékegységeiről és a lényeges összefüggésekről. Ezért nem engedjük a *Függvénytáblázat* használatát. Zsebszámológépet használhattak a diákok. Amennyiben valamilyen állandóra volt szükség a feladat megoldásához, azt megadtuk.

Kíváncsiak voltunk arra, hogy mennyire vannak tisztában a hallgatók a fizika legfontosabb alaptörvényeivel, a newtoni gondolkodásmód jellegzetességeivel. Ezért három, kifejezetten a félreértelmezések vizsgálatára használatos teszt jellegű kérdést is szerepeltettünk. Ezekben az erő és a feszültség fogalmak megfelelő értelmezését vizsgáltuk. Fontos a munka fogalmának helyes értelmezése is. Három további kérdés erre vonatkozott. Mindkét kérdéscsoport esetében indoklást is kértünk a diákoktól.

Érdeklődtünk az iránt is, hogy a diákok mennyire képesek alkalmazni megszerzett tudásukat. Ezt a célt szolgálta a vizsgálati feladat, ahol egy egyszerű mérést kellett megtervezniük a diákoknak. Ezt nevezhetjük PISA-jellegű feladatnak is. Valójában egy nagyon egyszerű számításos feladatot fogalmaztunk át olyan formára, ahol a meglévő elemi tudásanyag aktív alkalmazására volt szükség.

Végül három, számításos feladat következett. Ezek közül az első viszonylag egyszerű, Arkhimédész törvényét és Newton törvényeit kellett felismerniük és alkalmazniuk a diákoknak. A második már kissé igényesebb volt, mivel változó erő munkáját kellett kiszámítani. A harmadik feladat pedig egy Nobel-díjas felfedezés alapelemeit mutatta be. Ez a feladat elsősorban

<i>1. táblázat</i>	
A dolgozatfeladatok és a megszerzhető pontszámok megoszlása	
1 mértékegységes táblázat	5 pont
5 tesztkérdés	8 pont
3 kérdés + indoklások	6 pont
1 vizsgálati módszer	4 pont
3 feladat	(7+10+10) 27 pont
Összesen	50 pont



2. ábra. A hallgatók által elért összpontszám eredmények eloszlása

az emelt szintű oktatást igénylő diákok kiválasztását célozta, amely témája talán kis mértékben túlmutat az emelt szintű érettségi követelményeken. Fogalmilag azonban ez sem volt nehéz. Számítást nem igénylő része egyszerűen megválaszolható volt kis gondolkodás, a jelenség elképzelése után. A dolgozat részletes felépítését, és a megszerezhető maximális pontszámokat az 1. táblázatban foglaltuk össze.

A mintavétel és az adatfeldolgozás módszerei

A dolgozatot 1324 beiratkozó diák írta meg a különböző felsőoktatási intézmények olyan karairól, ahol a teszt lebonyolítására önkéntesen vállalkoztak. A résztvevők tekintélyes száma miatt azt gondoljuk, hogy az eredmények komoly jelzésértékűnek mondhatók. Az előkészítés során a feladatlap központilag készült el, valamint ehhez részletes megoldási, javítási útmutatót is mellékelünk, hogy a pontozás, amennyire lehetséges, egyforma szempontok szerint történjen. Minden intézmény saját maga szervezte a dolgozatok megírását és javítását az egységes útmutató alapján. Az eredményeket egy központilag előkészített Excel táblázatban rögzítették, amelyet már a feldolgozásra alkalmas makrókkal együtt küldtünk szét az intézmények számára. Az adatok feldolgozásához, az eredmények összesítéséhez az intézmények a kitöltött táblázatoknak olyan változatát küldték vissza, amely a hallgatók egyéni azonosítására alkalmas adatokat (név, elektronikus kód stb.) már nem tartalmazta.

A felmérésben a következő karok elsőéves diákjai vettek részt:

- Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Természettudományi Kar,
- Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Kar,
- Debreceni Egyetem Műszaki Kar,
- Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar,
- Kecskeméti Főiskola GAMF Kar,
- Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Főiskolai Kar.

A mintában 142 fő a BME TTK és az ELTE TTK fizika BSc szakjaira jelentkezett hallgató volt, míg a többiek mérnökhallgatók, akik különféle szakokra jelentkeztek. A hallgatók jelentős része első helyen jelölte meg választott szakját. Fizikával kapcsolatos tanulmányi versenyen elsősorban a fizika BSc-re jelentkezett hallgatók voltak eredményesek.

Mindössze 102 lány szerepel a mintában, arányuk kevesebb, mint 10%.

Az adatok feldolgozása Excel táblázatkezelő program segítségével történt. A dolgozatok megoldásait a demográfiai adatokkal együtt egy 30 oszlopot és 1324 sort tartalmazó táblázatban numerikusan kódoltuk, a kiértékeléshez szükséges válogatásokat, összesítéseket, átlagokat az előre programozott makrók segítségével végeztük el. A továbbiakban a kapott eredmények ismertetése során gyakran jellemezzük az egyes feladatok, dolgozatrészek megoldási szintjét a

$$\frac{\text{pontszámok átlaga}}{\text{elérhető összes pontszám}} \cdot 100$$

formula alapján számolt százalékos értékekkel.

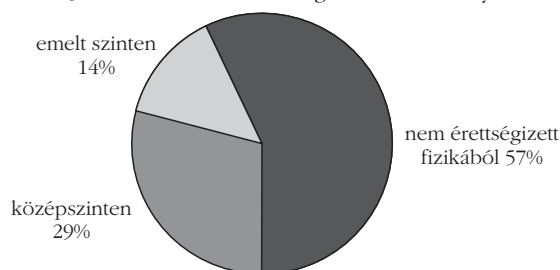
Az eredmények

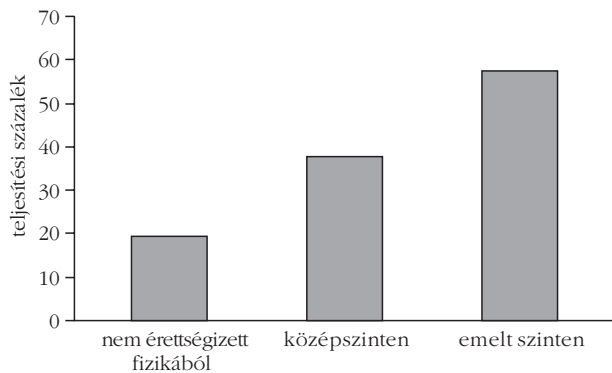
A teljes dolgozatra vonatkozó, a hallgatók által elért pontszámok eloszlását a 2. ábra mutatja. Az ábra alapján könnyen megítélhetjük, hogy a dolgozat kifejezetten gyengén sikerült. A teljesítési átlag 30%. Ezt az értéket a mintában szereplő 142 fő fizika BSc-re jelentkezett hallgatóval együtt kell érteni, akik (érthető okokból) az átlagnál sokkal jobban teljesítettek. A magas pontszámot elért hallgatók elsősorban közülük kerültek ki. Az eloszlás képe ezeknél a hallgatóknál egészen más jellegű.

Ha megnézzük, hogy a hallgatók mekkora arányban nem érik el az 50%-os szintet, megdöbbentő adathoz jutunk, mivel ez az összes hallgatók 83%-a! Vagyis a hallgatók jelentős részénél az várható, hogy nem tudják teljesíteni az első félévet sem. Ez a tény sajnos egybevág az utóbbi évek oktatói tapasztalataival.

További borúlato következtetések levonására sarkall a 2. ábrán látható eloszlás alakja is. A pontszámok megoszlása nagyjából a Poisson-eloszlást követi, ami arra utal, hogy a válaszok kitöltésében komoly mértékben szerepet játszhatott a véletlen. Így a leggyakrabban elért 6–10 pont is valószínűleg csak a szerencsének köszönhető!

3. ábra. A fizikából érettségizett diákok aránya





4. ábra. Az érettségi és a dolgozatok teljesítési szintje közötti összefüggés

Elemeztük a fizikából érettségizettek arányát is, amely, mint az a 3. ábrából látható, nem éri el az 50%-ot, holott mérnöki szakokon alapvető követelmény a fizika alkalmazás szintű, jó ismerete. Egyértelműen elmondható azonban, hogy azok a hallgatók, akik érettségiztek fizikából, lényegesen jobb eredményeket értek el. Ez természetes is, hiszen ők az utolsó, 12. évfolyamon is foglalkoztak fizikával, míg a többiek esetében egy év kimaradt.

Az érettségi vizsgákról készült statisztikák szerint [4], mind a közép-, mind az emelt szintű érettségiken jól teljesítenek a diákok. A mi eredményeink azonban nem egészen ezt mutatják. Az érettségi és a felmérő dolgozatok teljesítési százaléka közötti összefüggést szemlélteti a 4. ábra. Egészen nyilvánvaló az érettségre való felkészülés ténye és intenzitása, valamint a felmérőn elért teljesítmény közötti kapcsolat.

Ha figyelembe vesszük azt, hogy a felsőoktatásban általában 50% feletti teljesítményért jár elégséges (2) osztályzat, akkor azt mondhatjuk, hogy erre csak azoknak a hallgatóknak van esélyük, akik emelt szinten érettségiztek. Ellentétben az érettségi vizsgák értékelésével, ahol emelt szinten a 60% feletti teljesítményért már jeles (5) osztályzat jár, a felsőoktatásban ez még nem jelent igazán jó eredményt.

A középiskolában összesen 352 hallgató szerzett fizikából jeles osztályzatot. Az ő átlagteljesítményük a felmérőn 52,5%. Közülük 169 fő érettségizett emelt szinten, átlagos teljesítményük éppen 60%. Közülük 37 fő szerepelt országos verseny döntőjében. Átlagos teljesítményüket az ilyen típusú felkészülés alaposan megnövelte 78,2%-ra. További részleteket találhatunk a 2. táblázatban.

Igen tanulságos megvizsgálni a középiskolai teljesítmény alapján „hozott” felvételi pontszámok, és a felmérő dolgozat alapján mért teljesítmények közötti „összefüggést”. Az 5. ábra a felmérésben részt vett összes hallgató összetartozó pontpárértékeit mutatja. Első pillantásra azt mondhatnánk, hogy semmiféle kapcsolat nincs a felvételi pontszám és a dolgozatban elért eredmények között! Ez azonban csak a magas felvételi pontszámok esetében van így. Valóban, azt találtuk, hogy a magas felvételi pontszámokkal érkező hallgatók nagyon jó, de nagyon rossz teljesítményt is tudnak a felmérésben nyújtani. Mivel

2. táblázat

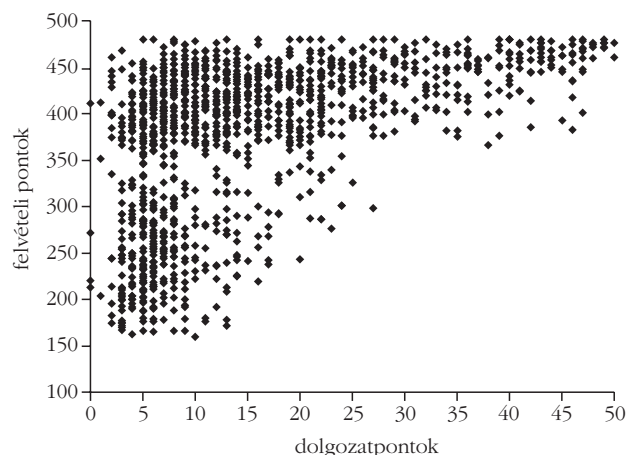
A fizikából tett érettségi szintje, valamint a fizika versenyeredmények összefüggése a dolgozatok teljesítési arányával

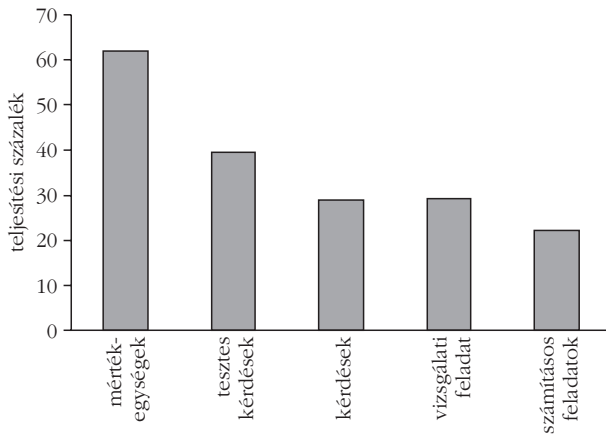
érettségi/versenyeredmény	diákok száma (fő)	teljesítés (%)
nem érettségizett fizikából	785	19,6
középszinten érettségizett	383	38,1
középszintű jeles	218	46,8
középszintű érettségi és fizikaversenyen döntős	54	63,2
emelt szinten érettségizett	183	57,7
emelt szintű jeles	169	59,9
emelt szintű érettségi és fizikaverseny	116	66,5
emeltszintű érettségi és fizikaversenyen döntős (ELTE TTK, BME TTK és BME VIK hallgatói)	71	72,9

azonban az ábrának csak a felső háromszöge van pontokkal betöltve, ezért az alacsony felvételi pontszámú hallgatóknak láthatóan nincs esélye elfogadható szintű dolgozatot írni. Ez a tapasztalat egyáltalán nem meglepő, ha tekintetbe vesszük a felvételi pontszámok kiszámítási módszerét, amely szerint a 160-as minimális felvételi pontot az *elégségest* (2) alig meghaladó középiskolai tanulmányi eredménnyel el lehet érni! A felmérő során kapott eredmények rámutatnak a felvételi rendszer visszásságaira. Erősen kérdéses, hogy a magas felvételi pontszám vajon mér-e egyáltalán valamit (hiszen a pontszámok kialakításának minden résztvevője egy irányban érdekelt), továbbá megmutatkozik a minimális pontthatar ennyire alacsony szinten való megállapításának tarthatatlansága.

Végül elemeztük a dolgozat egyes feladatainak megoldási sikerét is. Amint arra számítani lehetett, a számításos feladatok okozták a nagyobb problémát a

5. ábra. A dolgozat eredményei a felvételi pontszámok tükrében. Az ábra az összes hallgató adatait tartalmazza (egybeeső pontok előfordulhatnak).





6. ábra. A dolgozat egyes részleteinek teljesítése

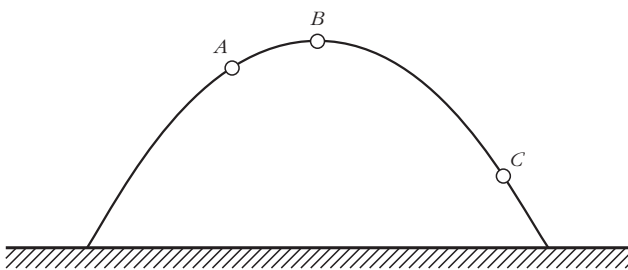
diákoknak (6. ábra). Az elméleti jellegű kérdések (az első négy oszlophoz tartozó feladatok) megoldási aránya 40% volt, míg a számításos feladatoké csak 20% körüli érték.

A felmérő néhány kérdésére érkezett válaszok elemzése

Írásunk következő részében három olyan kérdés megoldottságát elemezzük, amelyek nagyon egyszerűnek tűnnek, de valójában mégis komoly nehézséget jelentettek a hallgatóknak. Az első két kérdés a nemzetközi szakirodalomban is szereplő, jellegzetes tanulói tévképzeteket, félreértelmezéseket vizsgáló kérdés, míg a harmadikat mi találtuk ki.

Elvi jellegű, a newtoni fizika alapelemeinek megértését vizsgáló, a nemzetközi szakirodalomból ismert feladat:

Egy testet az ábrán látható módon, ferdén elhajítottunk. A közegellenállástól eltekintünk. Rajzolja be, hogy milyen irányú erő hat a testre a pálya A , B és C pontjaiban! Indokoljon!



Az egyedül elfogadható válasz az volt, ha függőleges irányú és azonos nagyságú erőket rajzolt a hallgató, továbbá leírta, hogy végig csak a nehézségi (vagy a gravitációs) erő hat. A feladat látszólagos egyszerűsége ellenére nem könnyű, megoldottsága 28,4%-os volt. A következő jellegzetes hibák jelentek meg:

- Sok diák a labda felszálló ágában a gravitációs erőn kívül még egy vízszintes irányú $F_{gy}(\mathbf{v}_0)$ erőt is berajzolt, amely esetleg a \mathbf{v}_0 kezdősebesség függvénye. Volt, aki összeadta a sebességvektort és az erővektort, ami elég abszurd gondolat.

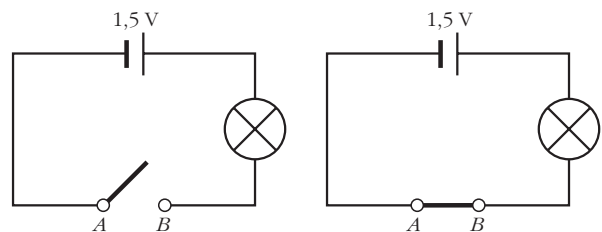
- Függőlegesen fölfelé irányuló F_d erőket is találunk a hallgatói megoldásokban a föl- és leszálló ágaknál, amelyet többen „dobóerő”-nek neveznek.

- Többen a lefelé mutató G gravitációs erő függőlegesen felfelé mutató ellenpárjaként az F_{neh} nehézségi erők tulajdonították a pálya görbülését.

- A G gravitációs erőt csak az F_e érintő irányú eredő erő egyik komponensének tartja a diákok egy része. A legjellemzőbbek a különböző érintő irányú erők voltak.

A következő feladat is a nemzetközi szakirodalomból ismert, az áram és a feszültség fogalmak helyes értelmezését firtató kérdés:

Mekkora feszültség mérhető az AB pontok között ideálisnak tekinthető feszültségmérővel a vázolt két esetben? Válassza ki, hogy melyik állítás helyes a felsoroltak közül! Indokoljon!



a) 1,5 V és 1,5 V

b) 0 V és 0 V

c) 1,5 V és 0 V

d) 0 V és 1,5 V

e) Nem dönthető el, mert nem tudjuk az izzó ellenállását.

Csak a c) válasz jó, hiszen nyitott kapcsoló esetében nincs sehol potenciálesés, tehát a telep feszültségét mérhetjük. A zárt kapcsoló esetében pedig magának a kapcsolónak alig van ellenállása, így alig van rajta potenciálesés, így 0 V mérhető. Látszólagos egyszerűsége ellenére sokaknak gondot szokott okozni a döntés. A szakirodalomban leírt jellegzetes félreértelmezések a magyar diákok körében is megjelentek, amint azt az eredmények mutatják. Ez még azok körében is okozott nehézséget, akik emelt szinten érettségiztek és országos döntősök voltak. Az összes hallgatót figyelembe véve 17,9%-os volt a megoldottság, míg a legjobb 37 hallgató megoldása is csak 52,7%-os.

Sokan írtak olyan téves megjegyzéseket, hogy ha nem zárt az áramkör, akkor nem is lehet feszültséget mérni. Ehhez hasonló gondolatmenet alapján jutottak arra a következtetésre is, hogy csak a d) válasz lehet a jó.

Mivel ötféle válaszlehetőség volt megadva, ezért véletlenszerű választás esetében is 20%-os teljesítési átlagnak kellett volna adódnia. A kapott érték ez alatt van, tehát „tudatos” volt a helytelen válaszadás. Ugyanakkor azt is meg kell jegyeznünk, hogy a fizika BSc-re jelentkező hallgatók megoldásai közt kifejezetten szép, teljes mértékben korrekt válaszok is voltak.

A feladatkitűzők fontosnak tartják a természettudományos problémák felismerésének képességét, mérések, vizsgálatok eredményeinek elemző értékelését, vizsgálatok megtervezését. A következő feladat egy egyszerű mérés megtervezését várta el a diákoktól, tanult ismereteik felhasználásával:

Egy karácsonyfaizzó foglalatán a következő adatok találhatóak: 14 V és 3 W. Hogyan határozná meg, hogy helyes teljesítményt írtak-e fel az izzóra? A válaszhoz készítsen ábrát!

A feladatra 4 pontot lehetett kapni. A válaszhoz tudni kellett az elektromos teljesítmény kiszámításához szükséges $P = U \cdot I$ összefüggést. Fel kellett ismerni, hogy az izzót 14 V feszültségre kell kapcsolni, majd az áramerősséget mérni. Ki kellett tudni számolni, hogy az áramerősségre

$$I = \frac{P}{U} = 0,21 \text{ A}$$

körüli értéket kell kapni a mérésnél. Fel kellett tudni rajzolni az áramkört a sorosan bekötött áramerősségmérővel. Ha ennyit leírtak, akkor 4 pontot kaptak a diákok a válasza. Jó volt, ha a hallgató esetleg valamilyen módon jelezte, hogy az áramerősség-mérőnek kicsi az ellenállása, vagy pedig jó a feszültséget is mérni, amelynek 14 V-nak kell lennie. Ezt azonban már nem kértük a maximális pontszámhoz.

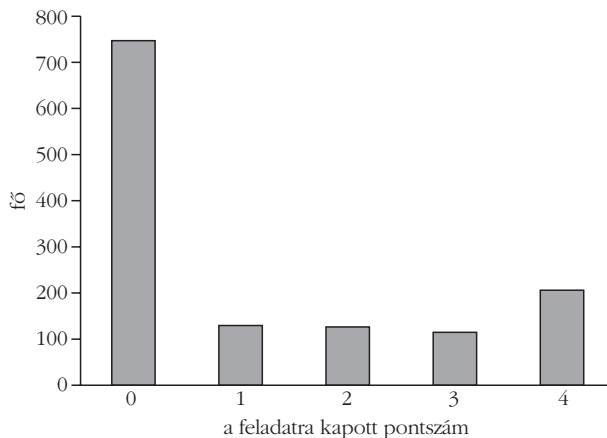
A feladat valójában nagyon egyszerű volt, csak nem példaként, hanem mérési módszer megalkotásaként tettük fel a kérdést, vagyis a tanultak alkalmazását kértük számon. A nehézséget ez okozta, így végül 29,2% lett a feladat megoldottsága.

Amint az a 7. ábrából látható, sajnos sokan semmit sem tudtak kezdeni a feladattal. Ez a tapasztalat némileg összefüggésbe hozható a PISA-vizsgálatok során kapott magyar eredményekkel. A PISA-feladatokban nemcsak egyszerűen bizonyos tudáselemek meglétét, hanem elsősorban az alkalmazható tudást mérik a mindennapi élet kontextusában, vagy olyan kérdéskör esetében, amelyről sokat lehet hallani (savas eső stb.).

Néhány összefoglaló gondolat

Térjünk most vissza a bevezetőben említett kérdéshez, azaz értelmezhetjük-e a színvonal esését az ilyen vagy olyan okokból bekövetkezett jelentkezési szám csökkenéssel? Az 1. ábrából kitűnik, hogy ma a jelentkezők 74%-a bejut a nappali alapképzésekbe, míg 2004-ben a felvételi során kiválasztott hallgatók aránya 57% volt. Önmagában már ez a változás is indokolja a nehezebb válogatási körülményeket, következésképpen a felsőoktatásba belépő hallgatók rosszabb felkészültségét is. A felmérés eredményei azonban arra is rámutatnak, hogy más okokat is kell keresnünk a háttérben.

Erről az 5. ábra árulkodik. Amennyiben csak arról lenne szó, hogy a kisebb „kínálat” miatt alacsonyabban kell meghatározni a felvételi ponthatárokat, abban az esetben a magas pontszámú, jó képességű hallgatók mellett megjelennének az alacsony pontszá-



7. ábra. A vizsgálati feladat megoldásaira kapott pontok eloszlása

mú, gyengébb felkészültségű diákok is, és az ábra pontjainak nagyjából egy növekvő egyenes mentén kellene elhelyezkedniük. Ez azonban nem így alakult, hiszen az ábra felső háromszöge sűrűn ki van töltve! A közoktatás „jó” és „kiváló” mércéje tehát nem felel meg a felsőoktatás elvárásainak. Az eredmények alapján sajnos elmondható, hogy a közoktatás során a diákok nem kapnak kellő felkészítést arra, hogy felsőoktatási tanulmányaikat eredményesen elkezdhessék. Az érettségi és felvételi pontok kiszámítása, mely egyben belépő a felsőoktatásba is, nem tükrözi megfelelően a hallgatók olyan jellegű tudását, amely szükséges lenne a választott szak eredményes tanulásához. Így hiába emeljük meg a felvételi ponthatárokat, változatlanul nagyon sok gyengén felkészült hallgatóval fogunk találkozni!

A gyenge teljesítés egyik oka valószínűleg az, hogy a modernizációs folyamatok során a természettudományos tantárgyak, többek közt a fizika is jelentős óraszám-beli veszteségeket szenvedett el. Ez a folyamat a diákok felé azt is sugallta, hogy a természettudományos ismeretek napjaink technikai eszközökkel felszerelt környezetében, a mai társadalomban nem fontosak. Ennek következtében a természettudományi, illetve műszaki pályák nem vonzóak a fiatalok számára, emellett egyéb, például gazdasági pályák anyagilag jóval gyorsabb előrehaladást ígérnek.

Amint az sok szakmai szervezet utóbbi időben kifejtett állásfoglalásából is kitűnik, a közoktatás elodázhatatlan feladatok megoldása előtt áll a természettudományos képzés átalakításában. Az ilyen folyamatok hatása azonban csak lassan érik be, addig pedig a felsőoktatás a jelenlegihez hasonló helyzet előtt fog állni, amelyet valamilyen formában kezelnie kell, hogy a felvételt nyert hallgatók jelentős része számára megfelelő oktatást tudjon nyújtani.

A felsőoktatási intézmények lényegében kétféle stratégia között választhatnak. Az első, „pragmatikus” megközelítés természetesen fogadja el a jelenlegi állapotot, és a középiskolából kimaradt ismereteket egyetemi anyagként fogja fel, aminek az oktatását a BSc képzésekbe be kell építeni. Ezt az álláspontot azonban csak kevés oktató támogatja, mivel ez a hagyományaira és magas minőségű képzésére joggal

büszke felsőoktatás színvonalát látványosan degradálja. A másik stratégia szerint a tudásbeli hiányosságok pótlása nem tekinthető „egyetemi” oktatásnak, ezt a BSc tananyagoktól független, felzárkóztató kurzusokon kell elvégezni. Ezt a megoldást az nehezíti, hogy a külön kurzusok finanszírozására megfelelő forrásokat kell találni, erre pedig a legtöbb esetben nem született még valóban elfogadható elképzelés. A fent említett két megközelítés közti átmenetként értékelhetjük az ELTE TTK több éve bevezetett kísérletét. Az ELTE BSc-s alaptanterveiben szerepel matematikából, fizikából és kémiából egy felzárkóztató *kritériumtárgy*. Ezt minden hallgatónak fel kell vennie, de ha a regisztrációs héten jól megírja a felmérő dolgozatot (ez 40% feletti teljesítményt jelent), akkor automatikusan megkapja ebből a tantárgyból a „megfelelt” minő-

sítést. Költségtérítéses matematika felzárkóztató tanfolyamra pedig a BME-n láthatunk példát.

A dolgozatról, annak eredményeiről, illetve a fizika kritériumtárgyról további részletek olvashatók az [5] honlapon.

Irodalom

1. <http://www.felvi.hu/>: Felsőoktatási műhely >> Statisztikák, rangsorok
2. <http://www.eski.hu/>: Adatok, statisztikák >> Táblázatok a magyar egészségügy alapvető adatairól >> Népmozgalmi adatok 1950–2006
3. <http://www.okm.gov.hu/>: Minisztérium >> Statisztika >> Oktatási statisztikák >> Oktatási Évkönyv 2007/2008
4. <http://www.oh.gov.hu/>: Közoktatás >> Érettségi vizsgák >> Korábbi érettségi időszakok információi, feladatai és javítási-értékelési útmutatói
5. http://members.iif.hu/rad8012/index_elemei/kriterium.htm

ÁLFIZIKAI SZEMLE

A HATODIK BUDAPESTI SZKEPTIKUS KONFERENCIA

Hagyományos télbúcsúztatóként hatodik alkalommal került sor a Műegyetem fizikai előadójában a Budapesti Szkeptikus Konferenciára. Idén a szelidség és közérthetőség jegyében zajlott a konferencia, védekezésül a belterjesség és harsányság vádjá ellen. A tudományfilozófia határterületi munkásainak igényeit ugyan nem remélhette kielégíteni, de beköszöntőjében legalább megfogalmazta, hogy mivel szemben kíván fellépni: áltudomány = antiszeptikus marketingtevékenység, amely csalárd módon a tudományra hivatkozva használja ki az emberi hiszékenységet.

A helyszínek megfelelően ezúttal is a fizika jelentette a pajzsot az áltudományos támadásokkal szemben, ám a programból kiderült, hogy szövetségesekre olyan távoli tartományokból is szükség van, mint az újságírás vagy a szabadalmi jog.

Az első három délelőtti előadás az elektromágneses hullámok némely tartományának orvosi alkalmazásáról szólt. *Szabó Gábor* szegedi fizikus professzor *Fényterápia fizikus szemmel* cím alatt a látható fénytől nem túl távoli tartományban található sugarak emberi szervezetre gyakorolt hatásának vizsgálati szempontjairól beszélt. A hangsúlyt a tudományos vizsgálat összetettségére helyezte, példaként említve a szénanátha fényterápiáját, ami hangzásra egyszerűnek tűnik, de a számtalan paraméter kölcsönhatásából adódó nehézségek az egészségügyi előírások követelményeivel együtt valóban embert próbáló feladattá teszik a tudományos vizsgálatot. Az előadó jelképeesen a kétatomos molekulák spektroszkópiai vizsgálatát említette, ahol közmondásosan a második atom jelenléte okozza az elképesztő bonyodalmat.

Bonyolult rendszerek alakultak ki az elektromágneses sugárzások rövidebb hullámhosszai, a röntgensugarak felől indulva. A kézfejről készült első röntgenfelvételtől száz év alatt a digitális kiértékelésű képalkotó diagnosztikai eljárásokig jutottunk. Ehhez kapcsolódott az ugyancsak szegedi professzor *Palkó András* előadása: *Képalkotó diagnosztikai eljárások az ötlettől a klinikai alkalmazásig: zsákutcák, tévutak és csalafintaságok*. Hallottunk ígéretes módszerekről, amelyek végül zsákutának bizonyultak. Ma az az alapvető kérdés a tudomány oldaláról, hogy van-e új fizikai elv, amely hatásosabb diagnosztikához vezet. Sokan állítják, hogy egyszerű, széleskörű vizsgálatokra alkalmas és olcsó eljárás birtokában vannak. A bizonyítással azonban adócsok maradtak. Az előadó nagyvonalú jóindulatában ezt tekinti csalafintaságnak. Ám egy valóban értékes felvetésnek hosszadalmas publikációs és engedélyeztetési folyamaton kell végigmennie, amíg elismert és alkalmazott eljárás lesz.

Hraskó Gábor, a Szkeptikus Társaság ügyvezető elnöke az elektromágneses spektrum egy bizonytalan szegmensét választotta, amikor *MI REZEG OTT? Kritikus összefoglaló a biorezonancia jelenségéről* címen egy közelebbről nem definiált jelenségen, a biorezonancián alapuló eszközökről és eljárásokról beszélt. Drága eszközökről van szó, amelyek bizonyítottan nem ártanak, ám hatásosságuk nem terjed tovább a páciensek bizalmából eredő költségarányos placebohatáson.

Egyre több jel mutat arra, hogy a tudományosan nem alátámasztható gyógyító eszközök és eljárások végső menedéke a placebohatás. *Bárdos György*, az ELTE Élettani és neurobiológiai tanszékének docense

Placebo – nocebo című előadásában ennek a kérdés-körnek a körüljárására vállalkozott. Egy gyógyszer vagy gyógykezelés hatékonyságán sokat javíthat vagy ronthat a hírverés, a körülmények, a „tálatás”. Egy szimulált elektromágneses kezelés is csodákat művelhet, és bevált tablettákhoz mellékelt félelmet keltő figyelmeztetések nem kívánt tüneteket idézhetnek elő.

Bodrogi Andrea pszichiáter, addiktológus szakorvos felkért hozzászólásában a tudomány korlátait, a hitképességet vizsgálta, az optimizmus és a depresszió hatásait. A hagyományos orvoslás rossz szerepbe kényszerül, míg az áltudomány ígér, biztat, megnyugtat, és akár a nem létező biorezonanciával is érhet el eredményt.

A délutáni előadások előtt a Tiltott Találmányok Tárlata egyetlen beküldött eszközt lehetett működés közben megfigyelni. Egy elektromos Segner-kerékhez hasonló, de annak működési mechanizmusával nem magyarázható, nagy sztatikus villamos tér hatására forgó rendszer, amit *Borbás Miklós* villamosmérnök küldött be, hogy működésére próbálja a tudomány magyarázatot adni. A Konferencia résztvevői egy év gondolkodási időt kaptak.

A délutáni program a mindennapi áltudományok néhány örökzöld témáját járta körül. Az egészen vagy részben vízzel közlekedő autók meséjéhez szükséges tudnivalókkal látott el *Emőd István*, a Műegyetem Gépjárművek Tanszékének docense *Járműmotorok fogyasztáscsökkentése – vízbejuttatás ... mágnes ... adalék* című előadásával. A műszaki ismeretek megszerzése persze fárasztóbb, mint egy izgalmas összeesküvés-elmélet.

Miután a tudomány meglehetősen kevés figyelmet és energiát fordít a saját bemutatására, megmagyarázására, a tudományos újságírás minőségén sok múlik. *Tudomány kommunikációja a médiában* címmel *Stöckert Gábor*, az *Index* tudományos újságírója változta ennek a szakmának a nehézségeit. Egyik oldal-

ról az idő sürget, hiszen a megjelent hír már nem hír, ugyanakkor a hiteles tájékoztatáshoz-tájékozódáshoz ugyancsak időre, (megfelelő forrásokra és még sok mindenre) van szükség. Közben a bulvár egyetlen szempontja a nézettség, a rákattintások száma.

Tények és tévhitek a szabadalmakról címmel *Gács János*, a Magyar Szabadalmi Hivatal osztályvezetője először is leszögezte: „a szabadalom egy találmány hasznosítására vonatkozó kizárólagos vagyoni értékű jog”. Tehát nem egy igazolás arról, hogy a szabadalmaztatott eljárás jelentős, tudományosan nem vitatható, vagy hogy egyáltalán működni fog. A szabadalmukkal házaló sarlatánok kedvenc állításával szemben az a helyzet, hogy *világszabadalom nincs*.

Balhbazár Zsolt vegyész mérnök, aki évek óta áltudományokról ad elő a felsőoktatásban, az asztrológia szerepének elemzésével arra a következtetésre jutott, hogy a mai bulvársajtóban ugyan rendszeresen jelennek meg horoszkópok, de azoknak nincs köztük a csillagos éghez, hiszen a három hónapja bekövetkezett évszázados ritkaságú együttállást még csak észre sem vették.

A szkeptikus konferenciák hagyományának megfelelően befejezésül bűvészműtávjúk, elsősorban kártyatrükkök voltak láthatók. Jupiternek (*Molnár Gergelynek*) ezúttal is sikerült elkápráztatnia a közönséget, és semmilyen tudományos fokozat nem segített megfejteni a trükköket.

Szemben a sarlatánnal, a bűvész emelt fővel, bevalottan csal. Ezért tartanak a sarlatánok a bűvészekről, mert azok nemcsak bevallják a csalást, hanem a trükkjeik is sikerülnek. Az örökmozgók, vízautók, rákszerumok feltalálói csak állítják, hogy igazat mondanak, miközben találmányaik nem működnek.

A Konferencia archívuma <http://szkeptikus.bme.hu> címen elérhető.

Füstöss László

VÉLEMÉNYEK

GONDOLATOK A FIZIKA MIBENLÉTÉRŐL

Szondy György
villamosmérnök, amatőr fizikus

A *Fizikai Szemle* 2008/12 számában *Bíró Tamás Sándor* elmélkedett a tudományról, annak evolúciójáról, a tudományosságról, ez utóbbi mérhetőségéről, valamint arról, hogy ki is lehet tudós, és ki az, aki mindig kontár marad

A *Fizikai Szemle* szerkesztő bizottsága az 1972-ben meghirdetett VÉLEMÉNYEK sorozatát az olvasók kérésére tovább folytatja ez évben is. A szerkesztő bizottság állásfoglalása alapján „a *Fizikai Szemle* feladatául vállalja el, hogy teret nyit a fizikai kutatásra és fizika oktatására vonatkozó véleményeknek, ha azok értékes gondolatokat tartalmaznak és építő szándékúak, függetlenül attól, hogy egyeznek-e a lap szerkesztőinek nézetével, vagy sem”. Ennek szellemében várjuk továbbra is olvasóink, várjuk a magyar fizikusok leveleit.

[1]. A szerző a tudományosság egyik ismérvének tekinti a szimbolizálhatóságot, ami egy leíró nyelv, alkalmasint a matematika alkalmazását jelenti, illetve annak alkalmazásával lenne mérhető. A fizikát ilyen szempontból a tudományosság legmagasabb szintjére helyezi, közvetlenül a matematika után. Ez érthető is, hiszen a mai fizika hihetetlen mértékben elmatematizálódott. A matematikai fizika például a fizikának (vagy inkább a matematikának!) olyan ága, amely kimondottan a matematika fizikai problémákra való alkalmazásáról szól, illetve olyan matematikai módszerek kidolgozásáról, amelyek fizikai elméletek megfogalmazására szolgálnak [2].

De mi is a fizika valójában? Középiskolában annak idején a fizikai feladatok megoldásával kapcsolatban többféle hozzáállást tapasztaltam. Nekem az a módszer vált be (és volt magától értetődő), hogy próbáltam megérteni a fizikai folyamatok működését és ennek alapján felírni, alkalmazni a tanult matematikát. Értettem azt, amit csinálók és sosem okozott problémát se versenyeken, se később az egyetemi felvételin, vagy vizsgákon. Sokan viszont azt a módszert használták, hogy a feladatban szereplő adatok alapján kiválasztották a megfelelő képletet és azt alkalmazták az adott helyzetben. A matematika ugyanaz, de lássuk be, ez utóbbi módszernek nem sok köze van a fizikához.

A fizika művelésének – véleményem szerint – meghatározó része a megértés, az absztrakció, amely során a világ komplex folyamataira olyan egyszerűbb modellt alkalmazunk, amelynek működése már matematikailag leírható. Ugyanakkor ez azt is jelenti, hogy a matematika önmagában nem fizika, éppen a megfelelő modellek révén lesz az. Ugyanis modell teremt kapcsolatot a fizikai valóság és a matematika között. A modell jósága, határai alapján dönthető el, hogy az adott matematikai leírás alkalmazásának hol vannak a határai. Ez a képletekből nem látszik: a papír mindent elbír. Egy példa erre az a kérdés, hogy mi van a fekete lyuk eseményhorizontjánál, illetve azon belül? Aki erről az általános

relativitáselméletre hivatkozva bármilyen egzakt számítást elvégez, az vélhetően elfelejti, hogy az elmélet modellszinten csak olyan tartományon érvényes, ahol a gravitációs tér homogénnek tekinthető.

Vajon nem éppen a megfelelő és megérthető fizikai modell hiánya, vagy mellőzése miatt tűnnek fel ezen a téren jelentős számban kontárok, akik saját korlátaikból fakadóan matematikai eszköztár nélküli tudománytalan portékájukat árulják? Ki lelkesedne azért a lehetőségért, hogy vagy nem kap semmit, vagy éppen a matematikai fizika halandók számára emészthetetlen darabjait próbálják lenyomni a torkán?

Én csak a magam véleményét mondhatom, de szerintem a labda a tudomány oldalán van. Szerintem a tudós nem teheti meg, hogy sértetten a kintrekedtek orrára csapja az ajtót, mondván: „kívül tágasabb”. E helyett körbe kell vezetni a nagyközönséget a tudomány múzeumában és a hálás közönség szívesen veszi majd a tudomány portékáját, még ha drága is, mert tudja, látja, hogy az az igazi. Vannak jó példák erre nálunk is, érdemes csatlakozni hozzájuk!

Irodalom

1. Bíró T. S.: Gondolatok a tudomány hatáiról. *Fizikai Szemle* 58 (2008) 437–441.
2. Wikipédia, *Mathematical physics* http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_physics

KÖNYVESPOLC

Révai Gábor: BESZÉLGETÉSEK NEM CSAK TUDOMÁNYRÓL – Csányi Vilmos etológussal és Lukács Béla fizikussal Corvina Kiadó, Budapest, 2008. 267 oldal

A szerző két természettudóssal készített interjúorozatot és ezt tartalmazza a kötet. A két természettudós – hogy úgy mondjuk – a természettudományok „két különböző végletét” képviseli, éspedig az egyik a társadalomtudományokkal legjobban érintkező végét (etológia, humán etológia – *Csányi Vilmos*), a másik a legegzaktabbnak tartott természettudomány művelője (fizika – *Lukács Béla*). Az előszóban azt írja a könyv szerzője, hogy Csányi Vilmosnál attól „szorongott”, hogy az interjúalany annyi ismeretterjesztő művet publikált, hogy mi újat sikerül kihozni a beszélgetések során, míg Lukács Bélának egy „népszerűnek szánt” könyve van és abból az interjú készítője nem sokat értett. Mindkét esetben különben az interjú bizonyos fő kérdéskörök körül fejezetekbe van csoportosítva. Például Csányi esetében ilyen fejezeteket találunk: *Hogy lesz valakiből etológus?*, vagy *Van ott valami?* (összesen négy fejezet). Lukács esetében szintén

négy fejezet, például *Hogyanok és miértek*, vagy *Az emberiség botlása – az exponenciális fejlődés*.

Amikor Csányi Vilmos 1957-ben végzett, még az etológia tudománya nem létezett (1973-tól számítják), persze léteztek bizonyos előzményei (állatpszichológia) és az ő útja a biokémián, molekuláris biológián és a mikrobiológiai genetikán keresztül vezetett az etológiához, majd a humán etológiához. Az etológia kiindulópontja, „...hogy nem laboratóriumban kell nézni az állatokat...” „Ha a természeti környezetükben, beavatkozás nélkül nézegetjük az állatokat, akkor sokkal többet tudunk meg róluk, mint ... az állatpszichológiai kísérletekkel.” Egyébként „Amerikában ... az etológia szót nem nagyon használják, ott magatartástudomány, 'behavior biology' ... néven fut...” *Lorenz* élete vége felé jött rá, hogy „...az etológiánk az alanya lehet az ember is... etológiai eszközökkel ugyanúgy lehet tanulmányozni, mint bármely más

állatot, azzal a különbséggel, hogy az állatok többségénél a tanult viselkedési formák kisebb szerepet játszanak, az embernél meg ... ezek dominálják a viselkedést.” Mivel pedig „...az ember rendszerszervező tulajdonsággal születik” és „...génjeiben van az, hogy közösségeket szeretne szervezni”, a humán etológia foglalkozik az ember közösségi viselkedésével, az emberi közösségekkel, és akkor már „súroljuk” is a társadalomtudományok területét.

Az interjú Csányi Vilmosmal optimista kicsengéssel végződik a „madáchi eszme” alapján. „Egy biológus számára a legfontosabb dolog mindig a megmaradás...” (Kiemelés tőlem B. D.) „Tehát a biológia számára ez az érték: megmaradni és a következő generációba lépni. Ehhez az ember nagyon szép eszközöket talált fel, tehát optimista vagyok.”

Lukács Béla végzése óta (1970) a KFKI-ban dolgozik (nem számítva a hosszabb külföldi utakat), elméleti fizikus, aki eredetileg csillagász szeretett volna lenni, de hogy fizikus lett, az nem jelent problémát, mert ma már a fizika és a csillagászat nagyon közel van egymáshoz, sőt jórészt átfedésben. „A megfigyelő csillagászok helyettesítik az általános relativisták számára a kísérleti területet.” A KFKI-ban jól érezte magát, a Kádár-rendszer butaságai és romlottsága csak nagyon áttételesen nyilvánultak meg itt. „...ahol már 1970-ben sem kellett hazudni, az a fizika volt. ... 1965-ben, amikor elkezdtem az egyetemet, eszembe se jutott, hogy olyan szakra menjek, amelynek közvetlen politikai, világnézeti, vagy efféle vonatkozásai vannak.” Mindenesetre „...két fizikus a szakmáról akkor is tud be-

szélni, ha két ellentétes politikai irányzathoz tartozik, pedig egy csomó tudományban az ilyenek már nem is tudnak beszélni egymással. A fizikusban van bizonyos képesség arra, hogy elválassza azt, ami a szakmájához tartozik, és ami nem.”

Az interjú során azután szó esik kifejezetten szakmai kérdésekről is, Lukács kutatási témáiról, de más általánosabb tudományos, sőt történelmi-társadalmi kérdésekről is. „Természettudományosan a 20. század egy csodálatos század volt, amely azzal kezdte, hogy szétrúgta az előző két, vagy három század már megszokott eredményeit. A relativitáselmélet és a kvantumelmélet is valami olyat hozott, amire senki se számított.”

Érdekes, hogy mindkét tudós bizonyos kritikával, kételyekkel közelít korunkhoz, társadalmunkhoz. Csányi szerint elveszték a jó közösségek. „...a mai ember ilyen szempontból teljesen elszegényedett, és fogalma nincs róla, hogy mit veszített. Azt tudja, hogy kapott televíziót, rádiót, internetet, számítógépet, tömegközlekedést, öregségi nyugdíjat, minden egyebet, de hogy mit adott ezért, azt nem tudja, mert nem tapasztalta meg, vagy mert rosszul emlékszik, vagy mert fiatal korában nem volt olyan környezetben, ahol ez létrejött volna.” Lukács csaknem hasonlóan fogalmaz: „...az emberiség valamikor megbotlott, különböző emberek különböző pontokra mutatnak, hogy ott botlottak meg, és most egyre gyorsabban fut. ... Ha pedig valaki azt mondaná, hogy nem kapok semmit, ezzel szemben meg lesz valósítva a teljes lelki harmónia, akkor az illetőt elkergetnék.”

Berényi Dénes



HÍREK – ESEMÉNYEK

HÍREK ITTHONRÓL

Lang János (1927–2009)

Lang János, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat régi tagja, a Szegedi Tudományegyetem nyugalmazott adjunktusa 82 éves korában elhunyt.

Lang János – feleségével, Zsuzsa néniével együtt – az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 1950-ben megalakult Csongrád Megyei Csoportjának alapító tagja volt. A társulat 402-es számú tagkönyvének tulajdonosaként vele az egyik legrégebbi tagtársunk távozott el közülünk. Lang János a kezdetektől fogva fáradhatatlanul dolgozott, és vitte a vállán a fizika ügyét Szegeden és Csongrád megyében. Így volt ez különösen

akkor, amikor a megyei csoport titkáráként működött 1967–1985 között.

1976-ban az MTESZ megyei emlékéremmel, 1983-ban MTESZ-díjjal tüntették ki. 1985-ben a Csongrád Megyei Csoport tiszteletbeli elnökévé választották.

Lang tanár úr fizika szakos hallgatók nemzedékeinek tartott elektronika előadásokat és vezetett laboratóriumi gyakorlatokat a Szegedi Egyetemen.

Emlékét kegyelettel megőrizzük.

Benedict Mihály

az ELFT Csongrád megyei csoport elnöke

Lang János fizikust, a Szegedi, majd a József Attila Tudományegyetem Természettudományi Kara Kísérleti Fizika Tanszékének oktatóját, nekem magamnak gyakorlatvezetőmet, majd iránymutató kollégámat veszítettük el. Vesztette el a hazai fizikus közösség.

Írnom kell erről, hogy egy-két bennem élő kedves emlékekkel színezzem a képet, amely a hazai közösségekben minden bizonnyal megmarad róla.

Mikor két vásárhelyi tanári évem után, *Budó* professzor hívására, 1956 decemberében bekerülhettem az intézetbe az akkor 'in statu nascendi' állapotban lévő Lumineszcencia és Félvezető Tanszéki Kutató Csoportnak *Gombay Lajos* által vezetett csoportjába, akkor kerültem közel Lang Jánoshoz, a csoport egyik erősségéhez. János nagy szeretettel fogadott. Ő a témaválasztás „rés-stratégiájának” kiváló művelője volt: a mára újra fontossá vált vegyület-félvezetők vékonyrétegeinek fotoelektromos tulajdonságaival foglalkozott. Lang János vákuumpárológató rendszert épített. Vele együtt, egymás mellett dolgoztunk a szegedi tizenöt évemben.

A tudományos munkásságáról azok a szegedi kollégák tudnának részletesebben írni, akik végig mellette maradtak. Én azt szeretném most a hazai közösségünknek tudtára adni, hogy Lang János nem csak nagy tudású kollégánk volt, hanem az egyik „ember” is ott. Igaz, *Budó Ágoston* mellett nem volt könnyű *nem* annak maradni. János nemcsak szakmailag járult hozzá a kutatóvá érésemhez, hanem – és ez épp olyan fontos – emberségben is példát adott. Ő is egyik olyan tagja volt a *Gombay*-csapatnak, aki meghatározta nemcsak a szakmai, de a teljes későbbi életemet.

Már az is különlegességnek számított, amikor megtudtam: a szarvasi szülőházában tanár édesapjának egy valódi, méretes orgonája volt. Azon szeretett ő is játszani. Ilyenről akkoriban én még nem hallottam. Nekem csak a templomok kórusaiban adatott meg orgonát látni, de leggyakrabban csak fűjtatni.

Kedves János! Egyetlen esetedről tudok, amikor „elkapott a játékszenvedély”...

Az úgy történt, hogy a fiad, *Jancsika*, megkapta az első nagy karácsonyi ajándékát, egy villanyvonatot. Azokban a nehéz években nem volt egyszerű feladat technikai játékokhoz jutni. Sokunknak volt vágya a *Märklin* építőszelekre, vagy netán az ugyancsak *Märklin* gyártmányú villanyvonat. Nos, *Lang Jancsikának* megadatott, hogy karácsonyra egy modell-villanyvonatot hozzon az Ajándékhozó. Az apa-János sokat mesélt nekünk az ajándék nagy sikeréről. Telt az idő, ismét közeledett a karácsony. Ahogy az dukál, *Langék* is megkérdezték *Jancsikát*, hogy minek örülne legjobban, ha a fa alatt találná. A válasz máig léleksimogatónan kedves: „Egy olyan vonatnak, mint amilyen apunak van...”

Hát ilyennek maradt bennem a kedves báty-barát portréja, akit gyászolnunk kell.

A *Lang*-családban az édesanya is meghatározó volt: kiváló tanárnő, aki nemcsak remek fiatalokat nevelt, hanem tanár-leányában a folytonosságról is gondoskodott. Folytonosságról a fizika szeretetében, a szakma becsülésében és az emberségben, amiről mi már korán megbizonyosodhattunk.

Gyulai József

HÍREK A NAGYVILÁGBÓL

Megszűnik az alap kutatás a Bell Laboratóriumban?

A hírek szerint a Bell Laboratórium, amely ezideig az alap- és alkalmazott kutatások együttélésének kiemelkedő példája volt, az alap kutatásokkal foglalkozó részlegének bezárását tervezi vállalati okokból. A Bell Laboratóriumban az ipari fizikai kutatások „aranykorában” a kutatók szabadon kiélhették kíváncsiságukat és olyan problémák vizsgálatával is foglal-

kozhattak, amelyeknek a gyakorlati alkalmazásait nem lehetett előre látni. A 70-es években a tulajdonos AT&T évente 2 milliárd dollárt fektetett be a kutatásba és fejlesztésbe. A Bell Laboratórium nevéhez számos kiemelkedő tudományos eredmény kapcsolódik a fizika különböző területein.

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

Iránnak egy-két év múlva lesz atomfegyvere

Egy orosz stratégiai fegyverszakértő szerint egy-két éven belül Irán képes lesz atomfegyver előállítására. *Vlagyimir Dvorkin* nyugállományú tábornok, az 1970–80-as évek amerikai–szovjet lefegyverzési tárgyalásainak veterán szakértője szerint az atomfegyverrel rendelkező Teherán „komoly fenyegetést jelent”.

„Technikai szempontból egyedül az hátráltatja őket, hogy nem rendelkeznek elegendő fegyver-minőségű

urániummal.” – jelentette ki *Dvorkin*, aki az Orosz Tudományos Akadémia stratégiai fegyverkutatói központjának vezetője. „Az a veszély fenyeget, hogy Irán, amely gyakorlatilag figyelmen kívül hagyta az ENSZ Biztonsági Tanácsának határozatait és szankcióit, mint atomhatalom érinthetlenné válik, ez pedig lehetővé teszi, hogy növelje olyan terrorista szervezetek támogatását, mint a Hamasz és a Hezbollah.”

Az orosz diplomaták hivatalos megnyilvánulásaikban mindig figyelmen kívül hagyták az amerikai és izraeli félelmeket, hogy Irán atomfegyvert készül létrehozni. Moszkva ellenezett minden keményebb szankciót Irán vitatott atomprogramja miatt. Oroszország akkor is segítette Iránt egy atomerőmű építésében, amikor a nyugati országok kifejezték aggodalmukat, hogy Teherán urándúsító programja valójában atomfegyver létrehozására irányul.

Moszkva azonban azt is megjegyezte, hogy Irán közelebb van Oroszországhoz, mint bármely nyugati országhoz, és fenntartotta, hogy ellenez minden atomfegyver létrehozására irányuló erőfeszítést Teherán részéről.

Irán természetesen tagadja, hogy atomfegyver előállítására készül, és fenntartja, hogy atomprogramja szigorúan békés jellegű.

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

ATOMOKTÓL A CSILLAGOKIG

A TISZTESSÉGES MAGATARTÁS KIALAKULÁSA: JÁTÉKELMÉLETI ELEMZÉS

Szabó György
MTA MFA

A játék nem játék

Az emberek és az állatok jelentős része játékokon keresztül sajátítja el, hogyan kell viselkedni azokban az élethelyzetekben, amelyekkel felnőtt korukban találkoznak. A legtöbb ilyen játék leegyszerűsített formában szembesíti a játékosokat a valóságban előforduló helyzetekkel. A leegyszerűsítés lehet olyan mértékű, hogy már a matematika nyelvét és eszközeit is használhatjuk a legjobb megoldás megtalálásában. A játékelmélet egységes matematikai keretének kidolgozását és ezen belül a játékok gazdag választékának osztályozását *Neumann János* indította el. A Neumann névvel fémjelzett klasszikus játékelméletben a játékosok önzők (mindegyikük a saját nyereségének maximalizálására törekszik) és intelligensek, azaz mindegyikük ismeri az összes lehetséges döntést és az ahhoz tartozó számszerűsített nyereségeket. A játékosok intelligenciája arra is kiterjed, hogy ha létezik jó megoldás, akkor azt képesek megtalálni, miközben játékostársuk hasonló képességéről sem feledkeznek meg. Azt is tudják, hogy Ő tudja, hogy én tudom, hogy Ő ... A klasszikus játékelmélet erősen kötődik a közgazdaságtanhoz, mert az „üzleti élet” szereplőiről a játékosokhoz hasonló viselkedést lehetett feltételezni.

Az elmúlt évtizedekben a játékelmélet jelentős mértékben bővült és fejlődött. Kiderült, hogy az emberi viselkedés nem annyira racionális, amennyire azt a hagyományos játékelmélet feltételezi. Nagyon sok esetben a játék túl bonyolult – sok szereplő, ismétléses játékok, hiányos ismeretek, tévedések lehetősége stb. –, és ilyenkor a racionális gondolkodás helyett a társadalom tagjai egyszerű sémákat követve – például az eredményesebb szereplő viselkedésének utánzásával – próbálják maximalizálni saját nyereségüket. Ezt az utóbbi felismerést erősítette a biológiai evolúció mate-

matikai megalapozása, ahol a játékelmélet alapfogalmát, a nyeresémmátrixot használjuk a különböző stratégiákat képviselő fajok közötti kölcsönhatás jellemzésére, ami a fajok utódlétrehozó képességét (a sikerességét) számszerűsíti. A darwini evolúció alkalmazása a fajok egyedszámára azt jelenti, hogy a sikeresebb faj egyedei szaporodnak a sikertelenek kárára. A biológiai élet-halál játék szelídebb formában jelenik meg az emberi társadalmakban, ahol nem a sikertelen játékos pusztul ki, hanem csak a stratégiája, amikor átveszi a sikeresebb viselkedésformát.

A következő fejezetben egy olyan sokszereplős evolúciós játékelméleti modellt vizsgálunk, ami betekintést nyújt a tisztességes magatartás kialakulására az önző játékosok között is.

Társadalmi dilemmák

A legegyszerűbb társadalmi dilemma helyzetben két játékosnak, egymástól függetlenül kell arról döntenie, hogy a közösség számára előnyös *C* (cooperation) vagy az egyéni önzést képviselő *D* (defection) stratégiát választja. A döntésekhez tartozó számszerűsített nyereségeket egy bi-mátrix segítségével adhatjuk meg:

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{cc} C & D \end{array} \\ \begin{array}{c} C \\ D \end{array} & \left(\begin{array}{cc} (R, R) & (S, T) \\ (T, S) & (P, P) \end{array} \right), \end{array} \quad (1)$$

ami szerint mindkét játékos nyeresége *R* (Reward), ha *C*-t választottak, illetve *P* (Punishment), ha mindketten a *D* stratégiát követik. Ebben a szimmetrikus játékban a játékosok azonosak. Ez abban is megmutatkozik, hogy ellentétes választás esetén a *D* stratégiát választó játékos nyeresége *T* (Temptation to

choose defection), míg ellenfelének nyereménye S (Sucker's payoff) lesz. Az úgynevezett Fogolydilemma-helyzetekben a nyeremények sorrendje: $T > R > P > S$; a Szarvasvadászatnak megfelelő játékban: $R > T > P > S$; a Héja-Galamb játékban pedig: $T > R > S > P$.

Az említett játékok elnevezése is életből elesett helyzetekre utal. A *Fogolydilemmánál* két játékosunk egymástól elkülönített cellában azon gondolkodik, hogy elárulja-e társát (D stratégia) vagy hallgasson (C stratégia). A rablási kísérlet után a tárgyi bizonyíték és szemtanúk hiánya miatt a rend őre azt ajánlotta nekik, hogy ők adjanak bizonyítékot társuk bűnösségére. Ha mindketten elárulják a másikat, akkor három hónapos börtönbüntetés szabható ki rájuk. Ha mindketten hallgatnak, akkor bizonyíték hiányában egy hét múlva kiszabadulnak. Azonnal szabadulhat az a játékos, aki egyoldalúan árulja el társát, aki viszont öthónapos büntetésre számíthat. Ebben az esetben nyereménynek tekinthetjük a maximális büntetéshez képest szabadlábban eltöltött időt. A *Szarvasvadászat* példája *Rousseau*-tól származik. Játékosaink a szarvas elejtésében csak akkor lehetnek sikeresek, ha mindketten kizárólag a vad elejtésére koncentrálnak (kölcsonös C), és a bekerítés közben egyikük sem próbálkozik az újtába eső kisvad (pl. nyúl) elejtésével (D stratégia), amit ugyan el lehet rejteni a társ elől, de ez a tevékenység biztosan elriasztja a nagyvadat. A nyere-ményt ekkor mérhetjük a várható zsákmány súlyával. *Héja-Galamb* játékkal osztozkodáskor találkozhatunk. A jutalom – ami lehet terület, vagy zsákmány, vagy pénz – elosztásánál játékosaink választhatják a békeszerető (C) vagy az agresszív (D) magatartást. Ha mindketten a C stratégiát választják, akkor felezik a jutalmat. Az agresszív játékoskal szemben a békeszerető a teljes jutalmat átengedi. Két agresszív játékos azonban megverekszik a jutalomért és az egymásnak okozott sérülések mértéke meghaladja a jutalom értékének felét.

Mindhárom esetben a C kölcsönös választása nagyobb nyereményt biztosít a játékosok számára, mint a kölcsönös D ($R > P$), illetve, mint a C egyoldalú választása ($R > S$). A játékosok mégis szívesebben választják a D -t, ha a D egyoldalú választása előnyösebb a kölcsönös C -nél ($T > R$), illetve, ha a kölcsönös D nagyobb jövedelmet biztosít, mint a D egyoldalú választása ($P > S$). Az előbbi feltétel teljesül a Héja-Galamb játékban, az utóbbi a Szarvasvadászatnál, és mindkét hajtóerő érvényesül a Fogolydilemmánál. A Fogolydilemma különlegessége, hogy a racionális (önző) játékosoknak D -t célszerű választani annak ellenére, hogy ezzel az össznyereményük értéke a lehető legkisebb lesz, amit a játékelméletben a Közösség Tragédiájának is hívnak. Más szavakkal, ez a játék mutatja meg legtisztábban, hogy az egyéni és közösségi érdekek között feloldhatatlannak tűnő ellentmondás alakulhat ki. Fogolydilemma-helyzet valósul meg akkor is, ha játékosainknak arról kell dönteni egymástól függetlenül, hogy befizetnek-e c költséget azért, hogy társuk $b > c$ jövedelemhez jusson. A mindennapi életünkben ezen utóbbi helyzettel szembesü-

lünk leggyakrabban, amikor például arról döntünk, hogy a munkamegosztásban számunkra kiosztott feladatot tisztességesen (C) vagy tisztességtelenül (D) végezzük el; a szakmánkat alaposan elsajátítjuk vagy sem; a közlekedésben betartjuk a szabályokat vagy tolakodunk, vigyázunk az egészségünkre vagy gyógykezelésünk költségeit másokkal fizettetjük meg stb. A felsorolt példák arra is utalnak, hogy egy társadalomban az erkölcsi válságnak, a szakértelem és közlekedési morál hiányának közös oka van: az egyéni önzés érvényesül a közösségi érdekekkel szemben.

Felfedezése idején a Fogolydilemma létezése legalább akkora kételyeket okozott a kapitalizmus elméleti megalapozhatóságában, mint amit a püthagorasz-i iskola hívei élhettek át akkor, amikor bebizonyították, hogy a $\sqrt{2}$ nem racionális szám (a Fogolydilemma-helyzet felfedezőit nem végezték ki). Mára azonban számos magyarázatot és okot sikerült találni arra, hogy a tisztességes magatartás az önző egyének között is fenntartható a Fogolydilemma-helyzetekben. Az egyik fontos magyarázat a játék ismétlésére épül, ami kibővíti a játékosok lehetőségeit azáltal, hogy aktuális választásuknál figyelembe vehetik társaik korábbi döntéseit is. *Robert Axelrod* számítógépes versenye azt igazolta, hogy az ismétléses Fogolydilemma-játékoknál a Szemet-Szemért (vagy más néven Kölcsönkenyér visszajár, angolul Tit-for-Tat, röviden *TfT*) stratégia használatával a közösség elkerülheti a tragikus végállapotot. A versenyben nyertes *TfT* stratégia az első lépésben C -t választ, majd pedig megismétli a játékos társ előző döntését, azaz D -vel bünteti a potyázást (vagy élösködést) és C -vel jutalmazza a tisztességes magatartást. Azóta is ez a javallott stratégia az egyén számára az ismételt Fogolydilemma-helyzetekben, ha játékos társainkról semmit sem tudunk. A következő fejezetben ugyanezt az eredményt egy olyan stratégiához segítésével elemezzük, ami további érdekességekre hívta fel a figyelmet.

Stochasztikus reaktív stratégiák versengése

A stochasztikus reaktív stratégiákat *Martin Nowak* és *Karl Sigmund* javasolta a sokszereplős ismételt Fogolydilemma elemzésére 1982-ben. A *TfT* hasonlóságára a stratégiához stratégiái csak a partner előző döntését veszik figyelembe és a választott stochasztikus döntést két paraméter ($0 < p, q < 1$) jellemzi. A (p, q) stratégia p (illetve q) valószínűséggel választ C -t, ha a partner előzőleg C -t (illetve D -t) választott. Természetesen itt is meg kell mondani, hogy mi történjen az első lépésben, de hosszú távon ez a döntés elveszti a jelentőségét, ha $0 < p, q < 1$. Könnyű kiszámolni, hogy egy átmeneti időszak után a (p, q) és (p', q') stratégiák milyen valószínűséggel választanak C -t, illetve D -t egymás ellen és ugyanakkor a nyereményeik átlagos értékét is meghatározhatjuk.

A (p, q) stratégiák közül néhányat érdemes kiemelni. Az egyik legegyszerűbb stratégia (továbbiakban *mD*) feltétel nélkül választja a D -t, míg ellentétes pár-

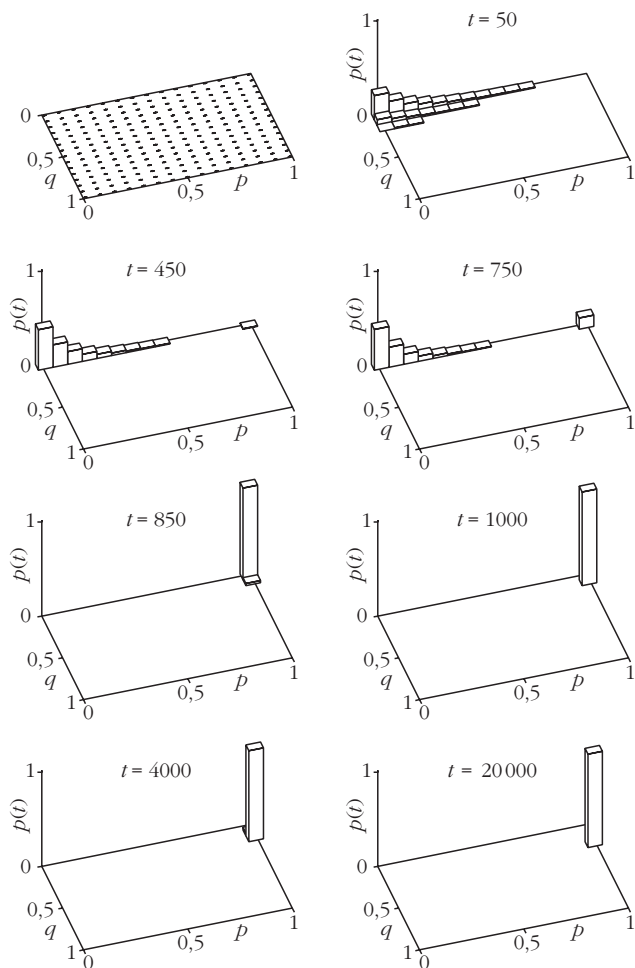
ja, az mC mindig a tisztességes magatartást követi. Ha $p = q$, akkor a játékosaink döntése független a partner előző választásától. Külön érdemes kiemelni a barátságos stratégiákat ($p = 1$), akik nem hajlandók elsőként élőködni partnereiken. A barátságos stratégiák együttműködnek, azaz egymás ellen mindig tisztességesek és közösségük számára a maximális össznyereményt biztosítják. Ezzel ellentétesen működnek azok a stratégiák, ahol $q = 0$, vagyis ők élőködni próbálnak egymáson és ennek hatására közösségük a társadalmi tragédia állapotába kerül. A korábban ajánlott TfT stratégia is része a stratégiahalmaznak. Az $(1,0)$ determinisztikus reaktív stratégia többféle TfT stratégiát képvisel, attól függően, hogy mit választ az első lépésben. Az Axelrod versenyében nyertes stratégiák is barátságosak, vagyis segítik egymást. Ennek ellenére van egy hátrányos tulajdonságuk: szigorú magatartásuk következtében megbomolhat a közöttük kialakult együttműködés, ha bármiféle zavart követően egyikük tévedésből D -t választ. A hibás döntés után ellentétesen váltakozva választják a C és D döntéseket, aminek következtében átlagos nyereményük $(T+S)/2$ lesz, amiről feltételezzük, hogy kisebb, mint R . Már Axelrod felismerte, hogy ebből a zavarból kikerülhetnek a játékosok, ha az úgynevezett megbocsátó TfT -t (röviden $mTfT$) stratégiát, azaz az $(1, q)$ stochasztikus reaktív stratégiát követik, ahol q a megbocsátás mértékét jellemzi. $q = 1$ -nél az $mTfT$ azonosává válik az mC stratégiával.

Nowak és Sigmund numerikusan vizsgálták, hogy mi történik egy olyan közösségben, ahol a végtelenül nagyszámú játékos p_i hányada követi az $s_i = (p_i, q_i)$ stratégiát, ahol a 100 különböző stratégiát véletlenül választották ki a lehetséges stratégiák közül. A $t = 0$ időpillanatban mindegyik stratégiát azonos számú játékos választotta [$p_i(t=0) = 1/100$]. Ezt követően a $t = 1, 2, \dots$ időpontokban a játékosok a replikátor-egyenlet szellemében módosíthatják stratégiájukat, és a következő lépésben már a játékosok

$$p_i(t+1) = \frac{p_i(t) \sum_j U(s_i, s_j) p_j(t)}{\sum_{j,k} p_k(t) U(s_k, s_j) p_j(t)} \quad (2)$$

hányada választja az s_i stratégiát, ahol $U(s_i, s_j)$ az s_i stratégiát követő játékos nyereményét fejezi ki az s_j -vel szemben. A jelenségek világosabb megjelenítése érdekében az 1. ábrán egy olyan időfejlődést mutatunk be, ahol a lehetséges 225 s_i stratégiát a kétdimenziós paraméterterén egyenletesen osztottuk el.

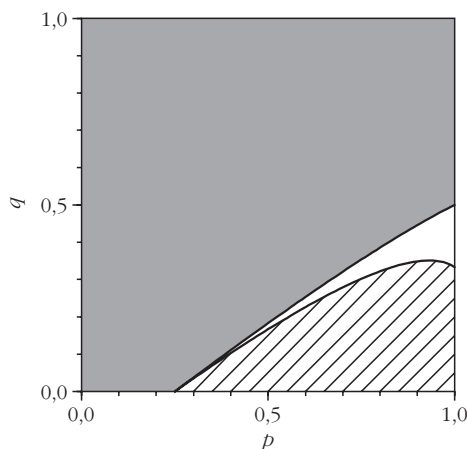
Az 1. ábra világosan mutatja, hogy kezdetben az mD stratégia jut a legmagasabb nyereményhez és emiatt követői elszaporodnak más, kevésbé élőködő ($p, q = 0$) stratégiákkal együtt. Ezzel párhuzamosan éltetőik, a jóhiszemű stratégiák zöme szinte teljesen kipusztul. A folyamat végén a játékosok nagy része a D döntést választja, vagyis a közösség eljut egy tragikus állapotba, ahol a közösség össznyereménye minimális. Ugyanakkor, a túlélő TfT stratégiák végig segítik egymást, nyereményük meghaladja az élőködő



1. ábra. A stochasztikus reaktív stratégiák populációjának változása t lépést követően. A lehetséges (p, q) stratégiák elhelyezkedését a bal felső ábra mutatja. Az oszlopok magassága csak azoknál a stratégiáknál jelzi a populáció nagyságát, ahol p értéke meghaladja annak kezdeti értékét. Az oszlopok láthatósága érdekében a q -tengely irányát megfordítottuk. A nyerénymátrix elemei: $T = 5$, $R = 3$, $P = 1$, $S = 0$.

társakét, és emiatt a követők száma lassan növekedésnek indul, majd egy idő múlva ők uralják az egész rendszert. A rendszerben jelen levő zaj miatt azonban a TfT stratégiák gyakran büntetik egymást, és ekkor kezdenek elszaporodni az egyre megbocsátóbb $mTfT$ stratégiát követő játékosok. Végül a stratégiapopuláció fejlődése leáll egy olyan állapotban, ahol a megbocsátás (q) elér egy optimális szintet.

A stochasztikus reaktív stratégiák lehetővé teszik, hogy a fent leírt jelenség okait analitikusan is értelmezhesük tetszőleges nyerénymátrix esetén. Meghatározhatjuk például azon stratégiák halmazát, amelyek a fenti folyamatban segítik az mD stratégiák szaporodását. Ezt jelöli a szürke tartomány a 2. ábrán olyan nyerénymátrix esetén, amit az 1. ábrán vázolt dinamikai folyamatban is használtunk. Kicsit több számolást igényel a vonalkázott terület meghatározása, ami azon stratégiákat jelöli, ahol kis mutációkon keresztül a homogén (p, q) stratégiapopuláció jobbra, illetve felfelé fejlődik. Más szavakkal, a rendszer számára előnyösebb, ha egy közeli homogén $(p+\delta, q)$ vagy a $(p, q+\delta)$ állapotba kerül. Az 1. ábrán vázolt fejlődési folyamat



2. ábra. A (p, q) stochasztikus reaktív stratégiák terében a szürke tartomány táplálja a leginkább élősködő $(0, 0)$ stratégiát. A vonalkázott tartományban két közeli (p, q) stratégia versengéséből a jobb oldali (illetve a felül levő) kerül ki győztesen, azaz kis mutációkon keresztül a rendszer egy olyan homogén (p^*, q^*) stratégiaeloszlás felé fejlődik, ami a tartomány jobb-felső sarkához legközelebb helyezkedik el.

akkor áll le, amikor a vonalkázott tartomány felső határának jobb szélén egy-egy alatta és felette elhelyezkedő stratégia dinamikai egyensúlyba kerül.

1985-ben Molander meghatározta a megbocsátás optimális mértékét egy olyan rendszerben, ahol a zaj (tévedés) gyakorisága tart a nullához. Eredményét a következő formula fejezi ki:

$$q_{\text{opt}} \equiv \min\left(1 - \frac{T-R}{R-S}, \frac{R-P}{T-P}\right), \quad (3)$$

ahol a két feltétel egybeesik azokkal a q értékekkel, ahol a 2. ábrán vázolt határvonalak elérik a tartomány jobb szélét ($p \rightarrow 1$ határeset). Az eredmény függése a nyeresémmátrix értékeitől arra is magyarázatot ad, hogy miért volt nehéz feladat őseink számára a büntetés-megbocsátás optimális mértékének megállapítása egy olyan korban, ahol nem foglalkoztak döntéseik következményeinek számszerűsítésével. Itt érdemes felidézni, hogy a Biblia Ószövetség része a szigorú szemet-szemért fogatfogért elvet hirdeti ($q = 0$), ezzel szemben az Újszövetség a jézusi megbocsátást ($q = 1$) mellett szól.

A (3)-as képlet azt is jelzi, hogy a két feltétel közül a szigorúbbat kell figyelembe venni. Ez azért fontos, mert a két feltétel (határvonal a 2. ábrán) helyet cserél egymással, ha megfelelően változtatjuk a nyeresémmátrix értékeit. Ebben az esetben a darwini evolúciós folyamat nem áll le egy homogén végállapotban. Amikor az egyre megbocsátóbb magatartásformák egymást követő uralmánál a megbocsátás mértéke eléri a szürke tartományt, akkor újra az mD stratégia élősködése lesz a legkifizetődőbb magatartásforma, és emiatt a közösség megint eléri a közösségi

tragédia állapotát. Ezt az állapotot követi a szigorú TfT stratégiák uralma, majd a közösség az egyre megbocsátóbb magatartásformák felé fejlődik, aminek ismételten az mD uralom vet véget, és ez a körfolyamat ismétlődik a végtelenségig. Ezt a forgatókönyvet ismerhetjük fel a konfuciusi filozófia jin-jang szimbólumában, ami a sötétség és világosság – átvitt értelemben a Jó és a Rossz – örök körforgását képviseli.

Zárszó helyett

A játékelmélettel foglalkozó szakértők körében közhelynek számít, hogy a Fogolydilemma-helyzetekben az emberi társadalomban a büntetés vagy a büntetéstől való félelem tartja fent a tisztességes (közösségi érdeket előnyben részesítő) magatartást. A stochasztikus reaktív stratégiák körében a TfT stratégia képviseli a büntetést a játék ismétlődése esetén. A büntetésnek azonban számtalan egyéb módja is lehetséges a sokszereplős evolúciós játékoknál. Például, ha a közösség olyan törvényeket hoz, ami az egyéni nyeresémény csökkentésével bünteti a közösséggelenes magatartást, akkor ez a változtatás úgy módosíthatja nyereménymátrix értékeit, hogy az önző játékos számára is kikerülhet a dilemma. Egy másik lehetőséget képvisel a biológiában közismert csoport szelekció. Ebben az esetben a játékosok csoportokat alkotnak, és a sikertelen csoport kihalásán keresztül juthat előnyhöz a közösségi érdeket képviselő tisztességes magatartás. A csoportosulás (és ezen keresztül a büntetés) gyengébb formája jelenik meg térbeli evolúciós játékoknál, ahol a valóságos térben elhelyezkedő játékosok csak a közvetlen közelükben elhelyezkedő játékosokkal játszanak és a követendő viselkedést is lehetőleg ugyanebből a körből választják. Az elmúlt évek vizsgálatai arra világítottak rá, hogy a játékosok közötti különbözőség is segítheti a tisztességes magatartás kialakulását, ha felerősítjük annak hatását, hogy a C stratégiát követő mester-tanítvány párosok előnyt élveznek. Erről a történetről írunk majd a folytatásban.

Irodalom

1. K. Sigmund: *Az élet játékei*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1993.
2. M. A. Nowak: *Evolutionary Dynamics: Exploring the Equations of Life*. Harvard University Press, Cambridge, MA, 2006.
3. G. Szabó, G. Fáth: Evolutionary games on graphs. *Phys. Rep.* 446 (2007) 97–216.
4. R. Axelrod, W. D. Hamilton: The evolution of cooperation. *Science* 211 (1981) 1390–1396.
5. M. A. Nowak, K. Sigmund: The evolution of stochastic strategies in the prisoner's dilemma. *Acta Appl. Math.* 20 (1990) 247–265.
6. P. Molander: The optimal level generosity in a selfish, uncertain environment. *J. Conflict Resolut.* 29 (1985) 611–618.
7. F. C. Santos, J. M. Pacheco, T. Lenaerts: Evolutionary dynamics of social dilemmas in structured heterogeneous populations. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103 (2006) 3490–3494.

LASER World of PHOTONICS

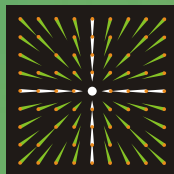
19. VILÁGVÁSÁR ÉS KONGRESSZUS: AZ OPTIKAI TECHNOLÓGIA
RÉSZEKÉRE, RENDSZEREI ÉS ALKALMAZÁSA

LIGHT AT WORK

LEHET, HOGY EZ AZ IGAZI? Az Ön célja jövőjének biztosítása? Akkor szeretettel várjuk a **LASER World of PHOTONICS** kiállításon! Az ebben a témakörben megrendezésre kerülő szakvásárok közül itt találja a leggazdagabb ajánlatot az innovációk, alkalmazások és know-how-k területén. Ezek a témakörök szoros kapcsolatban állnak a gazdasági növekedéssel, az energiateljesítményekkel, az környezetvédelemmel, az egészséggel és a biztonsággal. A lézer és a photonika világására, a LASER World of PHOTONICS gyakorlati és üzleti irányultságával Önt is támogatja a legjobb megoldások megtalálásában.

Hotline: (+49 89) 9 49-114 68, Fax: (+49 89) 9 49-114 69
info@world-of-photonics.net, www.world-of-photonics.net

Már most használja ki az
online-regisztráció előnyeit:
www.world-of-photonics.net/ticket



ÚJ MÜNCHENI
VÁSÁRVÁROS
2009. JÚNIUS 15-18.

Információ:
Promo Kft., 1015 Budapest, Széna tér 1/a., Tel: 224-7764, messemunchen@promo.hu

